

Возможности радиолокационного обнаружения ураганов метеорологическими радиолокаторами

С.И. Заичко, А.И.Князь

Одесская национальная морская академия, 65029, г.Одесса, ул. Дидрихсона,8, e-mail: info@onma.edu.ua

Рассмотрено уравнение мезоциклона в мощных кучево-дождевых облаках, радиолокационные характеристики урагана, который образовался в прибрежной зоне Черного моря Одесского региона Украины.

Considered equation in mesocyclone powerful cumulonimbus clouds, radar characteristics of a hurricane, which was formed in the coastal zone of the Black Sea Odessa region of Ukraine.

Тропические циклоны, ураганы и смерчи представляют собой грозное явление, связанное с атмосферными процессами. Прогноз возникновения, эволюции и перемещения ураганов и смерчей остается проблемой, которая далека от окончательного решения. В связи с изменяющимися климатическими условиями возникновение ураганов и смерчей начало происходить в тех регионах, в которых они не наблюдались. Это относится и к Одесскому региону Украины. Особую роль при исследовании структуры кучево-дождевых облаков, которыми связано возникновение ураганов и смерчей играют метеорологические радиолокационные станции. Мощные конвективные облачные системы связаны с циклоническими вихрями, имеющими локализованную зону вращения с вертикальным размером, равным или большим их диаметра.

Образование смерча в большой степени обусловлено неустойчивостью стратификации атмосферы. Смерчи связаны с двумя типами мезомасштабной циркуляции: с облаками, которые имеют горизонтальную ось вращения (облачный вал) впереди холодных фронтов и с облаками, которые вращаются вокруг вертикальной оси. В передней части материнского облака до возникновения смерча существует облачный вал, который вращается по ходу движения. Чаще всего смерчи возникают с правой стороны облака по направлению его движения. Смерчи связаны с мезомасштабной циркуляцией в слоях выше смерча, диаметр которой от нескольких километров до 50 км, а по высоте до 10-12 км. Теория образования смерча до настоящего времени еще полностью не разработана.

В соответствии с гипотезой Ромова А.И. [1] сделаем анализ уравнения вихря скорости:

$$\frac{\partial \Omega}{\partial t} = - \left(u \frac{\partial \Omega}{\partial x} + v \frac{\partial \Omega}{\partial y} + w \frac{\partial \Omega}{\partial z} \right) - l \left(\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial u}{\partial y} \right) - \left(u \frac{\partial l}{\partial x} + v \frac{\partial l}{\partial y} - \Omega \left(\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial u}{\partial y} \right) \right) + \left(\frac{\partial u}{\partial z} \cdot \frac{\partial w}{\partial y} - \frac{\partial u}{\partial z} \cdot \frac{\partial w}{\partial x} \right), \quad (1)$$

где $\Omega = \frac{\partial u}{\partial x} - \frac{\partial u}{\partial y}$ - вертикальная проекция относительного вихря.

Второй и третий члены правой части уравнения (1) при рассмотрении процессов с небольшими масштабами (100-10000 м) характерными для смерчей, малы по сравнению с четвертым и пятым членами. При характерных для сформировавшихся смерчей величинах вихря четвертый член $\Omega = \frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial u}{\partial y}$ играет существенную роль

в изменении вихря Ω .

Пятый член правой части уравнения (1) можно записать в виде:

$$\frac{\partial u}{\partial z} \cdot \frac{\partial w}{\partial y} - \frac{\partial u}{\partial z} \cdot \frac{\partial u}{\partial x} = \frac{\partial C}{\partial z} \times \text{grad } \omega, \quad (2)$$

где $c = i u + j v$ - вектор скорости ветра.

