
1. ВВЕДЕНИЕ

Ведущий автор: С. М. Семенов

Авторы: О. А. Анисимов, Ю. А. Анохин, Н. В. Кобышева

Редактор-рецензент: И. И. Мохов

Климат и его естественная изменчивость

Человек имеет “врожденное” представление о климате в силу исторического опыта — климат всегда непосредственно влиял на здоровье человека и хозяйственную деятельность. Существует довольно много формальных определений климата. Мы здесь останавливаться на них не будем, поскольку их сравнительный анализ — предмет монографической литературы. Приведем лишь поясняющую формулировку Межправительственной группы экспертов по изменению климата (МГЭИК), которая достаточна для решения прикладных задач (Climate Change 2001, 2001b, pp. 982–996)*.

Климат обычно понимается, как “средняя погода”, а более строго — как ее статистическое описание в терминах средних значений и изменчивости соответствующих гидрометеорологических величин в пределах некоторого периода времени — от месяцев до тысячелетий. Согласно рекомендациям Всемирной метеорологической организации (ВМО), классический период — тридцать лет. В качестве таких величин чаще всего фигурируют параметры температуры, осадков и ветра в приповерхностном слое атмосферы.

В “доиндустриальную” эру (условно — до 1750 г.), когда человек не имел “технологической” возможности сколько-нибудь существенно влиять на глобальные процессы, глобальный климат складывался в ходе взаимодействия внешних факторов (в основном, излучение Солнца) и орбитальных факторов (положение Земли относительно Солнца и ориентация земной оси по отношению к плоскости ее орбиты) с климатической системой Земли. Последняя, согласно определению РКИК (Статья 1), есть “совокупность атмосферы, гидросферы, биосферы и геосферы и их взаимодействие”. Взаимодействие упомянутых естественных факторов с климатической системой Земли формировало ее климат.

Климат Земли никогда не был постоянным. Даже при отсутствии антропогенных воздействий он заметно менялся (Mokhov et al., 2005). Эти естественные изменения были также очень заметными и в последние 2000 лет. На рис. 1.1 приведено изменение температуры на станции Восток, Антарктида (аномалия по отношению к уровню конца XX века).

Более подробно физические аспекты формирования климата, а также причины и характеристики его естественной изменчивости рассмотрены в т. I данного доклада.

Антропогенное воздействие на глобальный климат

Парниковый эффект, открытие которого восходит еще к работам Гиндалла (Tyndall, 1861) и

* Это и последующие поясняющие определения МГЭИК приводятся в этом разделе (они выделены блоками) по указанному источнику, но не в дословном переводе. Они несколько изменены с редакционными целями.

1. ВВЕДЕНИЕ

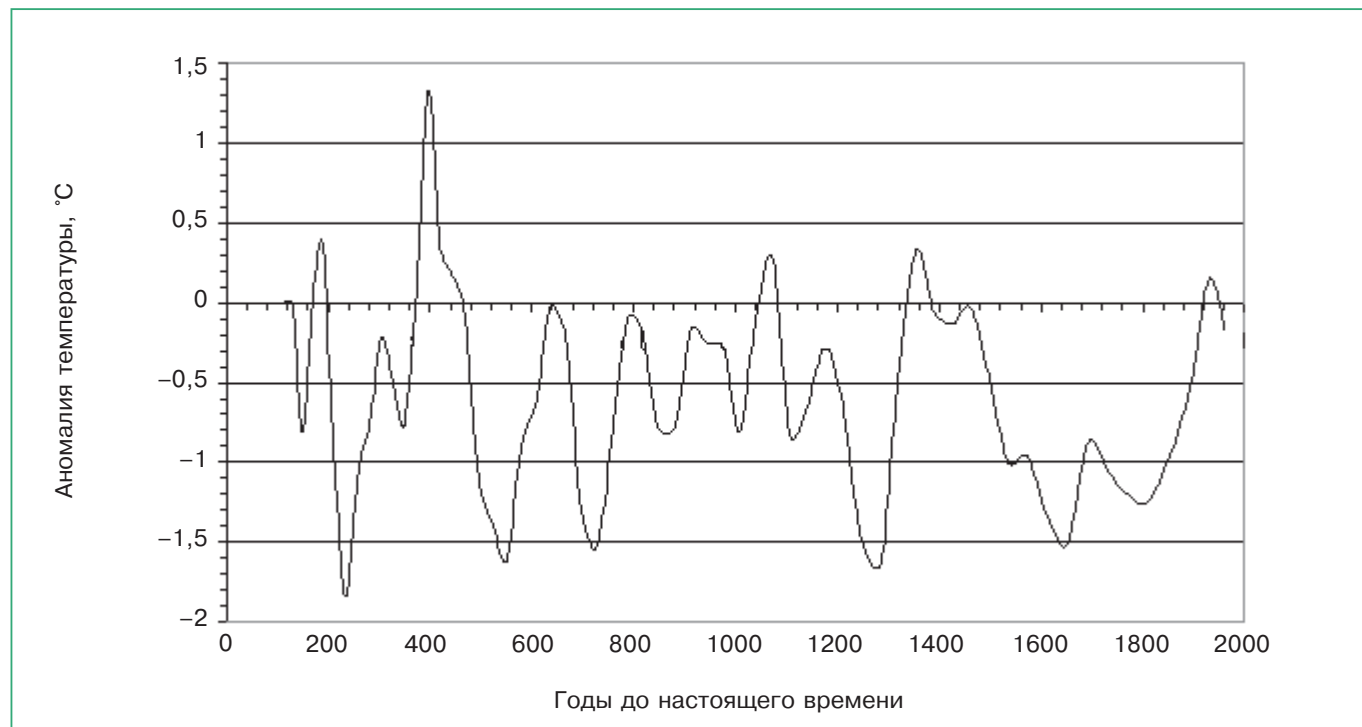


Рис. 1.1. Изменение температуры в приповерхностном слое в нашей эре в Антарктиде (Petit et al., 1999, 2000; Jouzel et al., 1987, 1993, 1996); оценки получены методом палеорекострукции по результатам анализа ледовых кернов со станции Восток.

Аррениуса (Arrhenius, 1896), был впоследствии серьезно исследован российскими учеными в связи возможностью его усиления из-за антропогенных выбросов парниковых газов (Будыко, 1972; Будыко, Израэль, 1987).

Наличие предпосылок к антропогенному потеплению климата (усиление естественного парникового эффекта из-за антропогенных эмиссий парниковых газов), уже произошедшее потепление климата (оно видно из данных мониторинга климата) и его возможные негативные последствия привели к росту внимания к этой проблеме в мировом научном сообществе, в том числе и со стороны отечественных научных школ (Будыко и др., 1992; Исаев и др., 1995; Будыко, 1997; Исаев, Коровин, 1999; Демченко и др., 2001; Груза, Ранькова, 2003; Заварзин, 2001; Бедрицкий и др., 2004; Кондратьев, 2004а, 2004б; Дымников и др., 2004; Израэль, 2004, 2005; Марчук, 2004; Мелешко и др., 2004; Mokhov et al., 2005, 2006; Семенов, 2004; Монин, Сонечкин, 2005; Груза, Ранькова, 2006а, 2006б; Семенов и др., 2006; Russian National Report, 2007).

