Семинар Института глобального климата и экологии

Росгидромета и РАН (ИГКЭ)

22 февраля 2017 года

SUMMARY

(составлено М.А. Алешиной, ИГКЭ)

Состоялся доклад **д.ф.-м.н. Володина Евгения Михайловича** (Институт вычислительной математики РАН) «**Представление радиационных потоков в модели климата ИВМ РАН**». С развернутым комментарием выступил **к.ф.-м.н. ФРОЛЬКИС Виктор Абрамович (ГГО им. А.И. Воейкова, Санкт-Петербург).** Председательствовал д.ф.-м.н. **Семенов Сергей Михайлович**, ИГКЭ, Институт географии РАН.

Семенов С. М. (председательствующий)*: Добрый день, уважаемые коллеги. Мы сегодня послушаем доклад Евгения Михайловича Володина. Он расскажет о том, как в глобальной климатической модели Института вычислительной математики РАН устроен радиационный блок. Виктор Абрамович Фролькис выступит с развернутым комментарием.*

Вы помните, что у нас было несколько сообщений, посвященных тому, как переносится энергия в атмосфере, в том числе радиационным путем. Было показано, как солнечная радиация в разных диапазонах проходит через атмосферу, рассеивается в соответствии с индикатрисой рассеяния, взаимодействуя с молекулами и частицами. Прямая и рассеянная солнечная радиация достигает земной поверхности и нагревает эту поверхность. От нее исходит инфракрасное излучение. Оно нагревает атмосферу. Атмосферные слои также излучают в инфракрасном диапазоне «во все стороны», в том числе и обратно к земной поверхности. В итоге складывается равновесие, когда при заданном нетто-потоке солнечной радиации на верхней границе атмосферы (приходящей от Солнца минус отраженной в космос земной поверхностью и атмосферой) формируется определенный температурный режим атмосферы и земной поверхности, при этом этот нетто-поток уравновешивается уходящим в космос потоком инфракрасного излучения. О всей этой теории мы довольно подробно говорили, обсуждали разные формулы.

Сейчас Евгений Михайлович расскажет о том, как все перечисленные процессы описаны в модели Института вычислительной математики РАН,

потому что одно дело – это теория, а совсем другое – как это все удалось отразить в модели, в вычислительном алгоритме. Пожалуйста, Евгений Михайлович.

(Е. М. ВОЛОДИН ВЫСТУПАЕТ С ДОКЛАДОМ. РАСШИРЕННЫЕ ТЕЗИСЫ ДОКЛАДА И ПРЕЗЕНТАЦИЯ ПРИЛАГАЮТСЯ).

ВОПРОСЫ К Е.М. ВОЛОДИНУ/ОТВЕТЫ/ДИСКУССИЯ

Анохин Ю.А.* (ИГКЭ): В докладе рассказано о процессах переноса радиации в системе атмосфера+земная поверхность. Приятно видеть, что данные расчетов хорошо соответствуют данным наблюдений и спутниковым данным, а там, где есть различия, их причины понятны. Известно, что при сильных вулканических извержениях (Пинатубо и др.) происходит уменьшение потока солнечной радиации, достигающей земной поверхности. Используя эту модель Института вычислительной математики РАН, можно оценить, насколько приземная температура уменьшалась в результате таких извержений вулканов?*

Володин Е. М.: Да, такие эксперименты проводились. Например, в экспериментах по моделированию климата XX века заложены данные о мощных извержениях. Это отражается, например, в значениях концентрации вулканического аэрозоля. То есть все зависит от сценария, какие там заложены оптические толщины. В течение нескольких последующих лет после извержения температура в приповерхностном слое падала на три-четыре десятых градуса в глобальном осреднении.

Анохин Ю.А.* (ИГКЭ): То есть Ваши расчеты принципиально не противоречат данным наблюдений? Например, в период извержения вулкана Пинатубо и следующие 1,5-2 года после этого события температура понизилась примерно на полградуса.*

Володин Е. М.: Да, результаты наших расчетов не противоречат этим данным. Существуют вопросы в точности определения концентраций сульфатного аэрозоля, так как эти данные также были получены в результате моделирования. Также не до конца ясно, насколько точно измеряются эти десятые доли глобальной температуры.

