
8. НЕОБХОДИМЫЕ ДАЛЬНЕЙШИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ КЛИМАТА

Ведущие авторы: В. М. Катцов, В. П. Мелешко
Рецензент: академик РАН В. П. Дымников

8.1. Задачи, стоящие перед современной наукой о климате

Среди огромного количества фундаментальных задач, связанных с исследованием климатической системы, центральной является проблема *предсказания климата*, т. е. статистического описания будущих состояний климатической системы в терминах среднего и изменчивости разных характеристик ее компонентов за период времени от нескольких месяцев до тысяч лет и более. Этой задаче подчинены все существующие направления фундаментальной науки о климате — от анализа и интерпретации данных наблюдений до исследований чувствительности к внешним воздействиям и предсказуемости климатической системы.

Как отмечалось ранее (глава 1), климатическая система является сложной системой, изменение которой определяется взаимодействием ее пяти компонентов: атмосферы, океана, криосферы, биосферы и деятельного слоя суши. Характерные значения времени релаксации этих компонентов к внешнему (в том числе антропогенному) воздействию различаются на несколько порядков. Вследствие нелинейности процессов, присущих указанным средам, и многообразию обратных связей, возникающих при их взаимодействии, в климатической системе возбуждаются сложные собственные колебания с самыми разными временными масштабами. Чтобы понять и предсказать изменение столь сложной системы под влиянием тех или иных внешних воздействий, необходимо использовать сложные физико-математические модели, описывающие процессы в указанных средах и взаимодействия между ними с достаточной степенью достоверности и детализации (глава 5).

Уже несколько десятилетий исследования климата относятся к сфере высоких технологий. Это прежде всего космические технологии, призванные обеспечить максимально полную и детальную

информацию о состоянии и эволюции климатической системы, а также компьютерные технологии, без которых немислимы как мониторинг, так и физико-математическое моделирование (и прогнозирование) климата, основанное на использовании постоянно совершенствующихся климатических моделей.

Проблематика фундаментальной науки о климате по сути своей интернациональна, поэтому приоритетные задачи, стоящие перед российской наукой, в большинстве своем не отличаются от задач, формулируемых международными программами исследований климата. Ниже приводится краткий обзор вопросов, требующих решения в приоритетном порядке. Этот обзор в значительной степени опирается на заключения 4-го Оценочного доклада Первой рабочей группы МГЭИК (IPCC, 2007).

8.2. Наблюдения за эволюцией климатической системы

Полноценные исследования климата невозможны без разработки, развертывания, интегрирования и поддержания устойчивого функционирования базирующихся на разных платформах компонентов комплексной системы наблюдений за климатом (глава 2). При этом потребности науки о климате не исчерпываются улучшением точности, репрезентативности, пространственно-временной детализации наблюдений и расширением списка наблюдаемых климатических характеристик. Потребность в *долговременных и однородных рядах наблюдений* является ключевой и находится в очевидном противоречии с потребностью в модернизации и расширении существующих сетей наблюдений. Важной проблемой эмпирических исследований изменений климата является приведение в соответствие данных наблюдений за климатом из всех доступных источников, включая так

называемые косвенные данные, характеризующие эволюцию климатической системы до начала инструментальных наблюдений и являющиеся одним из главных ресурсов палеоклиматологии.

России прежде всего требуется обеспечить функционирование *наземной сети* реперных станций, имеющих длинные ряды наблюдений за климатом на всей ее территории и, особенно, на Крайнем Севере, где существующая сеть остается редкой, а ожидаемые изменения климата особенно значительны. Проектом технического перевооружения организаций Росгидромета предусматривается в течение нескольких лет внедрение автоматизированных метеорологических комплексов и автоматических станций на наземной метеорологической сети, при этом приоритет отдан климатическим станциям ГСНК и региональным опорным климатическим станциям. В соответствии с рекомендациями ВМО необходимо обеспечить достаточный период сравнительных наблюдений на станциях климатической сети традиционными методами и автоматизированными комплексами для обеспечения однородности рядов наблюдений.