Вопросы регулирования антропогенного воздействия на климат также интенсивно разрабатываются. При этом исследуются не только критические границы содержания парниковых газов в атмосфере и возможные программы (сценарии) ог-

раничения их эмиссий (Израэль, Семенов, 2003; Patwardhan et al., 2003; Израэль, 2004; Семенов, 2004; Израэль, Семенов, 2005; Izrael and Semenov, 2006), но и иные активные воздействия на глобальный климат, в частности, привнесение в атмосферу сульфатных аэрозолей для увеличения альбедо атмосферы (Израэль, 2005; Crutzen, 2006; Wigley, 2006).

Существенная часть ключевых результатов российских исследований в области климатических изменений и оценки их последствий для России была представлена в следующих публикациях: Глобальные изменения климата и их последствия для России, 2002; Труды Всемирной конференции по изменению климата, 2004; Возможности предотвращения изменения климата и его негативных последствий, 2006.

На международном уровне Межправительственная группа экспертов по изменению климата подготовила четыре оценочных доклада об изменении климата, его последствиях и возможностях смягчения антропогенного воздействия на глобальный климат. Третий доклад опубликован в 2001 г. (Climate Change 2001, 2001a, 2001b, 2001c). В настоящее время уже вышел Четвертый оценочный доклад (Climate Change 2007, 2007a, 2007b, 2007c) — см. также <http://www.ipcc.ch>. Эти доклады содержат достаточно полную и объективную

сводку результатов научных публикаций (монографий, статей, докладов) за соответствующий период времени, а также результаты “неполитизированного синтеза” полученной информации. Российские специалисты участвуют в этой работе.

Изменения климата и их возможные последствия: причины обеспокоенности

Какие-либо параметры климата — среднее значение температуры или сумма осадков, разброс текущих значений относительно этих средних, частоты экстремальных значений (т. е. больших заданных верхних границ или же меньших заданных нижних границ), тренды температуры и осадков и т. д. — для данной области физического пространства в разные периоды времени могут различаться по естественным и антропогенным причинам.

Среди естественных причин изменения глобального климата во времени, внешних по отношению к климатической системе Земли, — вариации потока солнечной энергии, поступающей в атмосферу Земли, и вариации потока солнечной энергии, отраженной земной поверхностью и ушедшей обратно в космос (связаны с циклическими изменениями наклона эклиптики и различиями в значениях альбедо земной поверхности на разных широтах).

Среди антропогенных причин изменения глобального климата — дополнительные эмиссии климатически активных веществ — парниковых газов (важнейшие из которых — диоксид углерода CO_2 , метан CH_4 , закись азота N_2O) и некоторых аэрозолей. Увеличение их концентрации в атмосфере приводит к изменению способности горизонтальных слоев атмосферы пропускать лучистую энергию на разных частотах. Вследствие этого меняется бюджет энергии, специфический на разных высотах, что вызывает изменение вертикального распределения температуры, в частности, потепление или похолодание в приповерхностном слое атмосферы, а также изменение других его параметров. Увеличение концентрации парниковых газов в атмосфере приводит к потеплению; это — антропогенное усиление парникового эффекта.

С началом индустриальной эры к естественным причинам изменения климата, обуславливающим его естественную изменчивость, прибавились антропогенные причины — антропогенная эмиссия парниковых газов и аэрозолей, а также изменение альбедо земной поверхности при изменении землепользования.

Изменение климата — любое изменение климата во времени вследствие его естественной изменчивости или же деятельности человека. Это — определение МГЭИК, отличающееся от принятого РКИК — Рамочной конвенцией ООН об изменении климата. РКИК определяет “изменение климата” как “вызванное прямо или косвенно деятельностью человека, изменяющей состав атмосферы в глобальном масштабе. Это изменение является дополнением к естественной изменчивости климата, наблюдаемой на протяжении соответствующих периодов времени”.

По оценкам МГЭИК, к концу XX века средняя глобальная температура в приповерхностном слое увеличилась на $0,6^\circ\text{C}$ по отношению к уровню середины — конца XIX века (Climate Change 2001, 2001a).

Заметны изменения климата и в России. При этом в сравнении с другими регионами мира отмеченные на ее территории в последние десятилетия региональные изменения климата являются весьма существенными. По оценкам разных авторов, основанным на данных наблюдений, с начала XX столетия увеличение средней годовой температуры воздуха в приповерхностном слое атмосферы в целом по территории России составило от $0,9^\circ\text{C}$ (Груза и др., 2006; Мирвис, 1999) до $1,1^\circ\text{C}$ (Анисимов и др., 2007). За последние же 100 лет (1907–2006 гг.) потепление в целом по России составило $1,29^\circ\text{C}$ при среднем глобальном потеплении $0,74 \pm 0,18^\circ\text{C}$. Последнее тридцатилетие (1976–2006 гг.) было самым теплым, среднее потепление по России составило $1,33^\circ\text{C}$. При этом региональные различия темпов потепления были значительными: от $0,5^\circ\text{C}/100$ лет на севере Европейской территории России (ЕТР) и в Приморье до $1,4$ – $1,6^\circ\text{C}/100$ лет на юге Урала, Сибири и Дальнего Востока. Наибольший вклад в потепление внесло десятилетие 1996–2005 гг. Разброс приведенных здесь оценок, помимо различий, вносимых процедурами пространственного осреднения, используемыми разными авторами, объясняется также и различием периодов наблюдений, представленных в используемых временных рядах. С продлением (смещением) рядов за пределы XX века оценка векового тренда может увеличиться. Ведь после 1995 г. глобальная температура несколько раз достигала наибольших значений за период наблюдений.

В контексте проблем, рассматриваемых в данном докладе, важную роль играет сезонная неоднородность потепления (Анисимов и др., 2007). Потепление наиболее выражено в зимний и весенний периоды. Региональные вековые тренды зимней температуры в XX веке меняются от

1. ВВЕДЕНИЕ

0,2°C/100 лет на севере ЕТР до 2,4–2,6°C/100 лет в Сибири. При этом средний по России тренд зимней составляет 1,7°C/100 лет. Тренд летней температуры заметно меньше, меняется от 0,1°C/100 лет на ЕТР и юге Сибири до 0,9–1,1°C/100 лет в центральных районах Сибири, на Чукотке и в Приморье при среднем по России значении 0,6°C/100 лет. Если ограничиться анализом изменений температуры воздуха за последние несколько десятилетий, то значения трендов окажутся значительно больше. Так, в период 1970–2004 гг. средние по всей территории России значения трендов средней годовой, зимней и летней температуры составили соответственно 3,8, 5,1 и 3,2°C/100 лет (Анисимов и др., 2007).

