

Влияние крупномасштабного удаленного атмосферного окружения на траектории тропических циклонов

Н.М. Астафьева, М.Д. Раев

*Институт космических исследований РАН, (ИКИ РАН)
117997 Москва, Профсоюзная 84/32
E-mail: ast@iki.rssi.ru*

Траектории большой части атлантических тропических циклонов (ТЦ) заметно отличаются от "стандартных", представляющих собой параболу с вершиной слева, – они могут иметь преимущественное направление движения юг–север, или восток–запад, антициклонические петли довольно большой площади и пр.; в разные годы центральная часть Атлантики может быть как свободной от ТЦ, так и часто пересекаться ими. На основе совместного анализа статистики ТЦ и данных микроволнового спутникового мониторинга изучены атмосферная ситуация над акваторией северной Атлантики и влияние удаленного атмосферного окружения на изменения траекторий циклонов. Анализ серий ежесуточных глобальных радиотепловых полей Земли из электронной коллекции GLOBAL-Field (<http://www.iki.rssi.ru/asp>) показал, что изменения радиотеплового поля, которые можно ассоциировать с появлением крупномасштабных долговременных областей с пониженным или повышенным влагосодержанием атмосферы, могут приводить к достаточно резким изменениям направления и скорости движения циклонов. Кроме того, мощные ТЦ, выносящие из внутритеческой зоны конвергенции огромные количества влаги в более высокие широты, сами существенно изменяют состояние атмосферы над Атлантикой и оставляют долгоживущий крупномасштабный след, который безусловно влияет на прохождение очередных ТС. Для адекватного описания динамики и энергетики тропического циклона, теоретические и прогностические модели должны учитывать динамические и метеорологические условия в достаточно удаленном крупномасштабном атмосферном окружении циклона – в рассмотренных случаях это была практически вся северная акватория Атлантического океана.

Ключевые слова: общая циркуляция атмосферы, траектории тропических циклонов, удаленное атмосферное окружение, микроволновый спутниковый мониторинг.

Введение

Упрощенная схема общей циркуляции атмосферы (ОЦА) – ее части планетарного масштаба, т.е. ее зональной и меридиональной циркуляций – включает в себя восточный и западный зональные потоки в низких и средних широтах, соответственно, и по три ячейки меридиональной циркуляции в каждом полушарии – это наиболее интенсивная приэкваториальная циркуляция Хедли, среднеширотная ячейка Ферреля и самая слабая Полярная. Такое представление о зональной и меридиональной структуре ОЦА очень упрощено, идеализировано и описанная выше структура значима только статистически при значительном пространственно-временном усреднении [1-4]. В действительности зональная структура ОЦА и основных геофизических полей (давление, температура, влажность и др.) нарушается расположением материков и океанов, т.к. энергетический баланс во многом определяется термическим и динамическим взаимодействием атмосферы с подстилающей поверхностью с заметно различающимися свойствами; ОЦА находится в непрерывном изменении в связи как с сезонными вариациями в распределении источников и стоков тепла на земной поверхности и в атмосфере из-за наклона земной оси, так и

с распространением волн и вихрей разной природы и разных масштабов, формирующихся вследствие различных неустойчивостей во всей толще атмосферы. Результатом являются сложные поля давления с зональными, меридиональными и замкнутыми барическими структурами. Различные элементы ОЦА осуществляют перенос массы, тепла, углового момента и определяют структуру глобальных полей давления, температуры, влажности и других геофизических параметров, что делает ОЦА важным элементом климатической системы [5-7].

При значительном пространственно-временном усреднении оказывается, что зональная в упрощенной модели планетарная структура ОЦА усложняется, однако общие ее черты сохраняются. Между восходящими ветвями ячеек меридиональной циркуляции Хедли, а также Ферреля и Полярными формируются пояса восточных ветров. Между поясами низко- и высокоширотных восточных ветров существует система устойчивых западных ветров – западный перенос в слое от поверхности до 20 км в области нисходящих ветвей ячеек Хедли и Ферреля (самолеты, летящие с запада на восток имеют преимущество, поскольку пользуются струйными течениями западного потока). Из-за географического распределения материков и океанов зональная структура дополняется крупномасштабными квазистационарными барическими образованиями – атмосферными центрами действия (ЦД). Эти обширные области атмосферы с преобладанием высокого или низкого давления над океанами и материками определяют преобладающее направление ветров в регионах своего расположения. Положение и интенсивность ЦД заметно влияет на погоду и климат обширных регионов планеты. Внутри тропической климатической зоны лежит один из перманентных ЦД – экваториальная депрессия – пояс пониженного давления, созданный внутритропической зоной конвергенции (ВЗК). Субтропические зоны повышенного давления по обе стороны от ВЗК распадаются на океанические ЦД. Так, в Северном полушарии действуют субтропические малоподвижные антициклонны: Азорский максимум в Атлантике и Гавайский антициклон над Тихим океаном, а в средних широтах Атлантики и Тихого океанов располагаются Исландский и Алеутский циклоны, соответственно.

