

# Аналогии траекторий тропических циклонов и вихревых лазерных солитонов при взаимодействии с неоднородностями

Н.Н. Розанов<sup>1</sup>, Н.М. Астафьева<sup>2</sup>, С.В. Федоров<sup>1</sup>, А.Н. Шацев<sup>1</sup>

<sup>1</sup>ФГУП "НПК "Государственный оптический институт им. С.И. Вавилова"

199034 Санкт-Петербург, Биржевая линия 12

E-mail: nrosanov@yahoo.com;

<sup>2</sup>Институт космических исследований РАН, (ИКИ РАН)

117997 Москва, Профсоюзная 84/32

E-mail: ast@iki.rssi.ru

Диссипативные вихревые солитоны и тропические циклоны — это вихревые структуры полей, сохраняющие локализацию при своем распространении и зависящие в своем движении от неоднородностей системы, например, неоднородностей полей давления, температуры, влажности и других характеристик атмосферы для циклонов. Проведена аналогия между интенсивными природными атмосферными вихрями (тропическими циклонами, ТЦ) и диссипативными вихревыми лазерными солитонами при их взаимодействии с неоднородностями поля или с другим вихрем. Представлены результаты численного моделирования взаимодействия вихревого лазерного солитона с различными неоднородностями поля и другим солитоном и сравнение с движением некоторых ТЦ по данным микроволнового спутникового мониторинга (ежесуточным глобальным радиотепловым полям Земли из электронной коллекции GLOBAL-Field, <http://www.iki.rssi.ru>). Анализ серий глобальных радиотепловых полей и результаты проведенного численного моделирования показали, что неоднородности поля, по которому вихрь передвигается, даже не очень значительные, могут заметно изменить траекторию вихря — как вихревого лазерного солитона, так и ТЦ. Взаимодействие с другим вихрем может привести к отталкиванию и даже изменению структуры вихрей. Известно, как важен прогноз движения мощных ТЦ, приводящих к огромным разрушениям и жертвам, и, в то же время, известно, как часто официальный прогноз не справляется со своими задачами из-за того, что ТЦ может в короткое время резко изменить направление своего движения. Представленная аналогия имеет качественный характер, однако может быть привлечена для объяснения некоторых свойств ТЦ — например, часто наблюдаемых и непредсказуемых на первый взгляд резких изменений траекторий циклонов или появление циклонов с "нестандартными" траекториями. Наше исследование показывает необходимость слежения за неоднородностями поля, по которому ТЦ продвигается и в котором эволюционирует, т.е. необходимость спутникового мониторинга изменений достаточно удаленного атмосферного окружения ТЦ и учет этих данных в прогностических моделях для адекватного прогноза траекторий ТЦ. Работа частично поддержана грантом РНП 2.1.1/4694.

**Ключевые слова:** циркуляция атмосферы, тропические циклоны, вихревые лазерные солитоны, взаимодействие с неоднородностями поля, спутниковый мониторинг.

## Введение

Каждый год тропические циклоны – мощные атмосферные вихри, скорость ветра в которых достигает 120 км/ч и более, проносятся над тропическими морями, опустошая побережье и приводя к гибели сотен людей. Энергетика тропического циклона сопоставима с энергетикой других элементов общей циркуляции (струйных течений, стратосферных потеплений и др.) [1]. Кинетическая энергия среднего по размерам циклона сравнима с энергией взрыва нескольких мощных водородных бомб. Рекордные ураганы по причиненному ущербу – это Katrina 2005 г. и Andrey 1992 г. (89,6 и 40,7 млрд. долларов); а по числу погибших – San-Kalixsto или Великий ураган 1780 г. и Mitch 1998 г. (по 22000 погибших). Тропические циклоны несут в себе колоссальные запасы энергии и обладают большой разрушительной силой, последствия которой усугубляются плохим прогнозом.

Наиболее часто (87%) тропические циклоны возникают между 5 и 20° широты в каждом полушарии; севернее 35°с.ш. и южнее 22°ю.ш. возникновение циклонов не отмечалось. Ближе 5° широты к экватору тропические циклоны наблюдаются редко, так как отклоняющая сила вращения Земли здесь слишком мала, чтобы могла развиться интенсивная циклоническая циркуляция. Тропические циклоны могут возникать в любое время года (над теплым морем с поверхностной температурой ~25–27°С и близкой температурой воздуха) в тропиках всех океанов, за исключением юго-востока Тихого океана и южной Атлантики, т.е. в шести основных регионах зарождения тропических циклонов – шести зонах активного тропического циклогенеза.

