

РЕЗУЛЬТАТЫ МОДЕЛИРОВАНИЯ ОБЩЕЙ ЦИРКУЛЯЦИИ НИЖНЕЙ И СРЕДНЕЙ АТМОСФЕРЫ ЗЕМЛИ

И.В. Мингалев, К.Г. Орлов, Е.А. Федотова, В.С. Мингалев

ФГБНУ Полярный геофизический институт, г. Апатиты

В докладе представлены результаты моделирования, полученные последней версией газодинамической моделью общей циркуляции атмосферы Земли, созданной в Полярном геофизическом институте, в диапазоне высот 0–80 км с полноценным учетом радиационного нагрева-выхолаживания воздуха, процессов образования облаков и взаимодействия с поверхностью Земли и с шагом расчётной сетки по горизонту $15/64$ градуса. Обсуждаются результаты численного моделирования общей циркуляции атмосферы Земли, в частности, вертикальный перенос, образование вихревых течений разных масштабов, генерация и распространение внутренних гравитационных волн.

Модель нашей научной группы

Нашей научной группой более 20 лет разрабатывается модель общей циркуляции атмосферы Земли, основанная на численном интегрировании полной системы уравнений динамики вязкого атмосферного газа с помощью явной консервативной схемы. Модель позволяет проводить расчеты одновременно на нескольких графических процессорах последнего поколения.

В модели учитывается несферичность земной поверхности и несферичность гравитационного поля Земли и используется равномерная сетка по высоте с шагом 200 м и специальная сетка по широте и долготе, которая является комбинацией нескольких обычных широтно-долготных сеток с постоянным шагом. Нашей группой разработан радиационный блок для модели, в котором используются две новые параметризации молекулярного поглощения. Одна из них предназначена для расчета поля собственного излучения атмосферы в диапазоне частот от 10 до 3000 см⁻¹, а другая для расчета поля солнечного излучения в диапазоне частот от 2000 до 50000 см⁻¹ в интервале высот от поверхности Земли до 80 км.

На нагрев/охлаждение средней атмосферы Земли большое влияние оказывает концентрация озона. Для расчета его концентрации в атмосфере необходимо рассчитывать концентрации более 50 составляющих воздуха и учитывать более 150 химических и фотохимических реакций. Примерно такие же затраты необходимы для расчета концентраций ионов и электронов в D-слое ионосферы. Для расчета концентраций ионов и электронов в E-слое ионосферы необходимо рассчитывать концентрации примерно 20 составляющих воздуха и учитывать более 50 химических и фотохимических реакций. Численные методы, применяемые для интегрирования по времени системы уравнений химической кинетики в современных моделях, могут быть существенно улучшены.

Описание взаимодействия атмосферы с поверхностью

Происходит теплообмен между атмосферой и веществом литосферы за счет молекулярной теплопроводности и турбулентного движения атмосферы в приповерхностном слое. Возникающие при этом потоки тепла называют явными.

Кроме того, происходит испарение воды, а также конденсация и выпадение осадков эти процессы создают поток массы воды и поток энергии, который называется скрытым потоком тепла. Также поверхность поглощает и отражает падающее на нее солнечное излучение, а также тепловое излучение атмосферы, кроме того, поверхность сама испускает тепловое излучение.

В современных моделях общей циркуляции атмосферы, взаимодействие атмосферы с водоёмами и сушей во многих случаях описывается достаточно упрощённо. Область моделирования от поверхности до сферы с центром в центре Земли и радиусом большим на 78 км, чем средний радиус Земли на экваторе.

В модели предусмотрена вставка области на низких или средних широтах, в которой шаг сетки по горизонтальным направлениям в 8 или в 16 раз меньше, чем в остальной области моделирования.

Также для нашей модели разработан радиационный блок, упомянутый ранее, и блок, описывающий микрофизику аэрозолей и не уступающий по уровню описания блокам зарубежных моделей.

Блоки, описывающие химические процессы в атмосфере и взаимодействие атмосферы с водоёмами и разными видами поверхности суши, находятся на завершающем этапе разработки.

