

Задание для практикума “Аэрозоли и малые газовые составляющие и климат” на CITES-2015.

Запуск модели:

Зайдите в директорию MODEL38 и создайте в ней директорию RUNX, где X номер вещества. Скопируйте туда содержимое директории RUN. В ней находится исполняемый файл gcm24.out. Его можно переименовать в gcmx.out и запустить следующей командой:

```
Mpirun -np 24 gcm1.out
```

Посмотреть считающиеся задачи можно командой qstat. Снять задачу со счета можно командой qdel номер задачи

Задание подразумевает проведение двух численных экспериментов: короткого и длинного. В коротком численном эксперименте продолжительностью 1 год нужно вычислить радиационный форсинг от выбранного вещества. Для этого в файле RUN/RADFORCING.TXT поставить 1 перед “CALCULATION OF RADIATION FORCING” и перед названием выбранного вещества. Убедиться, что перед названиями всех остальных веществ стоят нули.

Для проведения длинного численного эксперимента нужно

А) Скопировать начальные данные атмосферной и океанской моделей в директории, откуда они будут считываться:

ср RES0/* RES/

ср E0/* E58-67/

Б) В файле RADFORCING.TXT поставить все нули.

В) В файле RUN_CONDITIONS.TXT в строке, соответствующей выбранному веществу, внести требуемое изменение. Остальные строки оставить неизменными.

Г) Запустить задачу на счет.

Посмотреть, сколько времени модельного счета прошло, можно в файле RUN/RES/DK. Там третье число в первой строке – количество сосчитанных месяцев.

Выходные данные модели.

Среднемесячные результаты счета записываются в директорию RUN/MON в виде трех файлов:

XY.STD (двумерные поля по долготе и широте),

XYZ.STD(трехмерные поля по долготе, широте и высоте),

YZ.STD (двумерные поля по широте и высоте, усредненные по долготе).

Это неформатные файлы прямого доступа (бинарные файлы). Их можно визуализировать или выполнять простейшие действия программой grads.

Соответствующие ctl-файлы находятся в директории RUN/MON.

Радиационный форсинг.

Радиационный форсинг на поверхности Земли равен

sdsw-sw-sdswa-swswa) прямой коротковолновый радиационный форсинг

sdwlw-swplw-(sdwlwa-swplwa) длинноволновый радиационный форсинг

sdsw-sw-sdswb-swswb) не прямой коротковолновый радиационный форсинг

Радиационный форсинг на верхней границе атмосферы равен

tupswa-tupsw прямой коротковолновый радиационный форсинг

olra-olr длинноволновый радиационный форсинг

tupswb-tupsw не прямой коротковолновый радиационный форсинг

Положительное значение радиационного форсинга означает, что вещество нагревает климатическую систему, отрицательное – охлаждает.

Радиационный форсинг на верхней границе атмосферы показывает, как вещество воздействует на климатическую систему в целом. Радиационный форсинг на поверхности показывает, как вещество нагревает (охлаждает поверхность). Разность значений радиационного форсинга на верхней границе атмосферы минус значение на поверхности показывает, какой поток тепла поглощается атмосферой из-за наличия в ней вещества.

1. Пыль.

Проведите эксперимент по вычислению радиационного форсинга от пыли.

Чему равно интегральное значение радиационного форсинга на поверхности и на верхней границе атмосферы? Какой поток энергии пыль поглощает в атмосфере? Какова средняя масса вещества в атмосфере (млн тонн)? Какова средняя величина источника вещества (млн тонн в год)? Каково характерное время жизни в атмосфере? Какова средняя оптическая толщина? Какую часть всей оптической аэрозольной толщины она составляет?

Где в Африке оптическая толщина пыли максимальна? Насколько уменьшается прямое солнечное излучение на поверхности Земли в этой точке вследствие наличия пыли? Соответствует ли это уменьшение оптической толщине? Насколько увеличивается в этой точке рассеянное солнечное излучение вследствие наличия пыли? Какова в выбранной точке скорость нагревания (в градусах в сек или градусах в сутки) в нижней атмосфере вследствие наличия пыли?