«Стандартная» траектория тропического циклона над океаном выглядит так: сначала он перемещается с востока на запад в направлении общего восточного переноса в тропической зоне, отклоняясь из-за вращения Земли к высоким широтам; достигнув близких к тропику широт, циклон огибает с запада квазистационарный атмосферный центр действия – крупномасштабный антициклонический вихрь, располагающийся над каждым океаном; при этом циклон выходит из тропиков, попадает в западный зональный поток средних широт и меняет там направление движения на северо-восточное. «Стандартная» траектория напоминает параболу с вершиной, обращенной к западу (с зеркальным отражением относительно экватора для Южного и Северного полушарий). Положение и интенсивность атлантических центров действия, Исландской депрессии и Азорского антициклона, действительно во многом определяет характер траекторий тропических циклонов над Атлантикой [2, 3]. Однако часто траектории этих мощных атмосферных вихрей заметно отклоняются от «стандартных» и во многом, по нашему мнению, это связано с изменениями крупномасштабного атмосферного окружения циклона. Наблюдения показывают, что тропические циклоны могут быстро и кардинально менять направление движения: описывать петли, двигаться по пройденной траектории. Такое поведение циклона плохо описывается существующими теоретическими моделями, а официальный прогноз дает большие ошибки – между реальной и прогностическими траекториями иногда мало общего. Отсутствие адекватного прогноза и огромная энергия тропических циклонов приводят к катастрофам при их выходе на побережье.

Что можно сделать, чтобы ураган потерял разрушительную силу или изменил траекторию? Результаты численного моделирования реакции ураганов на изменения их первоначального состояния показали, что мощные тропические циклоны чутко реагируют на любые возмущения [4, <http://ams.allenpress.com>]. Это привело к мысли о возможности управления ими. Первые попытки "управления" сводились к лишению урагана источника энергии – к конденсации водяного пара и образованию дождевых облаков. В начале 1960-

х гг. в ходе экспериментов научно-консультативной комиссии Project Stormfury (США) с самолета сбрасывали йодистое серебро в первой полосе дождей, окружающих центр урагана – глаз бури. Предполагалось, что распыляемые частицы станут центрами кристаллизации переохлажденного водяного пара, облака будут формироваться быстрее, поглощая тепло и влагу, расширится центральная спокойная зона и это приведет к ослаблению урагана. Однако содержание переохлажденного водяного пара оказалось незначительно и создание искусственных облаков не считается теперь эффективным. Для противостояния ураганам предлагали много способов (даже экзотических) – отгонять их от берега гигантскими вентиляторами или разрывать водородной бомбой; охлаждать поверхность океана криогенными материалами; распылять над водой сажу для поглощения солнечной радиации; покрывать поверхность океана тонкой биологически разлагающейся масляной пленкой для уменьшения испарения; облучать эпицентр урагана микроволнами из космоса или рассеивать некие реагенты в ионосфере.

Возможно, более действенными могли бы оказаться усилия по изменению параметров конкретной еще слабой атмосферной депрессии, из которой в дальнейшем сформируется ураган. Похоже, однако, что пока не будет обнаружен спусковой механизм, внезапно закручивающий ветер в бешеную спираль, попытки предотвратить усиление вихря не приведут к успеху. Кроме того, прежде чем приступать к управлению ураганами, необходимо научиться точно прогнозировать их маршрут и определять физические параметры, влияющие на поведение, траектории и энергетику атмосферных вихрей.

Неэмпирическая математическая модель тайфуна и его движения чрезвычайно сложна и недостаточно разработана. В то же время для диссипативных систем основные физические механизмы значительно более просты, особенно в оптических системах. В настоящей работе проводится аналогия между интенсивными природными атмосферными вихрями (тропическими циклонами) и диссипативными солитонами (вихревыми лазерными солитонами) при их столкновении с неоднородностями поля или с другим вихрем. Зависимость траекторий от неоднородностей системы – неоднородностей поля давления, температуры, влажности и других характеристик атмосферы для циклонов – важное свойство как диссипативных солитонов, так и тропических циклонов.

Предлагаемая аналогия имеет качественный характер, но представляет интерес для объяснения некоторых свойств тайфунов. Известно, как важен прогноз движения и энергетики этих мощных вихрей, приводящих при их выходе на сушу к огромным разрушениям и жертвам, и, в то же время, известно, как часто официальный прогноз не справляется со своими задачами из-за того, что тропический циклон может в короткое время резко изменить направление своего движения. Аналогия диссипативных солитонов (точнее, вих-

ревых лазерных солитонов) с тайфунами поможет понять некоторые физические причины, приводящие к такого рода изменениям их траекторий – наблюдаемым и непредсказуемым на первый взгляд резким изменениям траекторий циклонов и частое появление циклонов с "нестандартными" траекториями.

Представлены результаты численного моделирования взаимодействия вихревого лазерного солитона с различными неоднородностями и сравнение их с движением некоторых тропических циклонов по данным микроволнового спутникового мониторинга (еже-суточным глобальным радиотепловым полям Земли из электронной коллекции GLOBAL-Field, <http://www.iki.rssi.ru>, [5]).