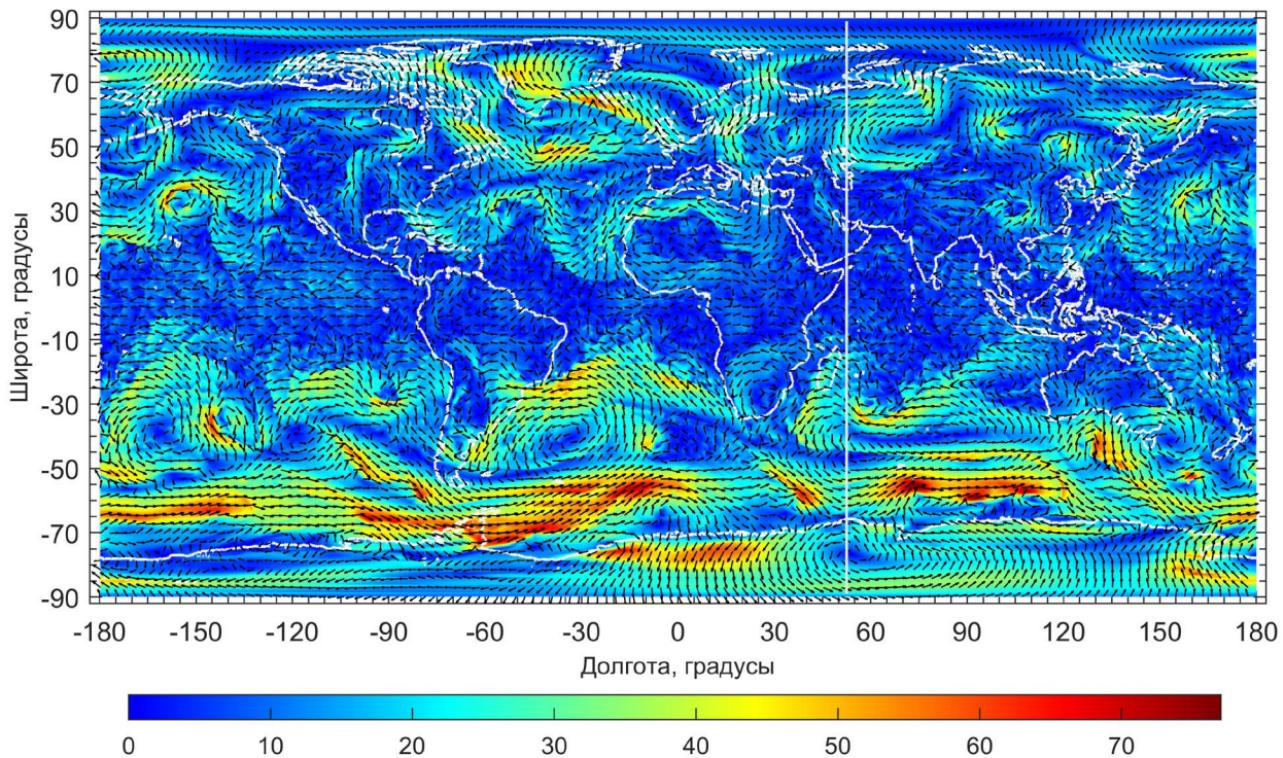


Рис. 1. Распределения горизонтальной компоненты ветра в м/с на высоте 0.6 км над поверхностью Земли для момента времени 17 октября UT 9:00. Стрелки указывают направление горизонтальной составляющей ветра, а их длина и цвет фона указывают ее абсолютную величину. Сплошные белые линии указывают границы материков.

На рис. 1 видно, что на высоте 0.6 км над поверхностью Земли в южном полушарии на широтах от -75° до примерно -55° имеется опоясывающее Антарктиду течение, в котором зональная компонента ветра направлена с запада на восток и достигает значений 75 м/с, а на широтах от -55° до -15° имеются крупномасштабные вихри. Видно, что над южной частью Тихого океана имеется пара из крупного антициклонического вихря с центром в точке с координатами примерно 40° ю.ш. и 160° з.д. и меньшего по размерам циклонического вихря с центром в точке с координатами примерно 35° ю.ш. и 140° з.д., над южной частью Атлантического океана имеется антициклонический вихрь с центром в точке с координатами примерно 40° ю.ш. и 35° з.д. и диаметром примерно 2400–2600 км и вблизи юго-восточного побережья Австралии имеется антициклонический вихрь с центром в точке с координатами примерно 43° ю.ш. и 155° в.д. Видно, что над северной частью Тихого океана имеется циклонический вихрь с центром в точке с координатами примерно 32° с.ш. и 155° з.д. Также на рис. 1 видно, что на высоте 0.6 км над поверхностью Земли скорость ветра достигает значений 70 м/с в южном полушарии и 50 м/с в северном полушарии.