Следует отметить, что, говоря о климате XXI века и будущих веков, мы в принципе не можем иметь о нем точных сведений. Ведь климат Земли меняется как по естественным, так и по антропогенным причинам, а в близком будущем долгосрочный точный прогноз обоих компонентов невозможен. Если естественные изменения связаны в основном с орбитальными факторами и вариациями интенсивности солнечного излучения, так что есть основания надеяться на улучшение понимания их влияния в скором времени, то антропогенный компонент зависит от социально-экономических факторов. Их точно предсказать на период более 100 лет вряд ли возможно в принципе. Поэтому для соответствующего анализа привлекают понятие “сценарий” развития мировой социально-экономической системы.

Сценарий — правдоподобное и часто упрощенное описание развития событий в будущем, основанное на согласованном и внутренне непротиворечивом множестве предположений о движущих силах и основных взаимозависимостях.

Каждому сценарию развития мировой социально-экономической системы соответствует своя траектория глобальных антропогенных эмиссий парниковых газов в атмосферу и, как следствие, — специфический характер антропогенного возмущения естественного изменения их концентраций в атмосфере и климата Земли.

Невозможность долгосрочного прогноза (на 100 лет и более) социально-экономического развития и, как следствие, траекторий эмиссий климатически активных веществ привела к введению в научный обиход термина “перспективная оценка” или “проекция” (в англоязычной литературе — projection). По существу, это — условный прогноз, т. е. прогноз при определенных принятых условиях, при определенном сценарии будущего антропо-

погенного воздействия на климатическую систему, в рамках которого происходит изменение изучаемой величины.

Однако климат — физическое явление. Поэтому его изменения сами по себе не могут быть благоприятными, неблагоприятными, опасными и т. д. Эти и подобные им категории отражают оценку изменений климата человеком, исходя из его ценностных представлений, т. е. являются ценностными суждениями. К тому же такие представления обычно являются субъективными и различаются для различных регионов, стран и групп населения. Они зависят, в частности, от уровня экономического развития, уклада жизни и культурных традиций.

Каковы же причины обеспокоенности мирового сообщества относительно изменения климата? На рис. 1.2 изображены исторические данные об изменениях концентрации диоксида углерода в доиндустриальную эру за последние 400 000 лет по данным станции Восток (Антарктида) и ее изменения с 1850 по 2000 г. по данным станции Мауна-Лоа (Гавайи). Поскольку CO₂ — хорошо перемешиваемый газ (т. е. его долговременные уровни везде примерно одинаковы), эти два ряда данных можно сравнить.

На рис. 1.2а хорошо видно, что концентрация колебалась в диапазоне 180–300 млн⁻¹ в последние 400 000 лет до начала существенных антропогенных эмиссий, а с начала 1900-х годов, напротив, всегда была больше 300 млн⁻¹, возрастая к концу XX века до примерно 370 млн⁻¹ — см. рис. 1.2б. Колебания концентрации, изображенные на рис. 1.2а, — естественные. Изначальным ведущим фактором этих колебаний является температура, циклические колебания которой были связаны с орбитальными факторами. Повышение температуры вызывает сдвиг равновесия между атмосферным и океаническим CO₂ в пользу атмосферного. Причина изменения концентрации CO₂, изображенного на рис. 1.2б, совершенно иная. Это — следствие антропогенных эмиссий, в ходе которых общее количество CO₂, циркулирующее в климатической системе, увеличивается. Вызываемое этим усиление парникового эффекта приводит к потеплению, накладывающемуся на естественные колебания. Если иметь в виду последние 400 000 лет, то климат Земли сейчас находится в теплой фазе. Именно поэтому дополнительное антропогенное потепление воспринимается как “потенциально опасное”.

МГЭИК в своем Синтезирующем докладе к Третьему оценочному докладу (Climate Change 2001, 2001, р. 68) приводит основные пять причин для беспокойства в связи с изменением климата (эти пять категорий МГЭИК сохранила и в Четвертом оценочном докладе):

- уникальные системы и системы, находящиеся в угрожаемом положении;
- экстремальные явления погоды;