Почему радиационный форсинг от пыли на верхней границе атмосферы почти везде отрицателен, но в некоторых местах Сахары и восточной Азии положителен? Почему он положителен, хотя и мал по величине, над Арктикой?

Проведите эксперимент с источником пыли всюду на континентах южнее 50с.ш., а не только там, где почва сухая и нет растительности в условиях современного климата. Для этого поставьте 1.0 в файле

RUN_CONDITIONS.TXT перед “DUST SOURCE EVERYWHERE”.

Остальные значения оставьте неизменными. Этот эксперимент моделирует возможный вклад пыли в похолодания во время ледниковых периодов.

Во сколько раз возросла масса пыли в атмосфере по сравнению с контрольным экспериментом? Каков вероятный вклад пыли в понижение приземной температуры в ледниковые периоды? Сравните скорость осаждения пыли на поверхность (aer01b+aer02b+aer01c+aer02c) в проведенном эксперименте и контрольном эксперименте с данными, приведенными на рис.5.2 (5-я глава 1-го тома 5-го отчета IPCC, стр.395). Нас интересует самая верхняя часть рисунка. Измерения, представленные на нем, проводились в точке 42S, 8E. Данные контрольного эксперимента надо сравнить со скоростью осаждения в современных условиях, данные эксперимента с источником пыли везде с максимальной скоростью осаждения в условиях ледникового периода.

2. Морская соль.

Проведите эксперимент по вычислению радиационного форсинга от морской соли. Чему равно интегральное значение прямого радиационного форсинга на поверхности и на верхней границе атмосферы? Какой поток энергии соль поглощает в атмосфере? Каков не прямой радиационный форсинг на поверхности и на верхней границе атмосферы? На сколько микрон в среднем уменьшается радиус облачных капель вследствие наличия морской соли? Какова средняя масса вещества в атмосфере (млн тонн)? Какова средняя величина источника вещества (млн тонн в год)? Каково характерное время жизни в атмосфере? Какова средняя оптическая толщина? Какую часть всей оптической аэрозольной толщины она составляет?

Найдите прямой и не прямой радиационный форсинг на верхней границе атмосферы от соли, усредненный отдельно по Северному и Южному полушариям. Известно, что температура воздуха у поверхности в северном полушарии примерно на 2 градуса выше, чем в южном. Какой вклад в это вносит радиационный форсинг от соли? Считать, что 2 Вт/м² в радиационном форсинге соответствуют 1 К в приземной температуре.

В каком географическом месте Земли среднегодовой прямой и не прямой радиационный форсинг от морской соли самый большой?

Одним из предлагаемых геоинженерных методов борьбы с глобальным потеплением является создание установок по распылению морской воды в воздухе, что должно приводить к росту концентрации морской соли в нижних слоях атмосферы. Такие установки, как считается, могут работать на энергии волн и достаточно дешевы, чтобы их можно было с достаточной частотой распределить по всему океану. Проведите численный эксперимент по возможному воздействию на климат таких установок. Для этого в файле RUN_CONDITIONS.TXT перед "ADDITIONAL SEA SALT SOURCE FROM THE SEA" поставьте число, равное среднегодовой величине источника соли (мелкой плюс крупной) в том географическом месте, где среднегодовой радиационный форсинг от соли самый большой.

На сколько градусов уменьшилась усредненная по всей Земле приповерхностная температура воздуха по сравнению с контрольным экспериментом? Во сколько раз больше соли в атмосфере стало по сравнению с контрольным экспериментом? На каких географических широтах холодает сильнее всего у поверхности Земли в июне-августе? На каких широтах холодает сильнее всего у поверхности Земли в декабре-

феврале? На какой высоте холодает сильнее всего в тропиках? Почему так происходит?

3. Сульфатный аэрозоль.

