
1

МЕНЯЮЩИЙСЯ КЛИМАТ ПЛАНЕТЫ

В. Н. Разуваев, М. З. Шаймарданов

КЛИМАТ ПЛАНЕТЫ В ИСТОРИЧЕСКИЙ ПЕРИОД (ПОСЛЕ ЛЕДНИКОВОГО ПЕРИОДА)

Климат на планете непостоянен и неоднократно менялся за время ее существования. На протяжении последнего миллиарда лет климат был в основном теплым, со средней температурой примерно на 10°C выше, чем в настоящее время.

Теплый режим прерывался сравнительно короткими интервалами ледниковых периодов продолжительностью порядка 10 млн лет, отделенных друг от друга несколькими сотнями миллионов лет. Примерно 50 млн лет назад за счет каких-то причин началось постепенное похолодание, достигшее своей кульминации около 2 млн лет назад. С ним пришел новый тип климата, характеризующийся сменой ледниковых и межледниковых периодов, которых, вероятно, было около десяти [20, С. 494—498]. Этот тип климата предположительно сохраняется на Земле и в настоящее время [15]. Достаточно протяженные (в среднем около 100 тыс. лет) ледниковые периоды сменяются сравнительно коротким «межледниковьем». Последнее оледенение началось около 115 тыс. лет назад и максимальное развитие получило 18 тыс. лет назад. Уровень поверхности океана в то время был на 85 м ниже современного, а средняя температура воздуха у поверхности на 5°C ниже [20, С. 498].

Повышение температуры, таяние ледников и разрушение ледовых покровов началось 14 тыс. лет назад (*рис. 1—1*). Между 5000 и 3000 гг. до н. э. уровень Мирового океана начал быстро подниматься в результате таяния последних ледниковых покровов, оставшихся после оледенения. В 2000 г. до н. э. уровень моря был на 3 м выше современного, общий объем льда — меньше на 10^{15} м^3 , температура воздуха в Европе на $2—3^{\circ}\text{C}$ выше, чем в настоящее время. Это состояние климатической системы известно как «последнеледниковый климатический оптимум», на смену которому пришло очередное похолодание. По европейским хроникам, период между 900 и 300 гг. до н. э. или несколько позже был холодным [8, С. 104] и иногда определяется как похолодание «железного века».

Последующие изменения климата документированы значительно лучше, однако основным источником информации остаются качественные описания сложив-

Россия в окружающем мире: 2004 (Аналитический ежегодник). Отв. ред. *Н. Н. Марфенин*/Под общ. ред.: *Н. Н. Марфенина, С. А. Степанова*. — М.: Модус-К — Этерна, 2005. — 320 с.

шихся климатических условий в исторических летописях. В 1000—1200 гг. наблюдалось потепление, известное как «второй климатический оптимум». Таяние арктических льдов и уменьшение выноса дрейфующих льдов в южном направлении сыграло важную роль в существовании и развитии колоний вдоль северного побережья Атлантики. В Западной и Центральной Европе граница возделывания виноградной лозы продвинулась на север на 3—4° по широте. Эти показатели соответствуют возрастанию средней летней температуры примерно на 1° С.

Большой интерес представляет последующее похолодание в 1400—1850 гг., так называемый «малый ледниковый период» [23, С. 1—5]. Этот общепринятый термин на самом деле не вполне отражает состояние климатических условий в это время. Имеющиеся данные о характере изменения альпийских ледников не позволяют говорить об «оледенении» в Европе. В то же время ледники Гренландии настолько увеличились, что поселения викингов оказались стертými с лица Земли. Имеющиеся сведения о климатических условиях в разных регионах позволяют сделать вывод об увеличении числа экстремальных климатических явлений в это время. Зима 1683/84 г. в Англии была, по-видимому, одной из самых суровых зим на континенте, она известна как зима самых больших «морозных ярмарок» на Темзе. С ней может быть сопоставима лишь зима 1709 г. во Франции [8, С. 112]. В то же время летние температуры в Европе практически не отличались от современных. «Малый ледниковый период» во многом отличается от многочисленных предыдущих периодов похолодания. О его происхождении имеется много гипотез, большей частью основанных на предположении об уменьшении концентрации CO₂ в атмосфере и росте вулканической активности. Не следует забывать и о том, что это наиболее близкий к нам период похолодания, его изучение может дать но-

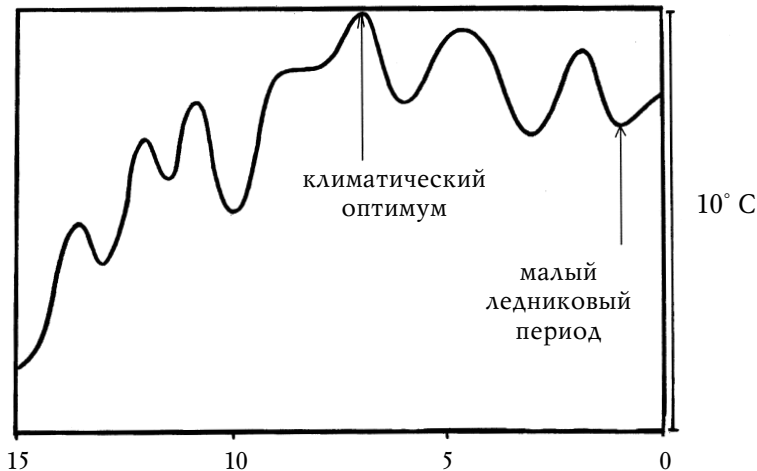


Рис. 1—1. Характеристики климата последних 15 000 лет

Источник: Митчелл Д. М. Изменяющийся климат//Энергия и климат: Сборник. Л.: Гидрометеиздат, 1991.

вые сведения о возможных способах перехода климатической системы из одного состояния в другое. Еще не все особенности этого периода достаточно изучены, в частности влияние похолодания на развитие общества. Приведем без комментариев тот факт, что наблюдавшееся похолодание в Европе совпало по времени с периодом расцвета общественной жизни, известным как эпоха Возрождения.

В конце XIX в. началось потепление, которое за исключением небольшого интервала 1950—1960 гг. продолжается и по настоящее время.

ИЗМЕНЕНИЕ КЛИМАТА В ПЕРИОД ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫХ НАБЛЮДЕНИЙ

Регулярные метеорологические наблюдения продолжаются уже более 150 лет, в некоторых странах имеются данные наблюдений и за более ранний период. Это позволило оценить изменения состояния климатической системы не только по косвенным данным, но и на основании прямых измерений значений метеорологических показателей.

Основные метеорологические приборы термометр и барометр были изобретены в середине XVII столетия, однако использовать эти приборы для ежедневных записей погоды начали в Европе только в 1650—1700 гг. Имеются сведения, что подобные наблюдения в Корее были начаты около 1440 г., в Палестине — еще на 2000 лет раньше, но эти записи не сохранились. Старейший ряд метеорологических инструментальных наблюдений был сделан в Париже. По инициативе Паскаля с июля 1649 г. по март 1651 г. проводились ежедневные наблюдения за уровнем ртути в трубках. В России систематические инструментальные наблюдения начались в 20—30-х гг. XVIII в. Более или менее подробные записи о погоде были начаты в 1722 г. в Петербурге по указу Петра I. Долгое время был малоизвестен тот факт, что обширные и подробные метеорологические наблюдения были организованы на целой сети станций в Сибири в 1730 г. участниками Великой Северной экспедиции под руководством В. Беринга. В начале XIX в. метеорологические наблюдения в России велись уже во многих местах. В 1808 г. начались наблюдения при Московском университете. В 1849 г. была образована Главная физическая (сейчас — геофизическая) обсерватория в Петербурге, которой была поручена работа по организации сети метеорологических станций России [22].

Температура воздуха. Средняя глобальная температура повысилась за последние 100 лет на $0,6^{\circ}\text{C}$ (рис. 1—2).

Повышение температуры происходило неравномерно, в 1950—1960 гг. температура несколько уменьшилась, но, по-видимому, это колебание средней температуры не отразилось на тенденции к потеплению, которое продолжается с тех пор практически непрерывно. Следует отметить, что 90-е гг. были самыми теплыми не только за последние 150 лет, но и вообще за все прошлое тысячелетие [25, Р. 101].

Естественно, повышение средней температуры происходило на фоне региональных особенностей. Например, потепление 1910—1945 гг. в основном прояви-

Отклонения от средней температуры в °С (1861—2000 гг.)

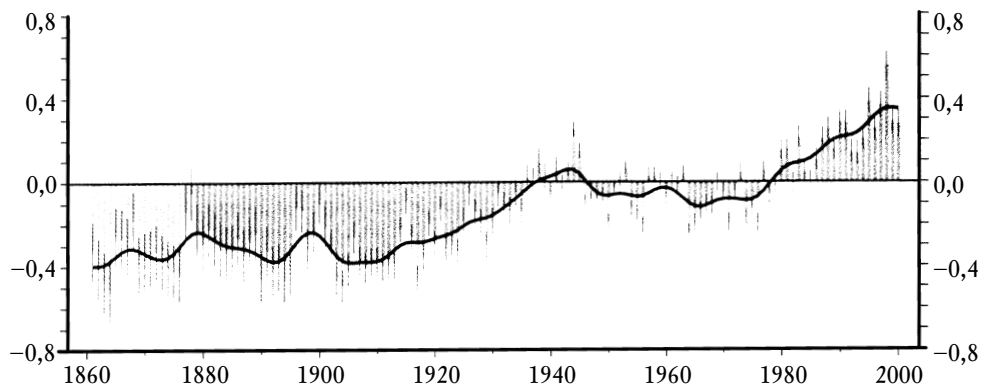


Рис. 1—2. Колебания температуры на поверхности Земли за 140 лет

Источник: Изменение климата 2001. Обобщенный доклад. Вклад рабочих групп I, II и III в подготовку Третьего доклада об оценке Межправительственной группы экспертов по изменению климата.

