

ИЗМЕРЕНИЕ СКОРОСТИ И НАПРАВЛЕНИЯ ВРАЩЕНИЯ ЦИКЛОНИЧЕСКОГО ВИХРЯ С ПОМОЩЬЮ МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКОЙ РАДИОЛОКАЦИОННОЙ СТАНЦИИ С АНТЕННОЙ КРУГОВОЙ ПОЛЯРИЗАЦИИ

В статье рассматривается возможность измерения радиолокационных характеристик тропического тайфуна с использованием метеорологического радиолокатора с двухзаходной архимедовой спиральной антенны круговой поляризации. Показано, что излучаемая антенной бегущая волна движется по такой же спирали, что и водяная частица в тропическом тайфуне. Это позволяет не только обнаружить начало образования тайфуна, непрерывно получать радиолокационные данные о тенденции его развития, координаты перемещения, но и измерять скорость вращения спирали тайфуна.

Ключевые слова: тропический тайфун, дипольный момент, магнитное поле Земли, спиральная антенна.

Введение. В настоящее время единственным дистанционным наземным методом получения информации о возникновении и развитии тропических циклонов является радиолокационный, а техническим средством, реализующим указанный метод, метеорологический радиолокатор [1].

Однако сетевые МРЛС не позволяют получить многие характеристики циклонов из-за специфики технической реализации используемых радиолокационных методов. Поэтому, по мнению авторов, изложенный в данной статье материал представляет определенный научный интерес.

Научная новизна статьи заключается в использовании нового подхода к построению антенной системы МРЛС, который до настоящего времени не применяется как в отечественных сетевых МРЛС, так и в зарубежных.

Актуальность материала статьи определяется необходимостью разработки новых подходов к пониманию физических процессов образования и развития тропических циклонов, радиофизических методов и технических средств, позволяющих осуществлять как диагноз, так и прогноз образования и развития такого опасного явления погоды, как урагана, приносящего миллиардные убытки и огромные человеческие жертвы.

Данная статья соответствует резолюции ООН от 22 декабря 1989 г. № 44/236, а материал направлен на создание радиолокационной метеорологической системы, позволяющей уменьшить опасность от такого стихийного бедствия, как тропический циклон.

Изложение основного материала статьи. Согласно традиционным представлениям современной метеорологической науки, циклон представляет собой атмосферную систему с низким давлением и воздушными потоками, закрученными в спираль со скоростью ветра более 17 м/с под воздействием земной силы Кориолиса [2 - 4]. Развитие циклона происходит до момента равновесия между тепловой энергией испарения и охлаждением океана в силу перемешивания его вод [5]. Используя известную из курса физики формулу, можно определить кинетическую энергию циклонического вихря высотой L радиусом R при средней плотности воздуха $\rho = 0,8 \text{ кг/м}^3$, т.е. [3, 4, 5]

$$W_{\text{ц}} = 0,25 \pi \rho L R^2 V^2 = 0,6 L R^2 V^2, \quad (1)$$

где V - скорость воздушных потоков в циклоническом вихре.

Тогда при $V = 17$ м/с, $L = 10$ км и $R = 7$ км, $W_{\text{ц}} = 10^{14}$ Дж, а при $V = 27$ м/с, $R = 150$ км - $W_{\text{ц}} = 10^{17}$ Дж.

Однако, вернемся к влиянию силы Кориолиса на образование циклонического спиралеобразного вихря, вращающегося с огромной скоростью вокруг вертикальной оси. Сила Кориолиса или сила инерции проявляется тогда, когда тело движется во вращающейся системе координат, например, по поверхности Земного шара. Эта сила равна произведению массы тела на Кориолисово ускорение [3]

$$\alpha_{\text{к}} = 2 \omega_{\text{кор}} V_{\text{отн}} \sin \alpha, \quad (2)$$

где $\omega_{\text{кор}}$ - угловая скорость вращения системы;

α - угол между направлением скорости тела $V_{\text{отн}}$ и осью вращения системы и направлена в противоположную сторону. Действие силы Кориолиса приводит к тому, что тело, движущееся во вращающейся системе не параллельно оси ее вращения, а отклоняется в направлении, перпендикулярном направлению скорости. Этот эффект на Земле, обусловленный ее суточным вращением, приводит к отклонению к востоку падающих тел, движущихся вдоль меридиана в северном полушарии - вправо, а в южном - влево от направления движения. Однако, эти отклонения, вследствие медленного вращения Земли ($\omega_{\text{пер}} = 10^{-5} \text{ с}^{-1}$), заметно сказываются только при очень высоких скоростях движения (дальняя артиллерийская стрельба, запуск ракет) либо когда движение длится очень долго - морские и воздушные течения, а также при размывании реками соответствующих берегов (закон Бора). Однако нельзя объяснить действие силы Кориолиса на образование циклонического вихря, т.к. она не дает представления о механизме возникновения и существования такого вихревого образования. Сила Кориолиса может только изменять траекторию воздушного потока, с которым перемещается тропический циклон, но не является первопричиной его спирального вращения.

