

ПРОБЛЕМЫ СНИЖЕНИЯ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО РИСКА ВОЗДЕЙСТВИЯ ЦИКЛОНОВ.

Аннотация. Рассматривается проблема возможности управления динамикой движения тропического циклона в целях снижения экологического риска воздействия на социальные и природные системы. Показано, что эволюция циклона – это прохождение последовательности структурно-фазовых переходов, наращивающих энергетику вращения. Воздействие на зону перехода, в которой возникает электромагнитная когерентность способно изменить динамику и траекторию движения циклона.

Ключевые слова: тропический циклон, структурно-фазовые переходы, эволюция.

Введение

Начало 21 века отмечено повышенным интересом к климатическим проблемам. Климат и вода могут оказывать воздействие практически на все аспекты жизни. Девять из 10 стихийных бедствий связаны с гидрометеорологическими опасными явлениями, в результате которых с 1980 по 2000 гг. в мире погибло 1,2 млн. человек, а ущерб от последствий таких явлений насчитывает более чем 900 млрд. долл. США. По данным Мюнхенской Компании перестрахования число значительных природных катастроф по сравнению с 80-ми годами увеличилось более чем в два раза.

Социальный ущерб и экологические следствия от ураганов впечатляют. Пример - катастрофа на Филиппинах (08.11. 2013 г.) от самого сильного за последние 100 лет тайфуна “Хайян”. Число погибших около 4,6 тыс. человек. По данным ООН тайфун полностью уничтожил 160 тысяч домов, еще 287 тысяч получили серьезные повреждения. Свои жилища покинули 1,9 миллиона человек, а всего из-за стихии пострадали 13 миллионов жителей страны [17].

Грядущее потепление может привести к дальнейшему росту потенциальной разрушительной способности тропических циклонов (ТЦ) и увеличению ущерба наносимого ураганами. За последние 30 лет зарегистрировано двукратное увеличение количества циклонов (ураганов) 4 и 5 категории (высших по шкале Сафира-Симпсона).

Имеются данные, подтверждающие интенсификацию активности ураганов вследствие глобального потепления. Так более 50% всего ущерба в США были нанесены пятью ураганами 4-5 категории. Для США отмечен общий рост числа ураганов с 1905 по 2005 г. (рис.1).

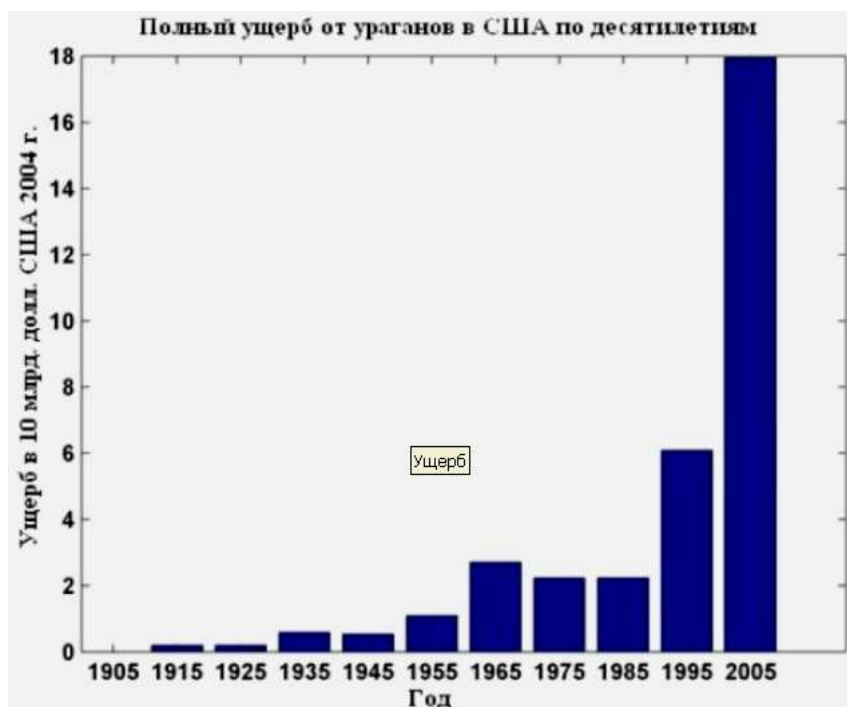


Рис. 1. Полный ущерб от ураганов в США по десятилетиям в исчислении по 10 млрд. долларов [2].