лось в Северной Атлантике и близлежащих районах. Похолодание 1946—1975 гг. в Северном полушарии сопровождалось увеличением температуры в Южном полушарии. В целом за период инструментальных наблюдений потепление в Южном полушарии выглядит более однородным, чем в Северном. Тенденция к потеплению, в частности, к повышению средних температур за холодный период наиболее отчетливо выражена в Западной Сибири и на Аляске [32, Р. 34]. Среднегодовая температура в Фэрбенксе (Аляска), городе, построенном на вечной мерзлоте, составляет всего $-2,0^{\circ}\text{C}$. Еще немного, и жители города смогут распрощаться с естественными холодильниками, размещенными в погребах их домов [29]. Повышение температуры в этом районе сказывается и на более раннем сходе снежного покрова, в 2002 г. это проявилось наиболее сильно — снег сошел на две недели раньше обычного.

Атмосферные осадки. Анализ изменений в количестве выпадающих атмосферных осадков связан с большими методическими трудностями. «Пятнистый» характер выпадения осадков требует использования как можно более плотной сети измерительных станций. Точное измерение жидких осадков затрудняется из-за необходимости корректного учета смачивания осадкомерного ведра и испарения в период между измерениями. Точное измерение твердых осадков (снега, града) затруднено из-за возможности выдувания снега в том месте, где расположен измерительный прибор. Тем не менее полученные в последние годы результаты позволяют сделать вывод об изменении количества осадков, а также характера их выпадения.

Количество осадков увеличилось в районе высоких и средних широт Северного полушария, за исключением Восточной Азии. В субтропиках (от 10° с. ш. до

30° с. ш.) выпадение осадков на суше в среднем уменьшилось. В то же время изменения в области тропического океана показали увеличение осадков.

Очень важным является вопрос о характере выпадения осадков, соотношении между ливневыми дождями и небольшими, но продолжительными осадками, поскольку суммарное число осадков за определенный период и в том и в другом случае может быть одинаковым, а воздействие на природу, сельское хозяйство и экономику совершенно различным. В целом в последние десятилетия частота интенсивных осадков в районе высоких и средних широт увеличилась, что является индикатором климатических изменений.

Снежный покров. На основании спутниковых наблюдений можно сделать вывод, что ежегодное покрытие снегом сократилось в 1966—2000 гг. на 10% в основном за счет уменьшения снежного покрова весной и летом начиная с середины 1980-х гг. [25, Р. 123]. Изменений снежного покрова зимой и осенью не наблюдалось (рис. 1—3). Более длительные наблюдения за снежным покровом на метеорологических станциях показали, что в последнее десятилетие площадь покрытия снегом в Северном полушарии была наименьшей за последние 100 лет.

Высота снежного покрова зимой, например, на Европейской территории России уменьшалась начиная с 1900 г., но начала увеличиваться практически повсеместно в последние десятилетия.

Большое значение имеет продолжительность залегания снежного покрова. Если принять за продолжительность залегания число дней, когда высота снежного покрова более 1 см, то на территории России отчетливо прослеживается

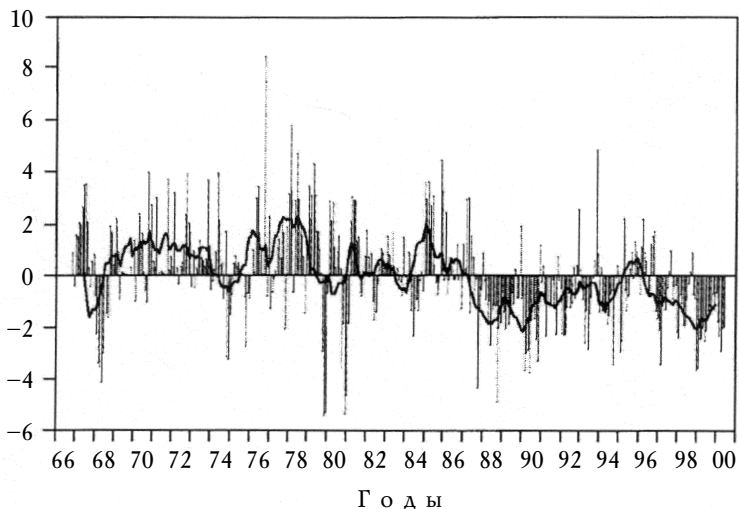


Рис. 1—3. Отклонения от нормы среднемесячных значений распространённости снежного покрова Северного полушария в 1966—2001 гг. (в млн км²).

Источник: Climate Change 2001. Contribution of WGI to the TAR of the IPCC. Cambridge Press, 2001.

тенденция к сокращению этого периода [24]. Этот результат вполне согласуется с тенденцией к увеличению температуры воздуха в зимний период. С другой стороны, в рядах числа дней со снежным покровом высотой больше 20 см прослеживается положительная тенденция, что может быть обусловлено увеличением количества выпадающих осадков.

Таким образом, уже несколько параметров климата в последние годы проявляют тенденцию к изменению, что говорит о неустойчивости климатической системы.

Ледники. Горные ледники — один из наиболее чувствительных индикаторов состояния климатической системы. Уменьшение ледников начиная с конца XIX в. — самое наглядное свидетельство повышения глобальной температуры воздуха. В некоторых случаях можно восстановить историю ледников на основании хроник и рисунков на протяжении нескольких столетий. Усредненные данные по состоянию 30 ледников в 10 горных районах свидетельствуют об уменьшении массы ледников, а по 20 ледникам за последние 100 лет — о повсеместном сокращении их протяженности.

В то же время имеются и факты разрастания отдельных ледников. Например, в мористых¹ районах Норвегии в последние годы происходили аномально интенсивные выпадения осадков, что привело к увеличению протяженности ледников на общем фоне глобального потепления (рис. 1—4).

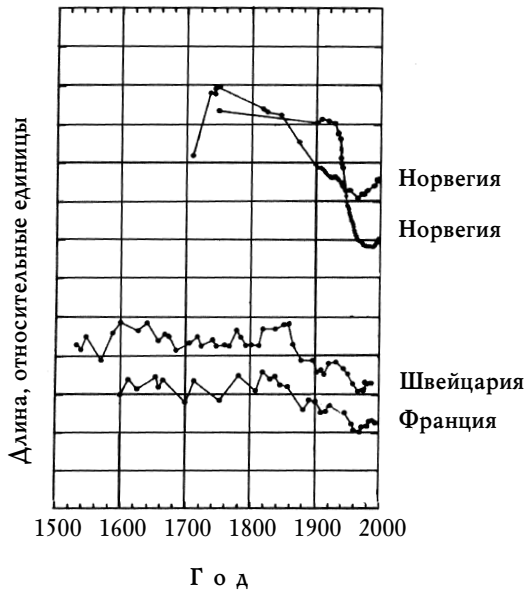


Рис. 1—4. Изменение длины ледников, расположенных в разных странах Европы.

Источник: Climate Change 2001. Contribution of WGI to the TAR of the IPCC. Cambridge Press, 2001.

¹ Примеч. ред.: мористый (снец.) — удаленный от берегов в сторону открытого моря.

Что касается объема морского льда, то здесь имеется существенное различие между Северным и Южным полушариями. Происходящее с 1950-х гг. уменьшение количества морского льда в Арктике в весенний и летний периоды согласуется с повышением весенних температур и в меньшей степени летних температур в высоких широтах.

В Антарктике, в отличие от Арктики, нет никаких явных свидетельств взаимосвязи между десятилетними изменениями температур и протяженностью морского льда в период с 1973 г. (рис. 1—5). После уменьшения в середине 1970-х гг. протяженность морского льда в Антарктике оставалась стабильной [9, С. 1—31].

Вечная мерзлота занимает почти 25% поверхности суши Северного полушария. Здесь на небольшой глубине располагаются слои замерзшей почвы, не оттаивающей летом, толщиной от 1—2 м до сотен метров [20, С. 75]. Изменения температуры в слое вечной мерзлоты на глубине 20—200 м могут быть использованы в качестве чувствительного индикатора долгопериодных климатических изменений.

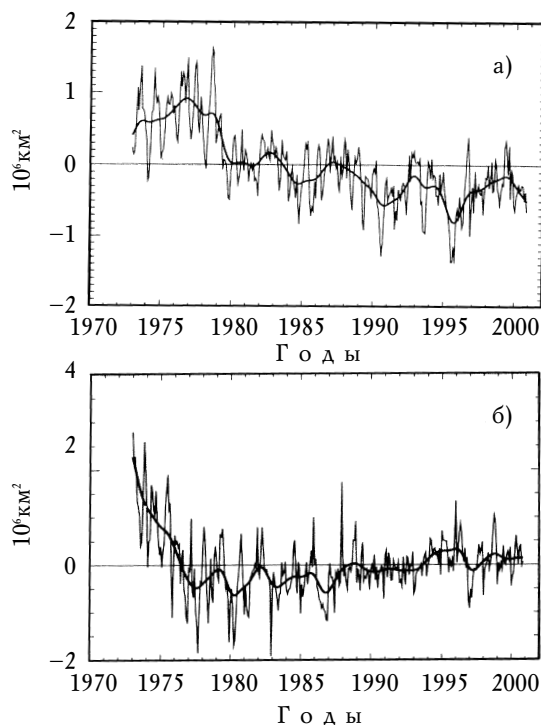


Рис. 1—5. Отклонение от нормы среднемесячных значений распространения морского льда в Арктике (а) и Антарктике (б) в млн км²

Источник: Climate Change 2001. Contribution of WGI to the TAR of the IPCC. Cambridge Press, 2001.