### **Движение диссипативных солитонов при их столкновении с неоднородностями**

Диссипативные солитоны, или автосолитоны, представляют собой структуры поля, локализованные за счет баланса входящих потоков энергии и/или вещества, входящих в область локализации и выходящих или диссипируемых в ней [6]. Такие солитоны известны в различных областях науки – физики, химии, биологии. В настоящее время, по-видимому, наиболее полно разработаны представления о свойствах оптических диссипативных солитонов [7].

Если сопоставить свойства диссипативных, в особенности вихревых солитонов и тропических циклонов (тайфунов), то между ними оказывается много общего [8]. Действительно, это вихревые структуры полей, сохраняющие локализацию при своем распространении. Их поддержание связано с балансом приходящих в область локализации и уходящих из нее энергии и вещества, причем этот баланс реализуется в сравнительно узком диапазоне параметров системы. Важным свойством диссипативных солитонов и тропических циклонов является зависимость их движения от неоднородностей системы, в которой они эволюционируют. Наконец, их возбуждение носит жесткий характер. Это означает, что если на фоне «невозмущенного» состояния поля, отвечающего отсутствию диссипативного солитона или тайфуна, возникает некоторое возмущение, то оно рассасывается, если его энергия ниже порогового значения, а перерастание возмущения в солитон или тайфун возможно лишь при превышении некоторого порога.

Ниже представлены краткое описание модели [7, 9, 10] и результаты численного моделирования взаимодействия вихревого лазерного солитона с различными неоднородностями.

*Модель лазерного солитона.* Рассматриваемая схема отвечает широкоапертурному (с большими поперечными по отношению к оси резонатора размерами) лазеру с насы-

щающимся, то есть убывающим с ростом интенсивности излучения поглощением; поперечные координаты обозначаются как  $x$  и  $y$ . Внутри составленного высокоотражающими зеркалами резонатора лазера помещена среда с частицами двух типов. Первый тип описывает резонансное по частоте усиление излучения за счет некогерентной накачки (ввода энергии) извне, второй тип вызывает резонансное поглощение (потери) излучения. Кроме того, имеются и нерезонансные потери излучения как в среде, так и за счет вывода излучения через зеркала резонатора. Резонансные усиление и поглощение нелинейны по излучению – они убывают до нуля с ростом интенсивности излучения. Параметры схемы выбраны так, что при малой интенсивности излучения суммарные потери превышают усиление, что обеспечивает устойчивость безгенерационного режима (с нулевой интенсивностью излучения). Однако при повышении интенсивности быстрее убывает поглощение, ввиду чего в некотором диапазоне интенсивностей усиление превышает общие потери. Поэтому при локальном и кратковременном воздействии на лазер ограниченным по поперечным координатам импульсом достаточно интенсивного излучения можно вызвать установление локальной генерации в выходной апертуре лазера на темном фоне безгенерационного режима, что и отвечает лазерному солитону.

В наиболее простой модели лазера класса А (безынерционный отклик среды на воздействие излучением), при фиксированной поляризации излучения и в приближении среднего поля (усреднение огибающей по продольному направлению) основное уравнение  $\frac{\partial E}{\partial t} = (i + d)\Delta_{\perp}E + f(|E|^2, \mathbf{r}_{\perp})E$  описывает пространственно-временную динамику поля излучения. Здесь комплексная огибающая  $E$  характеризует излучение так, что его интенсивность  $I = |E|^2$ , а фаза  $\Phi = \arg E$ ;  $t$  – время;  $\mathbf{r}_{\perp} = (x, y)$  – двумерный вектор поперечных координат (по продольной координате  $z$  проведено усреднение);  $\Delta_{\perp} = \partial^2 / \partial x^2 + \partial^2 / \partial y^2$  – поперечный оператор Лапласа, описывающий дифракцию излучения;  $d_{\perp}$  – коэффициент эффективной диффузии ( $0 < d_{\perp} \ll 1$ ), отражающий возрастание потерь в лазере при отклонении луча от осевого направления. Вещественная часть нелинейной функции  $f$  описывает баланс усиления и потерь, а мнимая (в пренебрежении частотными расстройками) – поперечную неоднородность оптической длины резонатора  $f(|E|^2, \mathbf{r}_{\perp}) = -1 + \frac{g_0(\mathbf{r}_{\perp})}{1 + |E|^2} - \frac{a_0(\mathbf{r}_{\perp})}{1 + b|E|^2} - i\mathbf{p}\mathbf{r}_{\perp}$ . Первый член в правой части – нормированные нерезонансные потери;  $g_0$  и  $a_0$  – линейные коэффициенты усиления и поглощения;  $b$  – отношение интенсивностей насыщения для усиления и поглощения. Соотношения с размерными величинами следующие: время измеряется в единицах времени жизни фотона в ре-

зонаторе  $\tau_f = (L/c)(1-R)$ , где  $L$  – длина резонатора,  $c$  – скорость света в вакууме,  $R$  – произведение коэффициентов отражения зеркал резонатора; поперечные координаты – в ширинах зоны Френеля  $\sqrt{kL(1-R)}$ , где  $k$  – волновое число излучения; а интенсивность излучения – в единицах интенсивности насыщения усиления. Необходимым условием устойчивости локализованных структур служит требование устойчивости безгенерационного режима,  $f(0,0) < 0$ .