Циклоническая деятельность – образование и перемещение в атмосфере циклонов и антициклонов самых разных пространственно-временных масштабов – едва ли не самая характерная черта земной атмосферы: кроме ЦД, сравнимых с масштабами океанов и континентов, это макротурбулентные вихри умеренных широт (~6000 км), тропические циклоны (300–1000 км), торнадо (до 50 км) и т.п. Приэкваториальная зона земной атмосферы и, в частности, ВЗК – колоссальный генератор постоянно производящий атмосферные вихри и волны [8], несущие пар и тепло вдоль зоны, а временами, выносящие его в более высокие широты. ВЗК – это промежуточная зона преимущественно восточных ветров экваториаль-

ной барической ложбины между пассатами Северного и Южного полушарий примерной ширины в несколько сотен километров (граница между ячейками Хедли). Слабые тропические депрессии, часто без замкнутых изобар, постоянно возникают как волновые возмущения ВЗК. Эти депрессии перемещаются преимущественно в общем восточном направлении переноса воздуха внутри тропиков и под воздействием силы Кориолиса начинают закручиваться в спираль. Для развития циклона нужна большая энергия неустойчивости воздушных масс. Неустойчивость стратификации и связанный с нею сильный подъем нагретого и влажного воздуха над большой площадью океана с выделением огромного количества тепла конденсации, определяет кинетическую энергию циклона и является одной из основных причин развития ТЦ. Воздух в циклоне конвергирует и поднимается вверх, а в высоких слоях вытекает из ТЦ, что поддерживает в нем длительно существующий дефицит давления. На вращающейся Земле силу барического градиента стремится уравновесить сила Кориолиса, и под действием этих сил около области пониженного давления возникает криволинейное движение воздуха по концентрическим траекториям, направленное (в Северном полушарии) против часовой стрелки. В таком движении возникает центробежная сила, возрастающая к центру. Баланс этих трёх сил возможен только на определённом расстоянии от центра; на этом расстоянии формируется зона сильнейших круговых ветров (воздух отбрасывается центробежной силой к этой зоне изнутри, а силой градиента давления – снаружи). Лишь малая часть слабых депрессий, образовавшихся в ВЗК, разовьется в дальнейшем в ТЦ или ураганы. Тем не менее, наблюдения показывают, что преобладающая часть ТЦ со штормовыми ветрами и катастрофическими последствиями, формируется именно в ВЗК с ее огромными запасами атмосферной влаги. В интенсивных циклонических вихрях происходит захват вещества, которое переносится с вихрями на большие расстояния. Это свойство определяет их важную роль в динамике распределения метеорологических параметров и, что очень важно, – тепла и атмосферной влаги (водяного пара).

Наиболее часто (87% случаев) ТЦ возникают между 5 и 20° широты в каждом полушарии и лишь в 13% случаев в более высоких широтах; севернее 35° с.ш. и южнее 22° ю.ш. возникновение циклонов не отмечалось. Ближе 5° широты к экватору ТЦ наблюдаются редко, так как отклоняющая сила вращения Земли здесь слишком мала, чтобы могла развиться интенсивная циклоническая циркуляция. ТЦ могут возникать в любое время года в тропиках всех океанов, за исключением юго-востока Тихого океана и южной Атлантики, т.е. в шести регионах зарождения ТЦ [4, 5]. Энергетика ТЦ сопоставима с энергетикой других элементов ОЦА [9]. Кинетическая энергия среднего ТЦ сравнима с энергией взрыва нескольких водородных бомб и составляет около 10% кинетической энергии Северного полушария. Необычайной силы ураган обрушился в 1974 г. на США;

вместе с сопутствовавшими смерчами он оставил на своем пути 350 убитых, тысячи раненых и пропавших без вести; в 11 штатах были разрушены сотни домов; материальный ущерб оценивается в 1 млрд. долларов. В канун 1975 г. ТЦ Трэйси почти полностью разрушил столицу северной Австралии Дарвин – скорость ветра достигала 260 км/ч; ураган срывал крыши с домов и перебрасывал по улицам автобусы. В октябре 1998 г. ураган Mitch унес жизни более 10000 человек только в Гондурасе и Никарагуа и оставил без крыши над головой 2 млн. человек; экономический ущерб превысил 5 млрд. долларов. 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-Kaliksto или Великий ураган 1780 г. и Mitch 1998 г. (по 22000 погибших). Каждый год ТЦ – мощные атмосферные вихри – проносятся над тропиками, опустошая побережье, приводя к гибели сотен людей и принося огромный экономический ущерб. ТЦ несут колоссальные запасы энергии и обладают большой разрушительной силой, последствия которой усугубляются плохим прогнозом. Чрезвычайно важно научиться точно прогнозировать их маршрут и определять физические параметры, влияющие на поведение, траектории и энергетику этих мощных атмосферных вихрей.

На основе совместного анализа статистики ТЦ по информации Национального ураганного центра NHC (National Hurricane Center – Tropical Prediction Center NOAA, <http://www.nhc.noaa.gov>) и данных микроволнового спутникового мониторинга изучены атмосферные ситуации не только вблизи ТЦ, но над всей акваторией Атлантики, и влияние удаленного атмосферного окружения на изменения траекторий ТЦ. Используются ежесуточные глобальные радиотепловые поля Земли из электронной коллекции GLOBAL-Field (<http://www.iki.rssi.ru>) [10], содержащие информацию о распределении влаго- и водозапаса тропосфера за период 1995–2007 гг.

Предлагаемое исследование представляет интерес для объяснения одного из негативных свойств ТЦ – наблюдаемых и непредсказуемых на первый взгляд резких изменений траекторий ТЦ, а также частое появление ТЦ с "нестандартными" траекториями. Показано, что зависимость траекторий ТЦ от их крупномасштабного достаточно удаленного атмосферного окружения, т.е. от неоднородностей поля, по которому ТЦ продвигаются (крупномасштабных неоднородностей радиотеплового поля, ассоциирующегося с распределением влагозапаса тропосферы), является важным свойством ТЦ. Существенное влияние на траектории ТЦ оказывают не только и не столько локальные факторы (которые, как правило, учитываются в прогностических моделях), а именно крупномасштабное достаточно удаленное от ТЦ атмосферное окружение, определяющее форму траекторий ТЦ и часто приводящее к резкому изменению направления движения ТЦ.