Незначительные изменения в климатических условиях могут вызвать существенные изменения в состоянии слоя вечной мерзлоты. Например, на Аляске температура в слое вечной мерзлоты повысилась на 2—4° С за последнее столетие. Таяние слоя вечной мерзлоты является серьезной проблемой, вызванной потеплением климата. Это может привести к сезонному протаиванию почвы и разрушению существующих сооружений.

Изменения температуры в зоне вечной мерзлоты имеют региональные особенности. В частности, в некоторых районах Якутии, несмотря на ярко выраженную тенденцию к повышению среднегодовой температуры воздуха, не наблюдается соответствующего повышения температуры грунтов. По-видимому, в условиях резко континентального климата Якутии существенна роль аномальных сезонов. Так, одна аномально холодная зима способна произвести более сильный эффект, чем несколько следующих друг за другом аномально теплых. В итоге среднегодовая температура грунта может оставаться постоянной [1]. Для учета региональных особенностей в настоящее время создается международная служба мониторинга за состоянием вечной мерзлоты [25, Р. 127].

Уровень Мирового океана в результате глобального повышения температуры должен повыситься из-за теплового расширения воды и таяния ледников и морских льдов. Можно считать, что именно эти два фактора привели к повышению среднего уровня океана в прошлом столетии на 10—20 см. По многолетним данным береговых станций, скорость повышения уровня океана в XX столетии была больше, чем в XIX. Модельные оценки изменения уровня океана за период с 1990 по 2100 г. дают повышение уровня в пределах от 9 до 88 см [25, Ch. 11]. Особое внимание уделяется контролю за состоянием Западного Антарктического ледяного щита. Так как основание его расположено ниже уровня моря, то при ослаблении сдерживающего действия соседних ледяных полей возможно его быстрое разрушение, а всей его массы достаточно, чтобы поднять уровень Мирового океана на 6 м. Однако, по мнению большинства ученых, в XXI в. такое событие маловероятно [25, Р. 642].

Экстремальные погодные явления хоть и возникают редко, но запоминаются надолго, так как почти всегда сопровождаются разрушениями, значительными финансовыми потерями и гибелью людей. По данным перестраховочной компании *Munich Re*, экономический ущерб от природных катастроф, в том числе и вызванных экстремальными погодными явлениями, вырос в 43 раза за 30 лет.

Исследование изменений в повторяемости экстремумов связано со значительными трудностями, поскольку такие события редки и применение методов статистического анализа дает лишь приближенные оценки. Рост числа экстремальных значений может происходить в двух случаях. Во-первых, при увеличении частоты появления экстремумов при сохранении среднего значения. Во-вторых, при увеличении среднего значения, и тогда обычные отклонения от него выглядят уже экстремальными. В реальных условиях происходит взаимодействие обоих факторов, что затрудняет определение причин роста числа экстремальных явлений.

На практике экстремальные погодные явления оцениваются по их влиянию на социально-экономические условия, по размеру причиненного ущерба. В связи с этим необходимо учитывать, что приводимые (в том числе и в настоящей работе)

оценки роста финансовых потерь включают и зависимость от инфляции, от изменений в территориальном распределении объектов хозяйственной деятельности и народонаселения и других факторов. Действительно, практическая неизменность повторяемости сильных ветров в районах с интенсивным развитием хозяйственной деятельности в последние годы может привести к возрастанию нанесенного ущерба. С другой стороны, даже экстремальные значения силы ветра в экономически слабо развитых районах с низкой плотностью населения не приведут к заметным финансовым потерям, но, безусловно, должны быть оценены как экстремальные явления в рамках анализа изменчивости климатических условий. Определение изменений в повторяемости климатических экстремумов является, таким образом, комплексной задачей, решению которой в настоящее время уделяется особое внимание, в том числе и в России.

В период с 1991 по 2000 г. влияние неблагоприятных условий погоды на развитие экономики России достигло угрожающих размеров. Угроза наводнения в России существует более чем для 746 городов и нескольких тысяч населенных пунктов, крупные наводнения происходят от 40 до 68 раз в год. В 1998 г. полному затоплению подверглись города Ленск, Великий Устюг, пострадали 20 городов и 539 сел, свыше 63 тыс. жилых домов, погибли 26 человек [3].

В 2002 г. от сильных наводнений пострадал Северо-Кавказский регион. Начиная с 20 июня там прошли сильные дожди. Количество осадков составило: в Назрани — 71 мм, Кисловодске — 96 мм, Минеральных Водах — 118 мм. Дожди вызвали паводки практически на всех реках бассейна Кубани и Терека, в горных районах — сход селевых потоков. В Краснодарском крае было подтоплено свыше 3000 домов, затоплены поля, снесены мосты, размыты дороги. Ущерб только по Отрадненскому району был оценен в 410 млн руб. В Кабардино-Балкарской Республике предварительный ущерб составил 700 млн руб. В Ставропольском крае было затоплено 7776 домов, прекращена подача воды в 22 населенных пункта, где проживают более 180 тыс. человек. Погибли 43 человека, 102 пропали без вести. Предварительный ущерб составил около 2,5 млрд руб. В Ингушетии ущерб превысил 377 млн руб.

Рост числа экстремальных явлений, в первую очередь температурных аномалий, может быть связан с возрастанием средней глобальной температуры. Имеются сведения об изменении интенсивности так называемых тепловых волн, т. е. кратковременных повышении температуры, оказывающих большое влияние на состояние здоровья, изменении размеров зон с необычно высокими или низкими температурами [25, Р. 156].

В то же время для большинства регионов, включая США, Китай, Россию, отмечается уменьшение изменчивости межсуточной температуры, т. е. становится меньше резких изменений температуры между последовательными сутками.

Одной из наиболее заметных характеристик экстремальности температуры является количество дней в году с температурой существенно выше или ниже нормальной. В России за последние годы в среднем увеличилось число дней с температурой выше обычной для зимнего периода [17]. Анализ временных рядов значений температуры за 230-летний период в Англии показал, что наблюдаемое в целом по Европе повышение температуры обусловлено в основном уменьшением числа дней с аномально низкой температурой. Аналогичный результат был получен для большей части суши Северного полушария: во второй половине XX столе-

тия обнаружено уменьшение разницы между наибольшими за год значениями максимальных и минимальных ежедневных температур.

В Приложении 1—03 приведены сведения об изменении основных климатических параметров в XX столетии.

СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ КЛИМАТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ (1996—2001 гг., 2002 г., 2003 г.)

Рассмотрение долгопериодных изменений климата дает представление о возможном состоянии климатической системы во временном интервале от сотен до сотен тысяч лет. В то же время анализ кратковременных климатических флуктуаций содержит информацию о возможных ближайших изменениях климата в интервале десятилетий.

В связи с этим полезно рассмотреть наиболее важные климатические явления за период 1996—2001 гг., принятый как базовый для подготовки последнего доклада о состоянии климатической системы, подготовленного Межправительственной группой экспертов по изменению климата (МГЭИК) [32], а также события 2002 г. [35] и последнего, 2003 г. (Приложение 1—04).

Явление Эль-Ниньо и Южное колебание. Южное колебание — это синхронное (но с обратным знаком) изменение атмосферного давления в двух регионах тропической зоны, размещенных практически на противоположных сторонах земного шара (порт Дарвин в Австралии и острова Таити). Оно было открыто в начале XX века. Позднее была установлена его связь с явлением Эль-Ниньо — периодическим резким потеплением вод вблизи побережья Перу, обусловленным изменениями силы восточных ветров в экваториальной зоне Тихого океана² [16]. В 1997—1998 гг. Эль-Ниньо было выражено как никогда сильно (индекс Южного колебания был наибольшим за все время наблюдения), что привело к значительным изменениям в состоянии климатической системы [18].

1998 г. оказался наиболее теплым за всю более чем столетнюю историю метеорологических наблюдений как для обоих полушарий, так и для земного шара в целом. Последствия этой аномалии ощущались и в последующие годы, вплоть до 2002 г., который был отмечен второй по величине положительной аномалией глобальной температуры воздуха.

На региональном уровне были зарегистрированы значительные аномалии температуры и количества осадков, что послужило причиной возникновения сильнейших засух и наводнений.

Засухи. Сильные засухи, в значительной мере обусловленные явлением Эль-Ниньо, 1997—1998 гг. были отмечены в Южной Африке, Австралии, северо-восточной Бразилии и Индонезии. Другие засухи в Европе и Сахеле, в Западной Африке не связаны напрямую с этим явлением, их возникновение было обусловлено рядом других причин.

¹ *Примеч. ред.:* см. статью Е. К. Семенова «Грандиозные последствия далекого Эль-Ниньо» в ежегоднике «Россия в окружающем мире: 1999». М.: Изд-во МНЭПУ, 1999. С. 197—213.

В период между декабрем 1997 г. и маем 1998 г. сильная засуха распространилась в северной части Южной Америки. Дефицит осадков составил около 400 мм, что привело к перебоям в энергоснабжении районов, зависящих от работы гидроэлектростанций, и к возникновению обширных лесных пожаров.

В Австралии в штате Виктория январь — ноябрь 1997 г. был вторым по степени засушливости за 140-летний период наблюдений. Накопленная сумма осадков составила всего 335 мм, что соответствует 59% нормы. В то же время эта чрезвычайно засушливая погода стала полной противоположностью предыдущего периода 1996 г., который был вторым, но уже по степени увлажнения.

В Индонезии в марте — декабре 1997 г. выпало всего 1145 мм осадков — около 50% нормы. На островах Суматра и Борнео бушевали лесные пожары. Хотя лесные пожары в этих местах явление довольно частое, в 1997 г. они достигли масштабов экологической катастрофы. Погибло бесчисленное количество животных, из-за дыма видимость сократилась до 100 м, что практически сделало невозможным передвижение по суше, морю и воздуху.