Известно, что в атмосфере Земли образуются вихри разных размеров [2]. Наиболее разрушительными являются тропические тайфуны, диаметры которых составляют сотни километров [5]. У всех тайфунов имеются общие закономерности: в северном полушарии они вращаются против часовой стрелки, в южном - по часовой. Тайфуны зарождаются в штилевой зоне над океанами между широтами 5° - 25° как в северном, так и в южном полушарии. Однако, такие циклоны полностью отсутствуют в экваториальной зоне, ограниченной приблизительно 5° северной широты и 5° южной широты. В соответствии с [3], тропический циклон представляет собой систему очень сильных ветров, дующих вокруг безветренного центра, называемого глазом, вблизи которого скорость ветра может достигать 300 - 400 км/час. Для тропических циклонов характерны мощные восходящие потоки влажного воздуха вокруг глаза и нисходящие - в глазу циклона.

Однако существующая теория образования циклонов не учитывает влияния магнитного поля Земли на процессы образования тропических вихрей. Можно показать, что первопричиной возникновения тропических циклонов в атмосфере является появление момента количества движения у дипольной молекулы воды, движущейся в магнитном поле Земли. В соответствии с [4], Земля является гигантским намагниченным шаром, поле которого совпадает с магнитным полем диполя, расположенного вблизи центра Земного шара со смещением в сторону

Тихого океана на 400 км и с наклоном к оси Земли на 12° . Силовые магнитные линии выходят из северного магнитного полюса в южном полушарии и направлены к южному магнитному полюсу - в северном полушарии. К характеристикам магнитного поля в плане образования циклона отнесем вектор магнитной индукции B и магнитное наклонение I , т.к. взаимодействие движущихся вверх молекул водяного пара с магнитным полем Земли зависит от величины B . Вектор магнитной индукции определяется магнитной широтой, которая мало отличается от географической. В соответствии с [3], на водяные частицы, движущиеся в магнитном поле Земли, действуют силы Лоренца

$$F_n = q [V B], \quad (3)$$

где q - заряд частицы,

V - вектор ее скорости,

B - вектор магнитной индукции.

Векторное произведение в (3) можно представить в виде

$$F_n = q |V| |B| \sin \alpha, \quad (4)$$

где α - угол между векторами V и B .

Частица в магнитном поле Земли будет двигаться по траектории в виде винтовой линии, ось которой параллельна вектору индукции магнитного поля, а радиус которой определяется из известного условия

$$R = \frac{m V \sin \alpha}{q B}, \quad (5)$$

где m - масса частицы,

а тогда момент количества движения водяной частицы представляется в виде

$$L = m V R \sin \alpha. \quad (6)$$

Подставим в (6) вместо радиуса R его значение из (5), тогда момент количества движения запишется следующим образом

$$L = \frac{m^2 V^2 \sin^2 \alpha}{q B}. \quad (7)$$

Представим себе, что в магнитном поле Земли движутся две водяные частицы с одинаковыми скоростями, но с разными массами m_1 и m_2 . Причем, заряды этих частиц равны по величине и противоположны по знаку, а расстояние между частицами таково, что можно пренебречь силами взаимного притяжения. Так как заряды этих частиц противоположного знака, то под действием силы Лоренца они будут вращаться по правой и левой спиралям. Суммарный момент этих частиц станет равным алгебраической сумме их моментов, т.е. [4]

$$L_\Sigma = \frac{m_1^2 V^2 \sin^2 \alpha}{q B} - \frac{m_2^2 V^2 \sin^2 \alpha}{q B}. \quad (8)$$

После преобразования

$$L_{\Sigma} = \frac{(m_1^2 - m_2^2) V^2 \sin^2 \alpha}{q B} \quad (9)$$

или с использованием тождества о разности квадратов,

$$L_{\Sigma} = \frac{m_{\Sigma} \Delta m V^2 \sin^2 \alpha}{q B}, \quad (10)$$

где m_{Σ} - сумма масс частиц,

Δm - их разность.

Если систему, состоящую из равного числа положительно и отрицательно заряженных водяных частиц разной массы, пропустить через магнитное поле, то суммарный момент ее количества движения будет отличен от нуля, а нулю равняется при одинаковой массе частиц.

Если же водяные частицы образуют электрический диполь, состоящий из двух противоположных зарядов, равных по абсолютной величине и имеющих тесную связь, то основной физической характеристикой такого диполя является известный из физики электрический дипольный момент

$$P = q r, \quad (11)$$

где r - вектор, направленный от отрицательного заряда к положительному, длина которого равна расстоянию между центрами зарядов.

На каждый заряд диполя в магнитном поле действуют силы Лоренца, противоположно направленные на заряды с разными знаками. В итоге на диполь действует момент сил Лоренца, определяемый известной формулой

$$M_l = P \times [V B], \quad (12)$$

который ориентирует его вдоль направления, перпендикулярного плоскости, образованной векторами индукции магнитного поля B и вектором скорости электрического диполя V (Лоренцево направление).

Представляет интерес рассмотрение случая взаимодействия электрического диполя с магнитным полем, когда заряды сосредоточены в разных по величине массах, а между зарядами отсутствует жесткая связь. Тогда каждый из зарядов имеет ограниченную степень свободы, что позволяет ему описывать спиральную траекторию, а радиус такой траектории будет ограничен длиной и характером связи между зарядами. Для учета параметров связи зарядов в формулу момента количества движения можно ввести коэффициент вихреобразования K , значение которого изменяется от 0 до 1 [4]

$$L_{\Sigma} = \frac{K m_{\Sigma} \Delta m V^2 \sin^2 \alpha}{q B}. \quad (13)$$

При отсутствии взаимодействия между зарядами $K = 1$, а в случае соединения зарядов в жесткий диполь - $K = 0$.