Проведите эксперимент по вычислению радиационного форсинга от сульфатного аэрозоля. Чему равно интегральное значение прямого радиационного форсинга на поверхности и на верхней границе атмосферы? Какой поток энергии сульфатный аэрозоль поглощает в атмосфере? Каков непрямой радиационный форсинг на поверхности и на верхней границе атмосферы? На сколько микрон в среднем уменьшается радиус облачных капель вследствие наличия сульфатного аэрозоля? Какова средняя масса вещества в атмосфере (млн тонн)? Какова средняя величина источника сернистого газа (млн тонн в год)? Сколько сернистого газа переходит в сульфатный аэрозоль? Каково характерное время жизни в атмосфере сернистого газа и сульфатного аэрозоля? Какова средняя оптическая толщина сульфатного аэрозоля? Какую часть всей оптической аэрозольной толщины она составляет?

В каком географическом месте масса сульфатного аэрозоля в атмосфере больше всего? В каком месте прямой радиационный форсинг на верхней границе атмосферы больше всего по величине? На сколько там меняется в результате наличия аэрозоля прямая и рассеянная солнечная радиация, приходящая к поверхности? В каком месте непрямой форсинг на верхней границе атмосферы больше всего по величине?

Большая часть сульфатного аэрозоля является антропогенной и обусловлена, в первую очередь, сжиганием серосодержащего топлива. Проведите эксперимент, в котором антропогенная эмиссия отключена. Для этого в файле RUN_CONDITIONS.TXT перед "INCLUDING ANTHROPOGENIC SULFATE SOURCE" поставьте 0.0.

Во сколько раз уменьшился источник сернистого газа? Во сколько раз уменьшилась масса сульфатного аэрозоля в атмосфере? На сколько увеличилась температура приземного воздуха в Северном полушарии? На сколько в Южном полушарии? Что произошло с осадками летнего (июнь-август) азиатского муссона и летнего африканского муссона? Почему?

4. Черный углерод.

Проведите эксперимент по вычислению радиационного форсинга от черного углерода. Чему равно интегральное значение прямого радиационного форсинга на поверхности и на верхней границе атмосферы? Какой поток энергии черный углерод поглощает в атмосфере? Каков непрямой радиационный форсинг на поверхности и на верхней границе атмосферы? На сколько микрон в среднем уменьшается радиус облачных капель вследствие наличия черного углерода? Какова средняя масса вещества в атмосфере (млн тонн)? Какова средняя величина источника черного углерода (млн тонн в год)? Каково характерное время жизни в атмосфере черного углерода? Каков источник, масса и характерное время жизни гидрофильного и гидрофобного черного углерода? Какова средняя

оптическая толщина черного углерода? Какую часть всей оптической аэрозольной толщины она составляет?

В каком географическом месте самая большая масса черного углерода? На сколько в этом месте меняется прямая и рассеянная солнечная радиация? Каков источник тепла в атмосфере над этим местом вследствие поглощения солнечного излучения черным углеродом? Почему, в отличие от других аэрозолей, большая концентрация черного углерода в атмосфере не приводит к увеличению рассеянной солнечной радиации?

Черный углерод, осаживаясь на поверхности снега и льда, меняет их альбедо и способствует таянию. Поскольку происхождение углеродного аэрозоля в основном антропогенное, может возникнуть вопрос, эмиссии в каком именно регионе в наибольшей степени ответственны за загрязнение сажей, скажем, льда Северного Ледовитого океана, Гренландии или других географических районов. Эту задачу предлагается решить в лоб, проведя численный эксперимент с климатической моделью, где, наряду с эволюцией гидрофильного и гидрофобного черного углерода рассматривается эволюция гидрофильного и гидрофобного черного углерода из отдельных регионов. В нашем случае эти регионы – Северная Америка, Россия, юго-восточная Азия и Европа. Скопируйте к себе версию модели MODEL38A и, ничего не меняя в ней, проведите численный эксперимент. Какую долю всего осаждаемого черного углерода составляет углерод Америки, России, Европы и юго-восточной Азии для центральной Арктики (80с.ш. и севернее)? Найдите эти доли также для центральной Гренландии (68-80с.ш., 30-50 з.д.). Какого черного углерода больше в атмосфере над Сизтлом (крайний северо-запад США): американского, российского или из юго-восточной Азии? Почему?

