

**Физико-химические механизмы
и обратные связи
в климатических моделях.**

Диагностика и моделирование глобальных и региональных изменений климата

И.И.Мохов

Институт физики атмосферы им. А.М.Обухова РАН, Москва

Даются количественные характеристики современных глобальных и региональных изменений климата в сопоставлении результатами палеоре-конструкций и модельными расчетами. Приводятся результаты диагностики причинно-следственных связей в земной климатической системе и сравнительной роли естественных и антропогенных факторов (солнечной и вулканической активности, антропогенных эмиссий парниковых газов и аэрозоля). Оценивается роль углеродного цикла, включая цикл метана, связанный с вечной мерзлотой и болотными экосистемами. Анализируются результаты ансамблевых модельных расчетов при разных антропогенных сценариях для климатических изменений, в том числе в разных регионах России. Сопоставляются тенденции изменений в разных регионах, в частности тенденции изменений стока сибирских рек (Оби, Енисея, Лены) и Волги. Проводится анализ изменений ледовой обстановки в Арктике с целью оценки перспектив Северного морского пути. Приводятся результаты диагностики связи региональных характеристик климата северной Евразии с характеристиками режима Северной Атлантики, в том числе температурного режима и интенсивности термохалинной циркуляции, на основе результатов расчетов с глобальной климатической моделью общей циркуляции и по данным наблюдений и реанализа.

Моделирование возможных активных воздействий на глобальное потепление климата

И.Л.Кароль, А.А.Киселев, В.А.Фролькис

Главная геофизическая обсерватория им. А.И.Воейкова, Санкт-Петербург

1. Краткий обзор современных представлений о значении современного глобального потепления климата и возможных путях воздействия на его масштабы и скорость

2. Имеющиеся в литературе оценки масштабов и эффектов природных аэрозольных экранов – крупных извержений вулканов (Эль-Чичон и Пинатубо), а также глобального распространения аэрозольных продуктов испытаний ядерного оружия в 1950-60-х гг.

3. Модельные оценки эффектов возможных снижений интенсивности солнечной радиации, поступающей на верхнюю границу атмосферы.

4. Модельные оценки возможных радиационных эффектов аэрозольных экранов разного состава, размещаемых в различных частях атмосферы для условий стационарного парникового климата.

5. Обсуждение и выводы.

Математическое моделирование глобального потепления

Е.М.Володин

Институт вычислительной математики РАН, Москва

Рассматриваются результаты моделирования изменения климата в 21–22 веках по данным 4-го отчета Международной Группы Экспертов по Изменению Климата (МГЭИК). Дается анализ особенностей глобального потепления, общих для большинства моделей: более сильное потепление в высоких широтах, на континентах, зимой, ночью. Анализируется изменение теплового и водного баланса Земли при глобальном потеплении. Рассматриваются вероятные будущие изменения динамики атмосферы, обусловленные глобальным потеплением, в том числе уменьшение интенсивности вертикальных движений в тропиках, изменение индекса арктического и антарктического, а также южного колебания. Обсуждается возможность изменения циркуляции мирового океана, в первую очередь северной Атлантики, обусловленного глобальным потеплением. Рассматриваются причины неопределенности прогноза будущих изменений климата, в первую очередь различный отклик моделей на одинаковое радиационное воздействие, разная эффективная глубина слоя океана, вовлеченного в глобальное потепление, различие обратных связей в системе углеродный цикл — климат, неопределенность выбросов парниковых газов.

Особенности изменчивости глобальных полей давления по данным NCEP/NCAR реанализа

М.Г. Акперов

Институт физики атмосферы им. А.М.Обухова РАН, Москва

Проведен анализ межгодовой изменчивости глобального поля давления на уровне моря p и его среднеквадратических отклонений δp для зимнего (январь) и летнего (июль) сезонов по среднемесячным данным NCEP/NCAR реанализа для периода 1952–2000 гг.

Значительные вариации δp отмечены над океанами в высоких и средних широтах зимой. Наибольшие изменения δp связаны с центрами действия в атмосфере, в частности, для океанических центров действия в высоких широтах северного полушария.