Правая часть являет собой проекцию на ось z вектора изменения скорости ветра с

высотой $\frac{\partial C}{\partial z}$ на вектор горизонтального градиента вертикальной скорости

($\text{grad } \omega$). Именно этот член уравнения (1) при наличии больших вертикальных градиентов скорости ветра в конвективных облаках ($\text{grad } \omega$) и определяет развитие завихрения. В силу малой повторяемости и небольших размеров смерчей каждый случай радиолокационного наблюдения с помощью метеорологических радиолокаторов представляет практический интерес.

Для описания вертикальной структуры векторного поля скорости в вихре нами рассмотрена замкнутая термодинамическая система в виде уравнений:

$$\frac{\partial (u r)}{\partial r} + \frac{\partial (v r)}{\partial z} = 0, \quad \frac{\partial v}{\partial r} - \frac{\partial u}{\partial r} = 2 \omega, \quad (3)$$

где u - радиальная проекция вектора скорости по r в цилиндрических координатах;

v - касательная проекции вектора скорости по угловой координате;

z - вертикальная координата.

После введения функции тока и решения уравнений Бесселя, получим функцию скорости вращения облачного вихря, связанную с частотой n угловой скоростью вращения ω (4)

$$\chi^2 = \frac{n^2 - 4 \omega^2}{g h}, \quad (4)$$

где h - глубина завихрения;

g - ускорение силы тяжести;

ω - угловая скорость;

n - частота вращения вихря.

Рассмотрим радиолокационную структуру конвективной облачной системы в прибрежной полосе Черного моря в районе Одессы, в которой образовался ураган, принесший огромные экономические убытки городу.

Тридцать первого мая 2013 года через Одессу проходил холодный атмосферный фронт, в зоне которого наблюдалась активная грозовая деятельность, шквалистый ветер до 31 м/с с ливневым дождем и грозой. Скорость ветра достигала ураганной силы. По данным городского управления сломано более 1000 деревьев, обесточено 26 населенных пунктов Одесской области, остановился весь городской транспорт из-за поваленных деревьев и оборванных проводов электроснабжения.

Радиолокационная структура кучево-дождевого облака позволила выявить деформацию зоны повышенной отражаемости на высоте 6,5 км. На рис.1-4 представлены вертикальные разрезы кучево-дождевого облака, выполненные с 22⁰⁰ до 22³⁰ часов с помощью МРЛ-5.

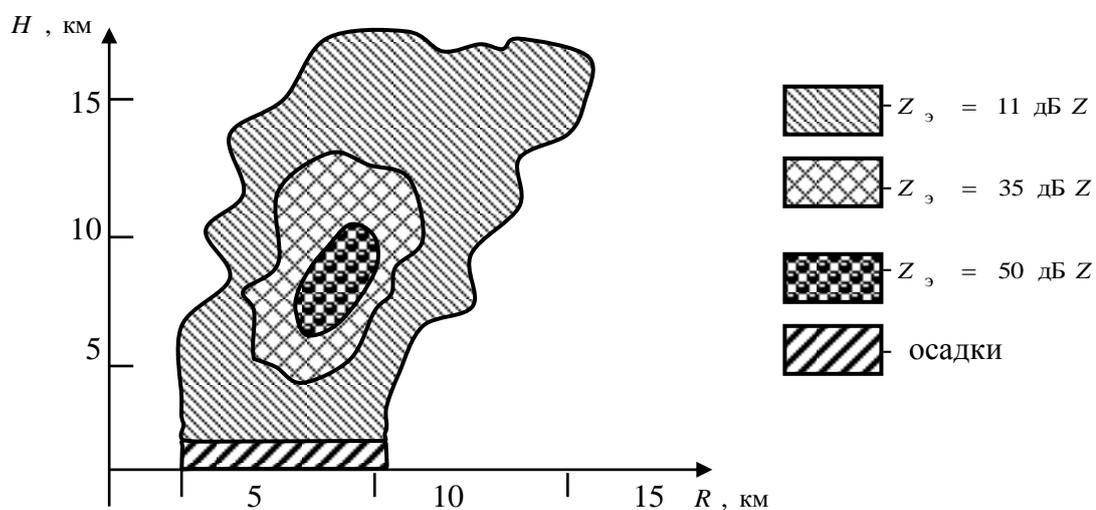


Рис.1. Вертикальный разрез кучево-дождевого облака 31 мая 2013 г. в 22 час 05 мин.

