

Использование климатической модели ИВМ РАН при подготовке 5-ого Оценочного доклада Межправительственной группы ученых по изменению климата (МГЭИК)

1) Уважаемый Евгений Михайлович, спасибо, что согласились ответить на наши вопросы. В начале расскажите, пожалуйста, что представляют собой в настоящее время глобальные совместные модели общей циркуляции атмосферы и океана (МОЦАО) и какие еще кроме МОЦАО ИВМ РАН модели климата используются и совершенствуются в России в настоящее время?



Е.М.Володин

В таких моделях решаются уравнения динамики атмосферы и океана с шагом по пространству порядка 100 км и с шагом по времени несколько минут. В этих моделях стараются наиболее полно и точно учесть всё многообразие явлений и процессов, которые и образуют вместе климатическую систему. Это, например, накопление и таяние снега, таяние, намерзание и движения морского льда, эволюция мерзлоты в почве, речной сток, влияние растений на потоки тепла и импульса, и многие другие. Всё больше моделей включают в себя расчет эволюции углерода растений, почвы и океана, которые позволяют оценить концентрацию углекислого газа в атмосфере. Многие модели учитывают также химические превращения малых газовых составляющих атмосферы.

Кроме модели ИВМ РАН есть еще модель атмосферы и океана, используемая для сезонных прогнозов в Гидрометцентре. Однако расчеты на несколько десятков лет по такой модели пока не проводились. В ГГО для климатических расчетов используется модель атмосферы с верхним 50-метровым слоем океана, но модели с полным океаном пока нет. Также есть модель климатической системы промежуточной сложности ИФА РАН, но она не описывает явно динамику атмосферы. Так что в некотором смысле модель ИВМ – пока единственная модель климатической системы такого класса в России.

2) По каким критериям производится отбор моделей для подготовки Оценочных докладов МГЭИК (ОД МГЭИК) и как давно МОЦАО ИВМ РАН входит в число используемых для их подготовки? Насколько различаются модели, используемые в проекте СМIP5 между собой?

Официальных жестких критериев, по которым производится отбор моделей, пока не существует. Если у вас есть модель, описывающая динамику атмосферы и океана, и вы провели требуемый набор численных экспериментов с ней, то вы можете поместить её результаты в базу данных, и они будут учтены при подготовке очередного доклада МГЭИК. Но неофициальные критерии, конечно, есть. Модель должна адекватно описывать многие явления современного климата, а также правильно воспроизводить изменения климата, наблюдавшиеся в 19, 20 и начале XXI века. Без этого вряд ли можно рассчитывать на то, что оценки будущих изменений климата по такой модели будут верными.

Данные модели ИВМ РАН использованы в 4-м ОД МГЭИК, который вышел в 2007 г. Однако численные эксперименты, результаты которых лежат в основе отчёта, были проведены в 2003-2004 г. До этого модель ИВМ в подобных расчетах не участвовала. Сейчас (в 2010-2011 гг.) проходят расчеты по программе СМIP5, результаты которых будут использованы в 5-м ОД МГЭИК, который должен выйти в 2013-2014 гг.

Участвующие в СМIP5 модели различаются прежде всего шагом сетки. Так, в атмосфере типичный шаг сетки составляет 2-3 градуса, но в отдельных моделях (например, японская модель MRI-AM) он равен 20 км. Однако такие модели пока могут быть использованы для проведения лишь отдельных недлинных численных экспериментов. Расчеты на несколько сот лет по ним пока практически невозможны. В океане также типичный шаг сетки составляет 1-2 градуса, но отдельные модели (например, английская модель NIGEM) используют шаг сетки 0.3 градуса. Кроме того, модели могут включать или не включать в себя интерактивный расчет тропосферной и стратосферной химии, углеродного цикла, биохимии океана. Кроме этих простых формальных критериев, модели различаются также по качеству воспроизведения различных климатических характеристик. Это качество зависит, кроме перечисленного, от точности настройки модели, то есть степени взаимосогласованности описания всех процессов, достижение которой трудно формализовать, и которое является скорее искусством, чем собственно наукой. По всей совокупности качества воспроизведения различных явлений современного климата, версия модели ИВМ, участвовавшая в расчетах 2003-2004 гг., находится примерно в середине списка из 20 участвовавших моделей.