Некоторые виды наблюдений требуют дополнительных методологических исследований. Так, в числе “классических” проблем наблюдений за климатом остается проблема измерения осадков (в особенности, твердых осадков в сочетании с сильным ветром). Эта проблема по-прежнему создает значительные трудности при количественной (в высоких широтах зачастую и качественной) оценке соответствующих трендов. Несмотря на быстрое развитие сети наблюдений за многолетней мерзлотой, в частности в Северной Евразии, геофизиология продолжает испытывать острый недостаток данных наблюдений. Такое положение приводит к необходимости развития методов обработки и использования данных, полученных из разных источников для разных географических масштабов, и сочетания их с математическим моделированием с целью наилучшего использования ограниченного объема эмпирической информации.

Низкая плотность сети наблюдений на Крайнем Севере и востоке России требует дальнейших усилий по развитию климатической сети в этих районах и, одновременно, более широкого привлечения дистанционных систем наблюдений.

Спутниковые наблюдения открыли небывалые возможности для исследований климатической системы, однако, помимо недостаточной продолжительности соответствующих временных рядов, анализ изменений климата затрудняется интерпретацией спутниковых данных в отношении целого ряда климатических характеристик и явлений. Многие важные, с точки зрения понимания климатически значимых процессов, характеристики в настоящее время не могут измеряться со спутников. К последним

относятся, например, толщина морского льда, водный эквивалент снежного покрова суши и другие.

Создание и использование российской спутниковой системы наблюдений за климатической системой, безусловно, относится к числу главных приоритетов отечественной науки.

Наблюдения за экстремальными явлениями остаются недостаточными для анализа и обобщения сведений об их изменениях. Одной из причин этого является относительная редкость таких явлений, обуславливающая потребность в рядах наблюдений тем более продолжительных, чем реже происходит то или иное явление. Пространственно-временные масштабы некоторых явлений также затрудняют их интерпретацию в контексте меняющегося климата. Так, в настоящее время сведения о штормовых явлениях, граде, грозах и пылевых бурях недостаточны для обнаружения трендов повторяемости и интенсивности этих явлений.

Данные наблюдений за термохалинной структурой и циркуляцией Мирового океана отличаются неравномерным покрытием и во многих регионах крайне ограничены по времени либо совсем отсутствуют. Это создает трудно преодолимые проблемы в оценке внутривековой изменчивости и трендов крупномасштабной циркуляции (в частности, меридионального переноса тепла в Северной Атлантике или аномалий солености в Северном Ледовитом океане и субарктической Атлантике), а также уровня океана.

8.3. Проблемы, требующие дальнейших исследований

В числе главных неопределенностей прогностических оценок изменений климата остаются неопределенности, связанные с оценками будущих *источников и стоков парниковых газов* (глава 4). Велики неопределенности пространственно-временных распределений содержания *аэрозолей*, а изученность их климатически значимых химических, микрофизических и оптических свойств недостаточна. В частности, уровень понимания радиационных эффектов взаимодействия облаков с аэрозолями остается невысоким. Не вполне ясны причины наблюдаемых изменений содержания водяного пара в стратосфере, содержания метана в атмосфере, а также озона в тропосфере. В уточнении нуждаются количественные оценки радиационного воздействия, связанного со свойствами подстилающей поверхности и ее взаимодействием с атмосферой. Обратные связи между климатическими изменениями, загрязнением атмосферы и эволюцией озонового слоя определяют еще одно приоритетное направление исследований климатической системы.

8. НЕОБХОДИМЫЕ ДАЛЬНЕЙШИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ КЛИМАТА

Исследования *углеродного цикла*, информация о покрове суши и землепользовании, биологических и экологических процессах необходимы для получения количественных оценок поступления в атмосферу парниковых газов и таким образом для разработки и применения сценариев выбросов (и связанных с ними других сценариев), используемых в расчетах будущих изменений климата. Предварительные оценки будущих изменений климата с учетом углеродного цикла (IPCC, 2007) указывают на уменьшение поглощающей способности суши и океана в отношении диоксида углерода, т. е. на наличие положительной обратной связи между потеплением климата и увеличением в атмосфере концентрации этого парникового газа. В контексте глобального потепления пристальное внимание заслуживают роли, которые в углеродном цикле (а также, разумеется, в гидрологическом цикле) играют растительность (прежде всего бореальный лес), болота и вечная мерзлота. Вследствие этого в фокус соответствующих приоритетных исследований попадает большая часть территории России.