В кучево-дождевом облаке находился мезоциклон на высоте 6-7 километров с повышенной скоростью циркуляции воздуха против часовой стрелки (рис.2, 3, 4).

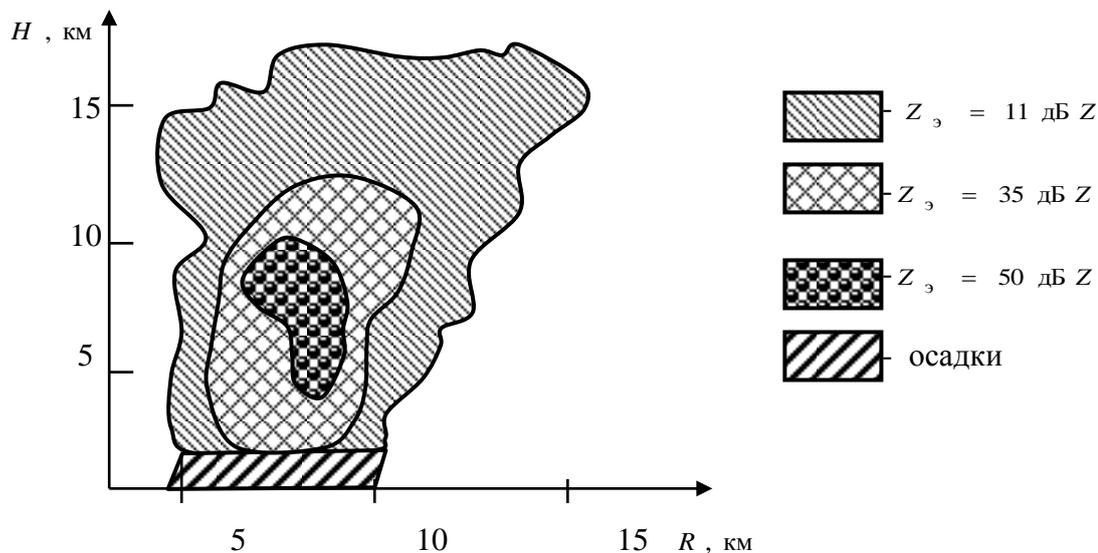


Рис.2. Вертикальный разрез кучево-дождевого облака 31 мая 2013 г. в 22 час 10 мин.

Зона повышенной отражаемости вращалась против часовой стрелки вокруг вертикальной оси, деформируя свою форму под действием сформировавшегося урагана диаметром около 1,5 км. Однако смерч из области мезоциклона не сформировался.