3) Какие основные сценарии увеличения концентрации парниковых газов используются при исследовании климата будущего? Насколько они могут точно описать динамику выбросов, учитывая, что они связаны с темпами развития мировой экономики, и в последние годы особенно с темпами роста крупнейших развивающихся стран?

Точно предсказать выбросы углекислого газа на ближайшие сто лет, конечно, невозможно. Поэтому используются различные сценарии, в основе которых лежат разные предположения. Например, что мировая экономика будет развиваться хаотично, и никаких мер по ограничению выбросов не будет предпринято. Или, наоборот, будут предприняты жесткие централизованные меры, и выбросы будут значительно ограничены. Вероятность того, что действительные выбросы будут укладываться в диапазон таких сценариев, гораздо

больше, чем вероятность того, что выполнится какой-либо наперед выбранный сценарий. Сейчас в программе CMIP5 для расчетов используют 3 сценария. Согласно им радиационный форсинг от увеличения концентрации парниковых газов к 2100 г. составит соответственно 8.5, 4.5 или 2.6 Вт/м². Это соответствует предположениям об отсутствии ограничения выбросов, умеренным ограничениям и жестким ограничениям.

4) Какой климат нас ожидает через несколько десятилетий? Обсуждаемые в настоящее время меры по сокращению выбросов парниковых газов на период после 2012 г. – в случае успеха или неудачи могут ли они оказать существенное влияние на изменение климата в кратко- или среднесрочной перспективе?

В ближайшие несколько десятилетий глобальное потепление будет продолжаться, причём его темпы мало зависят от выбранного сценария. Заметные отличия в сценариях могут проявиться, начиная примерно с середины XXI века. Возможные меры по ограничению выбросов после 2012 г. вряд ли существенно изменят климат ближайших двух-трех десятилетий, но могут заметно повлиять на климат середины и особенно конца XXI века, когда последствия потепления при самых агрессивных сценариях могут стать уже весьма негативными.

5) В чём основные различия между модельными расчётами в рамках подготовки 5-го и 4-го ОД МГЭИК, в частности, в модели ИВМ РАН?

Во-первых, увеличилось разрешение моделей, что позволило более точно воспроизводить мелкомасштабные явления. В модели ИВМ РАН, например, в атмосфере оно увеличилось с $5 \times 4^\circ$ до $2 \times 1.5^\circ$ по долготе и широте, а в модели океана с $2.5 \times 2^\circ$ до $1 \times 0.5^\circ$ по долготе и широте. Кроме того, в модель ИВМ включен интерактивный расчет углеродного цикла, цикла метана, химия атмосферы. Есть отличия и в постановке численных экспериментов. Например, если в 4-м ОД будущие изменения климата рассматривались только как отклик на увеличение концентрации парниковых и других газов, то в CMIP5 проводится первая попытка предсказания изменений климата в ближайшие 10-30 лет с учетом еще и естественной изменчивости. Такая естественная изменчивость на временных масштабах 10-30 лет может быть сравнима, а кое-где даже превосходить вклад от парникового эффекта. Например, именно сочетанием глобального потепления и естественных колебаний можно, по-видимому, объяснить особенно быстрое уменьшение площади летнего льда в Арктике в последние годы, а также зимнее потепление конца 80-х и 90-х годов на Европейской части России.

6) Как известно, кроме роста концентрации парниковых газов в атмосфере, извержений вулканов, изменения активности Солнца и других факторов, значительное влияние на климатическую систему Земли оказывает продолжающаяся деградация естественных экосистем, и в первую очередь – сокращение лесов, разрушение болотных экосистем, которые не только поглощают и испускают CO₂, водяной пар, но и являются значительными резервуарами парниковых газов (в т.ч. метана). Как в настоящее время в лучших в мире МОЦАО и МОЦАО ИВМ РАН учитывается углеродный цикл естественных экосистем и их наблюдаемые и прогнозируемые изменения?