Рассмотрим молекулу воды, перемещающуюся вверх в магнитном поле Земли. Молекула воды представляет собой реальный электрический диполь, обладающий большим дипольным моментом, равным 1,84 дебая. Такой электрический диполь имеет разные заряды и массы, которые вращаются в противоположных направлениях, а общий момент количества движения отличен от нуля. Коэффициент вихреобразования молекулы воды также будет отличен от нуля.

Момент количества движения молекулы воды зависит от ее взаимодействия с магнитным полем Земли.

Рассмотрим функцию этой зависимости от географической широты. При перемещении молекулы воды вертикально вверх (восходящий поток) в магнитном поле Земли со скоростью V суммарный момент количества движения запишется в виде [4, 5]

$$L_{\Sigma} = \frac{cV^2 \sin^2 \alpha}{B}, \quad (14)$$

где

$$c = \frac{K m_{\Sigma} \Delta m}{q}. \quad (15)$$

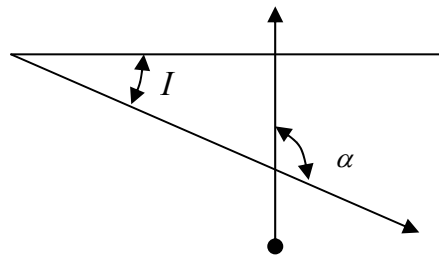


Рис.1 - Перемещение молекулы воды в восходящем потоке воздуха.

С учетом магнитного наклонения I (рис.1) и того, что $\sin \alpha = \cos I$, можно получить следующие выражения для $\sin I$, $\cos I$ и B

$$\left. \begin{aligned} \sin I &= \frac{2 \sin \varphi}{\left(1 + 3 \sin^2 \varphi\right)^{\frac{1}{2}}} \\ \cos I &= \frac{\cos \varphi}{\left(1 + 3 \sin^2 \varphi\right)^{\frac{1}{2}}} \\ B &= \frac{M \left(1 + 3 \sin^2 \varphi\right)^{\frac{1}{2}}}{R^2} \end{aligned} \right\}, \quad (16)$$

где M - магнитный момент шара, которым в первом приближении является Земля;

I - магнитное наклонение;

B - модуль вектора магнитной индукции;

φ - магнитная широта;

R - расстояние от центра шара до точки измерения магнитных величин.

Подставив (16) в (14) получим для суммарного момента количества движения молекул воды следующую зависимость

$$L_{\Sigma} = \frac{cV^2R^2 \cos^2 \varphi}{M \left(1 + 3 \sin^2 \varphi \right)^{\frac{3}{2}}}. \quad (17)$$

Из приведенной системы (16) видно, что силовые линии магнитного поля Земли в районе магнитного экватора горизонтальны, а в районе полюсов – вертикальны. Однако, с учетом наклона Земной оси относительно оси магнитного диполя порядка 12° магнитную широту φ можно считать тождественной географической широте.

Принимая во внимание, что ось тайфуна находится в вертикальной плоскости, то вклад в момент количества движения тайфуна вносит составляющая, равная

$$L_T = L_{\Sigma} \sin I. \quad (18)$$

Подстановка (16) в (17) дает относительно L_T следующее выражение

$$L_T = \frac{K \sin \varphi \cos^2 \varphi}{\left(1 + 3 \sin^2 \varphi \right)^2}, \quad (19)$$

где

$$K = \frac{2 cR^3V^2}{M}. \quad (20)$$

Уравнение (19) есть функция вихреобразования, которая характеризует зависимость величины взаимодействия вертикально движущихся молекул воды с магнитным полем Земли от магнитной широты. График функции, взятый из [5], приведен на рис.2.