Анохин Ю.А.* (ИГКЭ): Это очень важный момент, так как вся климатическая проблема в большей степени связана с тем, что глобальное потепление в XX веке составляют по разным оценкам чуть меньше градуса. А изверже-*

ния вулканов выступают как события, которые могут сильно повлиять на эту цифру.

Володин Е. М.: Конечно. Если бы мы могли такое количество аэрозоля поддерживать в атмосфере постоянно, то стало бы возможным компенсировать современное потепление.

Туркин А.Б.* (ИГКЭ): Скажите, пожалуйста, если возникают локальные изменения концентрации аэрозоля в какой-то области пространства, то существует ли в модели возможность узнать время, за которое это возмущение диссипирует, «размажется»? Возможно ли проведение таких оценок с помощью Вашей модели?*

Володин Е. М.: Да, есть соответствующие варианты модели. Можно задать начальное количество вещества как дельта-функцию, как «очаг». В ходе расчета в начале максимальные концентрации будут на небольшом удалении от очага, затем вещество будет распространяться на большую территорию.

Полюхов А. А.* (Географический факультет МГУ им. М. В. Ломоносова): У меня два небольших вопроса. Какая доля расчетного времени тратится на расчет радиации? С какими линейными алгоритмами сравнивался алгоритм, использующийся в модели?*

Володин Е. М.: Ответ на первый вопрос зависит от разрешения в конкретном используемом варианте модели. Чем разрешение лучше, тем большую часть времени занимает расчет динамики атмосферы, а расчет параметризаций, в том числе и радиации - меньшую часть. Так, для самой грубой версии модели на расчет радиации уходит примерно 30% всего расчетного времени. На второй вопрос я не могу сейчас ответить, так как этим занимались другие специалисты. Можно обратиться с этим вопросом к ним.

Фролькис В.А.* (ГГО им. А.И. Воейкова, Санкт-Петербург): Какое разрешение по вертикали в модели?*

Володин Е. М.: В результатах, представленных на слайде, использовался 21 уровень по вертикали начиная с 1000 мбар до 10 мбар. На картинках, где показаны более высокие уровни – 73 уровня до высоты порядка 60 км. Разрешение в стратосфере в данном случае лучше. Так что эта величина зависит от версии модели.

<u>Фролькис В.А.</u> (ГГО им. А.И. Воейкова, Санкт-Петербург)*: В графиках, на которых показана зависимость коэффициента поглощения от относительной влажности, речь шла о тропосферном аэрозоле?*

Володин Е. М.: Да, на слайде представлены разные типы аэрозолей в тропосфере. Например, есть данные по морской соли, минеральной пыли и другим типам. Это все тропосферные аэрозоли. В стратосфере относительная влажность близка к нулю. Там, конечно, тоже можно это применить, но это не внесет значительных изменений.

<u>Фролькис В.А.</u> (ГГО им. А.И. Воейкова, Санкт-Петербург)*: Для какого временного интервала Вы используете модель?*

Володин Е. М.: Это зависит от эксперимента. Например, есть базовые эксперименты на 500 лет. Есть моделирование климата 19 или 20 века, соответственно, тогда модель запускается на 200 или 150 лет.

<u>Семенов С. М.</u> (ИГКЭ): *Когда описываются спектры газов, то они представляют собой пики, обычно измеренные при некоторых условиях. В иных условиях, скажем, при увеличении средней скорости молекул эти пики несколько сдвигаются. Их ширина может также меняться (уширение Лоренца). Как учитываются эти процессы в модели, или вклад от них небольшой?*

Володин Е. М.: Думаю, что учитываются. Проводились отдельные исследования, где данные измерений обобщались для разных значений давления, температуры и влажности. Думаю, что в модели это учтено.

Семенов С. М. (ИГКЭ): *У меня также вопрос к последнему слайду презентации, на котором показаны высотные профили. Что значит охлаждение от CO_2? Охлаждение чего? Это уменьшение стратосферной температуры*?

Володин Е. М.: Да, все верно. Имеется в виду охлаждение стратосферы из-за парникового эффекта. Дело в том, что CO_2 очень хорошо излучает в длинноволновом диапазоне. За счет этого стратосфера находится в своеобразном равновесии: озон стратосферу нагревает, а углекислый газ – охлаждает.