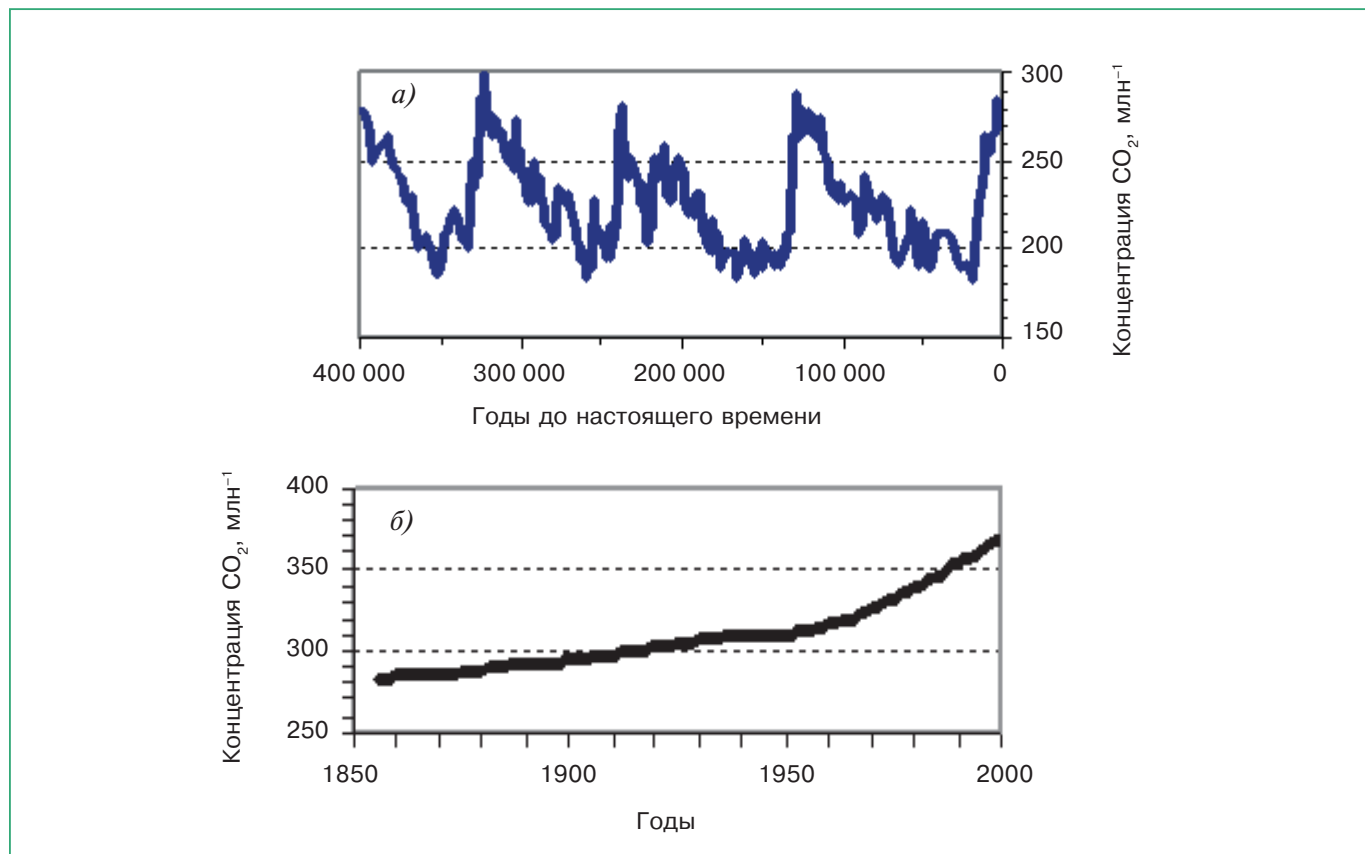


Рис. 1.2. Концентрация CO₂, млн⁻¹: а) исторические данные со станции Восток, Антарктида (Barnola et al., 2003); б) среднегодовые значения в приповерхностном слое на станции Мауна-Лоа: за 1959–2000 гг. — данные инструментальных измерений (Keeling and Worf, 2004), а до 1959 г. — корреляционная реконструкция (Семенов, 2004) по результатам измерений концентрации в ледовых ядрах на станции Лоу Доум по данным (Etheridge et al., 1998).

- распределение воздействий;
- глобальные агрегированные воздействия;
- широкомасштабные нарушения.

Изменения климата в XXI веке и в более отдаленной перспективе, ожидаемые в условиях сохранения и (или) увеличения современного объема антропогенной эмиссии парниковых газов в атмосферу, могут привести к неприемлемым рискам и опасности, связанным с объектами или же процессами этих пяти категорий.

**Реакции систем на изменение климата:
чувствительность, адаптационная способность,
уязвимость и риск**

В данном разделе поясняется ряд основных понятий и терминов, относящихся к воздействию изменения климата на природные системы и возобновляемые ресурсы. Выделены определения, используемые МГЭИК (Climate Change 2001, 2001b, pp. 982–996).

Чувствительность — степень, которой система может быть затронута (благоприятным или же неблагоприятным образом) воздействием, связанным с изменением климата. Эффект может быть прямым (например, изменение урожая сельскохозяйственных растений вследствие изменения средних или же диапазона значений температуры, или же ее изменчивости) или косвенным (например, изменение ущерба из-за увеличения частоты наводнений вследствие подъема уровня моря).

Адаптационная способность — способность систем к приспособлению к изменению климата (включая его изменчивость и экстремальные явления), ведущему к уменьшению потенциального ущерба, использованию благоприятных возможностей или же к преодолению последствий.

1. ВВЕДЕНИЕ

В литературе встречаются следующие ассоциированные с адаптацией термины:

- предупреждающие адаптации (происходящие до того, как воздействие начинает проявляться);
- реактивные адаптации (происходящие после того, как воздействие проявилось);
- автономные адаптации (являющиеся не следствием осознанного ответного действия людей, а лишь естественной реакцией систем);
- планируемые адаптации (результат принятия людьми осознанных ответных мер);
- частные адаптации (предпринимаемые на индивидуальном уровне и соответствующие частным целям);
- общественные адаптации (предпринимаемые на уровне общества и соответствующие общественным целям).

Уязвимость характеризует ту степень, в которой система чувствительна к изменению климата и не в состоянии справиться с неблагоприятными воздействиями меняющегося климата (включая его изменчивость и экстремальные явления). Уязвимость системы зависит от типа, величины и скорости климатических изменений, в условиях которых находится система, ее чувствительности и адаптационной способности.

Взаимоотношение категорий чувствительности, адаптационной способности и уязвимости можно выразить следующей символической формулой:

$$\text{УЯЗВИМОСТЬ} = \frac{\text{ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТЬ}}{\text{АДАПТАЦИОННАЯ СПОСОБНОСТЬ}} .$$

Уязвимость тем больше, чем больше чувствительность при заданной адаптационной способности, а увеличение последней при заданной чувствительности уменьшает уязвимость.

Риск — категория, исходно употреблявшаяся в анализе экономических и политических решений в следующем смысле: если известны вероятности $f(X_n)$ событий X_1, X_2, \dots, X_N (полная система событий — сумма вероятностей равна 1), а также денежные оценки ущерба $D(X_n)$, возникающего при каждом событии (отрицательные значения ущерба соответствуют выигрышу!), то риск $R(X_n)$ при каждом событии X_n измеряется произведением $R(X_n) = D(X_n) f(X_n)$.

Этот подход к оценке рисков — risk assessment (Morgan and Henrion, 1990) — давно вышел за границы экономики и широко употребляется в прикладных разделах других наук, в том числе климатологии и экологии (Moss and Schneider, 2000). При этом ущерб измеряется редко в денежных единицах, а чаще — в натуральных или же условных. Рисунок 1.3 иллюстрирует определение по-