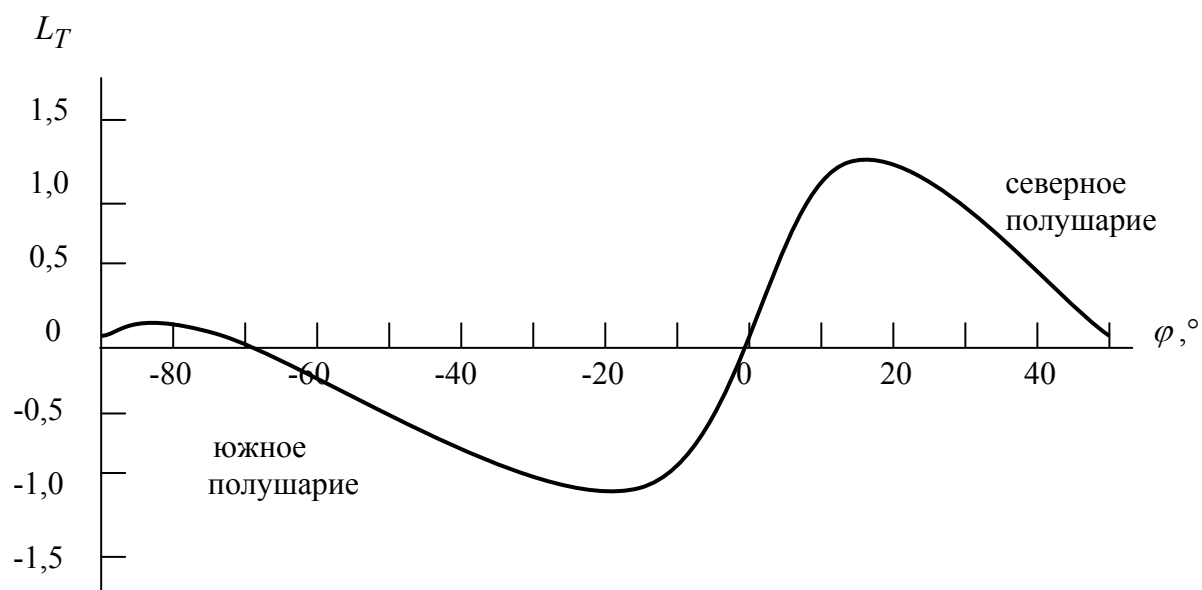


Рис.2 - Зависимость величины взаимодействия молекул воды с магнитным полем Земли от широты места.

Из приведенного графика видно, что максимальное значение функции соответствует магнитной широте 16° и резко падает к экватору в высоких широтах, что соответствует распределению тайфунов. При переходе через экватор функция меняет знак, на экваторе обращается в ноль, в северном полушарии она положительна, в южном – отрицательна. Тайфуны северного полушария вращаются против часовой стрелки, в южном – по часовой при наблюдении над тайфунами сверху.

Момент количества движения молекул, а значит и скорость их вращения в тайфуне максимальны на широтах 16° . Для возникновения тайфуна поднимающийся воздушный поток должен иметь также и высокую влажность, которую обеспечивает нагретая до 27 градусов вода в океане. Только при таких условиях восходящий поток имеет почти 100% влажность, насыщен молекулами воды, которые при своем подъеме взаимодействуют с магнитным полем Земли и начинают вращаться. Участие вращающихся молекул в образовании циклонического вихря можно пояснить на простейшем примере с емкостью, заполненную воздухом, в которой вращаются лопасти вентилятора и вовлекают во вращение воздух [3, 4]. Создается вращающийся вихрь. Если уменьшить размеры вращающихся лопастей вентилятора в два, три, десять, сто и более раз, то скорость вращения воздуха в емкости не изменится. Такое уменьшение лопастей вентилятора можно свести до размера молекулы. При образовании тайфуна каждая молекула воды играет роль вентилятора при своем вращении под действием магнитного поля Земли. Соударяясь с другими молекулами, она передает собственный момент количества движения другим молекулам, не имеющим дипольного момента. Происходит суммирование моментов количества движений всех молекул в восходящем потоке, что и приводит к образованию циклонического вихря гигантских размеров. Однако, для образования тайфуна необходим определенный инкубационный период в несколько дней, в течение которого происходит постепенное образование моментов количества движений у молекул воды при их взаимодействии в восходящем потоке с магнитным полем Земли, передача их посредством соударений нейтральным молекулам и аккумуляция моментов количества движения всех молекул воды в виде циклонического вихря. Этот инкубационный период и необходимо определить для прогнозирования развития тайфуна. При температуре океана в 27°C температура воздуха над водной поверхностью составляет 35°C . При таких температурных условиях и 100% влажности масса паров воды в 1 м^3 воздуха составляет около 40 г , а масса сухого воздуха такого же объема – 1260 г , т.е. масса молекул воды составляет около 3% от общей массы влажного воздуха. Поэтому для образования тайфуна и нужен инкубационный период, в течении которого по нарастающей идет процесс накопления количества движения, а температура поверхности воды в океане не должна опускаться ниже 25°C . Молекулы воды с восходящим потоком перемещаются с поверхности океана в верхние слои атмосферы, где конденсируются и образуют облака, из которых выпадают ливневые осадки. При этом замкнутом процессе при движении вверх молекулы воды вращаются в одну сторону, закручивая воздух в тайфуне, при движении вниз они вращаются в противоположную сторону, тормозя вращение тайфуна. Таким образом, при одинаковом количестве молекул воды тайфун должен быстро угаснуть при наличии выпадающих ливневых осадков. Но этого не происходит потому, что молекулы воды, движущиеся вверх и вниз находятся в разных агрегатных состояниях. В водяном паре молекулы воды движутся вверх поодиночке и имеют большую свободу движения и играют более эффективную роль вентилятора. В осадках молекулы воды находятся в каплях и не обладают такой свободой движения, поэтому вероятность образования циклонического вихря в полной мере зависит от агрегатного состояния дипольных молекул воды. Массивная отрицательно заряженная часть ОН

молекулы воды играет основную роль в образовании количества движения и задает направление вращения молекулы в магнитном поле Земли. Таким образом, по данным многих исследователей [2-5], тайфун – это тепловая машина, которая превращает тепловую энергию Солнца в энергию восходящего потока влажного воздуха, а она с помощью магнитного поля Земли преобразуется в энергию гигантского воздушного вихря. Такой вихрь является автогенератором гигантского объема и мощности, а на плоскости XY его моделью, по нашему мнению, может служить спираль – эвольвента окружности, представляемая линией, которая описывается концом M (рис.3) натянутой нити LM , наматываемой или сматываемой с круглой катушки D_0LL_1 [6].