В каждой точке модельной сетки, приходящейся на сушу, каждый модельный час вычисляется продукция фотосинтеза и дыхание тех видов растений, которые там растут. Рассчитывается масса углерода растений и почвы. В заболоченных районах вычисляется также источник метана и поток метана в атмосферу, который складывается из диффузии в почве, всплывания пузырьков и потока через растения. Однако при работе с такими моделями имеются сложности, так как результаты их работы часто не с чем сравнить. Ведь масса углерода растений, почвы, и поток метана не измеряют с достаточной точностью на всей поверхности Земли. Отсюда – и различия в прогнозах накопления углерода в растениях и почве при будущих изменениях климата. Кроме того, не слишком хорошо известно, как влияет землепользование и вырубка лесов на продуктивность экосистем и в конечном счете массу углерода, накопленную в этих экосистемах. Все это приводит к тому, что при одном и том же сценарии в конце XXI века экосистемы суши могут накопить согласно одним моделям 25-30% всех антропогенных выбросов CO₂, а по другим моделям эта величина может быть близка к нулю.

7) Очень часто рассмотрение изменения климата ограничивается только изменением климатических параметров на поверхности Земли. А на верхних уровнях атмосферы в стратосфере и мезосфере наблюдаются ли какие-либо изменения?

Да, наблюдаются, причем даже более заметные и статистически значимые, чем на поверхности. Так, если повышение среднеглобальной температуры на поверхности исчисляется десятками долями градуса, то понижение температуры в стратосфере в последние десятилетия достигают 2-3°. Эти изменения обычно неплохо моделируются современными моделями, если задать наблюдаемое изменение концентрации углекислого газа и озона.

8) На климат Северного полушария значительное влияние оказывает течение Гольфстрим. После разлива нефти в Мексиканском заливе за рубежом и в России появились мнения (проекты исследований), связывающие эту катастрофу и аномалии лета этого года – длительную жаркую погоду

на Европейской территории России и наводнения из-за ливневых осадков в Пакистане. Зарегистрированы ли за последние десятилетия изменения Гольфстрима и существует ли опасность его изменений в ближайшей перспективе (как в фильме «Послезавтра»)? И вопрос в дополнение - чем, по Вашему мнению, могут быть объяснены аномалии лета 2010 г.?

Изменения расхода Гольфстрима, конечно, происходят, но они приводят к изменению температуры поверхности Северной Атлантики на 1-2°, максимум на 3° в отдельных местах. Лето 2010 г. – не исключение, аномалии ТПО (**температуры поверхности океана*) в северной Атлантике в это время не превышали 1-2°. Как показывают ансамбли расчетов с моделями атмосферы, атмосферный отклик на такие аномалии ТПО в умеренных широтах весьма невелик, и составляет на территории России лишь десятые доли градуса. Наблюдавшиеся аномалии температуры приземного воздуха были намного больше. Например, июль в Москве был теплее нормы на 7.8°. Наиболее вероятная причина небывалой жары лета 2010 г. – взаимодействие длительно живущей аномалии динамики атмосферы – восточно-европейского блокинга – и аномально сухой почвы к юго-востоку от центрального района России, на Средней Волге и Южном Урале. Именно совпадение этих двух факторов обеспечило то, что поступающий с юго-восточным ветром воздух был особенно сухим и горячим. Причем, непосредственной связи между этими двумя факторами и изменением Гольфстрима я не вижу. По-видимому, и особенно сильный восточно-европейский блокинг, и почвенная засуха – в основном результат естественной изменчивости атмосферы.

Если же говорить о долговременных изменениях циркуляции в Северной Атлантике, то некоторое уменьшение потока тепла на север в Атлантике в последние десятилетия, возможно, происходит. Утверждать это с уверенностью сложно, поскольку для более определенного утверждения точности и продолжительности имеющихся измерений, по-видимому, недостаточно. В будущем, по мере развития глобального потепления, почти все модели предсказывают уменьшение термохалинной циркуляции в Атлантике и, следовательно, потока тепла, переносимого Атлантикой, на север. Такое уменьшение обусловлено, в первую очередь, уменьшением при глобальном потеплении потока тепла из океана в Северной Атлантике в атмосферу, а факторы, связанные с увеличением потока пресной воды (усиление таяния льдов Гренландии, увеличение стока рек и др.) играют второстепенную роль. Это приводит к тому, что глобальное потепление над Северной Атлантикой, согласно моделям, ожидается меньшим, чем над другими районами, и, по многим моделям, самым маленьким во всем Северном Полушарии. Тем не менее, ни одна из моделей не предсказывает над Северной Атлантикой значительного похолодания вместо потепления, или каких либо других катастрофических событий, вроде тех, что показаны в фильме «Послезавтра».