Необходимо также отметить, что взаимодействие ТЦ и удаленного атмосферного окружения представляет собой яркий пример работы прямых и обратных связей в атмосфере Земли. Мощные ТЦ, выносящие из внутритропической зоны конвергенции огромные количества влаги в более высокие широты, сами существенно изменяют состояние атмосферы над большими площадями Атлантики и оставляют долгоживущий крупномасштабный «след», который безусловно влияет на прохождение очередных ТС.

Влияние внутри- и междугодовых изменений Северо–Атлантических центров действия на траекторий тропических циклонов

Наши предварительные исследования показали [11, 12], что изменения положения и интенсивности двух ЦД, управляющих крупномасштабной атмосферной ситуацией в северной Атлантике, – Исландской депрессии и Азорского антициклона – действительно во многом определяют, если не интенсивность атлантического тропического циклогенеза, то характер траекторий ТЦ над Атлантикой. Два доминирующих в этом регионе ЦД меняют свое расположение и интенсивность в течение года и от года к году. На рис. 1 в качестве примера показана типичная барическая ситуация, которая складывается над северной Атлантикой зимой и летом (в верхней части рисунка) и изменение индекса Северо–Атлантического колебания или NAO (North Atlantic Oscillation), характеризующего соотношение между Исландским и Азорским ЦД.

«Стандартная» траектория ТЦ над Атлантикой напоминает параболу с вершиной, обращенной к западу: сначала ТЦ перемещается с востока на запад, т.е. в направлении общего восточного переноса в тропической зоне, отклоняясь из-за вращения Земли к высоким широтам; достигнув близких к тропику широт, ТЦ огибает с запада Азорский антициклон, выходит из тропиков, попадает в западный зональный поток средних широт и меняет там направление движения на северо-восточное. Аналогичным образом выглядят "стандартные" траектории во всех зонах тропического циклогенеза (с учетом зеркального отражения относительно экватора для траекторий в Южном полушарии).

Однако часто траектории этих мощных атмосферных вихрей резко и на первый взгляд непредсказуемо отклоняются от «стандартных». Во многом, по нашему мнению, это связано с изменениями самого крупномасштабного атмосферного окружения циклона. Наблюдения показывают, что ТЦ могут быстро и кардинально менять направление движения, например, ТЦ Alberto (03-23.08.2000) внезапно совершил антициклоническую петлю довольно большой площади. Сравнение прогностических траекторий ТЦ Alberto (см. [13] и данные НС), полученных по разным моделям, с реальной траекторией показывает,

что между ними нет ничего общего с того момента, как ТЦ начал совершать антициклическую петлю. Такое поведение крайне плохо описывается существующими теоретическими моделями: официальный прогноз Alberto дал ошибки от 925 до 1740 км.

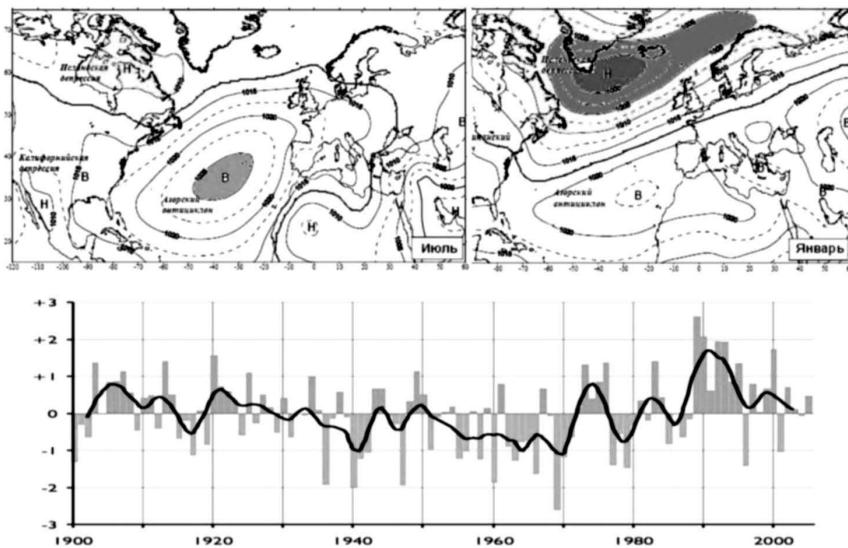


Рис. 1. Расположение Исландского и Азорского ЦД в июле и январе (вверху); изменение среднегодовых и среднемесячных (кривая) значений индекса NAO (внизу)

Для адекватного описания траектории ТЦ необходимо учитывать динамические и метеорологические условия в достаточно удаленном крупномасштабном атмосферном окружении циклона. В северной Атлантике его формируют крупномасштабные барические образования – два доминирующих ЦД. Азорский антициклон располагается вблизи 35-й параллели неподалеку от Азорских островов; давление в его центральной части меняется от 1020–1022 гПа (весной и осенью) до 1024–1025 гПа (зимой и летом); в нем формируется морской тропический воздух для Европы. Исландский циклон располагается между Гренландией и Европой с центром вблизи Исландии; давление в его центральной части опускается ниже 1000 гПа. Для этих ЦД характерны сезонные и межгодовые колебания давления (и перемещения). На основе разницы атмосферного давления на уровне моря между Исландским минимумом и Азорским максимумом построен один из самых известных индексов колебаний атмосферы, индекс NAO. Эта крупномасштабная мода атмосферных колебаний – наиболее значимая климатообразующая структура северной Атлантики, от нее зависят сила и направление ветров и штормов в этой части Атлантики. Тенденции климатических изменений в европейском регионе невозможно адекватно объяснить без индекса NAO, поскольку Северо-Атлантическое колебание в значительной степени определяет погоду в большинстве стран Европы. При положительных значениях индекса NAO наблюдается холодное лето и мягкая зима в центральной Европе; при отри-

цательных значениях индекса некоторые атлантические штормы доходят до Средиземного моря. На рис. 1 представлено изменение значений индекса NAO в течение предыдущего и в начале текущего столетия (отметим преимущественно положительные значения индекса в начале и в конце периода и отрицательные в течение 50–60 лет в его середине).