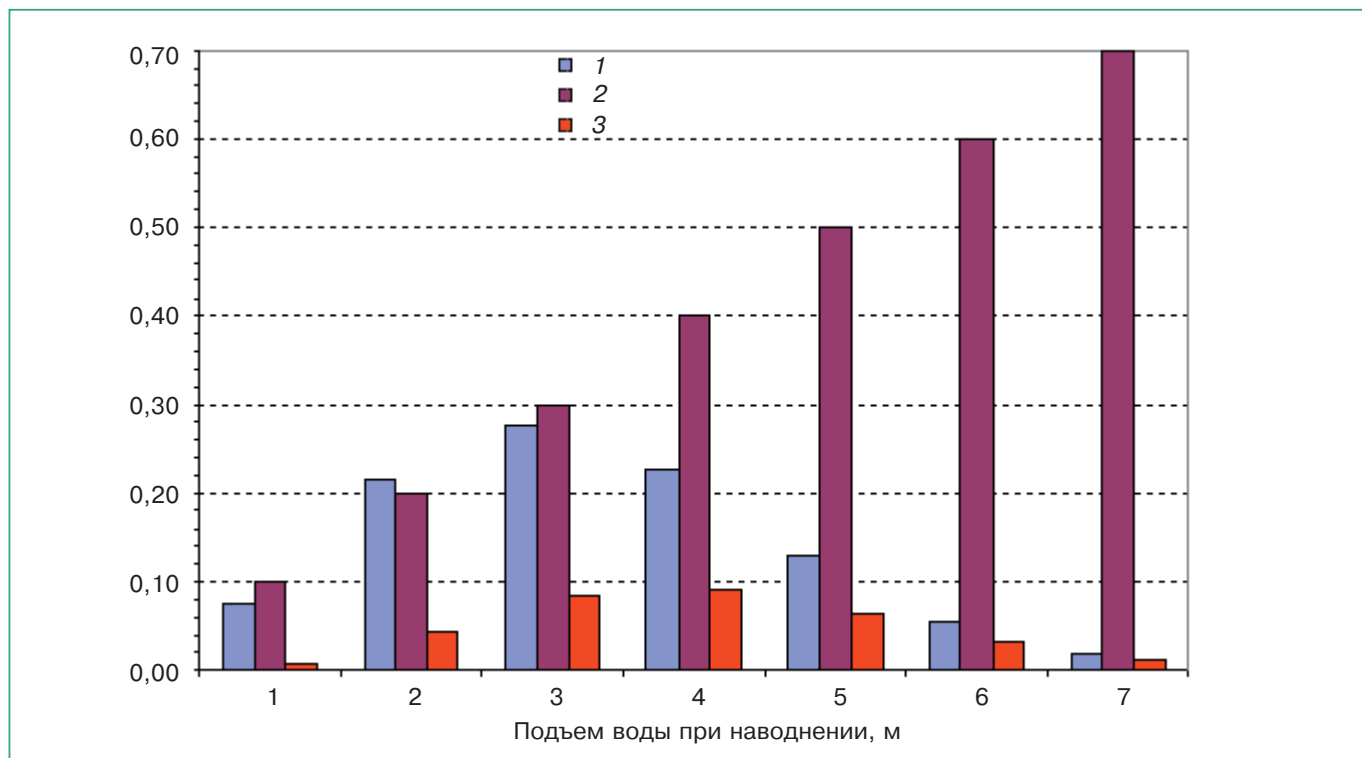


Рис. 1.3. Иллюстрация понятий вероятности (1) нежелательного события, ущерба (2) и риска (3).

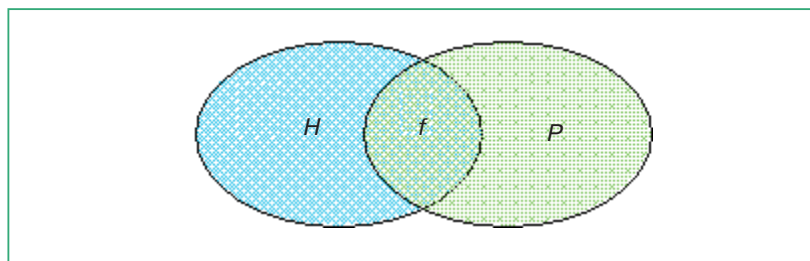


Рис. 1.4. Ущерб возникает (вероятность f), когда произошло нежелательное событие (вероятность H) и реципиент подвергся воздействию (вероятность P): $f = HP$.

нятие риска для примера подъема воды в реке: ущерб (в условных единицах) растет линейно, но вероятности различных уровней таковы, что риск максимален при подъеме воды на 4 м.

Часто в простейшем случае рассматриваются всего два исхода: X_1 — нежелательное событие не произошло, а X_2 — произошло. В первом случае $D(X_1) = 0$, а во втором $f(X_2)$ — вероятность нежелательного события, $D(X_2)$ — возникающий ущерб, а $R(X_2) = D(X_2) f(X_2)$ — риск, связанный с наступлением нежелательного события. Если ущерб измеряется в условных единицах, то, если принять за единицу ущерб, возникающий при реализации нежелательного события, числовое значение риска в этом примере с двумя исходами совпадает с вероятностью этого нежелательного события.

Вероятность f , в свою очередь, может быть представлена в виде произведения вероятности возникновения нежелательного события H и вероятности P возникновения его воздействия на реципиента при условии, что событие (например, наводнение) произошло. Последнее можно пояснить следующим рисунком (рис. 1.4).

Для случая наводнения и разлива реки H — вероятность этого события, а P — доля населения, проживающего в данной местности на подтопляемых землях.

Значения как H , так и P могут зависеть от мер адаптации. Так, в примере с наводнением H в определенной степени зависит от состояния местных защитных гидротехнических сооружений, а P — от степени индивидуальной защищенности людей, в частности от выбора места для строительства жилища.

Употребление денежного выражения ущерба в оценках риска неуместно в тех случаях, когда речь идет о потере человеческих жизней (исключая аспекты страховых выплат), ущербе уникальным природным системам и глобальным климатообразующим системам.

Методически целесообразно различать первичные и вторичные риски. Например, в результате устойчивой летней засухи возникает первичный риск для урожая сельскохозяйственных культур, а

также вторичный риск, связанный с пожароопасностью.

Следует отметить, что понятие риск еще не совсем устоялось в прикладных исследованиях и иногда употребляется в разных смыслах. Дискуссию на эту тему можно найти в (Lackey, 1997).

Возобновляемые ресурсы и природные системы России, приоритетные для оценки последствий изменения климата

Базовая концепция предельно допустимых уровней изменения климата для биосферы Земли была выдвинута и развита в работах (Израэль, 1979; Izrael, 1983; Израэль, 2004). Выполнение прикладных оценок последствий изменения климата в аспекте их допустимости было предложено основывать на реакциях ключевых уязвимых элементов (key vulnerabilities) климатической и социально-экономической систем (Patwardhan et al., 2003). Такие элементы обладают следующими свойствами: высокая чувствительность к изменению климата, ограниченная адаптационная способность и важность для процесса принятия решений в области регулирования антропогенного воздействия на климат.

Изменения климата влияют на все стороны жизни человека, в том числе на его здоровье, хозяйственную деятельность и качество окружающей среды — на все то, что составляет благосостояние человека (HWB — Human Well Being). Поскольку выполнение оценок требует масштабных исследований и работы сетей мониторинга, для чего необходимы соответствующие ресурсы, возникает вопрос о приоритетности тех систем, для которых такие оценки будут выполняться. Если в глобальном масштабе следует уделять внимание прежде всего последствиям изменения климата для самой климатической системы — океаническим течениям, полярным ледовым щитам, глобальным биогеохимическим циклам, то при анализе на национальном уровне это составляет лишь определенную, хотя и существенную, часть проблемы. Здесь при-

1. ВВЕДЕНИЕ

оритеты смещаются ближе к аспектам благосостояния человека, к задачам устойчивого развития стран. В связи с этим на национальном уровне целесообразно в большей степени фокусировать внимание на широко признаваемых важными и “измеряемых” компонентах HWB. Ими являются WENAB — Water, Energy, Health, Agriculture, Biodiversity, т. е. вода, энергия, здоровье (человека), сельское хозяйство и биоразнообразие. Концепция WENAB была представлена на Всемирном саммите по устойчивому развитию в Йоханнесбурге в 2002 г., где получила широкую поддержку.