9) В качестве «спасательного круга» в последние годы раздаются призывы обратить особое внимание на так называемые «геоинженеринговые» методы. МОЦАО ИВМ РАН используется в моделировании возможных последствий внесения сульфатного аэрозоля в стратосферу в рамках совместного проекта со специалистами Института глобального климата и экологии Росгидромета и РАН с целью сдерживания климатических изменений. Каковы основные результаты этого исследования? Все ли последствия возможного внесения сульфатного аэрозоля в стратосферу исследованы?

Существуют ли ограничения по исследованию последствий внесения сульфатного аэрозоля в стратосферу с помощью численных моделей? Необходимо ли проведение (расширение) натуральных экспериментов по распылению аэрозольных частиц в тропосфере-стратосфере?

Такое исследование действительно проводилось. Основные результаты – примерно те же, что получены и по другим моделям. А именно, получить уменьшение температуры путем вбрасывания серосодержащих веществ в стратосферу действительно можно. Для получения глобального похолодания на градус надо выбрасывать порядка 2 Мт серы. Но побочные последствия этого – неравномерность похолодания по пространству и времени (сезону), причем не всегда аналогичная неравномерности глобального потепления. Кроме того, в результате воздействия могут значительно уменьшиться осадки в некоторых, прежде всего тропических, районах. И, как и в случае извержения вулканов, можно ожидать уменьшения общего содержания озона на несколько процентов. К тому же, в случае прекращения воздействия, за несколько лет произойдет сильное потепление, с гораздо большей скоростью, чем если глобальное потепление будет развиваться обычным образом, без какой-либо геоинженерии. Наконец, всегда есть вероятность того, что в модели учтено не всё. Например, эффект геоинженерии сильно зависит от характерного размера получающихся аэрозольных частиц, а этот размер может зависеть от многих факторов, например, от условий ввода серосодержащих веществ, и от размера уже имеющихся частиц. Поэтому, если возможность геоинженерии рассматривать всерьёз, то нужны, конечно, дополнительные натурные эксперименты. Но, как мне кажется, проще и безопасней все же ограничить выбросы CO₂, а геоинженерию рассматривать лишь как крайнюю меру на тот случай, если, например, глобальное потепление вдруг по каким-то причинам окажется намного больше ожидаемого. Ну и, наконец, существуют ведь другие проекты геоинженерии, некоторые из них вполне разумны. Например, на мой взгляд, перспективным является предложение увеличение продуктивности морских экосистем путем внесения микроэлементов, необходимых для развития планктона. Это приведет к накоплению дополнительного количества CO₂ в океане...

10) Каковы перспективы развития климатического моделирования в ИВМ РАН и в России на ближайшие несколько лет?

С одной стороны, планов и пожеланий очень много. Планируется, и уже есть такая техническая возможность, увеличить пространственное разрешение, прежде всего в океане, до 10-25 км. Это позволит явно описывать океанские вихри, которые определяют многие крупномасштабные явления, например, ту же атлантическую термохалинную циркуляцию, и влияние которых сейчас мы вынуждены параметризовывать. Другой заманчивый проект – значительное увеличение разрешения по вертикали, что позволит явно моделировать, например, тонкие слои облаков на верхней границе атмосферного пограничного слоя. Именно от поведения этих облаков сильно зависит чувствительность модели к внешним воздействиям, например, к увеличению содержания CO₂. Планируется и уже частично введено моделирование электрических явлений в атмосфере. Возможно соединение модели климатической системы с моделью верхней атмосферы, где учитывается динамика атмосферы с учетом электромагнетизма на высотах несколько сотен км.

Кроме совершенствования модели, возможно проведение интересных численных экспериментов с уже существующей версией модели. Например, вопрос о предсказуемости естественной изменчивости климатической системы на несколько десятков лет пока практически не исследован. Есть основание считать, что такая предсказуемость для некоторых индексов циркуляции может иметь место.