Проблемы предсказания *быстрых (внезапных) климатических изменений*, в том числе в результате изменений крупномасштабной циркуляции Мирового океана, а также неопределенности влияния изменений баланса массы и динамики ледниковых щитов Гренландии и Антарктиды на колебания *уровня океана* радикально расширяют временные рамки изучения эволюции климатической системы. Здесь, как и в исследованиях естественной изменчивости климатической системы, в том числе под влиянием астрономических факторов, важная роль принадлежит *палеоклиматологии*.

Последние годы отмечены значительным прогрессом в *обнаружении и установлении причин изменений климата* на основе анализа данных наблюдений и результатов физико-математического моделирования (глава 6). Однако для временных масштабов, меньших полувека, и пространственных масштабов, меньших, чем континентальные, возможности обнаружения и установления причин изменений климата ограничены даже для приземной температуры воздуха, не говоря уже об осадках или атмосферном давлении, тем более об экстремальных явлениях. Эти ограничения связаны с неопределенностями локальных особенностей внешнего воздействия и соответствующего отклика, рассчитываемого климатическими моделями, а также с неопределенностями модельного воспроизведения собственной изменчивости климатических характеристик.

Чувствительность климатической системы к внешним воздействиям, таким как увеличение содержания парниковых газов в атмосфере, определяется действующими в ней разнообразными обратными связями (глава 5). К числу компонентов климатической системы, традиционно рассматриваемых в контексте исследования обратных связей, относятся содержание водяного пара, криосфера и облака. Последние по-прежнему остаются источником наибольшей неопределенности теоретических оценок чувствительности. Разумеется, в климатической системе действуют и другие обратные связи, включающие, например, биогеохимические процессы, термохалинную циркуляцию океана (в том числе процессы вертикального перемешивания) и т. п. Вопрос о том, насколько может быть уменьшена связанная с чувствительностью неопределенность реакции климатической системы на внешние воздействия, остается одним из наиболее важных, стоящих перед современной наукой о климате.

Отчасти связанная с этим вопросом проблема *предсказуемости* климатической системы (глава 5) венчает собой перечисленные приоритеты фундаментальных исследований климата. Эта проблема остается чрезвычайно актуальной для оценок будущих климатических изменений *на десятилетия и столетия*, однако в настоящее время особую остроту приобрела потребность в прогнозах климата с заблаговременностью *от сезона до нескольких лет*. Очевидно, с точки зрения предсказуемости в указанном временном диапазоне, разные климатические характеристики (так же, как и разные регионы Земли) имеют неодинаковый (и зачастую довольно ограниченный) потенциал. Поскольку речь идет о временных масштабах, на которых собственная изменчивость климатической системы и отдельных ее компонентов, как правило, существенно превышает сигнал от внешнего воздействия, задача прогноза от сезона до нескольких лет представляется чрезвычайно сложной. Так что исследования в этой области скорее призваны более четко очертить теоретические границы невозможного, нежели обещают поступательное увеличение заблаговременности и точности прогнозов. Большое значение при решении этой задачи приобретает совершенствование технологий *инициализации* климатических моделей и *ассимиляции* (усвоения) данных наблюдений. Вообще, одной из важнейших задач физико-математического моделирования является построение модели климатической системы, усваивающей всю доступную информацию из данных наблюдений* (в частности для океана) и дающей так называемый “бесшов-

* Важной задачей является интеграция физико-математического моделирования и наблюдательных систем. Наблюдения играют, по крайней мере, две ключевые роли, с точки зрения моделирования: помимо вышеупомянутой инициализации, они необходимы для оценки качества моделей (глава 5). В свою очередь, модельные расчеты могут быть полезны в оптимизации и развитии наблюдательных сетей, а также в интерпретации результатов наблюдений.