В Европе особенно засушливым оказался 2000 г. На территории юго-восточной Европы практически в течение всего года сумма осадков не превышала 50% нормы. На западе Румынии лето 2000 г. было самым сухим с 1952 г. Еще более тяжелым лето 2000 г. выдалось для Испании, поскольку начиная с 1998 г. оно было уже третьим подряд и наиболее сухим.

Наводнения. Выделить какую-либо одну причину возникновения наводнений достаточно трудно. Часто они напрямую связаны с увеличением осадков, что можно продемонстрировать на примере Эль-Ниньо 1997—1998 гг. В первой половине 1998 г. из-за Эль-Ниньо на территории западной части Экваториальной Африки выпало осадков намного больше нормы. В январе — феврале Кения и Сомали испытали сильнейшее за последние 40 лет наводнение, которое вызвало вспышки заболеваний малярией, лихорадкой и холерой. В сентябре того же года интенсивные дожди на территории Судана и Эфиопии вызвали наводнения, которые привели к человеческим жертвам, и тысячи людей остались без крова.

Сильнейшее с 1954 г. наводнение в районе реки Янцзы произошло в конце лета 1998 г. Между июнем и сентябрем было зарегистрировано 8 подъемов воды. Положение усугубилось тем, что на двух близлежащих реках также началось наводнение. В результате почти пятая часть населения Китая (230 млн человек) так или иначе испытали на себе действие стихии. Погибли более 3500 человек, более 7 млн домов было разрушено, почти 14 млн получили повреждения. Нанесенный ущерб составил 36 млрд долл. США.

На следующий год жители долины реки Янцзы вновь пострадали от сильных дождей и последовавшего за этим наводнения 1999 г., когда более 2 млн человек были вынуждены покинуть места своего проживания.

В Южной Америке сильное наводнение 1997—1998 гг., явившееся прямым следствием обильного выпадения осадков во время Эль-Ниньо, буквально потрясло экономику Перу. За период с ноября 1997 г. по май 1998 г. в западных районах Перу, а также в прибрежных районах Эквадора выпало осадков в 10 раз больше нормы. Причиненный ущерб от наводнения оценивается в 3 млрд долл.

Особенности 2002—2003 гг.

В 2002 г. основные тенденции климатических изменений сохранились, и год отмечен рядом экстремальных событий, появление которых укладывается в общую схему возрастания их числа и интенсивности. Данные за 2003 г. еще не полностью обработаны, но те сведения, которые доступны, подтверждают общую закономерность.

2002 г. занял в ряду самых теплых лет второе место после 1998 г. Средняя глобальная температура была выше нормы на $0,45^{\circ}\text{C}$. Температурные аномалии, превышающие $1,0^{\circ}\text{C}$, были отмечены на большей территории России, Восточной Европы, Аляски. Не обошлось и без сильных засух и наводнений.

На территории США засуха продолжалась с января (23% территории) вплоть до июля (39%). В основном засухой оказалась охвачена западная часть страны. Необычайно высокая температура воздуха и значительный дефицит осадков привели к тому, что засушливые условия середины года оказались сравнимы со знаменитой засухой 1988 г., хотя и не были столь суровы, как в 1930 г. Использование палеоклиматических данных за период, предшествовавший инструментальным наблюдениям, показало, что засуха 2002 г. по совокупности параметров была одной из сильнейших за последние несколько сотен лет.

В очередной раз засуха охватила и район Западной Африки в июле — августе 2002 г. Пришедшие слишком поздно сентябрьские дожди хотя и принесли облегчение, но не спасли от значительных потерь урожая и последовавшего за этим значительного ухудшения благосостояния жителей Сенегала, Гамбии и других стран региона.

На Европейской территории России март 2002 г. был самым теплым за последние 70 лет. Необычно теплая ранняя весна сменилась похолоданием в мае, который был на $2\text{—}4^{\circ}\text{C}$ холоднее обычного. В июне появились признаки нарастающего дефицита осадков, что в июле — августе проявилось в виде очень суровой засухи, охватившей значительную часть Европейской территории России.

И в то же самое время южную часть Европейской территории России — Краснодарский и Ставропольский края — заливали дожди. Превышение нормы выпавших осадков составило более 200%. 5—8 августа 2002 г. продолжительная жаркая погода и резкие изменения в состоянии атмосферы стали причиной смерчей, вышедших на побережье Черного моря в разгар отпускного сезона, что привело к человеческим жертвам.

Сильные дожди вызвали наводнение в центральной и южной части Китая в долине реки Янцзы, которое стало самым сильным после наводнения 1998 г. На следующий год не менее сильное наводнение повторилось, а ущерб от него был оценен в 8 млрд долл. США.

В то время как на Европейской территории России была засуха, в Западной Европе не прекращались дожди, вызвавшие сильные наводнения. В июле — августе практически по всей территории Центральной Европы, включая Германию, Чешскую Республику, Австрию, Румынию и Словакию, прошли ливневые дожди. Реки Эльба и Дунай вышли из берегов, приведя к сильнейшему за столетие наводнению в Европе. В пике наводнения уровень Дуная повысился на 10 м. Тысячи людей были вынуждены покинуть свои дома в Праге и Дрездене. Наводнение привело к гибели 100 человек, ущерб только для Германии составил 9 млрд долл.

Наводнения в Европе случаются довольно часто. Однако результаты недавних исследований повторяемости в последние 80—150 лет зимних и летних наводнений на реках Эльба и Одер [28] показали, что имеется тенденция к сокращению числа зимних наводнений и практически нет тенденции к росту числа наводнений летом, что соответствовало бы наблюдаемому увеличению экстремальных осадков. Ослабление весенних паводков может быть связано с повышением зимней температуры.

В *Приложении 1—04* приведен обзор климатических условий, сложившихся на территории России в 2003 г. [7].

ВОЗМОЖНЫЕ ПРИЧИНЫ КЛИМАТИЧЕСКИХ ИЗМЕНЕНИЙ

Климатические изменения можно с некоторой долей условности разделить на долгопериодные, короткопериодные и быстрые, происходящие за весьма короткий срок по сравнению с характерным временем изменений в социально-экономической сфере. У каждого из них свои причины, относительно которых имеется ряд гипотез.

Астрономические факторы. Некоторые из имеющихся гипотез опираются на возможное влияние на климатическую систему внеземных факторов: 1) изменение активности Солнца, 2) особенности орбитального движения Земли, 3) падение метеоритов, 4) изменение положения магнитных полюсов Земли. Другие пытаются объяснить неустойчивость климатической системы действием внутренних причин, таких как: 5) рост вулканической активности, 6) изменение концентрации углекислого газа в атмосфере, 7) сдвиги в системе океанических течений, 8) собственные колебания циркуляции атмосферы.

Одной из наиболее известных и общепринятых теорий периодического обледенения Земли является астрономическая модель, предложенная в 1920 г. сербским геофизиком Милутином Миланковичем [11, 5, С. 190, 15].

В соответствии с гипотезой Миланковича полушария Земли в результате изменения ее движения могут получать меньшее или большее количество солнечной радиации, что отражается на глобальной температуре. Миланкович выделил три элемента движения. Один — колебания земной оси. Если смотреть на ось сверху, то оказывается, что она описывает в пространстве круг за 25 тыс. лет, т. е. как бы покачивается по отношению к Солнцу. Второй — изменение наклона земной оси по отношению к плоскости орбиты (эклиптики). Такие изменения происходят с периодичностью 41 тыс. лет и достигают 3°. Третий элемент движения связан с изменением формы орбиты. Каждые 100 тыс. лет она изменяется от почти круговой до несколько вытянутой — эллиптической. При этом различие в удалении от Солнца составляет около 5 млн км.

Рассчитав совместное влияние всех трех факторов, Миланкович смог определить периоды, когда те или иные широтные зоны Земли получают наименьшее количество солнечного излучения. Эти периоды, по-видимому, и должны соответствовать периодам формирования и развития ледников в Северном полушарии. Действительно, проведенное в 1976 г. изучение колонок глубоководных морских

осадков, относящихся к последним 500 тыс. лет, подтвердило наличие флуктуаций объема льда с периодичностью в 100, 41, 24, 22 и 19 тыс. лет [11]. В то же время имеются сведения о том, что периоды оледенения не в полной мере соответствуют модели Миланковича.

Этот вопрос обсуждался на заседании Американского геофизического союза в январе 2001 г. Например, аккуратное определение времени образования террас в коралловых постройках, связанное с уровнем моря, который менялся с наступлением межледниковых периодов, указывает на относительно высокое стояние зеркала вод примерно 136 тыс. лет назад, т. е. на несколько тысяч лет ранее, чем должно быть согласно орбитальным факторам. Нет полного понимания и некоторых других динамических соотношений.

Таким образом, влияние астрономических причин на климат было более сложным, чем считали до сих пор, однако и существенных астрономических факторов больше, чем могли учесть.

Вулканы. Другой очевидной причиной, вызывающей климатические изменения, является извержение вулканов. Эта возможность обсуждалась еще в XVII в. Бенджаменом Франклином, а первая подробная работа была выполнена в начале XX в. [5]. Идея заключалась в том, что образующиеся в процессе извержения вулкана облака мелких частиц (аэрозоли) могут заметно ослаблять поток приходящей к земной поверхности коротковолновой радиации, почти не изменяя длинноволнового излучения, уходящего в мировое пространство. Одна из первых работ, в которой устанавливалась связь между изменением потока солнечной радиации в результате вулканических извержений и изменением приземной температуры воздуха, была выполнена в России в 1967 г. [6].