Специфика исследований ТЦ

Современное моделирование динамики атмосферных вихрей базируется на системах трех уравнений: Навье-Стокса, неразрывности и теплопроводности. Общеизвестно, что принципиальным источником энергии атмосферных вихрей различных пространственных масштабов является скрытая теплота, выделяющаяся в результате конденсации атмосферной влаги (Riehl Н.А., 1950; Emanuel К.А., 1986; Писиченко Е. А., 1993). Однако дискуссия о конкретных физических процессах, переводящих энергию фазового перехода в кинетическую энергию вихревого потока, далека от завершения (Оояма К.В., 1985; Казенцев Н.В., 1988; Хаин А.П., 1984). Одним из ключевых вопросов, например теории тропических циклонов, является вопрос о том, как энергия мелкомасштабного процесса конвекции кучевых облаков передается мезомасштабному атмосферному вихрю. Более того, есть много фактов, наблюдений и представлений не объяснимых с позиций существующих моделей:

1). В Северном полушарии зарождается и развивается в среднем в два раза больше тропических циклонов (ТЦ), чем в Южном полушарии (рис. 2, таблица 1). Представление о том, что единственным источником энергии ТЦ является теплота конденсации водяного пара, а механизм трансформации движений в вихревые, закрученные потоки обусловлен трением о подстилающую поверхность океана, тоже нельзя считать безусловным. Часто ТЦ даже при выходе на сушу существуют длительное время, не говоря уже о том, что значительная часть ТЦ

"гибнет" над океаном [1].

Торнадо вообще зарождается вверху в грозовых облаках и вопреки термодинамике оно опускается от более холодных верхних зон грозовых образований с отрицательным зарядом к более теплой поверхности Земли.

Ни термодинамика, ни газодинамика, ни ускорения Кориолиса не объясняют асимметрию распределения ТЦ относительно экватора (рис.2). Так, на севере ТЦ наблюдаются и выше 35° с.ш., а на юге - нет. Непонятно полное отсутствие ТЦ вблизи экваториальной зоны океана около Южной Америки и около Африки со стороны Атлантики, а также наличие полярных тайфунов в районе Гренландии.

Согласно данным NASA, многие ТЦ возникают в самой середине зоны пассатов с *достаточно однородной воздушной массой*, что само по себе является удивительным, так как здесь примерно одинаковая тепловая зона водной поверхности и незначителен температурный градиент.

2) Совсем непонятной с точки зрения существующих теорий оказывается асимметрия Западного и Восточного полушарий: в Восточном полушарии число возникающих ТЦ в два раза больше, чем в Западном полушарии (коррекции, связанные с разницей площадей океана и суши, не меняют соотношения) (табл. 1) [1].