ный” прогноз ее состояния на будущее (от сезона до столетия и более).

На передний край запросов человечества в адрес науки о климате выходят прогнозы изменений вероятности *экстремальных климатических явлений*, имеющих большие социально-экономические и экологические последствия. К таким явлениям относятся засухи, наводнения, волны тепла, ураганы и др. Необходимо продвинуться в понимании и получить количественные оценки того, как собственная изменчивость климатической системы влияет на вероятность экстремальных явлений. Требуется также исследовать, как антропогенные изменения климата влияют на собственную изменчивость климатической системы и соответственно на экстремальность климата в разных регионах.

В последнее время в связи с осознанием болезненности (для многих национальных экономик) мер по уменьшению антропогенной нагрузки на климат в виде сокращения эмиссий парниковых газов получило новый импульс так называемое *“геоинженерное” направление* науки о климате, рассматривающее альтернативные возможности уменьшения глобального потепления (Будыко, 1974; Crutzen, 2006). Некоторые из таких возможностей предполагают дополнительные антропогенные воздействия на климатическую систему с целью компенсации парникового эффекта без уменьшения выбросов парниковых газов в атмосферу. Исследования и оценка последствий применения тех или иных геоинженерных подходов невозможны без глубокого и тщательного научного анализа. Современный уровень понимания возможных последствий “компенсирующих” воздействий на климатическую систему не позволяет в обозримой перспективе выходить за пределы чисто теоретических исследований с использованием сложных физико-математических моделей климатической системы в качестве инструментов этого анализа.

Во всех перечисленных направлениях исследований ключевую роль играет физико-математическое моделирование климатической системы. Оно состоит прежде всего в создании и развитии *сложных моделей климата*, а также в совершенствовании *вычислительных стратегий*, позволяющих оптимально использовать доступные вычислительные ресурсы. Не вызывает сомнений, что потребность в вычислительных ресурсах, несмотря на наблюдающийся впечатляющий прогресс в развитии компьютерной техники и средств связи, будет неизбежно увеличиваться.

8.4. Развитие физико-математического моделирования климатической системы

Современные климатические модели основаны на хорошо известных физических законах и

убедительно продемонстрировали свои возможности в расчетах основных наблюдаемых характеристик современного климата, а также его изменений в прошлые эпохи. Модели позволяют получать заслуживающие доверия (особенно для масштабов от глобальных до субконтинентальных) количественные оценки будущих изменений климата. Достоверность таких оценок неодинакова для разных характеристик. Например, она выше для температуры по сравнению с осадками.

Вместе с тем существует ряд нерешенных проблем. Часть этих проблем обусловлена, по-видимому, недостаточным для надлежащего описания некоторых климатически значимых процессов пространственным разрешением современных моделей. Другие — недостаточным уровнем понимания физических процессов. В ряде случаев провести границу между этими группами проблем затруднительно. К числу известных проблем современных климатических моделей можно отнести следующие (без указания приоритетности) (Randall et al., 2007):

- большинству моделей присущ климатический дрейф, особенно в глубоком океане;
- модели демонстрируют значительный разброс интенсивности обратных связей в климатической системе;
- большинство современных моделей не воспроизводят с необходимой степенью достоверности некоторые крупномасштабные моды климатической изменчивости, в частности колебание Маддена — Джулиана, периодические блокировки атмосферной циркуляции и интенсивные осадки;
- систематические ошибки в воспроизведении общей циркуляции Южного океана усугубляют неопределенность неравновесного отклика климатической системы на антропогенное увеличение содержания парниковых газов в атмосфере;
- отсутствует система общепризнанных показателей качества моделей (при сравнении модельных расчетов с данными наблюдений), которые можно было бы использовать для уменьшения разброса оценок будущих изменений климата.