Дальнейшие исследования показали, что основное влияние на радиацию и термический режим Земли оказывает слой сернокислотного аэрозоля, формирующийся в стратосфере из выброшенных вулканом серосодержащих газов. На *рис. 1—6* показано изменение интенсивности солнечной радиации после крупных вулканических извержений.

Наибольшие концентрации аэрозолей были зафиксированы после извержения вулкана Эль-Чичон в Мексике в 1982 г. Высота выброса составила более 28 км, общая масса выброшенных в стратосферу аэрозолей и серосодержащих газов была не менее 20 Мт. Одно из сильнейших вулканических извержений последних лет произошло в 1991 г., вулкан Пинатубо, Филиппины. Извержение началось 10 июня и продолжалось с перерывами до 16 июня, выбросы достигали 24 км. Погибли более 200 человек и 100 тыс. остались без крова.

Наибольший интерес вызывает влияние извержений вулканов на температуру воздуха. Из общих соображений следует ожидать понижения температуры в течение некоторого времени. Действительно, в ряде работ отмечалось слабое уменьшение температуры (до 0,5° С) на первый или второй год после извержения. Сведения о температуре, полученные по толщине колец деревьев на территории США за период 1601—1900 гг., свидетельствуют о том, что после извержений температура понижается на большей части территории, в основном летом.

Рассмотрение изменений температуры после индивидуальных извержений не позволяет сделать вывод о прямой зависимости изменений температуры только от

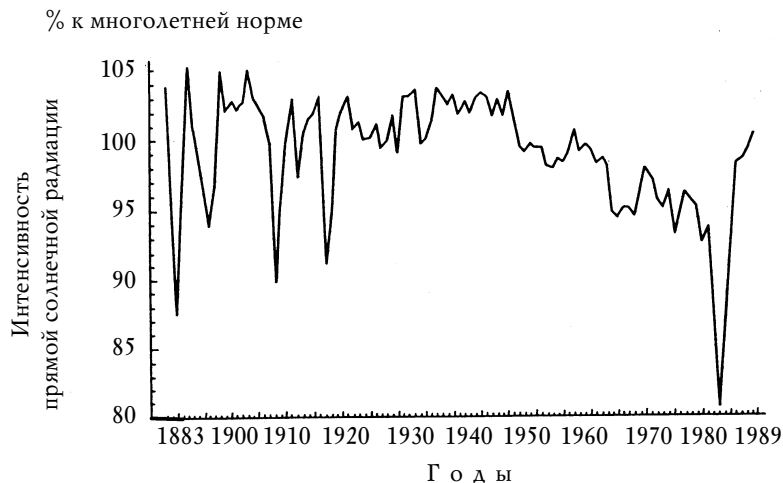


Рис. 1—6. Изменение активности прямой радиации с 1883 по 1989 г.

Источник: Логинов В. Ф. Причины и следствия климатических изменений. Минск: Наука і тэхніка, 1992.

извержения. После извержения вулкана Агунг в 1963 г. наблюдалось понижение температуры в Северном полушарии и рост в Южном, причем похолодание в Северном полушарии началось до извержения вулкана. В то же время после извержения вулкана Эль-Чичон в 1982 г. произошло повышение температуры в Северном полушарии, особенно зимой.

Эти результаты свидетельствуют о значительной роли других механизмов в изменении температуры во время вулканических извержений. Большую роль играет, по-видимому, перестройка общей циркуляции атмосферы. В ряде случаев усиливается влияние западного переноса, особенно зимой, приводящее к выносу теплого и влажного воздуха с океана, что приводит к формированию теплых зим, как это было после крупных извержений [11].

Океаны играют важную роль в глобальной климатической системе. Атмосфера имеет общую границу с океаном более чем на 72% поверхности Земли и реагирует на все изменения, происходящие в океане. Надо учесть также, что в любой момент времени количество тепла, запасенного в вертикальном столбе атмосферы высотой от поверхности Земли до границ космического пространства, приблизительно такое же, как содержащееся в столбе воды океана высотой 3 м, считая от поверхности [2]. Поэтому именно океан является главным аккумулятором и хранителем энергии поступающей на Землю солнечной радиации, которая впоследствии высвобождается в атмосферу. Обладая огромной теплоемкостью, океаны оказывают стабилизирующее влияние на атмосферу, делая ее более устойчивой. В то же время и основные параметры океанов испытывают долгопериодные и короткопе-

риодные изменения, и некоторые из них по своим временным характеристикам сравнимы с изменениями, происходящими в атмосфере.

Существующие в настоящее время климатические условия во многом обусловлены воздействием океана. Запас тепла в океане размещен неравномерно и постоянно перемещается океаническими течениями. Трансатлантическое течение Гольфстрим переносит за секунду 120 млн м³ нагретой солнцем воды, в результате чего за один час на север поставляется больше энергии, чем могло бы выделиться при сжигании 5 млрд т угля [32, Р. 126]. Это перемещение тепла оказывает смягчающее воздействие на климат земель, омываемых теплыми течениями. В Великобритании — конечной точке следования Гольфстрима — средняя температура зимой на 5—6° С выше, чем на Лабрадоре, который лежит на той же широте, но не на пути следования океанического течения. В Рейкьявике (Исландия) зимой теплее, чем в Нью-Йорке, лежащем на 3840 км южнее. Напротив, Перуанское течение, несущее холодные воды Южного океана к экватору вдоль берегов Перу, препятствует испарению, за счет чего образуются пустыни на северном побережье Чили. Но иногда, при ослаблении восточных экваториальных ветров (пассатов), отгоняющих нагревающуюся воду от берегов Южной Америки, доступ холодных вод, богатых питательными веществами, ослабевает, возрастает испарение, что смягчает климат пустыни, принося обильные дожди. Эта ситуация известна как «явление Эль-Ниньо» и считается одной из главных причин короткопериодных климатических изменений в низких широтах.

Помимо постоянного переноса тепла поверхностными течениями, в океане происходит регулярное перемешивание вод по глубине, известное как «термогалинная циркуляция», зависящее как от температуры воды, так и от содержания в ней солей, или солёности. Морские льды в Тихом океане распространяются вплоть до 60° с. ш., тогда как в Атлантике граница распространения льдов находится гораздо севернее, около 75° с. ш. Причиной этого является разная солёность вод Тихого и Атлантического океанов — солёная вода замерзает при более низкой температуре. Кроме того, сравнительно низкая солёность поверхностных вод Тихого океана ограничивает глубину вертикального перемешивания и поэтому способствует льдообразованию, тогда как равномерное вертикальное распределение солёности в восточной части Северной Атлантики обеспечивает возможность перемешивания до дна, что препятствует замерзанию.

Таяние Гренландского ледяного щита и увеличение стока сибирских рек за счет роста выпадения осадков в ходе глобального потепления может привести к уменьшению солёности вод Арктики и увеличению выноса их в район Атлантики. Это, в свою очередь, может привести к ослаблению течения Гольфстрим, увеличению площади морских льдов в этом районе и возникновению климатических условий, характерных для ледникового периода. Подобные процессы происходили в климатической системе в прошлом, когда на фоне продолжительного межледникового периода (100 и более тысяч лет) происходили «быстрые» (от тысячи до 10 тыс. лет) климатические изменения [36, 26].

Состав атмосферы. Атмосфера нагревается, поглощая как солнечную радиацию, так и собственное излучение земной поверхности. Нагретая атмосфера излучает сама. Так же как и земная поверхность, она излучает инфракрасную ра-

диаляцию в диапазоне невидимых глазу длинных волн. Значительная часть (около 70%) излучения атмосферы приходит к земной поверхности, которая практически полностью ее поглощает (95—99%) [21, С. 108].

Это излучение называется «встречным излучением», так как оно направлено навстречу собственному излучению земной поверхности. Основной субстанцией в атмосфере, поглощающей земное излучение и посылающей встречное, является водяной пар. Он поглощает инфракрасную радиацию в широком интервале длин волн — от 4,5 мкм до 80 мкм, за исключением «окна» между 8,5 и 12 мкм, которое называется «окном прозрачности» атмосферы.

Помимо водяного пара в состав атмосферы входят углекислый газ (CO_2) и другие газы, которые поглощают энергию в диапазоне волн 7—15 мкм, т. е. там, где энергия земного излучения близка к максимуму. Сравнительно небольшие изменения концентрации CO_2 в атмосфере могут оказать воздействие на температуру земной поверхности. По аналогии с процессами, происходящими в оранжереях, когда проникающая сквозь защитную пленку радиация нагревает землю, излучение которой пленкой задерживается, обеспечивая дополнительный нагрев, этот процесс взаимодействия земной поверхности с атмосферой носит название «парникового эффекта».

Соображения о том, что изменения концентрации углекислого газа в атмосфере могут быть причиной климатических изменений, высказывались еще 150 лет назад [5, С. 22]. В конце XIX в. в работах Аррениуса было исследовано поглощение радиационных потоков в атмосфере и предложена численная модель для определения температуры у земной поверхности в зависимости от свойств атмосферы. Было показано, что увеличение количества углекислого газа в 2,5—3 раза повышает температуру на 8—9° С, а уменьшение количества углекислого газа на 38—45% снижает температуру на 4—5° С. В дальнейшем эти оценки неоднократно уточнялись, и в 1938 г. в работах Коллендера был сделан вывод о том, что удвоение количества углекислого газа повышает температуру на 2° С, причем влияние изменения концентрации углекислоты на температуру уменьшается с ростом концентрации, и было высказано предположение о том, что потепление климата в первой половине XX в. связано с повышением концентрации углекислоты, вызванным хозяйственной деятельностью человека.

В середине XX в. начались работы по мониторингу содержания углекислого газа и других «парниковых газов», таких как озон (O_3), метан (CH_4), хлоруглеродных соединений, окислов азота.