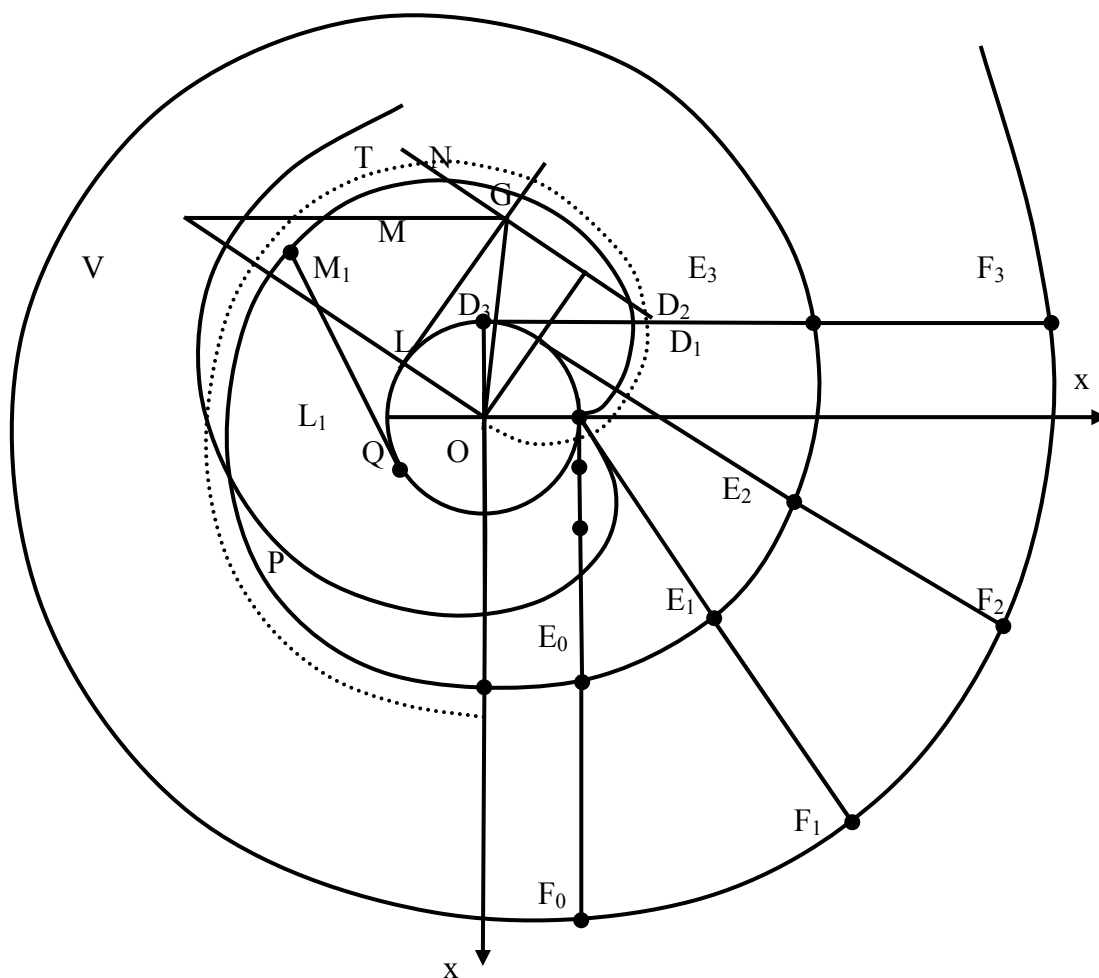


Рис.3 - Эвольвента круга, которую описывают молекулы воды в восходящем потоке тайфуна.

Геометрически указанное свойство выражается следующим образом. Пусть точка L , исходя из начального положения D_0 , многократно описывает окружность радиуса k (k - параметр эвольвенты круга). На касательной LH откладывается по направлению, противоположному направлению вращения, отрезок LM , равный дуге D_0L , пройденной точкой L . Эвольвента круга есть линия,

описываемая точкой M . Одна и та же окружность имеет бесчисленное множество эвольвент (соответствующих всевозможным положениям начальной точки D_0).

Смотря по тому, вращается ли точка L по часовой стрелке или в противоположном направлении, получается правая эвольвента круга (D_0MP на рис.3) или левая (D_0Q). Обычно две эвольвенты данного круга рассматриваются как две ветви одной линии.

Данную окружность делят на n равных дуг

$$D_0b_1 = b_1b_2 = b_2b_3 = \dots = b_{n-1}D_0.$$

На касательной, проведенной через D_0 , откладывается отрезок $D_0E_0 = 2\pi k$. Он делится на то же число равных частей

$$D_0a_1 = a_1a_2 = a_2a_3 = \dots = a_{n-1}D_0.$$

На касательных, проведенных через последовательные точки $b_1, b_2, b_3, \dots, b_n$ откладываются (по направлению, противоположному смещению точки касания) отрезки $b_1D_1, b_2D_2, b_3D_3, \dots, b_nD_n$ соответственно равные отрезкам $D_0a_1, D_0a_2, D_0a_3, \dots, D_0a_n$. Получают точки $D_1, D_2, D_3, \dots, D_n$ первого витка D_0PE_0 эвольвенты круга. Точки $E_1, E_2, E_3, \dots, E_n$ второго круга витка получают, отложив на продолжениях отрезков $b_1D_1, b_2D_2, b_3D_3, \dots, b_nD_n$ отрезки $D_1E_1, D_2E_2, D_3E_3, \dots, D_nE_n$ равные D_0E_0 . Аналогично получают точки следующих витков.

