

DOI: 10.25702/KSC.2588-0039.2019.42.238-241

РЕЗУЛЬТАТЫ ЧИСЛЕННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ЗАРОЖДЕНИЯ КРУПНОМАСШТАБНЫХ ВИХРЕЙ В ЗЕМНОЙ ТРОПОСФЕРЕ В ОБЛАСТИ ВНУТРИТРОПИЧЕСКОЙ ЗОНЫ КОНВЕРГЕНЦИИ

И.В. Мингалев, К.Г. Орлов, В.С. Мингалев

ФГБНУ "Полярный геофизический институт", г. Апатиты, Россия

Аннотация. Представляются результаты численных расчетов, направленных на моделирование нестационарного процесса формирования крупномасштабных вихрей на начальной стадии в тропосфере в окрестности внутритропической зоны конвергенции. Эти результаты ранее были изложены в серии работ, которые были опубликованы в разрозненных научных изданиях. В настоящей работе приводится обзор этих результатов и их обобщение. Обозреваемые результаты были получены не так давно при помощи региональной математической модели ветровой системы нижней атмосферы, разработанной ранее в Полярном геофизическом институте. Обозреваемые результаты моделирования показывают, что возникновение выпуклостей в очертаниях внутритропической зоны конвергенции может привести к зарождению различных крупномасштабных вихрей в нижней атмосфере, в частности, тропического циклона, пары циклонов, пары циклон-антициклон, а также трех циклонических вихрей. Обсуждается физический механизм, который приводит к формированию смоделированных крупномасштабных вихрей в окрестности внутритропической зоны конвергенции.

Введение

Исследование механизмов, приводящих к формированию крупномасштабной циркуляции земной атмосферы, а также предсказание ее изменений в различных гелиогеофизических условиях является в настоящее время важной научной проблемой. Актуальность этой проблемы определяется не только научным интересом, но и важностью тех практических задач, для решения которых необходимо знать состояние и уметь прогнозировать поведение атмосферы Земли. Необходимость такого прогнозирования обусловлена потребностями практической деятельности людей, а также влиянием состояния нижней атмосферы на здоровье человека. Особенно важным является изучение циклонической деятельности нижней атмосферы, поскольку циклоны и ураганы ежегодно наносят огромный ущерб многим странам мира.

К сожалению, имеющиеся в настоящее время экспериментальные средства не позволяют измерять детальные трехмерные распределения полей термодинамических и газодинамических параметров в нижней атмосфере с точностью, необходимой для выяснения физических механизмов, ответственных за начальную стадию зарождения циклонов. Однако, для установления этих физических механизмов может быть применен метод математического моделирования. В частности, может быть применена региональная математическая модель ветровой системы нижней атмосферы, разработанная не так давно в Полярном геофизическом институте [1], которая ранее уже применялась для моделирования процессов зарождения как полярных, так и тропических циклонов [2-11]. В настоящей работе приводится обзор результатов, полученных при помощи этой региональной математической модели и направленных на исследование начальной стадии зарождения и формирования крупномасштабных вихрей в тропосфере в окрестности внутритропической зоны конвергенции.

Краткое описание математической модели

Применяемая в настоящей работе математическая модель основана на численном решении уравнений неразрывности и движения для горизонтальных и вертикальной компонент скорости вязкого сжимаемого газа, а также уравнения теплового баланса, в котором учитываются процессы нагрева-охлаждения воздуха как за счет поглощения-испускания инфракрасного излучения, так и за счет фазовых переходов водяного пара в микрокапли воды и частицы льда. В этой модели вертикальная скорость газа находится не из условия гидростатического равновесия, как в большинстве подобных моделей, а путем численного решения полного уравнения движения для вертикальной компоненты скорости без пренебрежения какими-либо членами, т.е. модель является негидростатической.

Используемая математическая модель позволяет рассчитывать зависящие от времени пространственные распределения плотностей воздуха, водяного пара, микрокапель воды и частиц льда, зональной, меридиональной и вертикальной компонент скорости смеси воздуха и водяного пара, а также температуры атмосферного газа в пространственно ограниченной трехмерной области моделирования на отрезках

времени порядка суток и более. В используемой математической модели областью моделирования является часть шарового слоя над ограниченным участком земной поверхности, которая по высоте простирается от 0 до 15 км, по долготе имеет протяжение не менее 32 градусов, а по широте - 25 градусов.

Для численного решения моделирующих уравнений применяется метод конечных разностей и используются географические координаты. Модель имеет шаги расчетной сетки по высоте 200 м, а по широте и долготе шаги сетки одинаковы и равны 0.08 градуса. Подробное описание применяемой математической модели и используемых в ней уравнений можно найти в [1-3].