Атмосфера, океан и климатическая система Земли в целом совершают согласованные колебания [4, 14]. Одним из двух наиболее известных является NAO, другим – Южное колебание – атмосферная составляющая процесса Южное колебание – Эль-Ниньо (ЮКЭН), представляющего собой крупномасштабные изменения циркуляции атмосферы и температуры океана, интенсивности и расположения нескольких ЦД. ЮКЭН влияет на интенсивность тропического циклогенеза над акваториями Тихого и, согласно многочисленным исследованиям, Атлантического океанов. Эль-Ниньо и Ла-Нинья – теплая и холодная фазы ЮКЭН – ярко выраженные проявления межгодовой климатической изменчивости, что объясняется глобальным влиянием этого поистине планетарного процесса. Основные события, связанные с Эль-Ниньо, происходят в тропической зоне, однако посредством телеконнекции (далких пространственно-временных связей) они тесно связаны с процессами, происходящими в других, заметно отдаленных регионах земного шара [15]. Так, например, в годы Эль-Ниньо больше, чем обычно, развита зимняя Исландская депрессия, располагающаяся над северной Атлантикой. Изменяя направление и интенсивность ветров в верхних и нижних слоях атмосферы, Эль-Ниньо влияет на мощность и места формирования ураганов. Замечено, что во время Ла-Нинья большее число (~60%) атлантических штормов и ураганов образуется в глубоких тропиках под воздействием африканских восточных волн (длинные атмосферные волны между 5 и 15° с.ш., берущие свое начало над Африкой и движущиеся в восточном зональном потоке через Атлантический океан).

Одной из характеристик процесса ЮКЭН является индекс Южного колебания или SOI (South Oscillation Index). На рис. 2 представлены графики изменения среднемесячных значений индексов NAO и SOI за 1995–2007 гг.; в верхней части рисунка показаны схемы, демонстрирующие количество в каждом месяце наиболее мощных (именных) атлантических ТЦ (данные NHC). Ярко выраженной зависимости между изменениями индексов NAO и SOI и количеством и интенсивностью наиболее мощных ТЦ не наблюдается, можно лишь отметить, что диапазон времени, в течение которого формируются такие ТЦ в годы отрицательных значений SOI заметно короче, чем в годы положительных. Возможно, утверждения многих авторов о том, что Ла-Нинья повышает активность тропического циклогенеза в Атлантическом океане (вследствие того, что во время Ла-Нинья в Атлантике снижается сила ветров, обычно прерывающих круговое движение ТЦ), относятся ко всему атлантическому циклогенезу, но не к наиболее мощным атлантическим ураганам.

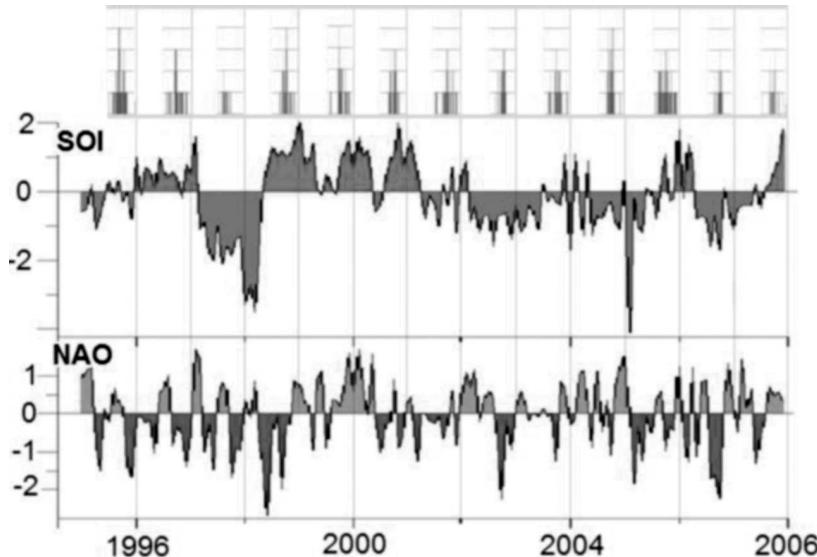


Рис. 2. Индексы SOI, NAO и количество мощных атлантических ТЦ в 1995–2007 гг.

Изменения индекса NAO, как оказалось, тесно связаны не с такими характеристиками мощных атлантических ТЦ, как их количество, интенсивность или диапазон времени, в течение которого они формируются, а с качеством их траекторий. В верхней части рис. 3 представлено изменение среднемесячных значений индекса NAO 1998 г. и необходимая информация о качестве траекторий наиболее мощных ТЦ. Классификация проводилась по многим признакам: место формирования и заполнения ТЦ, форма и наличие нестандартных особенностей траектории (петли, изгибы), преимущественное направление траектории и где она, в основном, проходила (каждое из качеств траектории обозначено своим цветом). Обработанная таким образом информация о мощных ТЦ 1998 г. представлена на диаграмме под графиком изменений NAO, по оси абсцисс которого отложено календарное время, а по оси ординат – количество одновременно действующих ТЦ; цвет и длина линии на диаграмме отражает качество траектории и время жизни ТЦ. Таким образом, в диаграмме содержится информация о продолжительности существования каждого ТЦ и количестве ТЦ в каждый день года, а также о качестве траектории каждого ТЦ (качество траектории и, соответственно, цвет линии на диаграмме могут меняться в течение существования циклона).