В отсутствие неоднородности в схеме рассматриваемые здесь солитоны с осесимметричным распределением интенсивности неподвижны (при положительном коэффициенте эффективной диффузии  $d$ ). При поперечно однородных усилении и поглощении ( $\partial g_0 / \partial \mathbf{r}_\perp = 0, \partial a_0 / \partial \mathbf{r}_\perp = 0$ ) под действием градиента неоднородности длины резонатора ( $\mathbf{p} \neq 0$ ) устанавливается прямолинейное и равномерное движение солитона, причем направление движения вихревого солитона отличается от направления градиента неоднородности. После выключения градиента длины резонатора солитон постепенно замедляется за характерное (безразмерное) время порядка 1000, обладая характерной (безразмерной) длиной пробега порядка 100. В дальнейшем для определенности считаем, что параметры схемы плавно (в масштабе ширины солитона) меняются только в направлении  $x$ , а линейный коэффициент резонансного поглощения однороден,  $a_0 = const$ , так что  $p_x = p, p_y = 0, g_0 = g_0(x)$ . Неоднородность  $g_0$  отвечает локальному повышению или понижению коэффициента усиления в пределах диапазона существования лазерного солитона.

*Взаимодействия движущегося вихревого лазерного солитона с полосой повышенного или пониженного усиления.* Вначале вихревой солитон, исходно неподвижный, ускоряется градиентами фазы и в результате приобретает некоторую скорость, направленную под малым углом  $\alpha \approx 6^\circ$  к оси  $y$ . На рис. 1 траектория центра солитона показана сплошной красной линией; пунктиром изображена зависимость коэффициента усиления  $g_0$  от координаты  $x$ , от  $y$  он в данном случае не зависит. Солитон входит в зону повышенного усиления (см. рис. 1, а) и остается в ней, продвигаясь, после некоторых колебаний, вблизи линии максимального усиления параллельно оси  $y$ , как по волноводу. Такое распространение для него энергетически выгодно. Отметим, что в течение всего процесса в этом и в двух следующих случаях на солитон действовал постоянный ускоряющий фазовый градиент, который при отсутствии модуляции коэффициента усиления приводил бы к установлению постоянной скорости вихревого солитона, не параллельной оси  $y$ .

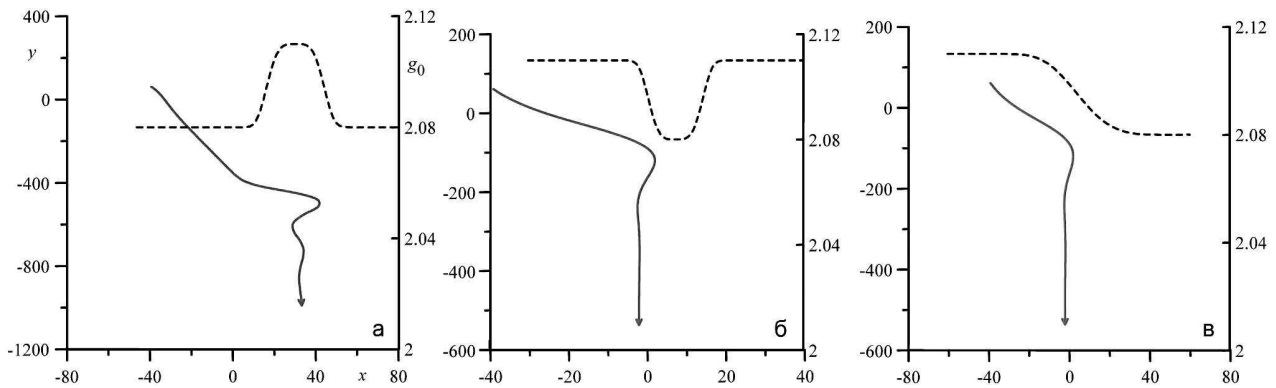


Рис. 1. Траектория центра вихревого солитона (сплошная линия), входящего в полосу повышенного (а) или пониженного (б, в) усиления (пунктир)

На рис. 1, б и в показаны случаи вполне аналогичные предыдущему, однако вихревой солитон взаимодействует уже с зоной не повышенного, а пониженного усиления, налетая на нее под углом  $\alpha \approx 18^\circ$ . Нетрудно видеть, что на рис. 1, б после взаимодействия с полосой пониженного усиления солитон распространяется уже не внутри полосы, как в предыдущем случае, а на некотором расстоянии до нее. Входить в зону пониженного усиления для солитона энергетически невыгодно. Аналогичный расчет, но при гораздо более широкой полосе пониженного усиления (см. рис. 1, в), дает весьма близкий результат. Это объясняется тем, что солитон взаимодействует практически только с передним фронтом широкой неоднородности.