Актуальность и возможность прогнозирования общего содержания озона в России

Л.Б.Ананьев, И.Н.Кузнецова

Гидрометеорологический научно-исследовательский центр России, Москва

От содержания озона в атмосфере зависит облучение ультрафиолетовой радиацией. Повышенный интерес к проблеме общего содержания озона (ОСО) обусловлен тем, что в последние годы наблюдается уменьшение ОСО.

В России в системе Росгидромета ОСО измеряется на 27 станциях, но измерительная аппаратура и передача данных не соответствуют международным стандартам. Получение данных наземных измерений ОСО с зарубежной сети затруднено. Наиболее полную сегодня информацию об ОСО можно получить благодаря измерениям с геостационарных и полярно-орбитальных спутников. Преимуществом полярно-орбитальных спутников является измерение ОСО на всей территории земного шара, но измерения проводятся один раз в сутки. Преимуществом геостационарных спутников является одновременность съемки большой территории с дискретностью до 15 минут (Meteosat 8, 9), но охват территории этими спутниками ограничивается широтой 55°.

В Росгидромете начаты научные исследования изменчивости ОСО над территорией России.

Исследование ОСО и его прогнозирование является частью выполнения международных обязательств России в рамках Венской конвенции.

В докладе обсуждаются проблемы информационного обеспечения и методы прогнозирования ОСО.

Оценка изменений эмиссии метана болотными экосистемами в XXI веке с использованием результатов расчетов изменений климата с региональной моделью

С.Н.Денисов, И.И.Мохов, И.М.Школьник

Институт физики атмосферы им. А.М.Обухова РАН, Москва

Проведены расчеты возможных изменений эмиссии метана болотными экосистемами в XXI веке относительно конца XX века с использованием модельного блока цикла метана и расчетов изменений климата с региональной моделью ГГО для европейской и азиатской частей России при антропогенном сценарии SRES A2. Современные эмиссии метана болотными экосистемами по модельным расчетам составляют 8 Мт(CH₄)/год для европейской и 10 Мт(CH₄)/год для азиатской части России. К середине XXI века по расчетам эмиссии метана болотными экосистемами возрастают до 11 Мт(CH₄)/год для европейской и 13 Мт(CH₄)/год для азиатской части России, а концу соответственно до 14 Мт(CH₄)/год и 17 Мт(CH₄)/год.

Анализ взаимосвязи Эль-Ниньо и экваториальной Атлантической моды

С.С.Козленко^{1,2}, И.И.Мохов¹, Д.А.Смирнов³

¹ Институт физики атмосферы им. А.М.Обухова РАН, Москва

² Московский физико-технический институт, Долгопрудный

³ Саратовский филиал Института радиотехники и электроники РАН, Саратов

Проведено исследование взаимосвязи процессов в тропических широтах Атлантического и Тихого океанов с помощью нелинейного анализа причинности по Грейнджеру и моделирования фазовой динамики. Для анализа использовались индексы Эль Ниньо – Южного колебания (ЭНЮК) и экваториальной атлантической моды (ЭАМ) по среднемесячным данным NADISST для температуры поверхности океана (ТПО) для периода 1870–2006 гг. Количественная характеристика причинно-следственной связи по Грейнджеру характеризуется улучшением прогноза одного сигнала при учете данных для другого по сравнению с индивидуальным прогнозом. На основе нелинейного анализа причинности по Грейнджеру и моделирования фазовой динамики установлено наличие статистически значимого влияния ЭАМ на ЭНЮК без запаздывания и с запаздыванием в 1 месяц. Обратного статистически значимого воздействия не выявлено. Отмечено усиление влияния ЭАМ на ЭНЮК во второй половине XX века.

Разработка блока переноса примеси для модели общей циркуляции атмосферы ИВМ РАН

С.В.Кострыкин

Институт вычислительной математики РАН, Москва

Правильное описание процессов переноса примеси в климатической модели несомненно играет большую роль при моделировании климатической системы. Это вытекает из наблюдаемой структуры распределения атмосферных составляющих, которые имеют сильно неоднородную структуру как по горизонтали так и по вертикали. Данная структура обусловлена динамическим равновесием различных физических факторов среди которых принято выделять адвективный перенос, турбулентную диффузию, вертикальный перенос в следствии адиабатических источников тепла, физико-химические реакции для короткоживущих составляющих.