Проведенная классификация показала некоторые закономерности. Например, хорошо выраженные отрицательные значения индекса NAO согласуются с траекториями ТЦ, проходящими через центральную часть Атлантики. Диаграммы в нижней части рис. 3 демонстрируют, что в 1998 и 2006 гг. все циклоны, проходившие через центральную область, совпали по времени с участком кривой с хорошо выраженным отрицательными значениями индекса NAO, а в 1999 и 2007 гг., напротив, на графиках изменения индекса NAO нет областей с ярко выраженным отрицательными значениями и в эти годы не наблюдалось циклонов, проходивших через центральную часть Атлантики.

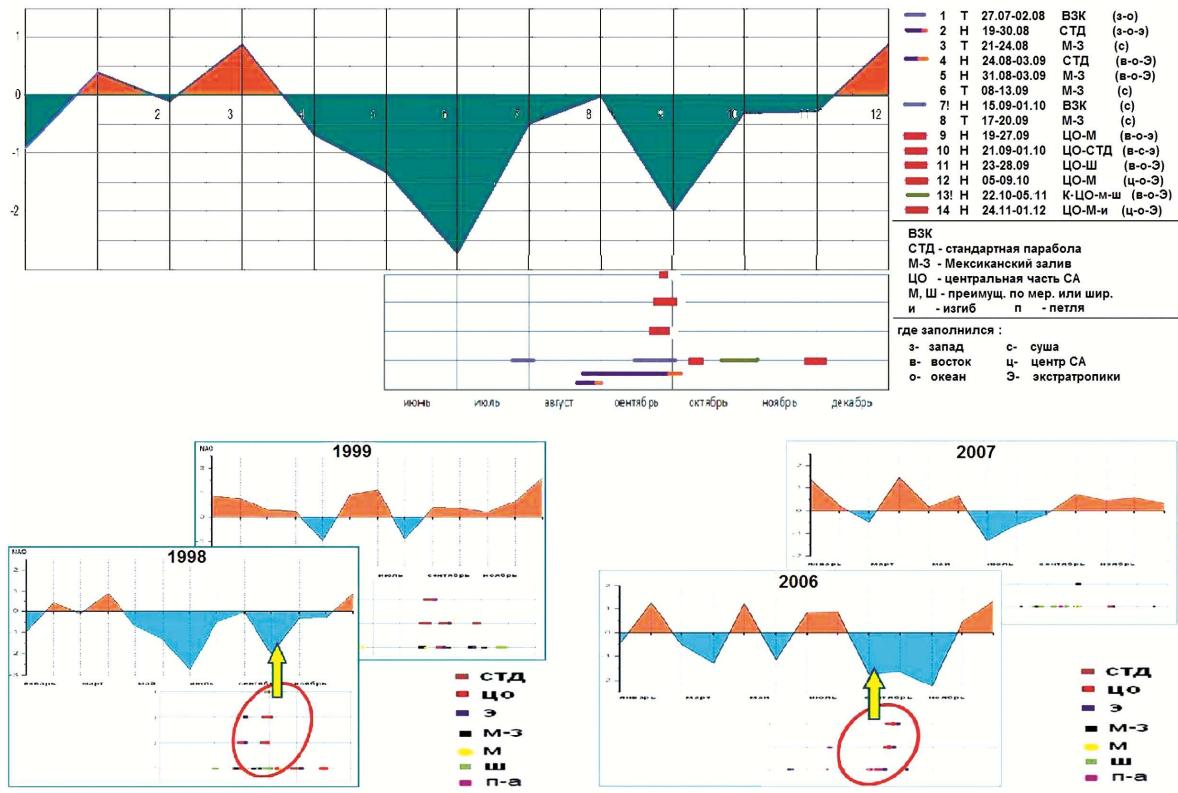


Рис. 3. Изменение среднемесячных значений индекса NAO и диаграмма качества траекторий наиболее мощных атлантических ТЦ 1998 г. (вверху);
сравнение индексов и диаграмм в 1998, 1999 гг. и в 2006, 2007 гг. (внизу)

В некоторые годы описанная согласованность НАО и качества траекторий мощных ТЦ не так ярко выражена. Например, в 2004 г., когда наблюдались частые и слабые изменения НАО, два из трех ТЦ, проходивших через центральную часть Атлантики, пришли на область с положительным индексом НАО. Возможно, причина подобных несогласованностей состоит в том, что индекс НАО недостаточно адекватно описывает глобальную атмосферную ситуацию над северной Атлантикой, поскольку он строится по разнице между давлениями в ЦД, находящихся в разных зональных потоках, и в большей мере отражает изменения именно зональной циркуляции атмосферы.

Пространственно–временная динамика радиотеплового поля над Атлантикой и связанные с ним изменения траекторий тропических циклонов

Как показал анализ серий глобальных радиотепловых полей из электронной коллекции GLOBAL-Field, изменения радиотеплового поля, ассоциирующиеся с появлением крупномасштабных долговременных областей с пониженным или повышенным влагозапасом атмосферы, могут приводить к достаточно резким изменениям направления и скорости движения ТЦ.