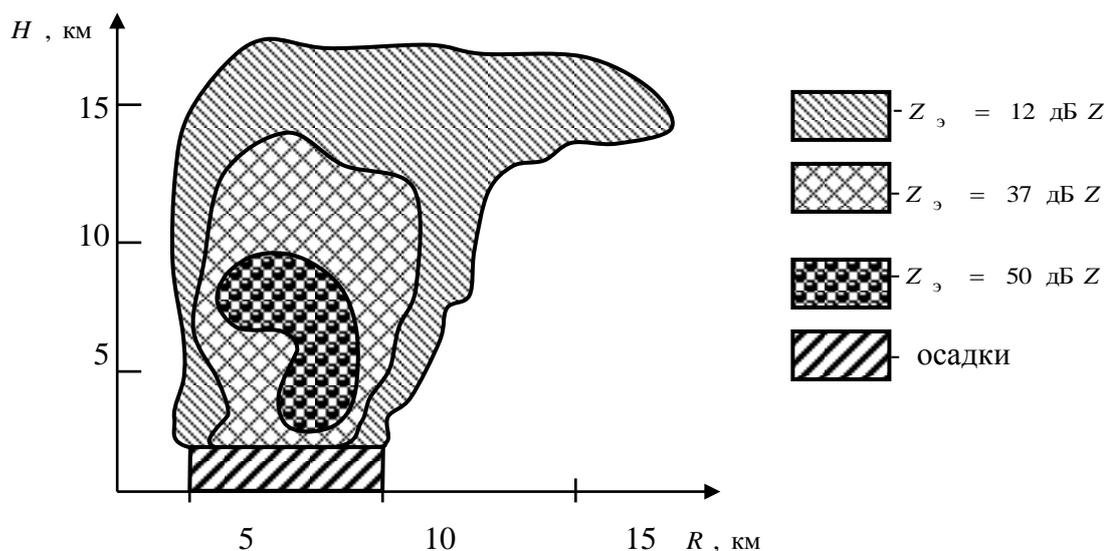


Рис.3. Вертикальный разрез кучево-дождевого облака 31 мая 2013 г. в 22 час 15 мин

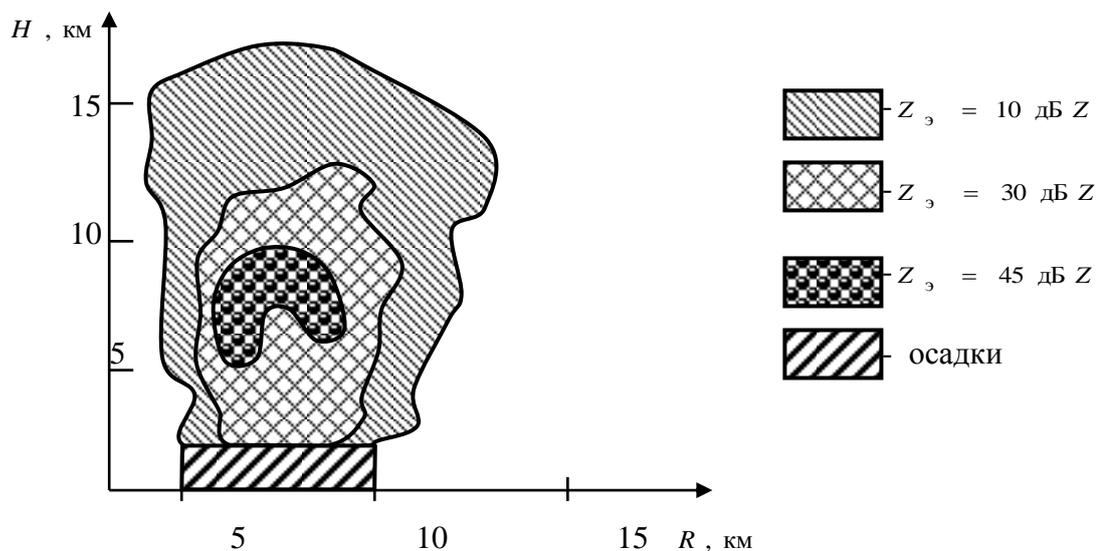


Рис.4. Вертикальный разрез кучево-дождевого облака 31 мая 2013 г. в 22 час 20 мин

Восьмого июня 2013 года в 16 час 30 мин над Черным морем у города Южный под Одессой из мощного мезоциклона сформировались одновременно три смерча, один из которых прошел в нескольких километрах от Одессы, двигаясь вдоль берега, а затем исчез в северо-западном направлении. Два других смерча ушли в сторону моря, не принося никаких разрушений. Радиолокационные данные мезоциклона и образовавшихся смерчей получить не удалось из-за отсутствия работы радиолокатора.

Литература

1. Ромов В.А. К теории орографического циклогенеза // Труды УкрНИИ, вып. 204, 1985. – С.3-11.