*Столкновение движущегося вихревого солитона с изначально неподвижным солитоном меньшей мощности.* Выполнена серия расчетов по взаимодействию движущегося вихревого лазерного солитона с неподвижным невихревым, мощность которого в 7,5 раз меньше, чем у набегающего. Ввиду перекрывания профилей интенсивности солитоны взаимодействуют и движутся даже в отсутствие неоднородностей поля. Вихревой солитон ускоряется градиентом длины резонатора, затем градиент устраняется и во время взаимодействия с неподвижным солитоном вихревой солитон движется по инерции. Движение невихревого солитона полностью вызвано его взаимодействием с вихревым. При больших значениях прицельного параметра  $\beta > 25$  взаимодействие двух солитонов пренебрежимо мало, а при меньших  $\beta$  маломощный невихревой солитон существенно влияет на движение вихревого.

При этом реализуются различные сценарии, один из которых иллюстрируется рис. 2, – вихревой солитон сталкивается с неподвижным невихревым (прицельный параметр  $\beta = 23,7$ ). На рисунке показаны поперечные профили интенсивности при столкновении двух солитонов в различные моменты времени. Двигающийся первоначально параллельно оси  $x$  мощный вихревой солитон после прохождения мимо маломощного невихревого существенно меняет направление скорости; стрелки на рис. 2 показывают направле-

ние его движения. Сравнительно низкоэнергетическое воздействие приводит к значительному повороту траектории вихревого солитона. Этим ситуация резко отличается от столкновений в механической системе, поскольку в движении диссипативного солитона одновременно проявляются свойства и механической частицы, и волны горения.

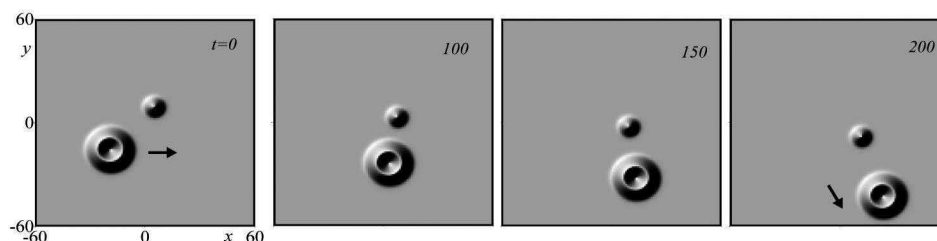


Рис. 2. Сценарий столкновения движущегося вихревого солитона с фундаментальным невихревым меньшей интенсивности

Здесь представлен «благоприятный» для выживания солитона сценарии, когда на всей его траектории параметры системы находятся в диапазоне существования устойчивого солитона. В противном случае, при более значительном изменении параметров, вихревой солитон может прекратить свое существование, например, развалиться на невихревые фрагменты.

В данном разделе фундаментальный солитон моделирует не тайфун, а некоторую неоднородность параметров океана и атмосферы или искусственное препятствие, обладающее на порядок меньшей энергией по сравнению с вихревым солитоном, сопоставляемым с тайфуном.

*Столкновение движущегося вихревого солитона с изначально неподвижным солитоном равной мощности.* Выполнена серия расчетов по взаимодействию движущегося вихревого лазерного солитона с исходно неподвижным, но также вихревым солитоном той же мощности. Мы ограничиваемся ситуацией, когда оба исходных солитона обладают одним и тем же топологическим зарядом (единичным, вращение в одну и ту же сторону) и симметричным распределением интенсивности (вдали друг от друга). Набегающий солитон ускоряется (вдали от первого) градиентом длины резонатора и движется по инерции, слегка замедляясь вследствие трения. Важно, с какой скоростью «снаряд» налетает на «мишень», так как слабое взаимодействие может быть не только при малой скорости, но и при слишком большой (время взаимодействия мало).

В широком диапазоне параметров реализуется несколько качественно различающихся сценариев столкновения солитонов. На рис. 3 представлены два из них. Показанный в верхней части рисунка процесс взаимодействия сопровождается сложной динамикой – в результате столкновения оба солитона преобразуются в двугорбые и отталкиваются. В нижней части показан сценарий столкновения солитонов с меньшей относительной скоро-



стью – в результате еще более сложной эволюции образуется сильно связанная пара одинаково заряженных солитонов – «двуглазый» вихрь (с двумя центрами вращения). Сформировавшаяся структура вращается вокруг общей оси с постоянной угловой скоростью.