Атлантика в сентябре 2004 г. и в октябре 1999 г. На рис. 4 приведены данные спутникового мониторинга северной Атлантики и соответствующие схемы траекторий наиболее мощных атлантических ТЦ (данные NHC) в 1999 и 2004 гг. Фрагменты глобальных радиотепловых полей представлены в меркаторской проекции с 30-градусной координатной сеткой; на левом фрагменте расположена цветовая шкала радиояркостной температуры. Оба фрагмента содержат усредненную за 10 дней информацию – такое сглаживание ежесуточных полей коллекции GLOBAL-Field сделано, чтобы быстрые движения (меньше синоптического масштаба) неискажали крупномасштабную атмосферную ситуацию над Атлантикой в интересующие нас периоды времени. На рис. 4 слева приведен фрагмент, построенный по данным спутникового мониторинга за 10–20 сентября 2004 г., справа – за вторую декаду октября 1999 г.

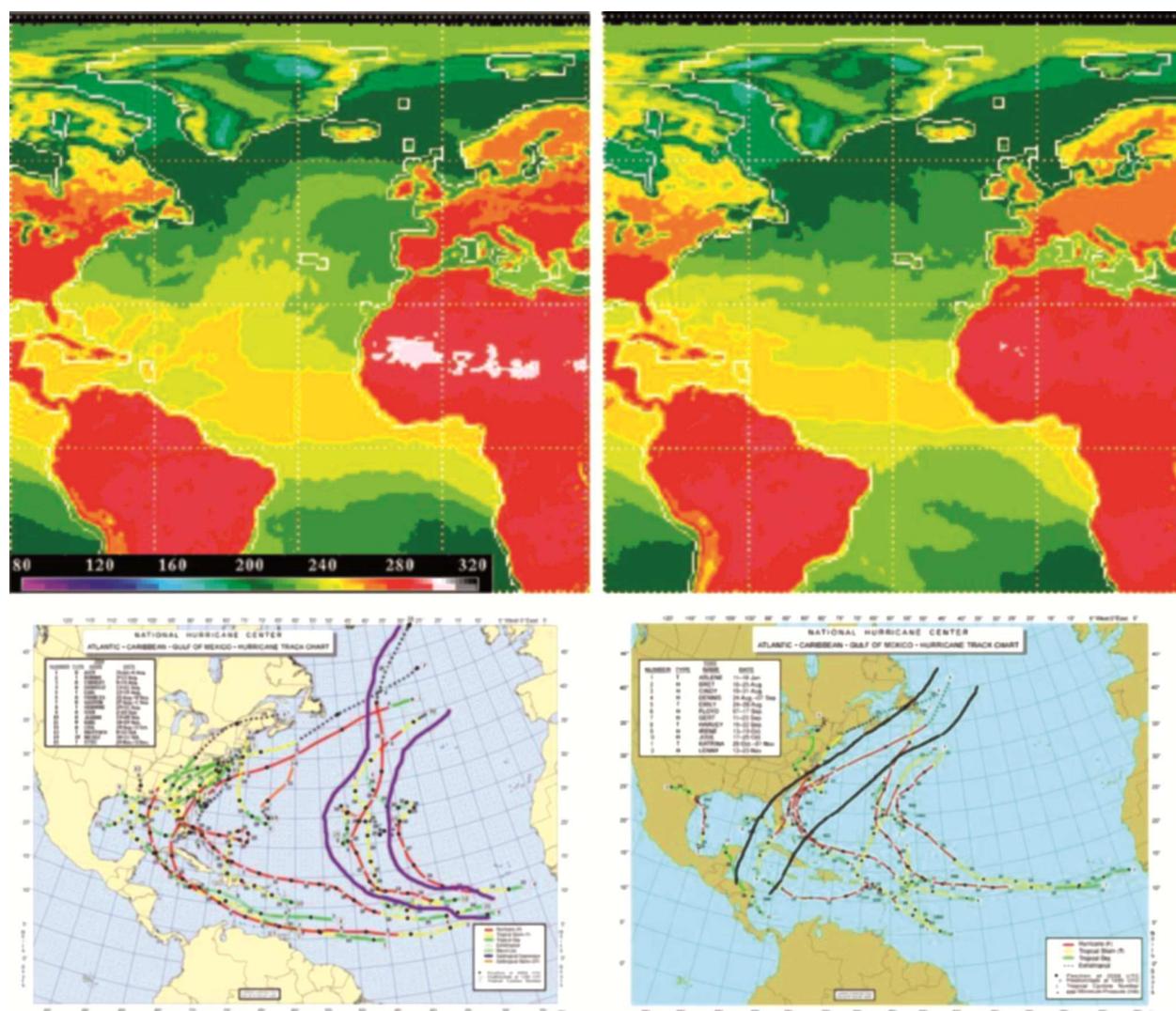


Рис. 4. Радиотепловое поле с неоднородностью поля влагозапаса в сентябре 2004 г. (слева) и в октябре 1999 г. (справа) и схемы траекторий наиболее интенсивных ТЦ в те же годы (внизу)

Поля распределения влагозапаса на представленных фрагментах заметно различаются, особенно в средней части северной Атлантики. На фрагменте, относящемся ко второй декаде сентября 2004 г., наблюдается неоднородность радиотеплового поля, ассоциирующаяся с «языком» влажного (тёплого) воздуха, распространяющимся с юга на север от экватора и почти до 60° с.ш. между двумя внедрившимися на юг массами сухого прохладного воздуха на северо-востоке и северо-западе Атлантики. Во второй декаде октября 1999 г. сформировалась качественно иная ситуация, когда макротурбулентные вихри, распространяющиеся в западном зональном потоке средних широт, с их холодным сухим воздухом опустились почти до 40° с.ш., а радиотепловое поле (и поле влажности) сохраняет практически зональную структуру. Схемы траекторий наиболее мощных ТЦ демонстрируют, что в рассматриваемые периоды времени наблюдались четыре ТЦ в сентябре 2004 г. – Ivan (02–24.09), Jeanne (13–28.09), Karl (16–24.09) и Lisa (19.09–03.10) и три ТЦ в октябре 1999 г. – Irene (13–19.10), Jose (17–25.10) и Katrina (28.10–01.11).