Для рассмотрения и оценки климатогенных изменений в данном докладе была выбрана совокупность конкретных природных и социально-экономических систем — компонентов WENAB, подвергшихся в XX веке или же могущих подвергнуться в XXI веке заметному воздействию изменения климата. При выборе в качестве критериев была использована реализовавшаяся или же потенциальная возможность климатогенных изменений этих систем повлиять на следующее:

- 1) гидрометеорологическая безопасность;
- 2) условия проживания и здоровье населения;
- 3) хозяйственная инфраструктура;
- 4) ресурсы;
- 5) функционирование и биоразнообразие природных экосистем;
- 6) климатообразующие и биосферные функции природных систем.

Если критерии 1–5 непосредственно ассоциируются с компонентами WENAB, то критерий 6 способствует выявлению существенных обратных связей — того, как изменение климата, произошедшее или могущее произойти на территории страны, способно повлиять на глобальную климатическую систему Земли (например, изменение альbedo земной поверхности вследствие смещения границ растительных зон или же изменение потока диоксида углерода и метана с территорий, где происходит или ожидается изменение термического режима многолетней мерзлоты).

В табл. 1.1 приведены разные объекты и процессы в природных и социально-экономических системах, которые были отобраны для рассмотрения в данном докладе, исходя из приведенных выше критериев, а также некоторые их характеристики в отношении возможных адаптаций.

Все объекты и процессы, представленные в левом столбце табл. 1.1, чувствительны к изменению климата. Со всеми этими объектами при изменении климата связаны определенные риски для здоровья населения, хозяйственной деятельности и природного комплекса. Однако характер возможных адаптаций и адаптационная способность при этом весьма различаются, что отмечено в двух правых столбцах табл. 1.1. Если типы ос-

новных возможных адаптаций предопределены логически природой рассматриваемых объектов и процессов, то адаптационная способность — результат экспертной оценки, подлежащей уточнению в дальнейших разделах данного доклада. Здесь же предварительная оценка выполнена исходя из следующих критериев:

— для тех объектов и процессов, состояние которых человек или природные механизмы способны поддерживать в абсолютной степени при фактических и ожидаемых изменениях климата, адаптационная способность считается высокой;

— для тех объектов и процессов, состояние которых человек или природные механизмы способны обеспечить не полностью, но в значительной степени при фактических и ожидаемых изменениях климата, адаптационная способность считается средней;

— для тех объектов и процессов, на состояние которых в условиях меняющегося климата человек способен оказывать влияние лишь в малой степени, а природные механизмы недостаточно эффективны, адаптационная способность считается низкой.

Функционирование технических хозяйственных объектов (технические сооружения, транспорт и т. д.) может поддерживаться человеком в условиях меняющегося климата пусть даже ценой значительных затрат. Однако мы не сможем даже при значительных затратах абсолютно исключить возможности климатозависимых инфекционных заболеваний, гарантировать высокие урожаи в сельском хозяйстве и изобилие водных ресурсов, легкие условия хозяйствования в прибрежных зонах морей. В этих процессах есть не совсем управляемые человеком физические и биологические компоненты и поэтому адаптационная способность оценивается как средняя. Что касается природных систем, то типично экологические имеют среднюю адаптационную способность (там есть компенсирующие процессы — замещение одних видов другими в условиях меняющегося климата, например), а физические системы — низкую.

Структура данного доклада

В данном докладе рассматриваются последствия изменения климата для тех приоритетных объектов (систем, секторов хозяйства) и процессов, которые перечислены в табл. 1.1. Часть 2 посвящена тем последствиям, которые наступили в XX веке, а часть 3 — ожидаемым в XXI веке. В начало каждой части помещены методические главы (2.1 и 3.1 соответственно). Там кратко описываются источники данных и методы оценки

Таблица 1.1. Объекты и процессы, выбранные для оценки климатогенных изменений

| Объект, процесс | Причина выбора по критериям 1–6 | Характер основных возможных адаптаций | Адаптационная способность |
|---|--|---|---------------------------|
| Технические системы (здания, сооружения, сухопутный транспорт) | Хозяйственная инфраструктура. Условия проживания и труда населения | Предупреждающие, планируемые, общественные и частные. Реактивные общественные и частные | Высокая |
| Здоровье населения (последствия термического стресса и климатозависимых инфекций) | Здоровье населения | То же | Средняя |
| Водные ресурсы | Ресурсы (обеспечение водными ресурсами населения, промышленного производства и сельского хозяйства) | Предупреждающие, планируемые, общественные. Реактивные общественные | Средняя |
| Сельское хозяйство | Ресурсы (продовольственное обеспечение населения страны и экспорт продовольствия) | Предупреждающие, планируемые, общественные и частные. Реактивные общественные и частные | Средняя |
| Лесные пожары | Ресурсы (состояние лесных ресурсов). Климатообразующая и биосферная функции (эмиссия парниковых газов с территории страны). Функционирование и биоразнообразие природных экосистем | Предупреждающие, планируемые, общественные и частные | Низкая |
| Природные экосистемы | Функционирование и биоразнообразие природных экосистем | Реактивные автономные | Средняя |
| Многолетняя мерзлота и оледенение (физические системы) | Климатообразующая и биосферная функции | Реактивные автономные | Низкая |
| Приграничные моря и береговые зоны | Ресурсы. Хозяйственная инфраструктура и условия проживания и труда населения (в том числе морская деятельность) | Предупреждающие, планируемые, общественные и частные. Реактивные общественные и частные | Средняя |
| Последствия экстремальных метеорологических явлений | Гидрометеорологическая безопасность | Предупреждающие, планируемые, общественные и частные | Средняя |

1. ВВЕДЕНИЕ

климатогенных изменений. Каждая из глав имеет автономные список литературы и нумерацию таблиц и рисунков (например, рис. 2.4.1 — 1-й рисунок в главе 2.4, а табл. 2.3.2 — 2-я таблица в главе 2.3). В заключительной части настоящего доклада обсуждаются вопросы критериев допустимости изменений климата, а также необходимые дальнейшие исследования.