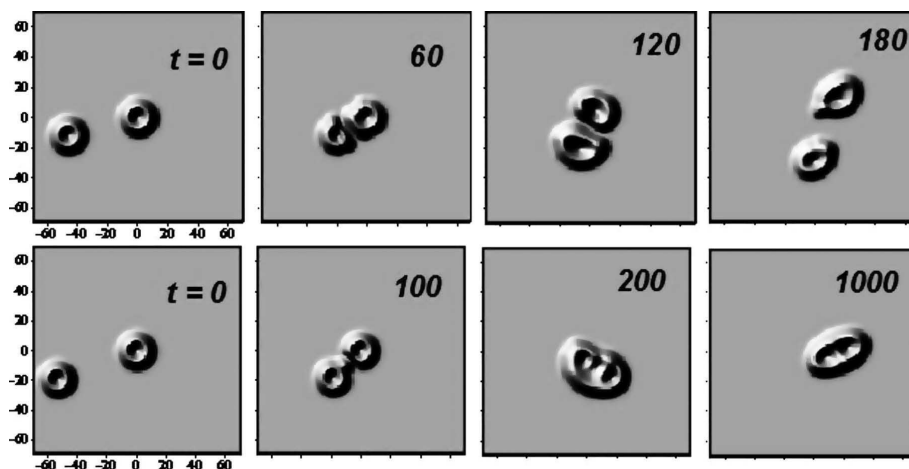


Рис. 3. Сценарии столкновения вихревых солитонов с образованием отталкивающейся пары двугорбых вихрей (вверху) или сильно связанного «двуглазого» вихря (внизу)

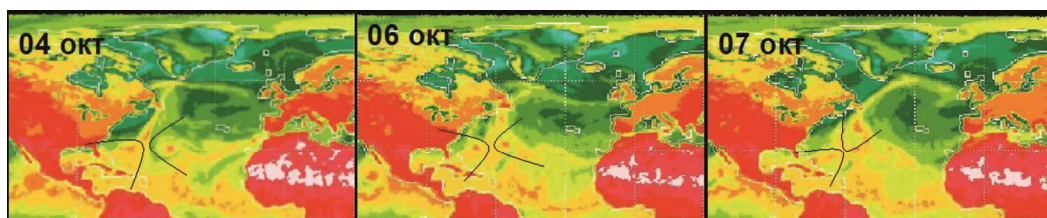
### Обсуждение полученных результатов и заключение

Из наблюдений известно, что траектории практически всех циклонов на юго-западе Тихого океана близки к "стандартным" параболическим, в то время как траектории большинства атлантических циклонов заметно от "стандартных" отличаются – часто они имеют преимущественное направление юг–север, или восток–запад, антициклонические петли довольно большой площади и пр.; кроме того, в разные годы центральная часть Атлантики может быть как свободной от тропических циклонов, так и почти сплошь пересекаться ими. Изучение структуры крупномасштабных атмосферных движений не только вблизи траекторий циклонов, но над всей акваторией Атлантики на основе совместного анализа статистики тропических циклонов и данных микроволнового спутникового мониторинга показало важную роль крупномасштабного достаточно удаленного окружения в резком изменении траекторий тропических циклонов и его заметное влияние на форму траекторий [2, 3]. Для совместного анализа использовались данные микроволнового спутникового мониторинга – серии ежесуточных глобальных радиотепловых полей из электронной коллекции GLOBAL-Field (<http://www.iki.rssi.ru/asp>) [5], содержащих информацию о распределении влаго- и водозапаса тропосферы за период 1995–2007 гг., а также информация Национального ураганного центра (NHC, <http://www.nhc.noaa.gov>). Водяной пар (и радиояркостную температуру) можно рассматривать как репрезентативный трассер атмосферных движений [11, 12], поскольку водяной пар заморожен в движениях воздуха и его распределение в тропосфере контролируется крупно- и мелкомасштабными движениями.