Процессы переноса примеси описываются с помощью уравнения переноса, для решения которого в климатических моделях изначально принято использовать консервативные разностные схемы. Современные численные схемы переноса помимо консервативности обладают еще рядом полезных свойств: квазимонотонностью, устойчивостью при больших значениях параметра Куранта, высокой вычислительной эффективностью. Целью данной работы являлось внедрение одной из современных численных схем в блок переноса модели общей циркуляции атмосферы ИВМ РАН, проведение численных экспериментов с этой моделью и сравнение полученных результатов.

Вклад сезонно-широтного распределения озона в нагревание стратосферы

Л.Р.Дмитриева, Н.А.Крамарова, Г.И.Кузнецов
Физический факультет МГУ им. М.В.Ломоносова, Москва

Распределение поступающей солнечной энергии, как высотное, так и широтное, играет основополагающую роль в формировании климатических условий на земле. Распределение энергии в атмосфере зависит от ряда факторов, в котором одну из важнейших ролей играет высотно-широтное распределение поглощающих газов, в число которых входит озон. Исследование высотно-широтного распределения отдельных поглощающих газов и их радиационных свойств в различных диапазонах солнечного спектра является важной и актуальной задачей, для правильного учета эффектов поглощения в глобальных климатических моделях, а также в моделях прогноза погоды.

Для оценки вклада озона в нагревание атмосферы предполагалось, что солнечное излучение в исследуемой области спектра (180–780 нм) ослабляется лишь за счет поглощения озоном и рассеяния на молекулах воздуха. Скорость нагревания атмосферы рассчитывалась по формуле:

$$R(p) = \left(\frac{\partial T}{\partial t}\right)_p = -\frac{g}{c_p} \frac{dF_{ef}(p)}{dp}$$

Где c_p — теплоемкость воздуха при постоянном давлении, g — ускорение свободного падения, p — давление, а F_{ef} — эффективный поток коротковолнового излучения.

Значения потоков зависят также от величины солнечного зенитного угла, поэтому для расчета эффективного потока радиации за сутки проводилось интегрирование по времени эффективных потоков, полученных с шагом в 1 час для соответствующих значений солнечного зенитного угла. Для расчетов на основе климатической базы, используемой в системе спутникового мониторинга SBUV, была сформирована база данных средноклиматических профилей парциального давления озона (в нбар) для 81 высотного уровня для 35 широтных зон и 12 месяцев.

Проведенные расчеты скоростей нагревания озоносферы показали, что радиационное нагревание стратосферы неоднородно по широте и зависит от сезона. Широтно-сезонное распределение скорости нагревания озоносферы определяется тремя факторами: высотой солнца, продолжительностью светового дня и величиной ОСО. Максимальные значения скорости нагревания за сутки (до 16 К/сут) наблюдаются в полярных широтах летнего полушария на уровне 47.5 км: в январе — в Антарктической области, в июле — в Арктической.

Ледниковый Антарктический щит и его чувствительность к температурным изменениям по модельным оценкам

А.В.Мальшикин, И.И.Мохов

Институт физики атмосферы им. А.М.Обухова РАН, Москва

Оценивается чувствительность массообмена для Антарктического ледового щита к изменению температурного режима с использованием термодинамической модели энерго-массового баланса, предложенной в [1].

Результаты оценок чувствительности массообмена в зависимости от температурного режима сопоставляются с расчетами с использованием климатических моделей общей циркуляции.

Литература

1. *Мохов И.И., Петухов В.К., Русин И.Н.* Чувствительность массообмена на поверхности ледникового щита Антарктиды к климатическим изменениям // Метеорология и гидрология. 1983. No.11. С.52-59.