5. Органический углерод.

Проведите эксперимент по вычислению радиационного форсинга от органического углерода. Чему равно интегральное значение прямого радиационного форсинга на поверхности и на верхней границе атмосферы? Какой поток энергии органический углерод поглощает в атмосфере? Каков непрямой радиационный форсинг на поверхности и на верхней границе атмосферы? На сколько микрон в среднем уменьшается радиус облачных капель вследствие наличия органического углерода? Какова средняя масса вещества в атмосфере (млн тонн)? Какова средняя величина источника органического углерода (млн тонн в год)? Каково характерное время жизни в атмосфере органического углерода? Каков источник, масса и характерное время жизни гидрофильного и гидрофобного органического углерода? Какова средняя оптическая толщина органического углерода? Какую часть всей оптической аэрозольной толщины она составляет?

В каком географическом месте самая большая масса органического углерода в атмосфере в июне-августе? Где самый большой прямой радиационный форсинг на верхней границе атмосферы? Где самый большой непрямой форсинг?

Аэрозоль органического и черного углерода образуется при сжигании топлива и пожарах. Как изменится климат, если источник этих веществ увеличится в 10 раз? Проведите такой эксперимент, поставив в файле RUN_CONDITIONS.TXT 10.0 перед “FACTOR FOR BLACK CARBON” и “FACTOR FOR ORGANIC CARBON”. На сколько изменилась температура воздуха у поверхности в Северном полушарии? На сколько в Южном? В каком географическом месте температура у поверхности изменилась больше всего? На какой высоте в тропиках больше всего изменилась температура, осредненная вдоль долготы? На какой высоте больше всего изменилась концентрация черного и органического углерода в тропиках? Почему так происходит?

6. Метан.

Проведите эксперимент по вычислению радиационного форсинга от метана. Чему равно интегральное значение радиационного форсинга на верхней границе атмосферы и на поверхности Земли? На каких широтах радиационный форсинг на верхней границе атмосферы максимален? Почему? В каких географических местах радиационный форсинг на верхней границе атмосферы минимален в июне-августе? В каких местах он минимален в декабре-феврале? Почему?

Проведите эксперимент по чувствительности климата к увеличению концентрации метана в 10 раз. Для этого в файле RUN_CONDITIONS.TXT поставьте 10.0 перед “FACTOR FOR CONCENTRATION OF CH₄”. На сколько увеличилась температура приземного воздуха, осредненная по всей Земле? На какой высоте происходит самое большое потепление в тропиках? Почему? На каких широтах самое большое приземное потепление в июне-августе и в декабре-феврале? Сравните с тем, где радиационный форсинг минимален в эти месяцы. Почему так получается?

7. Закись азота.

Проведите эксперимент по вычислению радиационного форсинга от закиси азота. Чему равно интегральное значение радиационного форсинга на верхней границе атмосферы и на поверхности Земли? На каких широтах радиационный форсинг на верхней границе атмосферы максимален? Где он минимален в различные сезоны: в декабре-феврале и в июне-августе? Почему?

Рассмотрите две точки: в Сахаре (20 с.ш., 10 з.д.) и над Атлантикой к западу от Сахары (20 с.ш., 50 з.д.). Насколько сильно отличаются в этих двух точках радиационный форсинг от закиси азота на верхней границе атмосферы? Каков вертикальный профиль радиационного нагревания вследствие наличия закиси азота в этих двух точках? На каких высотах эти два профиля отличаются и почему? Насколько сильно отличаются радиационные форсинги на поверхности в этих двух точках, и почему?