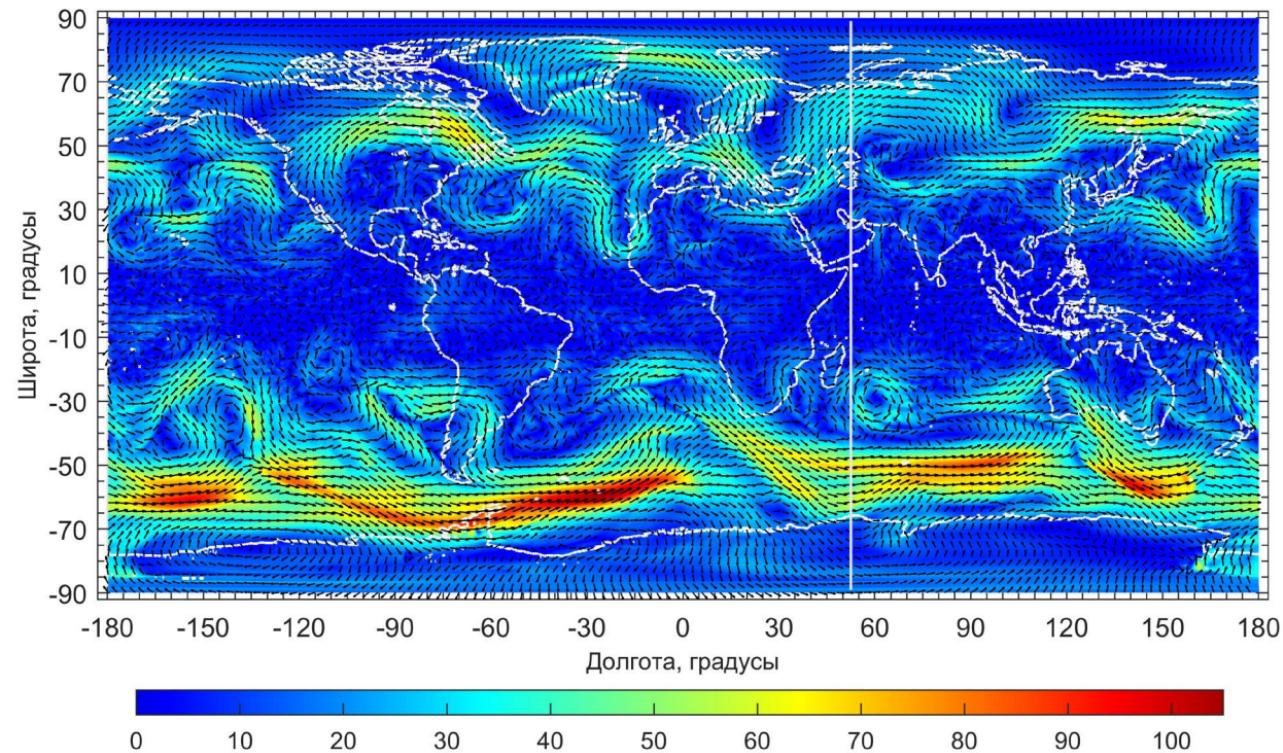


Рис. 2. Распределения горизонтальной компоненты ветра в м/с на высоте 10 км над поверхностью Земли для момента времени 17 октября UT 9:00. Стрелки указывают направление горизонтальной составляющей ветра, а их длина и цвет фона указывают ее абсолютную величину. Сплошные белые линии указывают границы материков.

На рис. 2 видно, что на высоте 10 км над поверхностью Земли скорость ветра достигает значений 100 м/с в южном полушарии и 70 м/с в северном полушарии. Также видно, что на высоте 10 км над поверхностью Земли в южном полушарии на широтах от -70° до примерно -50° , как и на высоте 0.6 км, имеется опоясывающее Антарктиду течение, в котором зональная компонента ветра направлена с запада на восток и достигает значений 105 м/с, и что над Тихим океаном на средних широтах при долготах от 180° з.д. до 130° з.д. имеются вихри расположенные примерно там же, где они расположены на высоте 0.6 км. Еще видно, что над южной частью Атлантического океана нет антициклонического вихря в районе, где он был на высоте 0.6 км, и что над Индийским океаном имеется циклонический вихрь с центром в точке с координатами примерно 30° ю.ш. и 62° в.д., которого нет на высоте 0.6 км. Также видно, что на высоте 10 км над поверхностью Земли в северном полушарии на средних и высоких широтах имеется сложная картина течений.