Валидация климатической модели ИФА РАН и ее чувствительность к удвоению концентрации углекислого газа в атмосфере

К.Е.Мурышев, А.В.Елисеев, И.И.Мохов

Институт физики атмосферы им. А.М.Обухова РАН, Москва

Представлены результаты расчетов с новой версией климатической модели (КМ) ИФА РАН с использованием вместо статистически-динамического блока океана океанической модели общей циркуляции. Пространственное разрешение нового океанического блока составляет 3° по широте и 5° по долготе с 33 неравномерно распределенными уровнями по глубине. В предыдущей океанической версии разрешение составляло 4.5° широты и 6° долготы с четырьмя слоями по глубине (верхний квазигоризонтальный слой, сезонный термоклин, глубокий океан и слой придонного трения). Коррекция потоков тепла, массы и импульса между атмосферой и океаном в новой версии КМ ИФА РАН не используется.

Проведены численные эксперименты с КМ ИФА РАН при современных начальных и внешних условиях, а также при увеличении содержания углекислого газа в атмосфере. Все основные модельные атмосферные и океанические поля неплохо согласуются с данными наблюдений. В частности, в новой версии модели улучшено воспроизведение приповерхностного температурного режима Арктики благодаря модификации влияния на него морского льда.

В численных экспериментах с использованием статистически-динамического океанического блока удвоение концентрации CO_2 вызывало увеличение глобальной приповерхностной температуры на 2,2 К. Соответствующая равновесная температурная чувствительность новой версии КМ ИФА РАН к удвоению содержания углекислого газа в атмосфере составила 2,9 К. Это значение находится в середине диапазона оценок (1,8–4,5 К) по расчетам с современными моделями различной сложности. Осадки при этом для Земли в целом возрастают на 20%.

Риск пожароопасности в различных регионах России и его возможные изменения в XXI веке по модельным расчетам

А.В.Чернокульский, И.И.Мохов, И.М.Школьник
Институт физики атмосферы им. А.М.Обухова РАН, Москва

Лесные пожары — одно из наиболее опасных региональных последствий изменения климата. В данной работе приведены оценки режимов пожароопасности и их изменений в XXI веке для различных регионов России по модельным расчетам. Для анализа использовались результаты численных расчетов с региональной климатической моделью ГГО с горизонтальным разрешением 50 км при антропогенных сценариях SRES-A2 и SRES-B2 для XXI века. В качестве характеристики пожароопасности использовался индекс Нестерова, основанный на учете температуры воздуха, влажности воздуха и осадков, и его модификации.

По модельным расчетам в целом лесной зоне России соответствуют, главным образом, режимы с относительно невысоким уровнем пожароопасности. При этом, отмечен высокий риск пожароопасности для лесов Забайкалья. Что касается изменений режимов пожароопасности, то к середине XXI века, наряду с заметным увеличением риска пожаров в Восточной Сибири, происходит его уменьшение в бассейне Волги, а также в Западной Сибири, связанное увеличением осадков в модели. К концу XXI века риск пожароопасности, по расчетам, заметно растет в южных и в центральных регионах России, в том числе в низовьях Волги и Дона, а также в Западной Сибири. Для северных регионов тенденции изменений неоднозначны и существенно зависят от антропогенных сценариев.

Характеристика составляющих климатической системы Арктики и оценка роли различных факторов в ее современном изменении

Д.Г.Чечин, И.А.Ретина

Институт физики атмосферы им. А.М.Обухова РАН, Москва

В работе осуществляется попытка оценить вклад различных факторов в процесс современного изменения климата Арктики, начавшегося в 1989 году и продолжающегося по сей день, а также дается общая характеристика составляющих климатической системы Арктики и приарктических районов Евразии. Такие показатели, как индексы NAO (North Atlantic Oscillation), AO (Arctic Oscillation), Winter Siberian index и др., а также площади заприпайных полыней и ледовитости в арктическом бассейне, были взяты как основание для оценки роли адвективного притока тепла в климатическую систему Арктики и роли таких факторов, как изменение альбедо и энергообмен атмосферы и океана.

По данным наземных измерений на российской метеорологической сети и данным реанализа ERA-40 для области от 0° до 180° в.д. и от 60° до 90° с.ш. был произведен расчет аномалий среднемесячных и среднесезонных значений приземной температуры и влажности воздуха, а также осадков за период с 1970 по 1999 гг. Были рассчитаны коэффициенты корреляции аномалий метеорологических величин со значениями климатических индексов. На основании анализа полученных зависимостей дается оценка роли различных механизмов в поведении климатической системы Арктики.