За 250 лет концентрация CO_2 в атмосфере изменилась с 280 млн⁻¹ (миллионных долей)¹ в 1750 г. до 367 млн⁻¹ в 1999 г., т. е. увеличилась на 31%. Никогда концентрация CO_2 не была столь высокой, как сегодня, равно как и темпы ее возрастания [9, С. 1—38]. Доступные к настоящему времени данные о состоянии атмосферы в прошлом, полученные при изучении кернов льда, позволяют сделать вывод о повышении концентрации CO_2 в индустриальную эру. Средние темпы увеличения в период с 1980 г. составили 0,4% в год. Большая часть выбросов в последние 20 лет связана с сжиганием ископаемых видов топлива, а остальная часть (10—30%) объясняется изменениями в землепользовании.

Влияние внешних факторов на глобальную температуру воздуха изучается на основе моделирования. Большинство работ в этом направлении свидетельствуют о

¹ *Примеч. ред.:* миллионная доля определяется как число частиц, приходящихся на миллион частиц.

том, что в последние 50 лет предполагаемые темпы и масштабы потепления, обусловленные увеличением выбросов парниковых газов, вполне сопоставимы с темпами и масштабами наблюдаемого потепления или превышают их. Наиболее полное совпадение между результатами моделирования и наблюдения за период с 1860 по 2000 г. было обнаружено в тех случаях, когда учитывалось действие антропогенных (повышение концентрации CO_2 и других газов) и природных (вулканическая активность и изменения в солнечной радиации) факторов (рис. 1—7). Представленные в Третьем докладе Межправительственной группы экспертов по изменению климата результаты однозначно связывают наблюдаемое потепление с человеческой деятельностью.

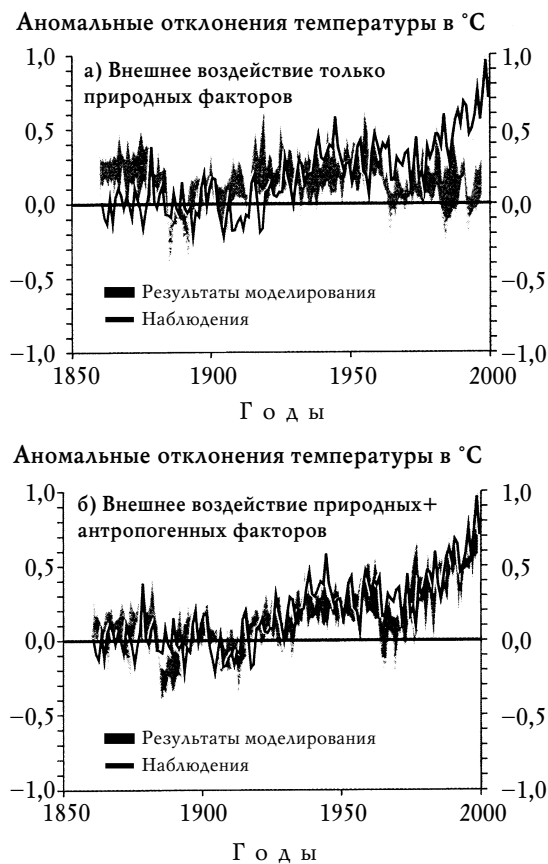


Рис. 1—7. Сопоставление результатов моделирования повышения температуры и наблюдений за период с 1850 г.

Источник: Изменение климата 2001. Обобщенный доклад. Вклад рабочих групп I, II и III в подготовку Третьего доклада об оценке Межправительственной группы экспертов по изменению климата.

Интересно, что человек мог влиять на состояние климатической системы и в прошлом. По-видимому, вырубка лесов для расчищения почвы под посевы, производимая в районе восточного Средиземноморья и Евразии примерно 8 тыс. лет назад, привела к увеличению концентрации CO_2 в атмосфере за счет его высвобождения из деревьев [31, 30]. Затем примерно 5 тыс. лет назад в Юго-Восточной Азии началось выделение в атмосферу другого парникового газа — метана за счет заболачивания полей для выращивания риса. В результате к 1800 г., еще в доиндустриальную эпоху, уничтожение лесов и развитие сельскохозяйственного производства привело к повышению средней температуры на $0,8^\circ \text{C}$, что примерно в два раза больше увеличения температуры с 1850 г., которое считается вызванным человеческой деятельностью. Это различие еще больше для высоких широт — примерно $2,0^\circ \text{C}$, что достаточно для того, чтобы остановить образование ледников в районе Северной Канады и смягчить климат в районе Лондона и Нью-Йорка.

ВЛИЯНИЕ ИЗМЕНЕНИЙ КЛИМАТА НА ЭКОНОМИКУ И ЗДОРОВЬЕ

Климатические изменения уже приводят к потерям в экономике и социальной сфере, влияют на существование и распространение биологических видов в различных областях земного шара. В последние годы было проведено 44 региональных исследования, продолжительность которых колебалась от 20 до 50 лет, над более чем 400 видами растений и животных, главным образом из Северной Америки, Европы и южной части полярного региона [9, С. 2—23].

Имеющиеся данные наблюдений свидетельствуют о том, что региональные изменения климата, особенно повышение температуры, уже повлияли на условия существования экосистем во многих частях мира.

На острове Гельголанд в юго-восточной части Северного моря в течение почти 100 лет ведется изучение весенней миграции птиц, возвращающихся в Скандинавию после зимовки в Европе или Африке. Было установлено, что весенний перелет 23 видов птиц происходит сейчас раньше почти на 2—12 дней, чем 40 лет назад, вследствие более раннего наступления весны в Европе [27].

Озеро Танганьика в Восточной Африке — одно из крупнейших в мире (второе по глубине, площади и биологическому разнообразию после озера Байкал). Основной объект промыслового рыболовства здесь — сардины. За последние 30 лет объем их вылова сократился на 30—50%. Недавно было показано, что причиной этого стало потепление вод озера, сказавшееся на распределении питательных веществ по глубине [34].

Уже сейчас большое опасение вызывает возможность вымирания некоторых организмов за счет изменения границ так называемого «климатического конверта», т. е. совокупности предельных значений климатических параметров (температура, осадки и т. д.), в пределах которых поддерживается существование вида [33].

Оценки влияния изменений климата на сельское хозяйство отличаются для различных регионов [14]. Урожайность культур весьма по-разному реагирует на изменение климата в зависимости от видов, сортов, характеристик почвы и других факторов местного характера [9, С. 2—36]. Можно считать, что потепление на 2—3° С приведет к общему повышению урожайности культур в умеренном поясе при некоторых региональных колебаниях. При высоких значениях температуры следует ожидать понижения урожайности. В тропиках, где некоторые культуры находятся на пороге своей устойчивости к максимальной температуре, урожайность в целом снизится даже при небольших изменениях температуры. На урожайности отрицательно скажутся и экстремально высокие температуры. Одной из главных проблем может стать деградация почвы в результате неблагоприятных воздействий температуры и осадков.

В Африке из-за возрастающего дефицита воды все сложнее решать продовольственную проблему. Для стран Азии производство сельскохозяйственных культур может быть сокращено за счет изменений в температурно-влажностном режиме, подъема уровня моря, усиления наводнений и сильных ветров, вызванных тропическими циклонами. В Китае может снизиться урожайность основных сельскохозяйственных культур. Острая нехватка воды в сочетании с повышением температуры может в Индии отрицательно повлиять на урожайность пшеницы и в еще большей степени риса.

Исследования, проведенные в Аргентине, Бразилии, Чили, Мексике и Уругвае, показали, что изменение температуры может привести к снижению урожайности ряда культур, например, кукурузы, пшеницы, винограда, в результате сокращения времени их вызревания.

В России за последние 10—15 лет возросла повторяемость засух на Европейской территории страны, существенно изменились климатические условия зимнего периода. С одной стороны, прогнозируется повышение продуктивности, увеличение площадей, потенциально пригодных для сельскохозяйственного производства. С другой стороны, положительный эффект, который может быть при этом достигнут, сомнителен, поскольку Россия уже сейчас достаточно обеспечена посевными площадями. Более того, за последние 20 лет происходило постоянное их сокращение. Рост производства, по-видимому, следует ожидать на пути более эффективного использования материально-трудовых ресурсов на единицу возделываемой площади.

Существуют и пессимистические прогнозы, которые также нельзя игнорировать. Согласно этим прогнозам, значительное увеличение температуры как зимой (до 6—8° С), так и летом (до 4—5° С) приведет к снижению влагообеспеченности, климатические зоны устойчивого земледелия сместятся на север на 800—900 км, произойдет аридизация (опустынивание) лесостепной и степной зон. Возможно также истощение почвы за счет изменений в структуре почвенной биоты. Общее снижение продуктивности на 10—20%, а в отдельных районах и до 30—40% приведет к значительному снижению урожайности. Время адаптации к новым условиям может быть значительным, принимая во внимание складывающиеся на селе неблагоприятные социальные и экологические условия. Необходимо уделить особое внимание комплексной оценке влияния предстоящих климатических изменений на территории России на сельское хозяйство,

и имеющиеся благоприятные прогнозы не должны приводить к сокращению таких исследований.

Последствия потепления климата для здоровья населения можно условно разделить на прямые и косвенные. Прямыми последствиями можно считать гибель людей в результате наводнений, штормов, тайфунов, ураганов, число которых может возрасти с потеплением климата. Кроме того, жаркая погода, так называемые «волны тепла», приводят к повышению уровня заболеваемости и смертности от ишемической болезни сердца, заболеваний органов дыхания, нервной системы, почек и др. (см. статью Б. А. Ревича в данном ежегоднике).