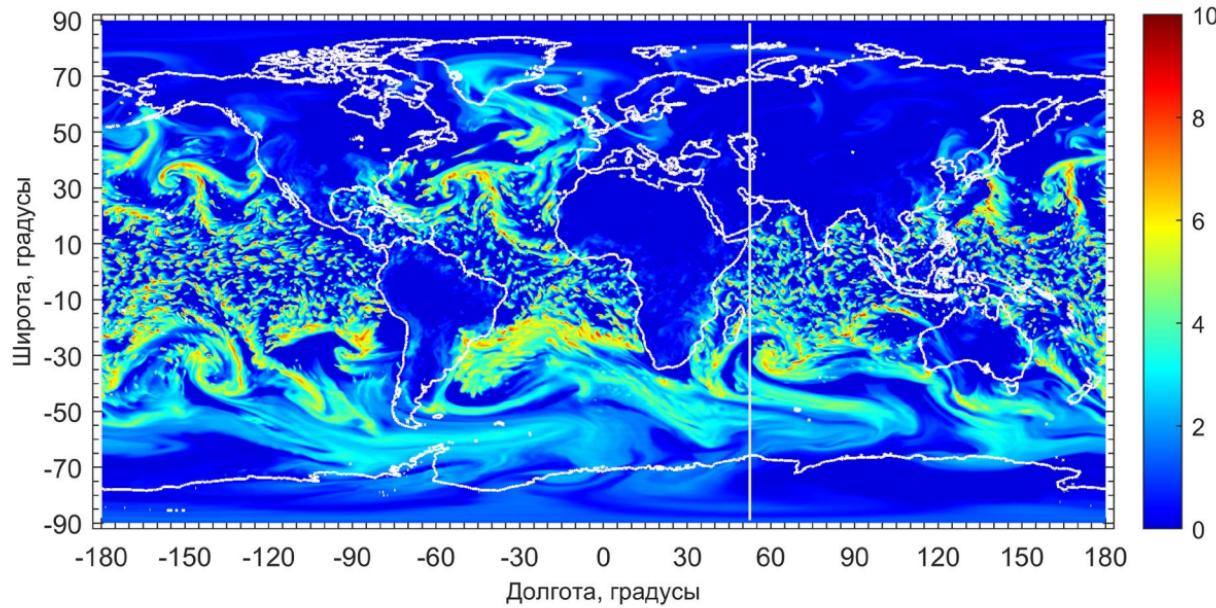


Рис. 3. Распределение содержания ледяных частиц в воздухе в $\text{г}/\text{м}^3$ на высоте 4 км над поверхностью Земли для момента времени 17 октября UT 9:00.

На рис. 3 видно, что наибольшая людность достигается на низких и средних широтах над океанами, причем имеется как пятна с размерами от 50 до 200 км, так и вытянутые полосы и спиралевидные структуры с размерами от 2000 до 5000 км и с вкраплением пятен повышенной ледности. Спиралевидные структуры на рис. 2 расположены там же, где расположены циклонические вихри на верхней части рис. 1. Наличие пятен повышенной ледности в распределении облачных частиц обусловлено распределением вертикальной компоненты ветра.