Эвольвента окружности, в силу общих свойств эвольвенты любой линии, обладает следующими свойствами:

- она пересекает все касательные этой окружности под прямым углом. В частности, эвольвента составляет в начальной точке D_0 прямой угол с касательной D_0F_0 ;

- обратно, нормаль MH к эвольвенте служит касательной к окружности. При этом точка касания L является центром кривизны эвольвенты, так что отрезок ML есть радиус кривизны эвольвенты

$$R = ML. \quad (21)$$

В частности, в начальной точке D_0 радиус кривизны эвольвенты равен нулю, т.е.

$$R = 0; \quad (22)$$

- радиус кривизны R эвольвенты возрастает по мере удаления точки M от начальной точки; его приращение $R_1 - R = M_1L_1 - ML$ равно длине соответствующей дуги $L \overset{\cup}{L_1}$ окружности

$$R_1 - R = L \overset{\cup}{L_1}. \quad (23)$$

В частности, на участке D_0M эвольвенты приращение радиуса кривизны равно $R_M - R_0 = R_M$, причем

$$R_M = D_0 \overset{\cup}{L} = k\alpha, \quad (24)$$

где $\alpha = \angle D_0OL$ - угол поворота радиуса OL от начального положения OD_0 ;

- по построению эвольвенты не проникает внутрь круга O . Поэтому при прохождении точки M через начальную точку D_0 направление движения меняется на противоположное, т.е. D_0 - точка возврата эвольвенты.

Можно провести сопоставление правой (левой) ветви эвольвенты круга с правой (левой) архимедовой спиралью с тем же параметром $k = OD_0$ (т.е. с шагом $2\pi a = D_0E_0$), что и эвольвенты круга. Пусть эта спираль (пунктирная линия на рис.3) выходит из центра O данной окружности по направлению луча OX' , получаемого поворотом начального радиуса OD_0 на угол $-90^\circ (+90^\circ)$. Точка G , описывающая спираль, неограниченно приближается к эвольвенте: кратчайшее расстояние точки G до эвольвенты (оно измеряется отрезком GM нормали LH эвольвенты) уже в конце 1-го витка составляет лишь 1% от шага спирали.

С другой стороны, полярный радиус ON спирали, составляющий угол $-90^\circ (+90^\circ)$ с радиусом OL , имеет ту же длину $k\alpha$, что и отрезок LM . Это значит, что основание перпендикуляра, опущенного из центра O на касательную MT эвольвенты, описывает архимедову спираль.

Полярное уравнение эвольвенты окружности (полюс O - центр данной окружности; полярная ось OX направлена по начальному радиусу OD_0) имеет вид [6]

$$\varphi = \frac{\sqrt{\rho^2 - k^2}}{k} - \arccos \frac{k}{\rho}, \quad (25)$$

где k - радиус окружности.

Параметрические уравнения записываются в виде

$$\begin{aligned} x &= k (\cos \alpha + \alpha \sin \alpha); \\ y &= k (\sin \alpha - \alpha \cos \alpha), \end{aligned} \quad (26)$$

где $\alpha = \angle D_0OL$.

Длина s дуги D_0M

$$s = \frac{1}{2} k \alpha^2 = \frac{1}{2} \frac{(k\alpha)^2}{k} = \frac{1}{2} \cdot \frac{ML^2}{OL}. \quad (27)$$

Для получения отрезка той же длины проводится прямая $MV \perp OM$ до пересечения в точке V с продолжением радиуса OL . Половина отрезка OV по длине равна дуге D_0M

$$s = D_0M = \frac{1}{2} OV. \quad (28)$$

Площадь S сектора D_0OM , описанного полярным радиусом, а также площадь S_1 криволинейного треугольника $LM D_0$, основанием которого служит

отрезок LM , а боковыми сторонами - дуги D_0L окружности и D_0M эвольвенты, втрое меньше площади треугольника OMV

$$S = S_1 = \frac{1}{3} \text{пл. } OMV = \frac{1}{6} k^2 \alpha^3 . \quad (29)$$

Натуральное уравнение линии связывает длину s ее дуги D_0M , отсчитываемой от некоторой начальной точки M_0 , и радиус кривизны R и в точке M имеет вид [4, 5]

$$R^2 = 2ks . \quad (30)$$

На рис.4 показано движение каждой из точек спирали во времени t зависимостями $x(t)$ и $y(t)$, близкими к синусоиде, в результате чего траектория движения молекулы водяного пара на плоскости XY оказывается спиралью [4, 5].