С другой стороны, такие планы не могут быть выполнены силами 2 - 3 человек, как это происходило до сих пор, необходимо много хороших специалистов. За рубежом развитием подобных моделей занимаются целые институты. У нас же нужных для этого специалистов или нет совсем, или явно недостаточно. Плюс, конечно, административные трудности. Например, ИВМ РАН, как, вероятно, и многие другие академические институты, в настоящее время не может принять на работу ни одного человека, поскольку штат института не может быть больше предписанного. Поэтому для дальнейшего развития моделирования климатической системы в России необходимо интегрировать усилия всего научного сообщества, имеющего к этому отношение, причем способа, которым это можно будет сделать, на настоящий момент нет, его ещё предстоит изобрести. ■

Вопросы интервью подготовлены П.Н.Варгиным (УНМР Росгидромета) и С.В.Кострыкиным (ИВМ РАН).

Комментарий директора Главной геофизической обсерватории Росгидромета В.М.Катцова:



В.М.Катцов

Создание глобальной модели совместной циркуляции атмосферы и океана в ИВМ РАН, ее успешное участие в международном проекте сравнения объединенных моделей (CMIP3) и, соответственно, использование расчетов климата с помощью этой модели при подготовке 4-го оценочного доклада МГЭИК (2007 г.), безусловно, является одним из крупнейших достижений российской климатической науки начала 21-го века. Появление в России нескольких моделей такого уровня соответствовало бы современному положению вещей в развитых странах. Так в США наиболее известны 4 "независимые" глобальные модели, разрабатываемые в крупнейших исследовательских центрах. Этим же путем идут Япония, Германия, Великобритания. В России разработкой моделей такого класса, помимо ИВМ РАН, занимается ГГО им.А.И.Воейкова.

Эти работы возобновились в ГГО два года назад - после оснащения обсерватории современным быстродействующим вычислителем, когда компьютерных ресурсов стало достаточно для развития объединенной глобальной модели одновременно с рутинным выпуском экспериментальных месячных и сезонных прогнозов с использованием глобальной модели общей циркуляции атмосферы ГГО, а также с проведением ансамблевых расчетов с региональной климатической моделью ГГО высокого пространственного разрешения. Кстати, последняя - единственная российская региональная модель, результаты расчетов с которой для территории Северной Евразии использовались в упомянутом четвертом докладе МГЭИК. Аналогичные усилия в области моделирования предпринимаются в Гидрометцентре, компьютерные ресурсы которого чрезвычайно возросли - так же, как и в ГГО, в рамках проекта технического перевооружения Росгидромета. Естественно, с учетом главных задач Гидрометцентра, основные разработки ориентированы на прогноз на временных масштабах от нескольких дней до сезона. В подготовленном недавно по поручению Совета Безопасности РФ Комплексном плане научных исследований погоды и климата физико-математическое моделирование климатической системы Земли является одним из восьми главных направлений. Это самым непосредственным образом касается ГГО и Гидрометцентра, определяет одно из ключевых направлений организационных усилий Росгидромета в области научных исследований. Создание и широкое использование в исследованиях и оперативной практике моделей общей циркуляции атмосферы и океана мирового класса относится к числу высших приоритетов российской науки, является необходимым условием формирования независимой и научно обоснованной позиции России при выработке тех или иных политических и экономических решений, связанных с изменением климата, адаптацией к текущим и ожидаемым погодно-климатическим воздействиям, а также смягчением антропогенного воздействия на климат. ■

Подробнее о климатических моделях, используемых для исследования климата: 5-я Глава 1-го Тома «Оценочного доклада об изменениях климата и их последствиях на территории Российской Федерации» (Росгидромет, 2008 г.) <http://climate2008.igce.ru/v2008/htm/index00.htm>

Подробнее о МОЦАО ИВМ РАН: <http://ksv.inm.ras.ru> – сайт предоставляет удаленному пользователю возможность интерактивной визуализации результатов расчётов совместной климатической модели атмосферы и океана ИВМ РАН

Публикация «Воспроизведение современного климата с помощью совместной модели общей циркуляции атмосферы и океана INMCM 4.0». Авторы: [Е. М. Володин](#), [Н. А. Дианский](#), [А. В. Гусев](#), (ИВМ РАН) в журнале «Известия РАН. Физика атмосферы и океана» том 46, № 4, 2010.