<u>Семенов С. М.</u> (ИГКЭ): *Когда от Солнца приходит излучение, то не вся энергия идет на нагрев. Например, часть переходит в атмосфере в химическую форму. Существуют фотохимические реакции, происходящие с поглощением энергии. Учитывается ли это в Вашей модели*?

Володин Е. М.: Считается, что в среднем вещества не накапливаются. Где-то они синтезируются, а где-то распадаются, то есть общая концентрация каких-то веществ не может расти. Конечно, в разных регионах по-разному, где-то больше вещества синтезируется, где-то в основном разрушается. Например, озон синтезируется в тропиках, а разрушается в высоких широтах. Но я не думаю, что это вносит сильный вклад в тепловой баланс системы. Поэтому считается, что энергия не запасается в результате химических реакций, все идет на нагрев.

***Семенов С. М.* (ИГКЭ):** *Какими газами и в каких диапазонах происходит поглощение солнечного излучения*?

Володин Е. М.: В стратосфере - за счет озона, а в тропосфере – в основном за это отвечают водяной пар и облака, в меньшей мере - CO_2, озон, аэрозоли.

***Анохин Ю.А.* (ИГКЭ)**: *В начале своего доклада Вы рассказывали о структуре атмосферного блока. Также у Вас есть в модели океанический блок. У Вас используется технология объединенного моделирования (технология coupled modelling) циркуляции атмосферы и океана*?

Володин Е. М.: Конечно, это есть в модели. Замечу, что в океане описание радиационных потоков проще. Считается, что если солнечная радиация достигает поверхности океана, то 58 % поглощается уже в верхнем слое. И нет также таких сложных спектральных зависимостей.

***Семенов С. М.* (председательствующий):** *Спасибо, Евгений Михайлович. Давайте теперь послушаем комментарий Виктора Абрамовича Фролькиса.*

К.ф.-м.н. ФРОЛЬКИС ВИКТОР АБРАМОВИЧ (ГГО им. А.И. Воейкова, Санкт-Петербург) выступает с комментарием (текст прилагается).

***Семенов С. М.* (председательствующий):** *Спасибо, Виктор Абрамович. Коллеги, у нас есть еще некоторое время для дискуссии и каких-то возникших вопросов. Пожалуйста.*

Фролькис В .А. (ГГО им. А.И. Воейкова, Санкт-Петербург): *Как Вы определяли величины форсингов? Ваши цифры не согласуются со справочными данными. Например, если смотреть значения на уровне тропопаузы, то в справочнике приводятся такие данные (если смотреть с 1750 по 2005 гг.): для CH_4 мгновенный радиационный форсинг (то есть при изменениях температуры, связанных только с изменениями CH_4) составляет порядка 0,48*

Вт/м^2, для N_2O 0,16 Вт/м^2. У Вас приведены совсем другие цифры. Вы, вероятно, считали радиационный форсинг по-другому. Как именно?

Володин Е. М.: В модели проводилось два расчета. В первом случае вычислялась радиация со всеми газами, которые есть в атмосфере, а во втором случае некоторое вещество (например, метан) полностью изымалось из атмосферы. В Ваших данных приведены значения антропогенного радиационного форсинга, а в приведенных в презентации показан эффект полного изъятия вещества.

Фролькис В.А. (ГГО им. А.И. Воейкова, Санкт-Петербург)*: То же самое касается и аэрозолей*?

Володин Е. М.: Да, все верно.

Фролькис В.А. (ГГО им. А.И. Воейкова, Санкт-Петербург)*: Хорошо. Тогда эти цифры объяснимы. Также меня немного удивила формула, когда Вы используете при расчете теплового излучения, которое уходит с поверхности, коэффициент серости. С учетом этого коэффициента Вы рассчитываете, сколько энергии приходит к поверхности и сколько излучается вверх. В принципе, k-распределение позволяет выполнять такие расчеты, но это же длинноволновое излучение. Тот поток излучения, который достиг земной поверхности и отразился от нее, у Вас еще умножается на функцию пропускания для восходящего потока. Получается, что оптический путь суммируется, а соответствующие экспоненты перемножаются, что для ИК излучения неверно. Я думаю, что это может привести к большой ошибке в расчетах. Правда, если коэффициент серости у Вас порядка 0,95, то таким восходящим потоком можно пренебречь. Так ли это*?