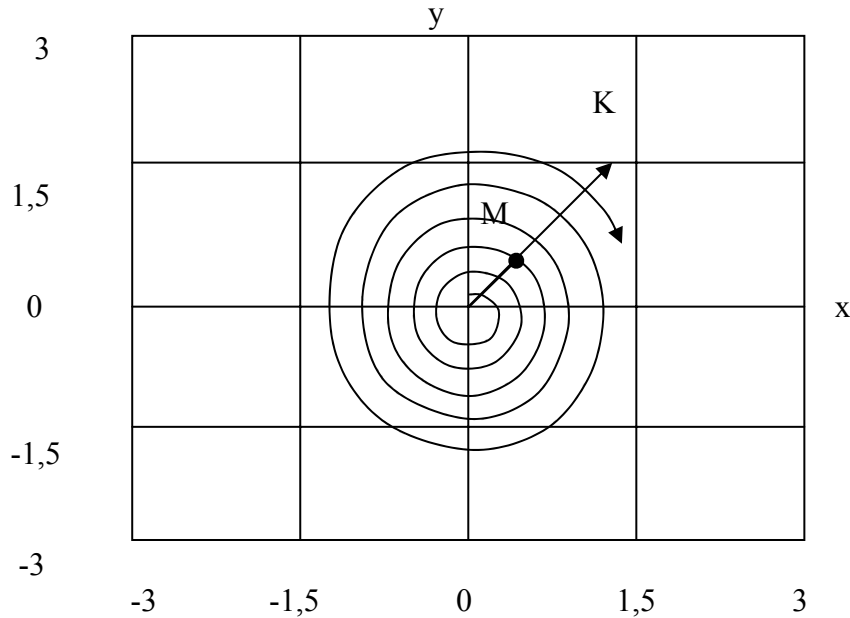


Рис.4 - Движение поляризованных молекул водяного пара в спирали развивающегося тайфуна.

Используя уравнения (25), (26) и (30) легко смоделировать физические процессы в тайфуне, что и будет авторами выполнено в дальнейшем.

Что касается мощных кучево-дождевых облаков, то из-за малого времени их существования они не могут накопить достаточного момента количества движения для возникновения спирального вихря. Да и широты Северного Причерноморья не обладают большой величиной магнитной индукции.

Если рассматривать траектории перемещения кучево-дождевых облаков (градовых или ливневых) на расстоянии метеорологического радиуса обнаружения, то из-за малой скорости их движения по потоку влияния силы Кориолиса на изменение их траекторий движения практически сказываться не будет, а будет влиять только на траекторию воздушного течения. Что касается попытки моделирования траектории их перемещения с учетом влияния сил Жуковского, эффекта Россби и лобового сопротивления [7], то если бы такое влияние существовало, оно сказывалось бы для

одних и тех же широт одинаково, а не только для Северного Причерноморья. В то же время численное моделирование влияния вертикальных движений, турбулентного обмена и тепла конденсации, потенциальной температуры, удельного влагосодержания, граничных и начальных условий на время достижения состояния насыщения в изменяющейся во времени движущейся воздушной массе, в которой имеются развивающиеся кучево-дождевые облака, на траекторию их перемещения в полной мере рассмотрено в [8].

С мощными кучево-дождевыми облаками, образовавшимися над океаном, связано такое опасное явление погоды как торнадо или ураганы. В таких образованиях действует сила Лоренца, что и в тропических циклонах. Разница заключается лишь во времени обмена тепловой энергии испарения и охлаждения. Так как траектория торнадо лежит в направлении океан-суша, то энергия вращающейся спирали в нем убывает пропорционально расстоянию, пройденному торнадо над сушей. Иногда при благоприятных условиях и повышенной активности Солнца ураганы возникают и над твердой земной поверхностью (многие регионы России и Украины). Это происходит тогда, когда гигантские облака намагниченной плазмы массой до 10 млрд. тонн летят от Солнца к Земле со скоростью более 1000 км/с, корональный солнечный поток при этом состоит преимущественно из положительно заряженных частиц, каждая из которых в 1000 раз превосходит электрон. Векторы скорости этих частиц направлены прямо противоположно вектору скорости восходящего потока влажного нагретого воздуха и способствуют образованию спирали.

При радиолокационном обнаружении и распознавании тропических циклонов необходимо решить две главные задачи. Первая из них заключается в обнаружении вращения облачных частиц в циклоне, а вторая – в измерении скорости вращения. Указанные задачи могут решить МРЛС, имеющие двухзаходные архимедовые спиральные антенны круговой поляризации.

Принцип действия двухзаходной архимедовой спиральной антенны можно пояснить, рассматривая ее приближенно как двухпроводную линию, по которой распространяется бегущая волна, причем ток в одном из проводников запаздывает относительно тока в другом проводнике [9]. Последнее обстоятельство и приводит к излучению.

Пусть проводники возбуждаются в центре антенны в противофазе (рис.5).

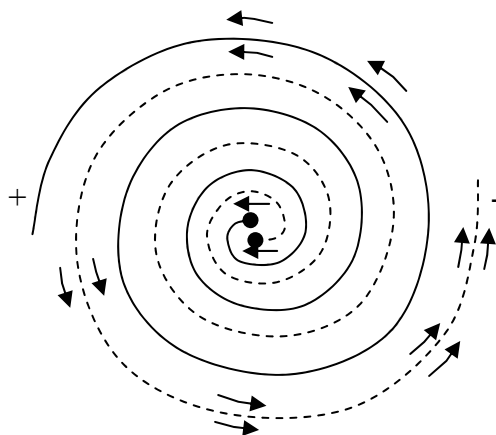


Рис.5 - Принцип действия двухзаходной архимедовой спиральной антенны МРЛС.

Если намотка равномерна, то для смежных элементов двух проводников разность хода по проводу спирали от центра равна

$$\Delta = \pi \rho_0, \quad (31)$$

где ρ_0 - средний радиус витка спирали.