Проведите эксперимент по чувствительности климата к увеличению концентрации закиси азота в 10 раз. Для этого в файле RUN_CONDITIONS.TXT поставьте 10.0 перед “FACTOR FOR

CONCENTRATION OF N₂O”. На сколько увеличилась температура приземного воздуха, осредненная по всей Земле? На какой высоте происходит самое большое потепление в тропиках? Почему? На каких широтах самое большое приземное потепление в июне-августе и в декабре-феврале? Сравните с тем, где радиационный форсинг минимален в эти месяцы. Почему так получается?

8. Озон.

Проведите эксперимент по вычислению радиационного форсинга от озона. Отдельно рассмотрите длинноволновый и коротковолновый радиационный форсинг. Чему равно интегральное значение радиационного форсинга на верхней границе атмосферы и на поверхности Земли. Какой поток солнечного и теплового излучения поглощается озоном в атмосфере?

На каких широтах среднегодовое поглощение солнечного излучения озоном максимально? На каких широтах концентрация озона максимальна (см. файл RUN/FORCING/O3XM.STD)? Почему так происходит? Подсказка: поглощение озона определяется массой или плотностью озона, т.е. концентрацией, умноженной на плотность воздуха. Какова скорость нагревания воздуха вследствие поглощения озоном солнечного излучения, в зависимости от широты и высоты? Где самое большое нагревание? Как вы думаете, чем компенсируется такое сильное нагревание? Для этого пообщайтесь с другими группами, прежде всего, исследующими влияние парниковых газов на климат.

Проведите эксперимент по чувствительности климата к уменьшению концентрации озона на 50% в нижней стратосфере (50-200 мб) над Антарктикой во время образования озонной дыры (сентябрь-ноябрь). Для этого в файле RUN_CONDITIONS.TXT поставьте 0.5 перед “FACTOR FOR STRATOSPHERIC OZONE IN ANTARCTICA”. На сколько градусов понижается температура нижней стратосферы в Антарктике в октябре-ноябре? Насколько в результате этого меняется скорость зонального ветра в стратосфере вблизи Полярного круга в эти месяцы? Распространяется ли увеличение скорости западного ветра вниз? Каково изменение давления на уровне моря в октябре-ноябре? Сколько месяцев после окончания сезона озонной дыры температура в нижней стратосфере над Антарктикой все еще остается заметно ниже, чем в контрольном эксперименте?

9. Углекислый газ.

Проведите эксперимент по вычислению радиационного форсинга от углекислого газа. Чему равны значения интегрального коротковолнового и длинноволнового форсинга на верхней границе атмосферы и на поверхности Земли? Какой поток теплового и солнечного излучения поглощает атмосфера в результате наличия в ней углекислого газа? Какова скорость нагревания атмосферы вследствие наличия в атмосфере углекислого газа, в зависимости от широты и высоты? Чем, как вы думаете, компенсируется длинноволновое охлаждение стратосферы вследствие наличия углекислого газа?

Известно, что радиационный форсинг на верхней границе атмосферы от увеличения концентрации CO₂ от доиндустриального значения до удвоенного составляет около 4 Вт/м². Сравните эту величину с величиной радиационного форсинга от изменения концентрации от преиндустриальной до нуля. Почему изменение концентрации CO₂ на одну и ту же величину вызывают столь различный по величине радиационный форсинг (а, значит, и столь же различное изменение температуры в климатической системе)?

Проведите численный эксперимент по чувствительности климата к уменьшению концентрации CO₂ до нуля. Для этого поставьте в файле RUN_CONDITIONS.TXT перед "FACTOR FOR CONCENTRATION OF CO₂" значение 0.0. На сколько градусов меняется температура воздуха у поверхности? На какой высоте происходит наиболее существенное похолодание в тропиках? На сколько градусов меняется температура в стратосфере на уровне 10 мб? За какое время происходит выход температуры на равновесие на уровне 10 мб? За какое время происходит выход температуры у поверхности Земли на равновесие? Почему эти времена различаются? Сколько снега (в пересчете на воду) успевает накопиться на Скандинавском полуострове к концу эксперимента? За какое время при такой скорости накопления там вырастет ледник толщиной 2 км., если движением льда пренебречь?