Климатические модели, предназначенные для решения приоритетных задач, перечисленных выше, должны включать более совершенные *интерактивные компоненты*, описывающие химические процессы, в том числе процессы образования, переноса и разрушения озона, биогеохимические циклы, процессы в стратосфере и др. Интерактивные компоненты современных моделей, представляющие процессы взаимодействия аэрозолей с облаками, углеродный цикл в атмосфере и океане, эволюцию климатозависимой растительности и др., нуждаются в дальнейшем развитии (Denman et al., 2007).

Особого упоминания, в том числе с точки зрения ключевых национальных интересов России,

8. НЕОБХОДИМЫЕ ДАЛЬНЕЙШИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ КЛИМАТА

заслуживает моделирование климата *высоких широт*. К числу важных вопросов развития атмосферных компонентов климатических моделей относится надлежащее описание *пограничного слоя* и инверсий в нижней тропосфере. Маловероятно, что прогресс здесь может быть достигнут лишь с помощью увеличения вертикального разрешения атмосферных компонентов климатических моделей. Недостаточное понимание физики пограничного слоя в высоких широтах требует дальнейших исследований. В значительной степени сказанное относится и к параметризациям радиационного переноса, которые должны учитывать особенности атмосферы и подстилающей поверхности, включая их вертикальную и горизонтальную неоднородность.

Облака высоких широт, в частности многослойная арктическая облачность с присущими ей фазовыми переходами воды в облаках и низкой температурой, вносят свой вклад в неопределенность чувствительности климата к внешним воздействиям. Эта неопределенность усугубляется различиями радиационных свойств и концентраций разных типов облачных кристаллов, которые по-разному взаимодействуют с длинноволновым излучением.

Погрешности расчетов современного состояния *морского льда* с помощью МОЦАО нового поколения, а также значительные неопределенности оценок его будущих изменений оставляют большой простор для дальнейших усилий в области моделирования как собственно морского льда, так и климата высоких широт в целом.

Учитывая потенциально важную роль, которую могут играть динамические процессы в изменениях баланса массы *ледниковых щитов* Гренландии и Антарктиды и тем самым в изменениях уровня океана, необходимо развивать соответствующие криосферные компоненты климатических моделей.

В связи с перечисленными проблемами определенные ожидания связываются с Международным полярным годом (МПГ), стартовавшим в 2007 г. Наблюдательные компании МПГ призваны уточнить наши представления о некоторых климатически значимых процессах в высоких широтах.

Надежды на существенное повышение качества воспроизведения моделями наблюдаемого климата связываются и с улучшением их *пространственного разрешения*, как горизонтального, так и вертикального. В частности, есть основания ожидать, что улучшение разрешения позволит уменьшить систематические ошибки современных моделей на территории России. К таким ошибкам относятся, например, занижение температуры приземного воздуха на северо-востоке европейской части России, завышение сплоченности мор-

ского льда в Баренцевом море, смещение арктической воздушной массы в восточный сектор Арктики (приводящее, в частности, к искажению ветрового воздействия на морской лед) и ряд других.

Между тем, для моделирования ряда климатически значимых процессов, а также для получения оценок климатических изменений с необходимой для некоторых исследований детализацией нужны модели с пространственным разрешением, которое в обозримом будущем вряд ли будет достигнуто МОЦАО. Эта ситуация создает определенные перспективы для региональных климатических моделей, имеющих в среднем на порядок более высокое разрешение по сравнению с глобальными моделями и обеспечивающих тем самым большую реалистичность воспроизведения изменчивости климатической системы. Развитие таких моделей, а также других моделей, позволяющих детализировать расчеты климата в представляющих интерес регионах (например, моделей со сгущающимися сетками), несомненно входит в число приоритетов моделирования климата.

8.5. Совершенствование вычислительных стратегий

Как отмечалось выше, многие из сегодняшних приоритетов развития прогнозирования климата с помощью климатических моделей связаны с улучшением их пространственного разрешения, в большинстве случаев радикальным. С другой стороны, часть неопределенности оценок будущих изменений климатической системы обусловлена ее собственной изменчивостью и не может быть устранена усовершенствованием моделей. Решая проблему предсказуемости климата, необходимо исследовать неизбежную неопределенность, связанную с собственной изменчивостью, в вероятном пространстве. С этой целью необходимо проводить *ансамблевые расчеты* с варьированием как начальных состояний, так и неопределенных модельных параметров в реалистичном диапазоне, либо используя различные модели (IPCC, 2007; Giorgi, 2005; Kattsov and Källén, 2005; Tebaldi and Knutti, 2007 и др.).