Результаты расчетов и их обсуждение

При использовании описанной выше математической модели начальные и граничные условия могут задаваться довольно произвольно и отражать геофизическую обстановку моделируемых событий. В течение последних нескольких лет эта математическая модель применялась для численного исследования процессов зарождения крупномасштабных горизонтальных вихрей в земной тропосфере в области внутритропической зоны конвергенции (ВЗК) при различных исходных условиях. В этих численных исследованиях область моделирования помещалась между 5° южной широты и 20° северной широты так, чтобы ВЗК пересекала эту область в ее центральной части.

Известно, что ВЗК является промежуточной областью между пассатами Северного и Южного полушарий шириной несколько сотен километров, где имеют место преимущественно зональные ветры. Из наблюдений известно, что в ВЗК зональная компонента ветра, направленная преимущественно в западном направлении, увеличивается при приближении к центру ВЗК. Меридиональная компонента направлена к центру ВЗК на высотах менее 3 км и направлена от центра ВЗК на высотах более 3 км. Вертикальная компонента ветра над ВЗК направлена вверх.

В упомянутых выше численных исследованиях граничные и начальные условия в области моделирования воспроизводили в начальный момент различные течения, характерные для внутритропической зоны конвергенции. При этом ВЗК задавалась с изгибами, соответствующими имеющимся данным спутниковых наблюдений в микроволновом и инфракрасном диапазонах. Рассматривались различные варианты задания начального течения воздуха, в частности, различные формы изгибов ВЗК в области моделирования.

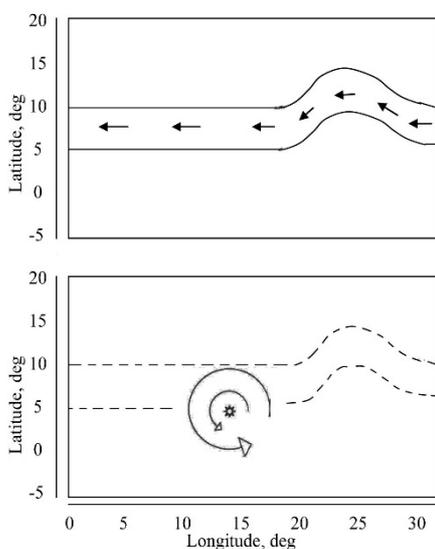


Рисунок 1. Схематическое представление результатов численного моделирования, полученных в [8], на высоте 600 м. Начальная конфигурация ВЗК (верхняя панель) и положение сформировавшегося циклона к моменту 27 час после начала расчетов (нижняя панель).

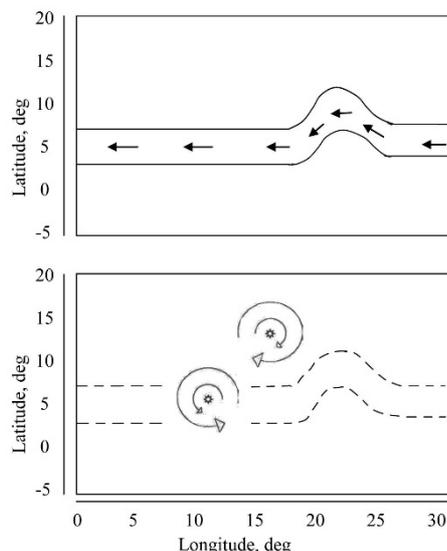


Рисунок 2. Схематическое представление результатов численного моделирования, полученных в [9], на высоте 600 м. Начальная конфигурация ВЗК (верхняя панель) и положение сформировавшейся пары циклон-антициклон к моменту 27 час после начала расчетов (нижняя панель).

В одной из проведенных серий расчетов было установлено, что если в начальный момент ВЗК имеет выпуклый участок длиной 800-1000 км, выступающий на север на 200-300 км, и если западный склон выпуклости имеет существенно больший наклон, чем восточный, причем центральная линия ВЗК восточнее выпуклости находится севернее, южнее или на той же широте, что и западный склон выпуклости, то в течение

примерно суток в окрестностях ВЗК формируется циклон, центр которого к этому времени располагается вблизи южной границы ВЗК. Результаты этой серии расчетов схематически представлены на рис. 1.

В другой проведенной серии расчетов было установлено, что если в начальный момент выпуклый участок ВЗК имеет восточный склон такой же крутой, как и западный, если центральная линия ВЗК восточнее выпуклости находится на той же широте, что и западнее выпуклости, причем выпуклость может быть отклонена как к северу, так и к югу, то в течение примерно суток в окрестностях ВЗК формируются циклон и антициклон (пара циклон-антициклон). При этом центр циклона к этому времени располагается внутри ВЗК, а центр антициклона находится севернее первоначального положения ВЗК. Результаты этой серии расчетов схематически представлены на рис. 2.