В описанной выше схеме взаимодействия неоднородности с вихревым лазерным солитоном неоднородность обычно отвечает локальному повышению или понижению коэффициента усиления  $g_0(x)$  в пределах диапазона существования солитона. В аналогии с тропическими циклонами такие неоднородности могут быть сопоставлены с изменением характеристик системы океан – атмосфера – с неоднородностями поля температуры поверхности океана, полей температуры и влажности окружающего воздуха, барического поля и др. Неоднородность длины резонатора, разгоняющую лазерные солитоны (которые неподвижны в отсутствие неоднородностей), естественно сопоставить с кориолисовой силой и восточным зональным потоком. Неоднородности повышенного или пониженного усиления, по-видимому, можно сопоставить с неоднородностями перечисленных выше характеристик системы океан – атмосфера, нарушающими близкую к зональной крупномасштабную структуру полей, когда в поле давления или влажности формируется протянутая в направлении север–юг неоднородность (с положительным или отрицательным градиентом). В этом случае аналогия подсказывает, что в зависимости от знака перепада давления или влажности тайфун либо втягивается в область неоднородности, либо отталкивается, двигаясь по ее периферии (см. рис. 1).

Так, например, анализ серий глобальных радиотепловых полей выявил, что в сентябре 2004 г. в средней части Атлантики сформировалась довольно устойчивая неоднородность поля, представляющая собой «язык» влажного воздуха в направлении север–юг (от 30 до 60° с.ш.). По данным ННС траектории двух наблюдавшихся в это время над Атлантикой тропических ураганов прошли как раз по «языку» влажного воздуха, как по волноводу. Сценарий согласуется с показанным на рис. 1, а, где вихревой солитон вошел в полосу усиления и двигался в ней. В то же время, при почти зональном характере радиотеплового поля (а также поле температуры, влажности и давления атмосферы), например, в октябре 1999 г. по данным ННС в средней части Атлантики не было ни одного тропического циклона.

Сценарии столкновения движущегося вихревого солитона с неподвижным фундаментальным (см. рис. 2 и 3), по-видимому, можно сопоставить со входом тропического циклона в область влияния другого циклона или такой барической структуры, как квазистационарный центр действия атмосферы (антициклон или депрессия). На рис. 4 представлен пример такого взаимодействия тропического урагана КАТЕ (25.09–07.10.2003) с циклоном меньшей мощности. В результате циклоны разошлись с существенным изменением траектории циклона меньшей мощности – первоначально северо-восточное направление его движения изменилось на юго-западное. На месте взаимодействия циклонов в поле радиояростной температуры (в поле влажности) сформировалась структура, разделяющая области двух вихревых течений (показана на рис. 4 тонкими параболическими линиями), которая наблюдалась некоторое время после ухода обоих циклонов.



*Рис. 4. Фрагменты глобального радиотеплового поля, демонстрирующие взаимодействие двух тропических циклонов разной мощности над Атлантикой 4–7.10.2003 г.*

Интересно, что существенное изменение траектории вихревого лазерного солитона может достигаться малым изменением параметров системы (повышение или понижение коэффициента усиления на 1–2%) или столкновением с локальным препятствием (невихревым солитоном, мощность которого на порядок меньше вихревого). Это означает возможность управления его траекторией за счет малого изменения параметров среды или сравнительно низкоэнергетического столкновения с малым объектом. Основная причина эффективности подобного воздействия состоит в том, что речь идет не об уничтожении вихревого лазерного солитона, а об изменении направления его движения, которое в отсутствие неоднородностей определяется предысторией.

Представленные в настоящей работе предварительные результаты поиска аналогии между движением тропических циклонов и вихревых лазерных солитонов при их столкновениях с неоднородностями поля, по которому они передвигаются, показали, что некоторое качественное сходство между рассмотренными физическими объектами существует. Основной вывод состоит в том, что неоднородности поля, даже не очень значительные, могут заметно изменить траекторию вихря – и тропического циклона, и вихревого лазерного солитона. Казалось бы, можно попытаться немного изменить траекторию урагана и направить его, например, в места с более холодной поверхностью океана, где он быстро угаснет.

Однако время надежного управления движением тропических циклонов еще не пришло. Действительно, прежде чем приступать к управлению ураганами, необходимо выявить физические механизмы усиления слабых депрессий, научиться точно прогнозировать маршруты тропических циклонов и определять физические параметры, влияющие на поведение, траектории и энергетику этих мощных катастрофических атмосферных вихрей. И можно надеяться, что использование аналогии с лазерными солитонами будет способствовать приближению этого времени. В частности, данная аналогия может подсказать постановку сравнительно простых и недорогостоящих экспериментов, в которых могли бы быть апробированы различные способы влияния на траектории тайфунов.

Исследования аналогии между диссипативными оптическими солитонами и тропическими циклонами были инициированы плодотворными обсуждениями с В.Е. Шерстобитовым, которому авторы выражают искреннюю признательность. Работа частично поддержана грантом РНП 2.1.1/4694.