Косвенные последствия для здоровья связаны с увеличением осадков и заболоченных земель, что приводит к возникновению опасности «комариных» инфекций, и в первую очередь малярии. В настоящее время в районе распространения малярии живут около 40% населения Земли. В России за последние 10 лет число случаев заболевания малярией выросло в 6 раз.

Увеличение периода высоких температур приводит также к активизации клещей и росту числа заболеваний, вызванных инфекциями, которые они переносят. Кроме того, возможен рост числа кишечных заболеваний, особенно в районах Севера, где таяние вечной мерзлоты может привести к повреждению водопроводно-канализационных сооружений и других инженерных коммуникаций [19].

Надо сказать, что проблемам влияния изменения климата на здоровье людей уделяется недостаточно внимания. В материалах, опубликованных на сайте ВНИИГМИ-МЦД <http://www.meteo.ru>, содержится анализ работ, выполненных в России за последние 40 лет по этой проблеме. Российские и советские ученые внесли большой вклад в исследование влияния сложившихся на территории отдельных регионов климатических условий на здоровье населения. Однако лишь менее 2% работ посвящены изучению влияния изменений этих условий на развитие тех или иных заболеваний.

Современные исследования показали, что высокие значения температуры влияют на смертность гораздо сильнее, чем считалось ранее [13]. В годы с аномально высокими температурами смертность возрастает почти в полтора раза.

Установлено, что жаркие дни в начале летнего сезона воздействуют более пагубно, чем в августе. Летом продолжительность периода с высокими температурами влияет на население в целом больше, чем значения максимальных температур, хотя для пожилых людей интенсивность температурного воздействия имеет большое значение. Пороговые температурные значения, при которых смертность начинает значительно увеличиваться, различны для регионов, отличающихся по своим климатическим условиям.

Длительная жара и засухи могут быть причиной лесных пожаров. В 2002 г. лесные пожары в Подмоскowie привели к загрязнению воздуха в Москве взвешенными частицами и другими атмосферными загрязнителями, что спровоцировало увеличение смертности от сердечно-сосудистых заболеваний и болезней органов дыхания. Содержание мелкодисперсных частиц в воздухе превышало норму в десятки раз.

КЛИМАТ БУДУЩЕГО

Существует много внутренних и внешних факторов, способных влиять на состояние климатической системы. Время от времени в прессе появляются сообщения о возможности искусственного регулирования климата с помощью различных целенаправленных воздействий. Вряд ли эти сообщения можно воспринимать всерьез. Сложность климатической системы столь высока, что последствия любого вмешательства могут быть непредсказуемы. Опыт показывает, что простые оценки изменения климата не работают. Все климатические модели основываются на предположении о будущих изменениях в концентрации парниковых газов и аэрозолей, которые рассматриваются как главная причина происходящих климатических изменений.

В 1996 г. Международная группа экспертов по изменению климата (МГЭИК) начала разработку нового набора так называемых «сценариев выбросов» [9]. Были рассмотрены возможные варианты изменения концентраций парниковых газов в зависимости от путей развития науки, производства и общества, что позволило выделить четыре различных направления развития биосферы.

A1. Будущий мир характеризуется очень быстрым экономическим ростом и продолжающимся ростом народонаселения, показатели которых достигают пиковых значений в середине века, а затем уменьшаются; быстрым внедрением новых и более эффективных технологий. Происходит постепенное сближение разных регионов, активизация культурных и социальных взаимосвязей при уменьшении региональных различий в доходе на душу населения. При этом возможны различия в преобладающем использовании источников энергии: A1F1 — ископаемые виды топлива; A1T — неископаемые виды топлива; A1B — равновесие между всеми видами.

A2. Очень неоднородный мир, характеризующийся самообеспечением при сохранении местной самобытности. Показатели рождаемости в разных регионах медленно сближаются, результатом чего является постоянный рост общей численности населения. Экономическое развитие имеет главным образом региональную направленность.

B1. Мир с ростом населения как и в варианте A1, однако при быстрых изменениях в экономических структурах в направлении сервисной и информационной экономики, и внедрением чистых ресурсосберегающих технологий. Главное внимание уделяется глобальным решениям экономической, социальной и экологической устойчивости, включая социальную справедливость, но без дополнительных инициатив, связанных с климатом.

B2. Мир, в котором главное внимание уделяется локальным решениям проблемы экономической, социальной и экологической устойчивости. Это мир с постоянно увеличивающимся населением. Хотя в этом случае также имеется ориентация на охрану окружающей среды и социальную справедливость, главное внимание уделяется местным и региональным уровням.

Оценки выбросов CO_2 , полученные по разным моделям, приведены на *рис. 1—8*.

Видно, что выбросы CO_2 существенно различны для сценариев A1B, A1T и B1 (самые малые увеличения) и A1F1 и A2 (самые большие увеличения). Подобная ситуация складывается и для выбросов других парниковых газов.

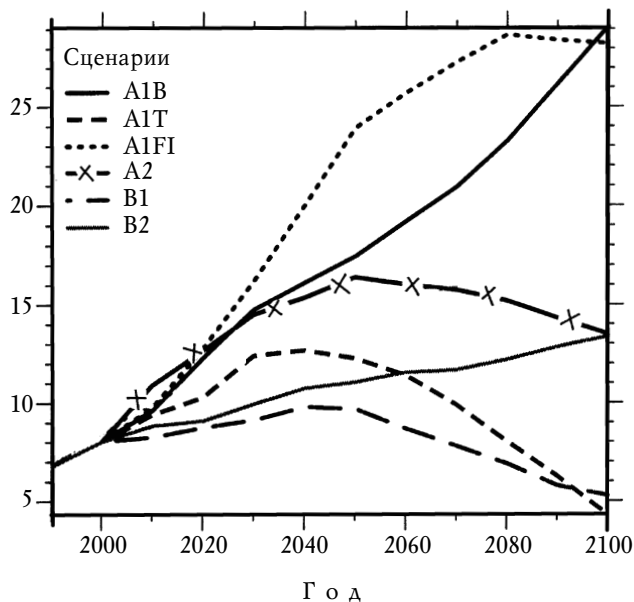


Рис. 1—8. Антропогенные выбросы парниковых газов для шести сценариев

Полученные результаты позволяют получить модельные оценки изменения основных климатических параметров.

Температура. Прогнозируется увеличение средней глобальной температуры на $1,4\text{--}5,8^\circ\text{C}$ за период с 1990 по 2100 г. Такой показатель потепления гораздо выше изменений, наблюдаемых в течение XX в., и останется, вероятно, судя по палеоклиматическим данным, самым высоким за последние 10 тыс. лет.

Осадки. Прогноз дает повышение глобально усредненного показателя водяного пара, испарения и осадков. На региональном уровне возможно как увеличение, так и уменьшение осадков. Вероятность увеличения осадков как зимой, так и летом существует в районе высоких широт. Ожидается увеличение осадков в зимний период в районе северных умеренных широт. Что касается изменчивости осадков, то, вероятно, увеличение осадков в среднем приведет к росту изменчивости, т. е. разброс значений осадков станет более заметным.

Экстремальные значения. Почти во всех материковых районах будет наблюдаться большее число жарких дней и волн тепла. Наиболее ощутимым это будет в тех районах, где происходит уменьшение влажности почвы. Повышение минимальных за сутки температур прогнозируется почти повсеместно, и, как правило, оно будет более заметно в тех местах, где происходит уменьшение ледяного и снежного покрова. Морозные дни и волны холода станут более редкими. Прогнозируется почти повсеместное увеличение числа случаев выпадения интенсивных осадков и общее осушение в среднеконтинентальных районах в летний

период. По некоторым другим видам экстремальных явлений, таким как град, молнии, торнадо, в настоящее время не хватает данных, чтобы сделать вывод об их предстоящих изменениях.

Практически все модели в той или иной мере предсказывают возможность климатических изменений, их влияния на естественные и антропогенные системы. Возникает вопрос: есть ли возможность облегчить негативные последствия этих изменений и усилить положительный эффект, если он в принципе возможен? Иными словами, каков адаптационный потенциал системы, т. е. способность приспособиться к изменению климата?

В настоящее время можно утверждать, что прогнозируемые темпы и масштабы потепления могут быть уменьшены за счет сокращения выбросов парниковых газов. Чем значительнее будет сокращение выбросов и чем раньше оно произойдет, тем меньшим и более медленным будет прогнозируемое потепление [9, С. 114].

В 1992 г. была принята Рамочная конвенция по изменению климата (РКИК), известная как Соглашение ООН по климату и ратифицированная более чем 180 государствами. В статье № 2 говорится:

«Конечной целью настоящей Конвенции и всех связанных с ней юридических инструментов, которые могут быть приняты Сторонами Конвенции в соответствии с соответствующими положениями Конвенции, является **стабилизация концентрации парниковых газов** в атмосфере на уровнях, которые предотвратили бы опасное антропогенное воздействие на климатическую систему. Такие уровни должны быть достигнуты в сроки, достаточные для естественной адаптации экосистем к изменению климата, для обеспечения стабильного производства продовольствия и устойчивого экономического развития».

Поставленная в РКИК цель — стабилизация концентрации парниковых газов — требует принятия немедленных мер для ее достижения. Парниковые газы выбрасываются в атмосферу при сжигании ископаемого топлива. Из атмосферы они выводятся в результате естественных процессов. Например, диоксид углерода поглощается океанами, однако в настоящее время количество выбрасываемых в атмосферу парниковых газов намного превосходит количество, выводимое из атмосферы. В результате, даже если выбросы парниковых газов удастся стабилизировать на современном уровне, их концентрация в атмосфере будет продолжать расти. Поэтому цель, поставленная РКИК, может быть достигнута, только если выбросы парниковых газов сравняются со стоками. Поскольку время пребывания парниковых газов в атмосфере очень велико, то для достижения этой цели потребуется значительное сокращение выбросов. Более того, учитывая длительность периода выведения парниковых газов из атмосферы, отсрочка сокращения выбросов сейчас потребует более резкого снижения их в будущем для достижения тех же концентраций.