Поскольку оба провода возбуждаются в противофазе, то разность фаз токов в смежных элементах равна

$$\psi = k \Delta + \pi = \frac{2\pi}{\lambda} \Delta + \pi. \quad (32)$$

Условие синфазности, когда $\varphi = 2\pi m$ (где m - целое число), имеет вид

$$\frac{2\pi}{\lambda} \rho_0 = 2m - 1. \quad (33)$$

При этом оба провода образуют «резонансные» кольца с бегущей волной. Именно эти кольца и создают основную долю излучения, так как излучение остальных витков будет в значительной мере взаимно компенсироваться. Наибольший практический интерес представляет первый резонанс ($m = 1$), так как он обеспечивает осевое излучение поля вращающейся поляризации. Ввиду интенсивного излучения первого резонансного кольца амплитуда тока вне его (при $\rho > \rho_0$) резко убывает.

При изменении длины волны меняется пропорционально и радиус резонансного кольца, а электрические параметры антенны остаются неизменными. Таким образом, спираль будет представлять собой весьма широкополосную антенну. Наибольшая рабочая длина волны антенны $\lambda_{\text{макс}}$ определяется максимальным радиусом спирали $\rho_{\text{макс}}$

$$\lambda_{\text{макс}} = 2\pi \rho_{\text{макс}}. \quad (34)$$

Важной особенностью спиральной антенны, вытекающей из принципа взаимности, является то, что в режиме приема она принимает электромагнитное поле с таким же направлением вращения плоскости поляризации, которое она излучает. Поэтому максимум эхо-сигнала от облачной системы циклона будет в том случае, если направление электрического вектора излучаемой волны круговой поляризации совпадает с направлением вращения диполей в облачной системе циклона. Так как направление вращения электрического вектора излучаемой волны известно заранее, то при приеме эхо-сигнала легко определяется направление вращения облачной системы циклона.

Для определения скорости вращения циклонического вихря в МРЛС мы предлагаем использовать стробоскопический эффект, который будет описан авторами в дальнейшем.

Выводы.

1. Показана возможность измерения скорости и направления вращения облачного вихря в тропическом циклоне с помощью метеорологического радиолокатора с антенной круговой поляризации.
2. Предлагаемая радиолокационная метеорологическая система позволяет прогнозировать и предупреждать о возникновении и развитии тропических циклонов.

Список использованных источников

1. Степаненко В.Д. Радиолокация в метеорологии. – Л.:Гидрометеиздат, 1966. – с.350.
2. Погосян Х.П. Циклоны. – Л.:Гидрометеиздат, 1976. – 74 с.
3. Каганов В.И. Укroщение тропического циклона // Наука и жизнь, № 8, 2006. - с.104 – 107.
4. Мантaшьян П. Вихри от молекулы до галактики // Наука и жизнь, № 2, 2008. – 114 – 119 с.
5. Каганов В.И. Ветроэнергетический метод предотвращения развития циклона // Письма в ЖТФ, т.32, вып.6, 2006.
6. Выгодский М.Я. Справочник по высшей математике. – Изд. «Наука», 1965. – 870 с.
7. Данова Т.Е., Бойцова И.А. Моделирование перемещения суперячейкового градового процесса с использованием методов механики твердого тела // Метеорологія, кліматологія та гідрологія, 2005. – вип.49. – с.115-125.
8. Матвеев Л.Т. Динамические факторы образования облаков и осадков // Вопросы физики облаков, 2004. – с.51-70.
9. Лавров А.С., Резников Г.Б. Антенно-фидерные устройства. – М.: Советское радио, 1974. – 366 с.

Вимірювання швидкості і напрямку обертання циклонічного вихору за допомогою метеорологічної радіолокаційної станції з антеною кругової поляризації.

Корбан В.Х., Дегтярєва Л.М., Корбан С.Н.

В статті розглядається можливість вимірювання радіолокаційних характеристик тропічних тайфунів з використанням метеорологічних радіолокаторів з двозахідною архімедовою спіральною антеною кругової поляризації. Показано, що випромінена антеною хвиля, яка біжить, рухається за тією ж спіраллю, що і водяна частинка в тропічному тайфуні. Це дозволяє не тільки виявити початок утворення тайфуну, безперервно отримувати радіолокаційні дані про тенденцію його розвитку, координати переміщення, але і вимірювати швидкість обертання спіралі тайфуну.

Ключові слова: тропічний тайфун, дипольний момент, магнітне поле Землі, спіральна антена.

Measuring velocity and rotating direction of a cyclonic eddy by means of meteorological radiolocation stations with a circular polarization antenna.

Korban V.Kh., Degtyaryeva L.N., Korban S.N.

The possibility of measuring radio-location descriptions of a tropical typhoon by means of a meteorological radio-locator with a double-threaded Archimedean spiral antenna and circular polarization is given consideration in the paper. It is shown that a progressing wave emitted by the antenna moves on the same spiral that an aquatic particle in a typhoon does. It allows not only to detect the beginning of a typhoon genesis, to continuously get radio-location information on the trends in its progress and movement data but also measure the speed of rotation of the typhoon spiral.

Keywords: tropical typhoon, dipole moment, magnetic field of the Earth, spiral antenna.