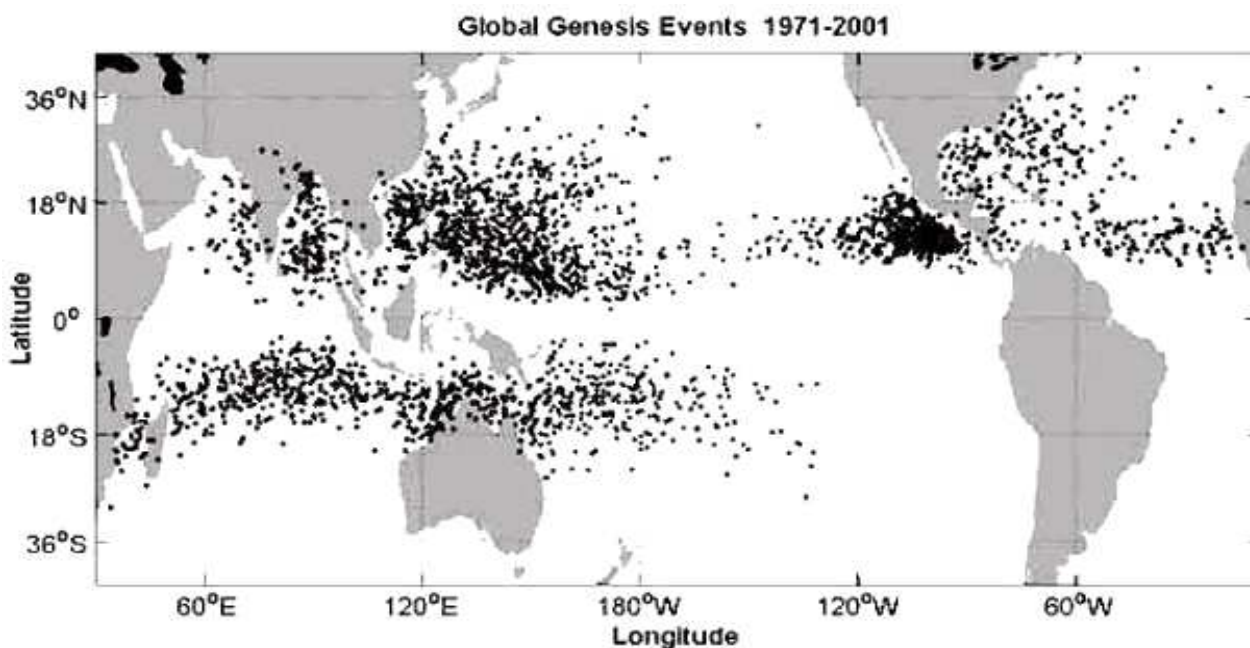


Рис. 2. Места рождения тропических циклонов за период 1971 – 2001 г.

[14].

Таблица 1. Ежегодная частота ТЦ в каждом бассейне (данные для ураганов и тайфунов в круглых скобках). Значения получены для периода 1968-1989 гг. для бассейнов северной полусферы и 1968-1990 гг. для бассейнов южной полусферы [15].

	Atlantic	NE Pacific	W Pacific	N Indian	SW Indian	Australia-SW Indian	Australia-SW Pacific	Totals
Average	9.7 (5.4)	16.5 (8.9)	25.7(16.0)	5.4 (2.5)	10.4(4.4)	6.9 (3.4)	9.0 (4.3)	83.7 (44.9)
Standard Deviation	3.1 (2.2)	4.2 (3.0)	4.1 (3.6)	2.1 (1.7)	2.6 (2.6)	2.4 (2.1)	3.1 (2.3)	21.6 (17.5)
% Global Total	11.6 (12.0)	19.8 (19.7)	30.7 (35.7)	6.5 (5.6)	12.4(9.9)	8.2 (7.6)	10.8 (9.5)	>100

В свете изложенного особое значение приобретают исследования эволюции метеорологических вихрей и, в частности, тропических циклонов (ТЦ). Перспектива таких исследований состоит в изучения возможности управления скоростью вращения ТЦ в зонах смены механизмов ускорения вращения, т.е. в зонах структурно-фазовых переходов. Одновременно это предполагает возможность управления траекторией движения ТЦ и, следовательно, снижение риска его воздействия.

Сценарий эволюции ТЦ

Современное интегральное представление о принципах возникновения и развития тропических циклонов с учетом нашей точки зрения следующее. Изначально ситуация закладывается следующим образом: **нагревание воздуха** на значительной территории (в зоне экватора и теплых течений) сопровождается его оттоком вверх, особенно в локальных зонах пониженных давлений. За счет оттока воздуха понижение давления прогрессирует. В зону развивающегося понижения давления начинает стекаться воздух с обширной окружающей области. Одновременно под действием даже слабого эффекта Кориолиса у экватора и главным образом дипольного магнитного поля Земли схождение воздушных масс к центру понижения давления приобретает слабое вращательное движение (против часовой стрелки в северном полушарии и по часовой стрелке – в южном). Это **начальная стадия зарождения**, когда еще нет циклона как такового, и не ясно состоится ли он, но есть предпосылки к возникновению системы в виде слабых объединяющих связей мелких капелек воды в составе слабо развитых облаков.