Сравнение радиотепловых полей со схемами траекторий ТЦ, показывает, что траектории двух ураганов – Karl и Lisa, наблюдавшихся в сентябре 2004 г., прошли над центральной частью Атлантики как раз по «языку» влажного теплого воздуха – траектории расположены в «коридоре» между фиолетовыми линиями на схеме, см. рис. 4. Траектории двух других ТЦ сентября 2004 г. (Ivan и Jeanne) необходимо исключить из рассмотрения: всю первую неделю с момента возникновения урагана Ivan его траектория проходила вдоль 10-ой параллели и еще до рассматриваемого периода он вошел в Карибское море, а затем в Мексиканский залив и нанес сокрушительный удар по Каймановым островам, Кубе и побережью США; ураган Jeanne сформировался в Карибском бассейне и вышел затем на побережье США. В отличие от ситуации сентября 2004 г., в октябре 1999 г., когда радиотепловое поле сохраняло практически зональную структуру, в средней части Атлантики не наблюдалось ни одного мощного ТЦ. Траектории ураганов Irene и Jose проходили в западной части Атлантики (в «коридоре» между черными линиями на соответствующей схеме траекторий), а ТЦ Katrina сформировался в Карибском море и угас в Мексиканском заливе.

Атлантический ураган Kate (25.09–07.10 2003 г.). На рис. 5 представлена информация об урагане Kate – фрагменты радиотеплового поля (с 5-суточным усреднением), микроволновый снимок урагана от 27 сентября (Kate показан стрелкой) и траектория урагана, трижды резко изменившего направление движения. Перед прохождением Kate, в период 20–25 сентября 2003 г. циклоны умеренных широт спустились в слишком низкие для этого времени широты – до 20° с.ш. и даже южнее. Представленные на рис. 5 фрагменты глобального радиотеплового поля показывают, что это привело к внедрению в тропическую зону большой массы сухого холодного воздуха.

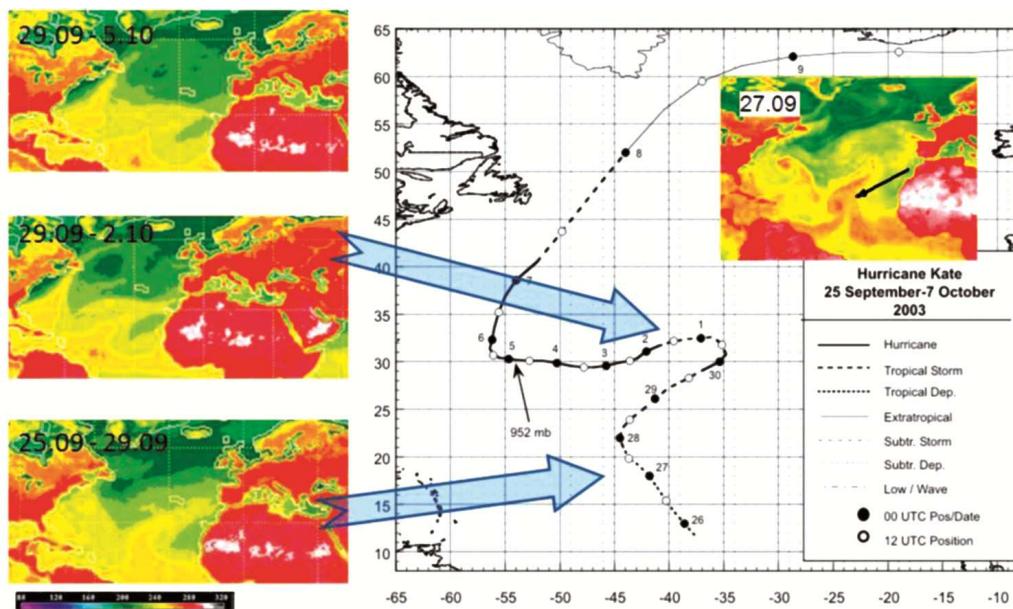


Рис. 5. Траектория урагана Kate и радиотепловые поля во время прохождения ТЦ

В конце сентября 2003 г. над Атлантикой проходили два мощных ТЦ – Kate и Juan (24–29.09), который виден на микроволновом фрагменте от 27.09 немного северо-западнее Kate. 26 сентября между ураганами Juan и Kate, которые в это время находились на одной широте $\sim 30^{\circ}$ с.ш. (Juan западнее), внедрился клин сухого холодного воздуха умеренных широт \sim до 20° с.ш. Фрагмент от 27.09 демонстрирует, что восточнее Kate также располагается масса холодного сухого воздуха в области Азорских островов – вплоть до ~ 15 – 17° с.ш. (см. также фрагмент от 25.09–29.09). Внедрившийся между Juan и Kate клин заметно повлиял на оба урагана: под воздействием массы холодного сухого воздуха Juan замедлился, а передняя часть его ближайшего атмосферного окружения приобрела вид грибовидной структуры, при этом Juan потерял часть своего запаса влаги; Kate, двигавшийся до 28.09 на север северо-запад был вынужден совершить свой *первый поворот* на 90° и пошел на север северо-восток. В конце сентября вся северная часть Атлантики вплоть до 30° с.ш. оказалась занятой двумя довольно низкими сухими циклонами, которые прижали тёплые массы воздуха к югу и препятствовали движению Kate на север, и 30.09 ураган совершил *второй резкий разворот* – на запад – и пошел в этом единственном возможном для него направлении. На запад, вдоль нижней (южной) границы циклонов умеренных широт Kate двигался до 05.10. На фрагменте от 29.09–02.10 уже виден тёплый фронт, который вместе с вращением Земли обусловит следующий, *третий поворот* Kate – ураган развернется на северо-восток и, ускоряясь и ослабляясь, будет двигаться в этом направлении, переходя в экстрапротическую фазу. Таким образом, на траекторию Kate оказывала влияние атмосферная ситуация практически над всей северной Атлантикой.