Для лучшего понимания собственной изменчивости климатической системы и того, как на эту изменчивость может повлиять глобальное потепление, необходимо развитие стратегии ансамблевых расчетов климата, учитывающей, в частности, различия качества, а значит и степени пригодности моделей для прогноза. В настоящее время научное сообщество стоит перед необходимостью создания системы показателей (на основе сравнения модельных расчетов с данными наблюдений), которые позволили бы количественно оце-

нивать *совокупное* качество каждой модели, а не ограничиваться оценками качества расчетов той или иной климатической характеристики в отдельности. Однако в ожидании разработки и апробации таких показателей (или, как их часто называют, “*метрики*”), позволяющих ранжировать модели с точки зрения достоверности рассчитываемых с их помощью будущих состояний климатической системы и соответственно распределять веса между моделями в ансамблевых расчетах (иными словами, осуществлять *объективную дискриминацию моделей*), именно средние по ансамблю оценки остаются в центре внимания исследователей. На сегодняшний день неясно, возможна ли разработка универсальной системы метрик и позволила ли бы такая система взвешивать члены мультимодельных ансамблей или, по крайней мере, объективно оценивать пригодность моделей *для тех или иных целей* (например, для тех или иных регионов).

Воспроизведение экстремальных явлений и соответствующей статистики также требует ансамблевых расчетов. Например, для осадков экстремальные события могут представлять даже больший интерес, чем средние значения (Palmer and Raisanen, 2002). Число членов ансамбля, требуемое для надежной оценки распределения вероятности характеристик (явлений, режимов), зависит от конкретной климатической характеристики. Так, чтобы оценить изменения повторяемости экстремальных явлений (режимов), которые случаются редко, требуется использовать большое число членов ансамбля. Если речь идет об оценке изменения вероятности распределения для часто повторяющихся явлений (режимов), число членов ансамбля может быть сравнительно невелико.

Увеличение количества членов ансамблей, как и улучшение пространственного разрешения моделей, совершенствование параметризаций или включение новых интерактивных компонентов, сопряжено с увеличением вычислительной ресурсоемкости соответствующих разработок и исследований. Поэтому необходима тщательно разработанная стратегия вычислений, обеспечивающая баланс между размером ансамбля, разрешением модели и сложностью модельных описаний физических процессов. К этому добавляется необходимость расчетов с варьированием модельных параметров и внешних воздействий. Все вместе позволяет рассматривать неопределенности, связанные с естественной изменчивостью, с модельной чувствительностью и с внешними воздействиями.

Наконец, оценки будущих изменений некоторых компонентов климатической системы, таких как растительный покров суши, или климатических характеристик, таких как термохалинная циркуляция или уровень океана (с учетом динамики ледниковых щитов), а также некоторые виды

палеоклиматических исследований требуют проведения длительных численных экспериментов. В некоторых из таких исследований могут быть востребованы климатические модели промежуточной сложности (глава 5).

На сегодняшний день в мировом сообществе разработчиков моделей нет единого мнения относительно наилучшей стратегии распределения компьютерных ресурсов между перечисленными направлениями развития моделирования (Randall et al., 2007). До недавнего времени пространственное разрешение модели являлось решающим показателем при принятии соответствующими ведомствами решений о финансировании соответствующих проектов развития моделей. Некоторые сегодняшние лидеры в области развития климатических моделей продолжают ориентироваться на этот показатель как на абсолютный приоритет. Однако ставшие в последние годы очевидными новые перспективы, которые открывает перед исследователями развитие ансамблевого подхода в моделировании и прогнозе климата, позволяют ожидать в ближайшем будущем изменения этой ситуации и, не исключено, более выраженных различий между ведущими исследовательскими центрами, с точки зрения приоритетов развития физико-математического моделирования климата.