Образующиеся мельчайшие капли воды приобретают слабые статические электрические заряды, распределенные по их поверхности. Здесь также большую роль могут играть силы электромагнитной природы. Вспомним, например, известное явление диэлектрофореза, когда на частицу действует сила $F=0,5(\epsilon_1 - \epsilon_2) \cdot \partial E / \partial r$, перемещающая частицу с диэлектрической проницаемостью ϵ_1 в среде с проницаемостью ϵ_2 в область более высокого значения напряженности электрического поля. Так как диэлектрическая проницаемость водяного пара, и

тем более воды и льда, существенно отличается от диэлектрической проницаемости воздуха, то упомянутая сила должна играть заметную роль в процессе увеличения локальной влажности и аккумуляции электростатически заряженных капелек в зоне повышенной концентрации пара и удержании их в единой структуре пока разрозненных облаков. Еще нет высоких скоростей вращения и, следовательно, нет сильного сгущивания облаков, а только кластеры облаков разного вертикального простираия.

Это фаза долгоживущих, слабо активных, и почти статических образований. Вокруг каждого облака возникает конвективная ячейка с теплым воздухом, воздымающимся вверх внутри облака, а охлажденный воздух, опускается вниз по периферии облака. Величины вертикальных скоростей восхождения должны быть низкие (меньше 10 м/с). Большие скорости, разрушают начинающийся тропический циклон, удаляя поднимающийся сырой воздух слишком быстро и предотвращая развитие тропического циклона (рис.3.А).

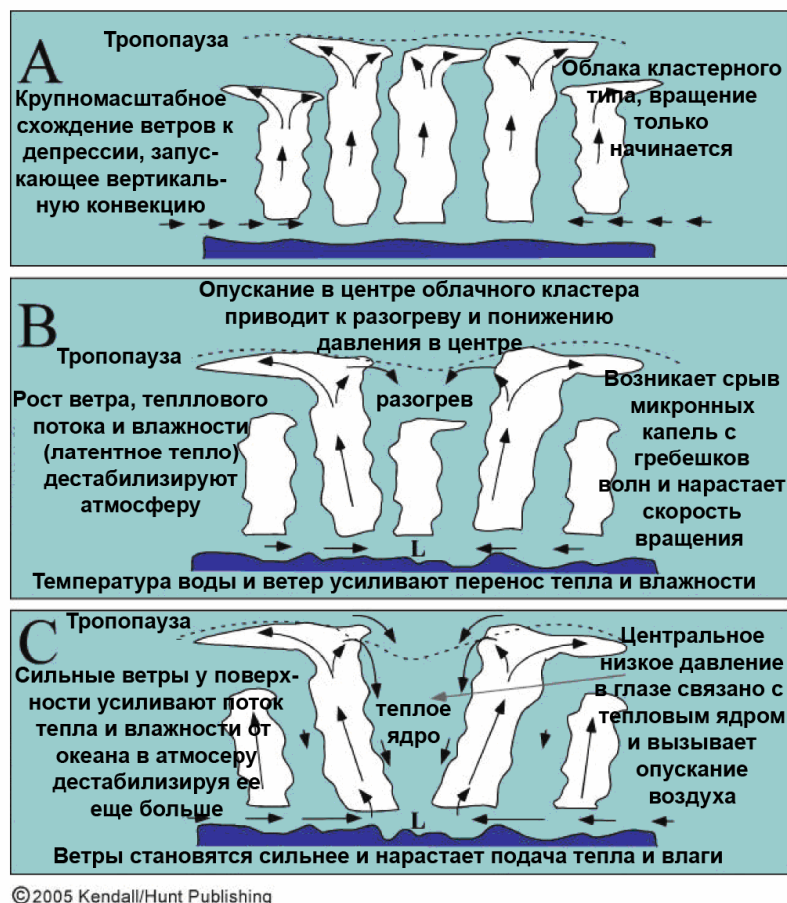


Рис.3. Схема эволюции тропического циклона (в разрезе) [16].

Отток воздуха вверх одновременно означает поток электростатически заряженных капелек и он должен сопровождаться закручиванием воздушных масс. Постепенно возникают две составляющие движения: вертикальное восхождение и вихревое движение по горизонтали,

переходящие в слабое спирально-вихревое движение.