Оценки показывают, что необходимо «вернуть» выбросы промышленно развитых стран к уровню 1990 г. По настоянию США обязательства по снижению выбросов не имели юридически обязательного характера, а были приняты в качестве общей цели. Конвенция также требовала от стран-участниц провести национальные инвентаризации выбросов и отчитываться об этих выбросах и о мерах по их снижению.

В 1997 г. был принят дополнительный Киотский протокол к РКИК, согласно которому промышленно развитые страны должны ограничить выбросы парниковых

газов к 2008—2012 гг. до определенного уровня, при этом цели снижения выбросов имеют юридически обязательный характер. В среднем выбросы всех промышленно развитых стран в этот период должны быть снижены на 5% по сравнению с выбросами 1990 г. В рамках Киотского протокола содержится рыночный стимул к достижению целей снижения выбросов, а именно: возможность торговли достигнутыми сокращениями выбросов и их накопления для использования в следующие периоды для тех стран или компаний, которые выполнили или даже перевыполнили свои обязательства.

Участие каждой из стран в выполнении Киотского протокола связано с необходимостью решения множества внутренних проблем — как экономических, так и политических. В то же время очевидно, что проблема снижения выбросов парниковых газов может быть решена только в рамках международного сотрудничества, и работа в этом направлении продолжается.

Следует отметить, что существуют и другие соображения относительно возможного развития климатической системы. Рост средней глобальной температуры воздуха в последние 100 лет не был монотонным. Похолодание 1940—1960 гг., происходившее уже в условиях увеличения концентрации углекислого газа в атмосфере, не находит однозначного объяснения. Причины естественных изменений состояния климатической системы еще недостаточно известны, чтобы отвергнуть возможность понижения температуры в будущем. Помимо очевидных соображений, основанных на известных данных о периодическом возникновении ледниковых периодов, в ряде работ рассматриваются возможности похолодания уже в ближайшем будущем. В частности, рассматривается возможность похолодания за счет загрязнения атмосферы аэрозолями и, соответственно, увеличения отражения солнечной радиации [10].

Нельзя считать до конца установленным и тот факт, что наблюдаемое глобальное потепление является результатом антропогенного воздействия. Это совокупность результатов действия многих факторов, как внутренних, так и внешних, и вклад антропогенного влияния может быть учтен лишь с некоторой долей неопределенности.

Кроме того, возможны разные оценки влияния роста концентрации углекислого газа и глобального потепления на развитие общества. По мнению академика М. И. Будыко, лауреата Ленинской премии и международной премии «Голубая планета», являющейся в области экологии аналогом Нобелевских премий, «...относительно небольшое сокращение поступления в атмосферу газов, усиливающих парниковый эффект, окажет незначительное влияние на предстоящее повышение температуры. Для существенного замедления глобального потепления нужно неотложно уменьшить выбросы парниковых газов на несколько десятков процентов, что приведет к тяжелейшему ущербу для современной мировой энергетики и потребует расходов, недоступных для многих современных государств. Легко понять крайнюю неосторожность такой стратегии, сторонники которой во избежание еще недоказанной возможной климатической катастрофы в будущем считают лучшим вариантом фактически создать экономическую катастрофу в ближайшее время» [4].

И далее:

«Практически невозможно оправдать заметный ущерб для сельского хозяйства, возникающий при предотвращении благотворного воздействия роста концент-

рации углекислого газа в атмосфере на увеличение урожаев. С другой стороны, несомненно, возможны негативные последствия потепления климата локального или даже регионального масштаба (отдельные засухи, наводнения, ущерб для береговых и островных зон, находящихся на малом возвышении над уровнем Мирового океана). Таким образом, проблема изменения климата сохраняется во всей ее комплексной сложности» [4].

Авторы выражают свою искреннюю признательность сотрудникам отдела климатологии ВНИИГМИ-МЦД: в. н. с., канд. геогр. наук *Борису Георгиевичу Шерстокову*, с. н. с., канд. геогр. наук *Ольге Николаевне Булыгиной*, с. н. с., канд. геогр. наук *Наталье Николаевне Коршуновой*, оказавшим помощь при подготовке данной работы.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Балобаев В. Т., Гаврилова М. К., Скачков Ю. Б. и др.* Обзор состояния и тенденций изменения климата Якутии. Препринт. Якутск: ЯФ Изд-ва СО РАН, 2003. С. 22.
2. *Барнетт*. Роль океанов в глобальной климатической системе//Изменения климата: Сборник. Л.: Гидрометеиздат, 1980. С. 209.
3. *Бедрицкий А. И., Коршунов А. А., Шаймарданов М. З.* Опасные гидрометеорологические явления и их влияние на экономику России. Обнинск: Изд-во ВНИИГМИ-МЦД, 2001. 36 с.
4. *Будыко М. И.* Глобальное потепление//Изменения климата и их последствия: Сборник. СПб: Наука, 2002. С. 7—12.
5. *Будыко М. И.* Изменения климата. Л.: Гидрометеиздат, 1974.
6. *Будыко М. И., Пивоварова З. И.* Влияние вулканических извержений на приходящую к поверхности Земли солнечную радиацию//Метеорология и гидрология. 1967. № 10. С. 3—7.
7. *Булыгина О. Н., Коршунова Н. Н., Разуваев В. Н.* Погода на территории Российской Федерации в 2003 году//Bulletin of the American Meteorological Society. 2004. (В печати).
8. *Гриббин Дж., Лэмб Г. Г.* Изменение климата за исторический период//Изменения климата: Сборник. Л.: Гидрометеиздат, 1980.
9. Изменение климата 2001. Обобщенный доклад. Вклад рабочих групп I, II и III в подготовку Третьего доклада об оценке Межправительственной группы экспертов по изменению климата.
10. *Клименко А. В., Клименко В. В.* Виновато ли человечество в глобальном изменении климата?//Россия в окружающем мире: 1998 (Аналитический ежегодник). М.: Изд-во МНЭ-ПУ, 1998. С. 53—66.
11. *Логинов В. Ф.* Причины и следствия климатических изменений. Минск: Навука і тэхніка, 1992. С. 74.
12. *Лосев К. С.* Климат: вчера, сегодня и... завтра? Л.: Гидрометеиздат, 1985. С. 95.
13. *Малхазова С. М.* Медико-географические аспекты глобальных изменений окружающей среды//Глобальные и региональные изменения климата и их природные и социально-экономические последствия: Сборник. GEOS, 2002. С. 85—96.
14. *Менжулин Г. В., Савватеев С. П.* Мировая продовольственная проблема и современное глобальное потепление//Изменения климата и их последствия: Сборник. СПб: Наука, 2002. С. 122—151.
15. *Митчелл М.* Изменяющийся климат//Энергия и климат: Сборник. Л.: Гидрометеиздат, 1981. С. 83.

16. Петросяну М. А., Гущина Д. Ю. Об определении явлений Эль-Ниньо и Ла-Нинья//Метеорология и гидрология. 2002. № 8. С. 24—35.
17. Разуваев В. Н. Погода и климат в России в 20 веке//Россия в окружающем мире: 2001 (Аналитический ежегодник). М.: Изд-во МНЭПУ, 2001. С. 163—192.
18. Семенов Е. К. Грандиозные последствия далекого «Эль-Ниньо»//Россия в окружающем мире: 1999 (Аналитический ежегодник). М.: Изд-во МНЭПУ, 1999. С. 197—213.
19. Социальный форум по изменению климата Всемирной конференции по изменению климата. Москва, 29 сентября — 3 октября 2003 г. С. 19.
20. Хромов С. П., Мамонтова А. И. Метеорологический словарь. Л.: Гидрометеиздат, 1974. С. 75.
21. Хромов С. П., Петросяну М. А. Метеорология и климатология. М.: Изд-во МГУ, 1994.
22. Хргиан А. Х. Очерки развития метеорологии. Л.: Гидрометиздат, 1959.
23. Bradley R. S., Jones P. D. When was the «Little Ice Age». In Proceedings of the International Symposium on the Little Ice Age Climate. Tokyo, Japan, 25—27 September 1991. P. 1—5.
24. Bulygina O. N., Razuvaev V. N. Variations in snow characteristics over the Russian territory in recent decades. In Proceedings of the ACSYS Final Science Conference. St.-Petersburg, Russia, 11—14 November 2003. P. 30.
25. Climate Change 2001. Contribution of Working Group I to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, 2001.
26. Gulf Stream probed for early warnings of system failure//Nature. 2004. V. 427. P. 769.
27. Nature. 2003. V. 422. № 6927. P. 29.
28. Nature. 2003. V. 425. № 6954. P. 166.
29. Nature. 2003. V. 425. № 6956. P. 339.
30. Nature. 2004. V. 427. № 6975. P. 582—583.
31. Ruddiman W. F. Climate change. 2003. V. 61. P. 261—293.
32. The Global Climate System Review. June 1996 — December 2001. WMO. 2003. № 950.
33. Thomas C. D. et al. Extinction risk from climate change//Nature. 2004. V. 427. № 6970. P. 145—148.
34. Verschuren D. The heat on Lake Tanganyika//Nature. 2003. V. 424. № 6950. P. 731—732.
35. Waple A. M., Lawrimore J. H., Eds. State of climate in 2002//Bulletin of the American Meteorological Society (BAMS). V. 84. № 6. P. 501—560.
36. White J. W. C. Don't touch that dial//Nature. 1993. V. 364. P. 186.