8.6. Выводы

Научные исследования, связанные с изменениями климата, а также наблюдения за климатической системой призваны служить обеспечению процесса принятия решений и информированию национального и международного научного и других заинтересованных сообществ. В большинстве своем актуальные для России исследования климата находятся в русле задач, стоящих перед всем мировым сообществом, поэтому российские климатические исследования должны быть интегрированы в международные программы.

В свете ожидаемого глобального потепления климата в настоящее время Россия нуждается в научной концепции регионального мониторинга климата и связанной с ней политике развития всего комплекса наблюдений.

Предсказание климата и последствий его изменений — центральная задача науки о климате. В решении этой задачи высокие технологии и, прежде всего, физико-математическое моделирование не имеют альтернативы. В этой связи развитие отвечающих мировому уровню национальных климатических моделей и их использование в прогнозе климата и в других фундаментальных и прикладных климатических исследованиях должны входить в число высших приоритетов российской

8. НЕОБХОДИМЫЕ ДАЛЬНЕЙШИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ КЛИМАТА

науки. Это является необходимым условием формирования независимой и научно обоснованной позиции России при выработке тех или иных политических и экономических решений, связанных с адаптацией к изменениям климата, а также смягчением антропогенного воздействия на климат.

Соответствие проводимых в России климатических исследований мировому уровню, признание результатов российских исследований международным научным сообществом, а значит и использование этих результатов в качестве аргументов в межгосударственном политическом диалоге по проблемам климата невозможны без разработки и реализации национальной программы климатических исследований, являющейся неотъемлемой частью национальной стратегии России в отношении изменений климата.

8.7. Литература

- Будыко М. И., 1974.** Изменения климата, Л., Гидрометеиздат, 280 с.
- Crutzen P. J., 2006.** Albedo enhancement by stratospheric sulfur: A contribution to resolve a policy dilemma?, *Climatic Change*, vol. 77, pp. 211–219, doi:10.1007/s10584-006-9101-y.
- Denman K. L., Brasseur G., Chidthaisong A., Ciais P., Cox P. M., Dickinson R. E., Hauglustaine D., Heinze C., Holland E., Jacob D., Lohmann U., Ramachandran S., da Silva Dias P. L., Wofsy S. C., and Zhang X., 2007.** Couplings between changes in the climate system and biogeochemistry, in: *Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, Solomon S., Qin D., Manning M., Chen Z., Marquis M., Averyt K. B., Tignor M., and Miller H. L. (eds.), Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, Cambridge University Press.
- Giorgi F., 2005.** Climate change prediction, *Climatic Change*, vol. 73, pp. 239–265, doi:10.1007/s10584-005-6857-4.
- IPCC, 2007.** *Climate Change 2007. The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, Solomon S., Qin D., Manning M., Chen Z., Marquis M., Averyt K. B., Tignor M., and Miller H. L. (eds.), Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, Cambridge University Press, 996 p.
- Kattsov V. and Källén E., 2005.** Future climate change: Modeling and scenarios for the Arctic, in: *Arctic Climate Impact Assessment (ACIA)*, Cambridge University Press, pp. 99–150.
- Palmer T. and Raisanen J. M., 2002.** Quantifying the risk of extreme seasonal precipitation events in a changing climate, *Nature*, vol. 415, pp. 512–514.
- Randall D. A., Wood R. A., Bony S., Colman R., Fichet T., Fyfe J., Kattsov V., Pitman A., Shukla J., Srinivasan J., Stouffer R. J., Sumi A., and Taylor K., 2007.** Climate models and their evaluation, in: *Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, Solomon S., Qin D., Manning M., Chen Z., Marquis M., Averyt K. B., Tignor M., and Miller H. L. (eds.), Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, Cambridge University Press.
- Tebaldi C. and Knutti R., 2007.** The use of the multimodel ensemble in probabilistic climate projections, *Phil. Trans. Roy. Soc. A*, vol. 365, pp. 2053–2075, doi:10.1098/rsta.2007.2076.