Модельные оценки показывают, что без водяной «смазки» тропические циклоны не смогли бы раскрутиться больше, чем до 40 км/ч, из-за влияния турбулентности, существенно (примерно на три порядка) усиливающей трение воздушных масс о поверхность воды [7]. Водяная дисперсионная «смазка» значительно снижает турбулентность, что позволяет ветру разогнаться до скоростей 300 км/с. На ранних стадиях развития циклонов обойтись без «дисперсионной смазки» вообще не получается. Она возникает при усилении ветра, когда с гребешков волн срывается достаточное количество пены и капель воды диаметром свыше 20 микрон, уменьшающих трение и позволяющих ветру набирать скорость, благодаря чему волнение усиливается еще больше, и процесс в прямом смысле слова раскручивается по нарастающей. Это **первая стадия эволюции циклона**.

Поднимающийся по спирали теплый воздух (пар) охлаждается. **При переходе через точку росы (11°C) воздух приобретает капельно-жидкое состояние (на высоте до 300 – 500 м) и выделяет скрытую теплоту конденсации (до 540 кал/г).** Воздух здесь разуплотняется и ускоряет свое движение вверх, что автоматически приводит к частичной **турбулизации** потока и ускорению вращения. Это вторая фаза разгона, дополняющая первую, и, одновременно, - это **начало второй стадии эволюции циклона**, так как произошло включение новых параметров порядка за счет латентного тепла.

Наиболее быстро движется вверх центральная часть и поэтому начавшийся процесс конденсации вызывает резкое локальное понижение давления в центре. Туда устремляются уже более быстрые потоки, всё более ускоряя процесс вращения и конденсации, вовлекая всё новые и новые воздушные массы с переохлаждённым паром. Усиливающаяся тяга вверх порождает тягу к ускорению вращения. Это третья «фаза разгона», а именно, – на высоте около 2 км начинается **высвобождение следующей порции латентного тепла за счет уплотнения охлаждающихся капель (около 100 кал/г), а далее за счет их замерзания (80 кал/г).** Это **третья стадия эволюции циклона** (рис.3.В).

Таким образом, суммарное латентное тепло при самых грубых оценках составит 720 кал/г. Непрерывный приток новых масс теплого воздуха, затягиваемых с теплой поверхности океана, создает процесс стягивания облачных систем к осевой зоне вращения.

Чтобы обеспечить раскрутку тропического циклона требуется не только много энергии, но и быстрая доставка энергии. Такие условия реальны лишь в зоне тропиков или вблизи теплых течений. Здесь температуры вод выше 26°C и поэтому площадь сбора латентного тепла может быть меньше, а, следовательно, и время доставки его к центру вихря значительно меньше. Дополнительным доказательством является следующий факт. По данным Йотика Вирмани из университета Южной Флориды необычно высокая температура поверхности океана привела к

развитию очень активных ураганов в 1958, 1969, 1995 и 1998 годах. В 2005 году ситуация достигла экстраординарного масштаба.

Облачные образования могут подниматься вверх до 8 – 12 км. Создаются условия для электрического структурирования облаков. За счет конвекции воздух пересекает интервал 4 – 8 км, где возникает “зона инверсии” возникающих электрических зарядов от соударений электростатически заряженных снежно-льדיстых частиц (~ 6 км). Вращение структурированных облаков вокруг оси циклона создает поток электромагнитной индукции, направленный вверх по оси вращения, что ускоряет движение вверх воздушных масс. Это **четвертый механизм разгона** не учитываемый в современных моделях.

С момента возникновения спирального вихря у центра циклона все более энергичным поставщиком энергии становится вертикальный турбулентный энергообмен. В присутствии магнитного поля энергия хаотического теплового движения молекул перестраивается в упорядоченное **квазикогерентное** вихревое движения. **Это пятый механизм разгона, фактически не учитываемый ни в каких теориях и одновременно пятая стадия эволюции, так как включен новый механизм ускорения.**

В зоне инверсии на высоте около 6 км (4 – 8 км) образуется слой отрицательных зарядов, а вверху и внизу облачных образований возникают положительно заряженные слои. Частота столкновений частиц и молекул и степень их ионизации выше вблизи центра вращения. Вблизи границы «глаза» возникает высокая концентрация ионов и электронов в смеси с молекулами, некий аналог Таундсеновой плазмы. Нарушение нейтральности создает все предпосылки для разделения ионов и электронов. Это уже гарантия того, что самый внутренний однородно заряженный слой не имеет возможности сомкнуться, что совместно с центробежными силами **создает структуру глаза тропического циклона**, расширяющуюся вверх из-за разуплотнения. Она является одной из причин возникновения электромагнитного поля циклона (рис.3.С). Вполне вероятно, что **это явление, наряду с газодинамическими свойствами, играет важную роль в поддержании целостности структуры** тропических циклона в течение длительного времени. Вращение заряженных слоев вокруг центра циклона создает поток магнитной индукции направленной вверх и это еще больше ускоряет движение воздушных масс вверх, превращая его в спирально-вихревое движение. Это новый, **пятый механизм разгона.**