Володин Е. М.: Да, все верно. Коэффициент серости близок к единице.

Фролькис В.А. (ГГО им. А.И. Воейкова, Санкт-Петербург)*: Я правильно понял, что Вы использовали k-распределение для длинноволнового диапазона и БИК-диапазона*?

Володин Е. М.: Да.

Фролькис В.А. (ГГО им. А.И. Воейкова, Санкт-Петербург)*: Также всегда хочется задать вопрос о чувствительности модели. Ведь считается, что оптические параметры в 70-90-е годы XX века были хорошо измерены, и большие погрешности сейчас могут быть при задании облаков, аэрозолей и влажности. И уровень неопределенности, который может быть связан с*

этими составляющими, может полностью перекрыть все радиационные эффекты, которые здесь обсуждались. Как Ваша схема чувствительна к ошибкам в измерении температуры, влажности, облаков?

Володин Е. М.: Думаю, что достаточно чувствительна. С солнечным блоком проводилась большая работа по сравнению, проводились различные проверочные расчеты.

Фролькис В.А. (ГГО им. А.И. Воейкова, Санкт-Петербург)*: Опыт показывает, что облачность часто используется как подгоночный параметр. Второй такой параметр – водяной пар. То есть, если Вы правильно подгоните облака и водяной пар, то при проверке модели все будет хорошо. Все так и есть*?

Володин Е. М.: По всей видимости.

Семенов С.М. (председательствующий): Спасибо, Виктор Абрамович.

Уважаемые коллеги! Мы послушали завершающий доклад из нескольких, которые описывали физические основы переноса излучения в атмосфере, методы моделирования этого процесса, результаты моделирования и их сравнение с данными измерений. Сегодняшний доклад Евгения Михайловича продемонстрировал, что моделирование дает очень хорошие результаты. Я понимаю беспокойство Виктора Абрамовича относительно чувствительности модели к разным факторам. Но, посмотрим на факты. Здесь были представлены сравнения результатов расчетов и спутниковых данных. Совпадение очень хорошее. Причем совпадение не чисел, а кривых, распределений. Это совершенно удивительно. Ведь когда сравнивают модельные кривые с фактическими, обязательно с какого-нибудь края что-то не совпадает. Здесь же более-менее все получилось. Представленная модель очень хорошо отражает радиационные процессы, о которых мы говорили на протяжении предыдущих заседаний нашего семинара.

Надо поздравить Евгения Михайловича и его группу с этим достижением. Все знают, что эта модель считается одной из лучших в мире и входит в глобальный пул моделей, на которых держится проект CMIP. CMIP – это проект по сравнению различных климатических моделей, результаты расчетов которых используются при глобальных оценках изменения климата.

Конечно, к такой большой работе всегда остаются вопросы. У всех они разные. Например, у Виктора Абрамовича это вопросы, связанные с водяным паром и облаками. И то, и другое моделируется пока несовершенно. Теоре-

тические основы известны, но пока не совсем понятно, как это учитывать в модели.

Еще один специфический вопрос беспокоит меня. Дело в том, что изменчивость спектров газов очень большая. На очень маленьком участке длин волн может быть пик, который соседствует с участком спектра, соответствующим спаду. Евгений Михайлович сказал, что по вычислительным причинам в модели можно использовать не очень большое число диапазонов. Это значит, что для каждого из этих диапазонов будет задан какой-то средний коэффициент поглощения. У меня есть некоторый собственный опыт в подобных вычислениях, который показал, что если заменить семейство пиков средним, то получается довольно большая ошибка в результирующей температуре. Обычно температура при этом завышается. То есть радиационная модель очень чувствительна к такому осреднению. Но сильно дробить весь диапазон длин волн невозможно, так как может не хватить спектроскопических экспериментальных данных. С этим ничего не поделаешь. К сожалению, пока нет такого математического приема, который позволил бы преодолеть эту сложность.

Хотел бы еще раз отметить, что те результаты, которые сегодня нам представлены, впечатляют. Давайте поблагодарим Евгения Михайловича за доклад и Виктора Абрамовича за комментарий.