Литература

- Анисимов О. А., Лобанов В. А., Ренева С. А., 2007.** Анализ изменений температуры воздуха на территории России и эмпирический прогноз на первую четверть XXI века, *Метеорология и гидрология*, № 10, с. 20–30.
- Бедрицкий А. И., Коршунов А. А., Хандожко Л. А., Шаймарданов М. З., 2004.** Климатическая система и обеспечение гидрометеорологической безопасности жизнедеятельности России, *Труды Всемирной конференции по изменению климата. Москва, 29 сентября — 3 октября 2003 г.*, М., Новости, с. 402–409.
- Будыко М. И., 1972.** Влияние человека на климат, Л., Гидрометеиздат, 47 с.
- Будыко М. И., 1997.** Проблема углекислого газа, Л., Гидрометеиздат, 60 с.
- Будыко М. И., Израэль Ю. А. (ред.), 1987.** Антропогенные изменения климата, Л., Гидрометеиздат.
- Будыко М. И., Израэль Ю. А., Яншин А. Л., 1992.** Глобальное потепление и его последствия, *Метеорология и гидрология*, № 12, с. 5–10.
- Возможности предотвращения изменения климата и его негативных последствий. Проблема Киотского протокола. Материалы Совета-семинара при Президенте РАН, 2006.** М., Наука, 408 с.
- Глобальные изменения климата и их последствия для России, 2002.** М., РООУПП, 468 с.
- Груза Г. В., Ранькова Э. Я., 1980.** Структура и изменчивость наблюдаемого климата. Температура воздуха Северного полушария, Л., Гидрометеиздат, 71 с.
- Груза Г. В., Ранькова Э. Я., 2003.** Колебания и изменения климата на территории России, *Известия РАН. Физика атмосферы и океана*, т. 39, № 2, с. 1–20.
- Груза Г. В., Ранькова Э. Я., 2006а.** Наблюдаемые изменения современного климата, в кн.: *Возможности предотвращения изменения климата и его негативных последствий. Проблема Киотского протокола. Материалы Совета-семинара при Президенте РАН*, М., Наука, с. 59–73.
- Груза Г. В., Ранькова Э. Я., Аристова Л. Н., Клещенко Л. К., 2006.** О неопределенности некоторых сценарных климатических прогнозов температуры воздуха и осадков на территории России, *Метеорология и гидрология*, № 10, с. 5–23.
- Демченко П. Ф., Величко А. А., Голицын Г. С., Елисеев А. В., Нечаев В. П., 2001.** Судьба вечной мерзлоты: взгляд из прошлого в будущее, *Природа*, № 11, с. 43–49.
- Дымников В. П., Володин Е. М., Галин В. Я., Глазунов А. В., Грицун А. С., Дианский Н. А., Лыкосов В. Н., 2004.** Чувствительность климатической системы к малым внешним воздействиям, *Метеорология и гидрология*, № 4, с. 77–93.
- Заварзин Г. А., 2001.** Роль биоты в глобальных изменениях климата, *Физиология растений*, т. 48, № 2, с. 306–314.
- Израэль Ю. А., 1979.** Экология и контроль состояния природной среды, Л., Гидрометеиздат, 375 с.
- Израэль Ю. А., 2004.** О концепции опасного антропогенного воздействия на климатическую систему и возможностях биосферы, *Метеорология и гидрология*, № 4, с. 30–37.
- Израэль Ю. А., 2005.** Эффективные пути сохранения климата на современном уровне — основная цель решения климатической проблемы, *Метеорология и гидрология*, № 10, с. 5–9.
- Израэль Ю. А., Семенов С. М., 2003.** Пример вычисления критических границ содержания парниковых газов в атмосфере с помощью минимальной имитационной модели парникового эффекта, *Доклады РАН*, т. 390, № 4, с. 533–536.
- Израэль Ю. А., Семенов С. М., 2005.** Расчет изменения концентрации CO₂ в атмосфере для некоторых стабилизационных сценариев глобальной эмиссии с помощью модели минимальной сложности, *Метеорология и гидрология*, № 1, с. 5–13.
- Исаев А. С., Коровин Г. Н., 1999.** Углерод в лесах Северной Евразии, в кн.: *Круговорот углерода на территории России*, М., с. 63–95.
- Исаев А. С., Коровин Г. Н., Сухих В. И., Титов С. П., Уткин А. И., Голуб А. А., Замолотчиков Д. Г., Пряжников А. А., 1995.** Экологические проблемы поглощения углекислого газа посредством лесовосстановления и лесоразведения в России, М., Центр экологической политики России, 155 с.
- Кондратьев К. Я., 2004а.** Приоритеты глобальной климатологии, *Известия Русского географического общества*, вып. 2, с. 1–25.
- Кондратьев К. Я., 2004б.** Изменения глобального климата: нерешенные проблемы, *Метеорология и гидрология*, № 6, с. 118–128.
- Марчук Г. И., 2004.** О некоторых проблемах моделирования климата и его изменений, *Метеорология и гидрология*, № 4, с. 23–29.

- Мелешко В. П., Голицын Г. С., Говоркова В. А., Демченко П. Ф., Елисеев А. В., Катцов В. М., Малевский-Малевич С. П., Мохов И. И., Надежина Е. Д., Семенов В. А., Спорышев П. В., Хон В. Ч., 2004.** Возможные антропогенные изменения климата России в XXI веке: оценки по ансамблю климатических моделей, *Метеорология и гидрология*, № 4, с. 38–50.
- Мирвис В. М., 1999.** Оценка изменений температуры воздуха на территории России за последнее столетие, в сб.: *Современные исследования Главной геофизической обсерватории. Юбилейный сборник*, т. 1, СПб, Гидрометеопиздат, с. 220–235.
- Монин А. С., Сонечкин Д. М., 2005.** Колебания климата по данным наблюдений: тройной солнечный и другие циклы, М., Наука, 191 с.
- Семенов С. М., 2004.** Парниковые газы и современный климат Земли, М., Метеорология и гидрология, 175 с.
- Семенов С. М., Ясюкевич В. В., Гельвер Е. С., 2006.** Выявление климатогенных изменений, М., Метеорология и гидрология, 235 с.
- Труды Всемирной конференции по изменению климата, 2004.** Москва, 29 сентября — 3 октября 2003 г., М., Новости, 620 с.
- Arrhenius S., 1896.** On the influence of carbonic acid in the air upon the temperature of the ground, *Phil. Mag.*, vol. 41, pp. 237–276.
- Barnola J. M., Raynaud D., Lorius C., and Barkov N. I., 2003.** Historical CO₂ record from the Vostok ice core, in: *Trends: A Compendium of Data on Global Change*, Carbon Dioxide Information Analysis Center, Oak Ridge National Laboratory, U.S. Department of Energy, Oak Ridge, Tenn., USA, <http://cdiac.esd.ornl.gov/>.
- Climate Change 2001, 2001.** Synthesis Report. Contributions of Working Group I, II and III to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel of Climate Change, Watson R. T. and the Core Writing Team (eds.), Cambridge University Press, 397 p.
- Climate Change 2001, 2001a.** The Scientific Basis. Contribution of Working Group I to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel of Climate Change, Houghton J. T., Ding Y., Griggs D. J., Noguer M., van der Linden P. J., Dai X., Maskell K., and Johnson C. A. (eds.), Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, Cambridge University Press, 881 p.
- Climate Change 2001, 2001b.** Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel of Climate Change, McCarthy J. J., Canziani O. F., Leary N. A., et al. (eds.), Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, Cambridge University Press, 1032 p.
- Climate Change 2001, 2001c.** Mitigation. Contribution of Working Group III to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel of Climate Change, Metz B., Davidson O., Swart R., et al. (eds.), Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, Cambridge University Press, 752 p.
- Climate Change 2007, 2007a.** The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, Solomon S. D., Qin M., Manning Z., Chen M., Marquis K. B., Averyt M., Tignor M., and Miller H. L. (eds.), Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, Cambridge University Press, 996 p.
- Climate Change 2007, 2007b.** Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, Parry M. L., Canziani O. F., Palutikof J. P., van der Linden P. J., and Hanson C. E. (eds.), Cambridge, UK, Cambridge University Press, 976 p.
- Climate Change 2007, 2007c.** Mitigation. Contribution of Working Group III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, Metz B., Davidson O. R., Bosch P. R., Dave R., and Meyer L. A. (eds.), Cambridge United Kingdom and New York, NY, USA, Cambridge University Press, 841 p.
- Crutzen P. J., 2006.** Albedo enhancement by stratospheric sulfur injections: A contribution to resolve a policy dilemma?, *Climatic Change*, vol. 77, pp. 211–220.
- Etheridge D. M., Steele L. P., Langenfelds R. L., Francey R. J., Barnola J.-M., and Morgan V. I., 1998.** Historical CO₂ records from the Law Dome DE08, DE08-2, and DSS ice cores, in: *Trends: A Compendium of Data on Global Change*. Carbon Dioxide Information Analysis Center, Oak Ridge National Laboratory, U.S. Department of Energy, Oak Ridge, Tenn., USA, <http://cdiac.esd.ornl.gov/>.
- Izrael Yu. A., 1983.** Ecology and Control of the Natural Environment, Kluwer, 400 p.
- Izrael Yu. A. and Semenov S. M., 2006.** Critical levels of greenhouse gases, stabilization scenarios, and implications for the global decisions, in: *Avoiding Dangerous Climate Change*, Schellnhuber H. J., Cramer W., Nakicenović N., Wigley T., and Yohe G. (eds.), Cambridge University Press, pp. 73–79.
- Jouzel J., Lorius C., Petit J. R., Genthon C., Barkov N. I., Kotlyakov V. M., and Petrov V. M., 1987.** Vostok ice core: A continuous isotope temperature record over the last climatic cycle (160,000 years), *Nature*, vol. 329, pp. 403–408.
- Jouzel J., Barkov N. I., Barnola J. M., Bender M., Chappellaz J., Genthon C., Kotlyakov V. M., Lipenkov V., Lorius C., Petit J. R., Raynaud D.,**