Такая турбулентность хорошо известна в астрофизике как **генератор крупномасштабных магнитных полей**. Участие электромагнитных сил создает дополнительный механизм разгона, свойственный только ТЦ. Это **шестая стадия эволюции ТЦ, усиливающая структурирование его системы.**

На важную роль электромагнитных полей обращалось внимание давно [9], было накоплено много экспериментальных данных [8,13], делались попытки учесть электромагнитные

взаимодействия и построить предварительные модели, например, EMHD [11]. Однако роль этих взаимодействий в динамике мощных вихревых структур исследована еще недостаточно.

Наблюдения и предположения свидетельствуют в пользу существенной роли электромагнитных процессов в динамике вихрей. Если посмотреть на карты магнитного поля Земли и сопоставить их с картой зарождения и существования ТЦ, то обнаружится удивительное совпадение: ТЦ отсутствуют в тех областях, где вертикальная составляющая $H_z < 10^{-5}$ Тл или существует дополнительное условие отсутствия ТЦ: напряженность нормального геомагнитного поля $H_n < 3,2 - 10^{-5}$ Тл) [1].

Наибольшая тангенциальная скорость ветра в ТЦ наблюдается не вблизи поверхности Земли, а на высоте около 4-8 км. Именно наверху, а не у поверхности, действуют несколько разгонных механизмов, вызывающих генерацию циклонического вращения. При этом *на циклоническое вращение вихря наибольшее влияние оказывает низко лежащая (4-8) км, отрицательно заряженная область грозových туч, вращающаяся вокруг оси ТЦ.*

Известно, что плотность электрического заряда в ТЦ может достигать величин ($10^{-9} - 10^{-4}$) Кл/м³, а электрические поля составляют: вертикальное $E_z \sim (10^4 - 10^6)$ В/м [10, 13], горизонтальное $E_y < 10^4$ В/м [8], причем наибольшие поля наблюдаются в стенке "глаза" ТЦ и в полосах дождя. Соответственно, электрические силы, действующие в каждом кубическом метре объема тайфуна, в среднем будут порядка $F_e = qE \sim (10^{-5} - 10^2)$ Н. Магнитные силы $F_m = qvB$ достигают значений до 10^{-5} Н [1].

И, наконец, появление в структуре ТЦ «тепловых башен» - локальных спирально-турбулентных конвективных образований, в которых восходящие потоки воздуха могут достигать скоростей 80 м/с. Это ТЦ категории 4-5 и, одновременно, - это *заключительная седьмая фаза эволюции.* "Горячие башни" иначе именуется также конвективными взрывами (convective bursts), потому что момент их проявления в процессах усиления мощи урагана теперь считается ключевым [10]. Фактически это стадия резкой дифференциации бассейнов притяжения около аттракторов. Присутствие таких башен представляет серьезную угрозу для авиации и накладывает жесткие ограничения на полеты [3-6].

Энергичная конвекция в "горячих башнях" позволяет высвободить большое количество энергии за короткий промежуток времени, подпитывая тем самым сердцевину урагана, действуя подобно поршню с наддувом, разгоняющему весь этот чудовищный "пылесос" (рис.4).



Рис.4. Вид сверху ТЦ Катрина с тепловыми башнями [10].

Таким образом, процесс становления ТЦ – это иерархический усложняющийся процесс эволюции, при котором каждая новая стадия представляет собой более сложную структуру и более сильные связи в системе. Отметим, что развитие структуры циклона происходит по автоволновому принципу, за счет активности подпитки с поверхности океана и процессов самоорганизации.