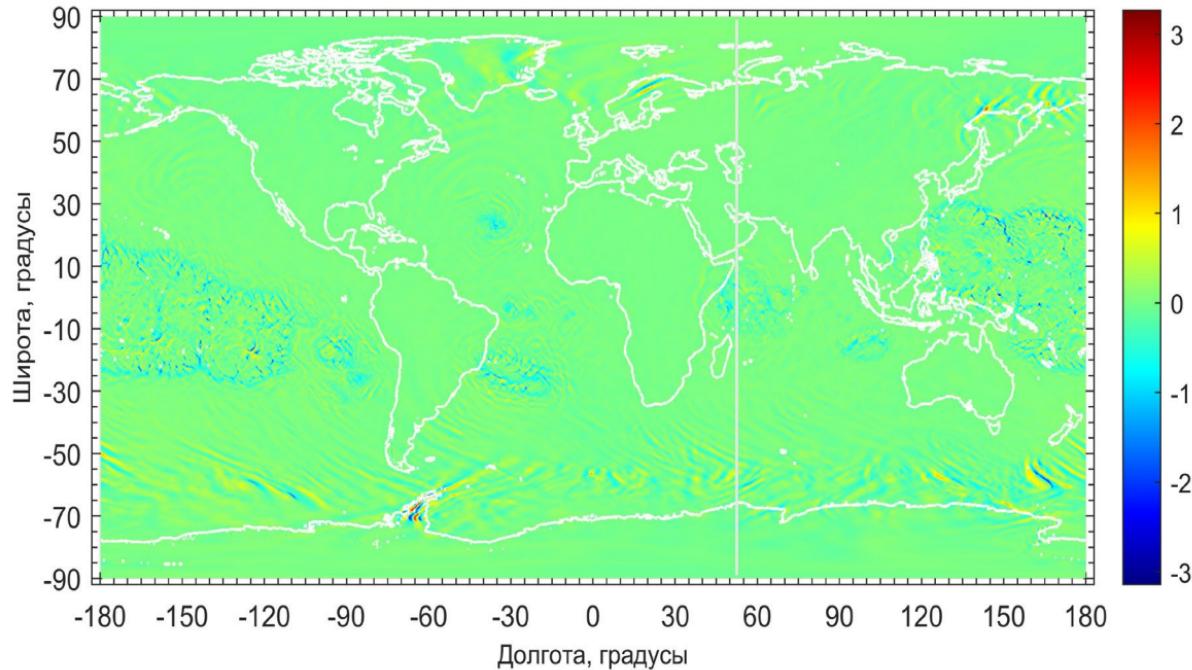


Рис. 4. Распределения вертикальной компоненты ветра в м/с на высоте 40 над поверхностью Земли для момента времени 17 октября UT 9:00. Сплошные белые линии указывают границы материков.

Как видно на рис. 4, над океанами на низких широтах имеются относительно небольшие области с размерами от 20 до 200 км, и узкие полосы тех же поперечных размеров, в которых вертикальная компонента ветра направлена вверх и достигает наибольших значений около 2-3 м/с. Рядом с ними имеются области таких же размеров, где вертикальная компонента ветра направлена вниз и достигает тех же наибольших значений. Над опоясывающим Антарктиду течением, в котором зональная компонента ветра направлена с запада на восток, и которое видно на рис. 1, имеется система волн плавучести (внутренних гравитационных волн) в виде чередующихся полос шириной примерно от 100 до 200 км и длиной от 600 до 2000 км, в которых вертикальная компонента ветра направлена то вверх, то вниз и достигает наибольших значений около 2-3 м/с. Эта система волн возникает из-за обтекания приземным течением южной оконечности Анд и Антарктического полуострова. Также на рис. 4 видно, что над северной Евразией от Скандинавии до Чукотки имеется аналогичная система волн плавучести, в которой вертикальная компонента ветра достигает наибольших значений около 1-2 м/с. Еще на рис. 4 видно, что над центром Гренландии имеется область с размерами примерно 200 на 500 км, в которой вертикальная компонента ветра направлена вверх и достигает наибольших значений около 0.4 м/с, а рядом с ней имеются области аналогичных размеров, в которой вертикальная компонента ветра направлена вниз и достигает наибольших значений около 0.5 м/с.

Приведенные выше особенности в распределении вертикальной компоненты ветра не могут воспроизводиться моделями, использующими приближение гидростатики.

Заключение

Представленные результаты моделирования показывают, что последняя версия газодинамической модели общей циркуляции атмосферы Земли, созданная в Полярном геофизическом институте, способна воспроизводить сложные течения в атмосфере Земли, процессы образования средне и крупномасштабных вихрей, системы волн плавучести, поле облаков и другие важные особенности циркуляции атмосферы Земли. После включения в нашу модель полноценного блока взаимодействия с поверхностью и создания системы усвоения метеоданных наблюдательной сети нашу модель можно будет использовать для прогноза погоды.