1. ВВЕДЕНИЕ

- Raisbeck G., Ritz C., Sowers T., Stievenard M., Yiou F., and Yiou P., 1993.** Extending the Vostok ice-core record of palaeoclimate to the penultimate glacial period, *Nature*, vol. 364, pp. 407–412.
- Jouzel J., Waelbroeck C., Malaize B., Bender M., Petit J. R., Stievenard M., Barkov N. I., Barnola J. M., King T., Kotlyakov V. M., Lipenkov V., Lorius C., Raynaud D., Ritz C., and Sowers T., 1996.** Climatic interpretation of the recently extended Vostok ice records, *Climate Dynamics*, vol. 12, pp. 513–521.
- Keeling C. D. and Whorf T. P., 2004.** Atmospheric CO₂ records from sites in the SIO air sampling network, in: *Trends: A Compendium of Data on Global Change*, Carbon Dioxide Information Analysis Center, Oak Ridge National Laboratory, U.S. Department of Energy, Oak Ridge, Tenn., USA, <http://cdiac.esd.ornl.gov/>.
- Lackey R. T., 1997.** Ecological risk assessment: Use, abuse, and alternatives, *Environmental Management*, vol. 21, No. 6, pp. 808–812.
- Morgan M. G. and Henrion M., 1990.** *Uncertainty: A Guide to Dealing with Uncertainty in Quantitative Risk and Policy Analysis*, Cambridge, Cambridge University Press.
- Mokhov I. I., Bezverkhny V. A., and Karpenko A. A., 2005.** Diagnosis of relative variations in atmospheric greenhouse gas contents and temperature from Vostok Antarctic ice-core paleoreconstructions, *Izvestiya, Atmospheric and Oceanic Physics*, vol. 41, No. 5, pp. 523–536.
- Mokhov I. I., Chernokulsky A. V., and Shkolnik I. M., 2006.** Regional model assessments of fire risks under global climate changes. ISSN 1028-334X, *Doklady Earth Sciences*, 2006, vol. 411A, No. 9, pp. 1485–1488. © Pleiades Publishing, Inc., 2006. Original Russian Text © I. I. Mokhov, A. V. Chernokulsky, I. M. Shkolnik, published in *Doklady Akademii Nauk*, vol. 411, No. 6, pp. 808–811.
- Moss R. H. and Schneider S. H., 2000.** Uncertainties in the IPCC TAR: Recommendations to lead authors for more consistent assessment and reporting, in: *Guidance Papers on the Cross Cutting Issues of the Third Assessment Report of the IPCC*, Pachauri R., Taniguchi T., and Tanaka K. (eds.), World Meteorological Organization, Geneva, pp. 33–51.
- Patwardhan A., Schneider S. H., and Semenov S. M., 2003.** Assessing the Science to Address UNFCCC Article 2: A Concept Paper Relating to Cross Cutting Theme Number Four, IPCC, <http://www/ipcc.ch/>.
- Petit J. R., Jouzel J., Raynaud D., Barkov N. I., Barnola J.-M., Basile I., Bender M., Chappellaz J., Davis M., Delaygue G., Delmotte M., Kotlyakov V. M., Legrand M., Lipenkov V. Y., Lorius C., Pepin L., Ritz C., Saltzman E., and Stievenard M., 1999.** Climate and atmospheric history of the past 420,000 years from the Vostok ice core, Antarctica, *Nature*, vol. 399, pp. 429–436.
- Petit J. R., Raynaud D., Lorius C., Jouzel J., Delaygue G., Barkov N. I., and Kotlyakov V. M., 2000.** Historical isotopic temperature record from the Vostok ice core, in: *Trends: A Compendium of Data on Global Change*, Carbon Dioxide Information Analysis Center, Oak Ridge National Laboratory, U.S. Department of Energy, Oak Ridge, Tenn., USA, <http://cdiac.esd.ornl.gov/>.
- Russian National Report, 2007.** *Meteorology and Atmospheric Sciences. 2003–2006*, Mokhov I. I. and Krivolutsky A. A. (eds.), M., MAX Press, 180 p. (Национальный отчет России по метеорологии и атмосферным наукам за 2003–2006 гг. к XXIV Генеральной Ассамблее Международного союза геодезии и геофизики (г. Перуджа, Италия, 2–13 июля 2007 г.), под ред. И. И. Мохова, А. А. Криволицкого, М., МАКС Пресс, 180 с.).
- Tyndall I., 1861.** On the absorption and radiation of heat by gases and vapours and on the physical connection of radiation absorption and conduction, *Phil. Mag.*, vol. 22, No. 144.
- Wigley T. M. L., 2006.** A combined mitigation, geoengineering approach to climate stabilization, *Science*, vol. 314, pp. 452–454.