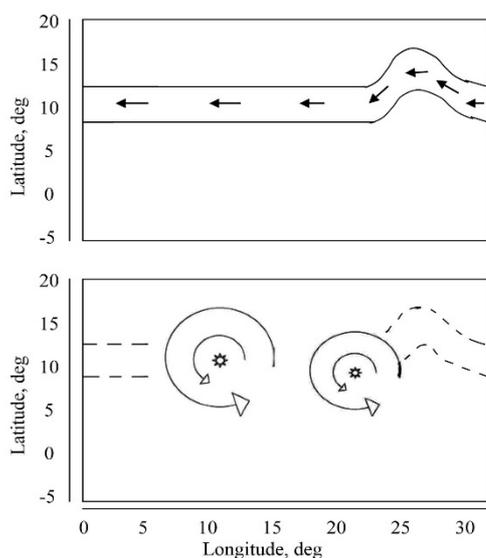


Рисунок 3. Схематическое представление результатов численного моделирования, полученных в [9], на высоте 600 м. Начальная конфигурация ВЗК (*верхняя панель*) и положение сформировавшейся пары циклонов к моменту 70 час после начала расчетов (*нижняя панель*).

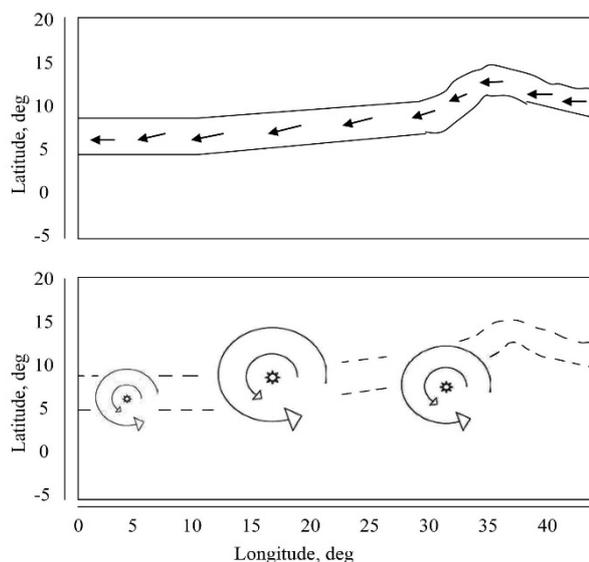


Рисунок 4. Схематическое представление результатов численного моделирования, полученных в [7], на высоте 600 м. Начальная конфигурация ВЗК (*верхняя панель*) и положение сформировавшейся тройки циклонов к моменту 60 час после начала расчетов (*нижняя панель*).

В еще одной проведенной серии расчетов было установлено, что если в начальный момент западный склон выпуклости имеет существенно больший наклон, чем восточный, причем центральная линия ВЗК восточнее выпуклости находится на той же широте, что и западнее выпуклости, если при этом зональная компонента скорости севернее ВЗК значительно больше, чем южнее ее, то в течение примерно двух суток в окрестностях ВЗК формируются два циклона. При этом их центры располагаются внутри ВЗК примерно на одной широте. Результаты этой серии расчетов схематически представлены на рис. 3.

Математическая модель, при помощи которой были получены описанные выше результаты, в ходе исследований претерпевала изменения, связанные с увеличением протяженности по долготе ее области моделирования. Сначала был разработан вариант модели, в котором область моделирования по долготе была увеличена до 44 градусов, а позже – до 75 градусов. В ходе расчетов по этим усовершенствованным вариантам математической модели было установлено, что при некоторых начальных конфигурациях ВЗК в ее окрестности с течением времени может зародиться сразу три циклона. Пример результатов таких расчетов приведен на рис. 4. Приведенные на этом рисунке результаты получены при такой начальной конфигурации ВЗК, у которой имеется участок длиной около 2500 км, на котором ВЗК смещается на север при движении с запада на восток. На правом конце этого участка имеется дополнительно искривленный участок длиной около 1000 км, который отклоняется на север (см. верхнюю панель рис. 4). Центры сформировавшихся трех циклонов располагаются внутри начальных очертаний ВЗК примерно на одной широте.

Во всех рассмотренных случаях горизонтальные размеры образующихся крупномасштабных вихрей составляли порядка 600 км или более, а скорость ветра в них достигала значений 15-20 м/с. Главной физической причиной формирования крупномасштабных вихрей является развитие неустойчивости крупномасштабного струйного течения воздушных масс в районе ВЗК при возникновении возмущений в виде выпуклых участков ВЗК. Такие возмущения регулярно наблюдаются на практике при дистанционном

зондировании со спутников. В результате развития неустойчивости формируются крупномасштабные горизонтальные вихри. Дальнейший разгон вихрей происходит за счет энергии, выделяющейся при конденсации водяного пара в восходящих потоках воздуха.