Несомненная практическая значимость такого сценария состоит в том, что при моделировании эволюционирующих циклонических систем должна использоваться система уравнений, в которой предусмотрен процесс усложнения системы за счет смены механизмов разгона или параметров порядка. Применительно к ТЦ, это подразумевает *использование системы уравнений газодинамики, термодинамики и электродинамики в соответствии с механизмами усиления энергетики ТЦ и соответствующими аргументами запаздывания.*

Выводы

Итак, на основе проведенных логических рассуждений можно сделать следующие выводы:

1. Эволюция сложной вихревой системы может быть представлена в виде последовательности структурно-фазовых переходов в зависимости от времени, что соответствует принципу эволюции по параметру сложность.

2. В зонах бифуркационных или структурно-фазовых переходов система находится в крайне неравновесном состоянии. Переход на новую равновесную устойчивую траекторию развития осуществляется скачкообразно за счет смены механизмов развития или параметров порядка.

3) При моделировании процессов эволюции сложных систем нужно использовать системы уравнений с применением аргументов запаздывания, учитывающие характер смены механизмов фазовых переходов или параметров порядка и последовательность их включения.

4) Наиболее приемлемой для управления ТЦ является зона между 4- 5-м механизмами разгона вращения ТЦ, где под действием электромагнитной индукции возникает квазикогерентное турбулентно-вихревое движение воздушных масс вверх с нарастающей скоростью вращения. Разрушение этой когерентности электромагнитным путем, может остановить наращивание скорости вращения и изменить траекторию поступательного движения ТЦ.

Список литературы

1. Артеха С.Н., Гольбрайх Е., Ерохин Н.С. О роли электромагнитных взаимодействий в динамике мощных атмосферных вихрей//Вопросы атомной науки и техники, 2003, № 4-С.94-99.
2. Головкин В.А. Математическое моделирование активности ураганов по данным радиационных наблюдений из космоса//Исследования Земли из космоса. -2006, №5 - С.12-37.
3. Иванов О.П., Высикайло Ф.И. Кумулятивно-диссипативные процессы и структуры (новое в синергетике). -М.: Сб. Синерг. геосистем. -2007, с.36-42.
4. Иванов О.П. Специфика циклонических обстановок для авиаполетов //Науч. Вестник МГТУ ГА. Сер. Эксплуат. воздушн. транспорта. -2008, №134 - С.63-67.
5. Иванов О.П., Иванова В.С. Анализ эволюции сложных систем методом структурно-фазовых переходов //Естеств. и техн. науки. Сер. науки о Земле. Геоинформатика. -2009. №2 (40) - С.229-232.
6. Иванов О.П., Седельников В.В. О принципах познания сложного мира. «Дельфис». Мат 9-й междуна. междисц. н/к. «Этика и наука будущего. Парадигма знаний и образование». 2010, с.11-18.
7. Barenblatt G.I., Chorin A.J., Prostokishin V.M. A note concerning the Lighthill «sandwich model» of tropical cyclones (текст полностью)// PNAS. Published online on July 27, 2005. 10.1073/pnas.0505209102.
8. Black R.A., Hallet J. Electrification of the Hurricane. //J. Atmos. Sci. 1999, v. 56, p. 2004-2028.
9. Hare R.. On the Causes of the Tornado or Water spout//Am. J. Sci. Arts. 1837, v.2, p.153-161.
10. Kelly Young, 2005, <http://space.newscientist.com/article/dn7929>
11. Krasilnikov E.Y. Electromagnetohydrodynamic Nature of Tropical Cyclones, Hurricanes, and

Tornadoes. // J. Geophys. Res. 1997, v. 102, p. 13571-13580.

12. Marshall T.C., Rust W.D.. Electrical Structure and Up-draft Speeds in Thunderstorms over the Southern Great Plains.// J. Geophys. Res. 1995, v. 100, p. 1001-1015.

13. Vonnegut B. Electrical Theory of Tornadoes // J. Geophys. Res. 1960, v. 65, p. 203-212.

14. http://ocw.mit.edu/NR/rdonlyres/Earth--Atmospheric--and-Planetary-Sciences/12-811Spring-2005/797348AE-06D0-40DB-888E-4069B5528B73/0/ch7_1.pdf

15. <http://www.bbsr.edu/rpi/public/pubs/pre2000/tcdoc/tab4.html>

16. <http://www.aos.wisc.edu/~aos100eee/Lecture%2011.pdf>

17. <http://www.bfm.ru/news/236555?doctype=news>.