Заключение

ТЦ переносят большие массы воздуха и энергии (тепло, влага, угловой момент) в атмосфере и тем самым оказывают влияние на транспортные и диссипативные свойства ОЦА и на состояние климатической системы планеты. ТЦ являются одной из мощнейших природных атмосферных катастроф и обладают огромной энергией и разрушительной силой, поэтому так важно уметь прогнозировать траектории их движения. Отсутствие адекватного прогноза и огромная энергия тропических циклонов приводят к катастрофам при их выходе на побережье. Выявление факторов, оказывающих влияние на изменение траекторий ТЦ, поможет осуществлять более качественный прогноз этих катастрофических природных явлений.

Показано, что зависимость траекторий ТЦ от их крупномасштабного удаленного атмосферного окружения, т.е. от неоднородностей поля, по которому ТЦ продвигаются, является неотъемлемым и важным свойством ТЦ. Существенное влияние на траектории ТЦ оказывают не только и не столько локальные факторы, которые, как правило, учитываются в прогностических моделях. Крупномасштабные неоднородности радиотеплового поля, ассоциирующегося с распределением влагозапаса тропосферы, оказывают влияние на траектории ТЦ и приводят к резким изменениям направления их движения. Таким образом, крупномасштабное достаточно удаленное от ТЦ атмосферное окружение определяет форму их траекторий. Для адекватного описания динамики и энергетики ТЦ и для осуществления качественного прогноза траектории его движения теоретические и прогностические модели должны учитывать динамические и метеорологические условия в удаленном крупномасштабном атмосферном окружении циклона, а не только локальные факторы.

Литература

1. *Лоренц Э.Н.* Природа и теория общей циркуляции атмосферы. Л.: Гидрометеоиздат, 1970. 260 с.
2. *Погосян Х.П.* Общая циркуляция атмосферы. Л.: Гидрометеоиздат, 1972. 393 с.
3. *Пальмен Э., Ньютон Ч.* Циркуляционные системы атмосферы. Л.: Гидрометеоиздат, 1973. 616 с.
4. *Хромов С.П., Петросянц М.А.* Метеорология и климатология. М.: Изд-во Моск. ун-та: Наука. 2006. 582 с.
5. *Риль Г.* Климат и погода в тропиках. Л.: Гидрометеоиздат, 1984. 605 с.
6. *Монин А.С., Шишков Ю.А.* Климат, как проблема физики // Успехи физич. наук, 2000. Т. 170. № 4. С. 419–445.
7. *Петросянц М.А., Семенов Е.К., Гущина Д.Ю., Соколихина Е.В., Соколихина Н.Н.* Циркуляция атмосферы в тропиках: климат и изменчивость. Москва, Макс Пресс, 2005. 670 с.

8. Онищенко О.Г., Похотовов О.А., Астафьев Н.М. Генерация крупномасштабных вихрей и зональных ветров в атмосферах планет. // Успехи физических наук РАН, 2008. Т. 178. № 6. С. 605-618.
9. Добрышман Е.М., Макарова М.Е. Тайфуны как составляющая регионального климата // Метеорология и гидрология, 2004. № 6. С. 49-58.
10. Астафьев 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.
11. Астафьев Н.М., Хайрулина 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.
12. Капранов В.В., Астафьев 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.
13. Астафьев 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.
14. Сидоренков Н.С. Атмосферные процессы и вращение Земли. СПб., 2002.
15. Астафьев Н.М. Прогноз развития Эль-Ниньо по данным микроволнового спутникового мониторинга // Исследования Земли из космоса, 2010, № 4. С. (в печати).

Effect of a large-scale spaced atmospheric environment on trajectories of tropical cyclones

Astafieva N.M., Raev M.D.

*Space Research Institute of RAS (IKI RAS)
117997 Moscow, Profsoyuznaya 84/32
E-mails: ast@iki.rssi.ru, MRaev@asp.iki.rssi.ru*

Trajectories of the most part of the Atlantic tropical cyclones (TC) significant differ from "standard", representing a parabola with top at the left, – they can have a primary direction of movement the south-north, or the east-west, anti-cyclonic loops enough the big area and so on; in different years the central part of Atlantic can be as free from TC, and often to be crossed by them. An atmospheric situation over northern Atlantic and influence of a spaced atmospheric environment on changes of trajectories of cyclones are studied on the basis of the joint analysis of TC statistics and data of microwave satellite monitoring. The analysis of series of daily global radio thermal fields of the Earth from electronic collection GLOBAL-Field (<http://www.iki.rssi.ru/asp>) has shown, that changes of a radio thermal field which may be associated with the formation of large-scale long-term areas with lowered or raised of moisture content of atmosphere, can lead to sharp changes of a direction and speed of movement of cyclones. Besides, powerful TC, taking out a lots of amount of a moisture from an intratropical zone of convergence in higher latitudes, essentially change an atmosphere condition over Atlantic and leave a long-living large-scale trace which certainly influences movement of the next TC. For the adequate description of dynamics and power of a tropical cyclone, theoretical and forecast models should consider dynamic and meteorological conditions in spaced enough large-scale atmospheric environment of a cyclone – in the considered cases it there was practically all northern Atlantic.

Keywords: the general circulation of atmosphere, a trajectory of tropical cyclones, a spaced atmospheric environment, microwave remote sensing