Заключение

В настоящей работе приведен обзор результатов численных расчетов, направленных на моделирование нестационарного процесса формирования крупномасштабных вихрей на начальной стадии в тропосфере в окрестности внутритропической зоны конвергенции. Эти результаты были получены ранее при помощи региональной математической модели ветровой системы нижней атмосферы, разработанной в Полярном геофизическом институте. Обозреваемые результаты моделирования показывают, что возникновение выпуклостей в очертаниях внутритропической зоны конвергенции может привести к зарождению различных крупномасштабных вихрей в нижней атмосфере, в частности, тропического циклона, пары циклонов, пары циклон-антициклон, а также трех циклонических вихрей.

Физическим механизмом, приводящим к зарождению перечисленных крупномасштабных вихрей, является развитие неустойчивости крупномасштабного струйного течения воздушных масс в районе ВЗК при возникновении возмущений в виде выпуклых участков ВЗК. Выявленный в численных расчетах физический механизм дает возможность по обнаружению выпуклых участков ВЗК при помощи спутниковых наблюдений прогнозировать зарождение тропических циклонов и ураганов.

Список литературы

1. Белоцерковский О.М., Мингалев И.В., Мингалев В.С., Мингалев О.В., Опарин А.М. О механизме возникновения крупномасштабного вихря в тропосфере над неравномерно нагретой поверхностью // Доклады АН. 2006. Т. 410, №6. С.816-820.
2. Белоцерковский О.М., Мингалев И.В., Мингалев В.С., Мингалев О.В., Опарин А.М., Четкин В.М. Образование крупномасштабных вихрей в сдвиговых течениях в нижней атмосфере в области тропических широт // Космические исследования. 2009. Т. 47, № 6. С. 501-514.
3. Мингалев И.В., Астафьева Н.М., Орлов К.Г., Мингалев В.С., Мингалев О.В. Механизм возникновения циклонических возмущений в области ВЗК и их раннее обнаружение // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2010. Т.7, №1. С. 112-125.
4. Мингалев И.В., Орлов К.Г., Мингалев В.С. Механизм формирования полярных циклонов и возможность их прогноза // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2011. Т. 8, №1. С. 255-262.
5. Мингалев И.В., Астафьева Н.М., Орлов К.Г., Мингалев В.С., Мингалев О.В., Четкин В.М. Возможность предсказания образования тропических циклонов и ураганов по данным спутниковых наблюдений // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2011. Т. 8, №3. С. 290-296.
6. Мингалев И.В., Орлов К.Г., Мингалев В.С. Механизм формирования полярных циклонов и возможность их предсказания по данным спутниковых наблюдений // Космические исследования. 2012. Т. 50, №2. С. 166-175.
7. Мингалев И.В., Астафьева Н.М., Орлов К.Г., Мингалев В.С., Мингалев О.В., Четкин В.М. Влияние геометрии течения воздушных масс в области внутритропической зоны конвергенции на процесс формирования циклонических вихрей // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2012. Т. 9, № 4. С. 154-161.
8. Мингалев И.В., Астафьева Н.М., Орлов К.Г., Четкин В.М., Мингалев В.С., Мингалев О.В. Численное моделирование формирования циклонических вихревых течений в области внутритропической зоны конвергенции и их раннее обнаружение // Космические исследования. 2012. Т. 50, №3. С. 242-257.
9. Mingalev I.V., Astafieva N.M., Orlov K.G., Mingalev V.S., Mingalev O.V. and Chechetkin V.M. A Simulation Study of the Formation of Large-Scale Cyclonic and Anticyclonic Vortices in the Vicinity of the Intertropical Convergence Zone // ISRN Geophysics. 2013. Article ID: 215362, 12 pages. <http://dx.doi.org/10.1155/2013/215362>
10. Mingalev I.V., Orlov K.G. Mingalev V.S. A Modeling Study of the Initial Formation of Polar Lows in the Vicinity of the Arctic Front // Advances in Meteorology. 2014. Article ID: 970547, 10 pages. <http://dx.doi.org/10.1155/2014/970547>
11. Mingalev I.V., Astafieva N.M., Orlov K.G., Mingalev V.S., Mingalev O.V. and Chechetkin V.M. Numerical Modeling of the Initial Formation of Cyclonic Vortices at Tropical Latitudes // Atmospheric and Climate Sciences. 2014. V.4. P.899-906. <http://dx.doi.org/10.4236/acs.2014.45079>