## Литература

1. *Добрышман Е.М., Макарова М.Е.* Тайфуны как составляющая регионального климата // Метеорология и гидрология, 2004. № 6. С. 49-58.
2. *Астафьева Н.М., Хайруллина Г.Р.* Влияние удаленного атмосферного окружения на траектории тропических циклонов на примере Северной Атлантики // Тезисы докладов Шестой всероссийской открытой ежегодной конференции «Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса» Москва, ИКИ РАН, 10-14 ноября 2008 г. Сборник тезисов конференции. С. 112.
3. *Капранов В.В., Астафьева Н.М.* Влияние удаленного атмосферного окружения на траектории тропических циклонов // Тезисы VI Конференции молодых ученых «Фундаментальные и прикладные космические исследования». 09-10 апреля 2009 г. ИКИ РАН. С. 22.
4. *Ross N. Hoffman.* Controlling the Global Weather // Bulletin of the American Meteorological Society, 2002. V. 83, № 2, p. 241-248.
5. *Астафьева Н.М., Раев М.Д., Шарков Е.А.* Глобальное радиотепловое поле системы океан – атмосфера по данным микроволновых космических комплексов // Исследования Земли из космоса, 2006, № 3. С.64-69.
6. *Кернер Б.С., Осипов В.В.* Автосолитоны. М.: Физматлит, 1991. 198 с.
7. *Розанов Н.Н., Федоров С.В., Шацев А.Н.* Движение диссипативных солитонов в лазере с плавной поперечной неоднородностью // ЖЭТФ. 2008. Т. 133. № 3. С. 532-544.
8. *Розанов Н.Н.* Мир лазерных солитонов // Природа. 2007. Вып. 6. С. 51-60.
9. *Rosanol N.N.* Spatial Hysteresis and Optical Patterns. –Berlin: Springer, 2002. 308 p.
10. *Rosanol N.N., Fedorov S.V., Shatsev A.N.* Dissipative solitons in laser systems with non-local and non-instantaneous nonlinearity // In: Dissipative Solitons. Akhmediev N., Ankiewicz A., Eds. Lecture Notes Phys. V. 751. Berlin: Springer, 2008. P. 93-111.
11. *Астафьева Н.М., Шарков Е.А.* Траектория и эволюция урагана ALBERTO от тропических до средних и средневысоких широт: спутниковая микроволновая радиометрия // Исследования Земли из космоса, 2008. № 6. С. 60-66.
12. *Астафьева Н.М., Хайруллина Г.Р.* Проявление некоторых климатических тенденций в структуре радиотеплового поля над Атлантикой // Исследования Земли из космоса, 2010. № 3. (в печати).

# Analogies of trajectories of tropical cyclones and vortical laser solitons at interaction with heterogeneity

N.N. Rozanov <sup>1</sup>, N.M. Astafieva <sup>2</sup>, S.V. Fedorov <sup>1</sup>, A.N. Shatsev <sup>1</sup>

<sup>1</sup>*Vavilov Institute for Laser Physics  
199034 St-Petersburg, Birzevaya line 12  
E-mail: nrosanov@yahoo.com;*

<sup>2</sup>*Space Research Institute of RAS (IKI RAS)  
117997 Moscow, Profsojuznaja 84/32  
E-mail: ast@iki.rssi.ru*

Dissipative vortical solitons and tropical cyclones are the circular structures of fields keeping localisation at the distribution and depending in the movement from heterogeneity of system, for example, heterogeneities of fields of pressure, temperatures, humidity and other characteristics of atmosphere for cyclones. The analogy between intensive atmospheric vortices (tropical cyclones, TC) and dissipative vortical laser solitons is spent at their interaction with heterogeneity of fields or with other vortices. Results of numerical modelling of interaction vortical laser soliton with various heterogeneities of field and another soliton and comparison with movement of some TC according to microwave satellite monitoring (daily global radio thermal fields of the Earth from electronic collection GLOBAL-Field, <<http://www.iki.rssi.ru>>) are presented. The analysis of series of global radio thermal fields and results of numerical modelling have shown, that the heterogeneity of a field on which the vortices moves, even not so power, can change considerably a trajectory of vortices — and vortical laser soliton, and TC. Interaction with other whirlwind can lead to pushing away and even change of structure of whirlwinds. It is known, how the forecast of movement powerful TC, leading to huge destructions and human victims, is important, and, at the same time, it is known, how often official forecast does not correspond the problems because of TC can sharply change a direction of the movement during short time. The presented analogy has qualitative character, however can be involved for an explanation of some properties TC — for example, often observed and unpredictable at first sight sharp changes of trajectories of cyclones or occurrence of cyclones with "non-standard" trajectories. Our research shows necessity of tracking for heterogeneities of field on which TC moves ahead and in which evolves, i.e. necessity of satellite monitoring of changes enough remote atmospheric environment TC and the account of these data in theoretical models for the adequate forecast of TC trajectories. Work is partially supported by grant PHII 2.1.1/4694.

**Keywords:** atmosphere circulation, tropical cyclones, vortical laser soliton, interaction with heterogeneities of field, satellite monitoring of the Earth.