





# Потепление климата: причины и последствия

Доктор  
физико-математических наук  
**В.П.Мелешко,**  
Главная геофизическая обсерватория  
им.А.И.Воейкова



ПРОБЛЕМЫ И МЕТОДЫ НАУКИ

## От редакции

Так все же, как обстоят дела с потеплением климата в нашей стране и во всем мире? Совсем недавно в «Химии и жизни» была опубликована статья В.С.Арутюнова (2007, № 2), автор которой приводил многочисленные аргументы в защиту естественного происхождения потепления и объяснял, почему преувеличивают его потенциальный вред и в чем может заключаться его полезность для отдельно взятых стран. Кто-то из читателей, вероятно, спросит: как же так, сегодня вы публикуете статью ученого, который дает прогнозы изменений климата и их возможных последствий, и эти прогнозы, мягко говоря, не радуют, а месяцем раньше предоставляли трибуну другому ученому, который практически отрицает опасность глобального потепления... А еще раньше (2006, № 12) опять-таки писали о грядущих катастрофах, связанных с глобальным потеплением... Вы уж определитесь: сажать ли нам персиковые деревья в Сибири или переселяться поскорее из Питера и Владивостока на континент?!

Именно для того, чтобы «определиться», мы вновь и вновь обращаемся к этой теме. Самые внимательные читатели, несомненно, заметят, что у представителей «противоположных» позиций больше точек соприкосновения, чем кажется на первый взгляд. (Хотя нельзя не отметить, что аргументы против «естественного потепления», приведенные ниже, весьма убедительны.) Кроме того, цитируя автора настоящей статьи, «точность расчетов по ансамблю независимых моделей оказывается намного выше, чем аналогичные расчеты по одной, даже самой лучшей модели». А проще говоря — в споре рождается истина.

## Введение

Глобальное потепление сегодня тревожит не только ученых, но также общественные и правительственные организации во всем мире. В 1988 году Всемирная метеорологическая организация и Программа ООН по окружающей среде создали Межправительственную группу экспертов по изменению климата (МГЭИК, или IPCC, от Intergovernmental Panel on Climate Change), которая каждые 5–6 лет публикует доклады о будущих изменениях климата и возможном влиянии этих изменений на различные виды хозяйственной деятельности. Сегодня МГЭИК — наиболее авторитетная организация в этой области.

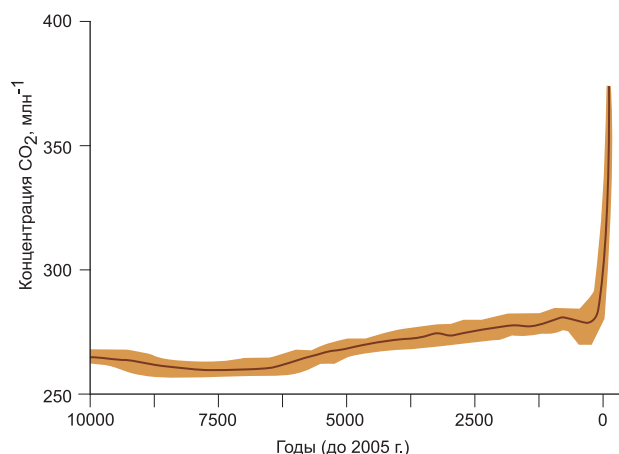
С 29 января по 1 февраля этого года в Париже проходило совместное заседание экспертной группы ведущих

авторов четвертого Доклада МГЭИК и представителей правительств более ста стран. Ученые сообщили о своем видении причин глобального потепления и роли антропогенного воздействия на климат при различных сценариях экономического, технологического и социального развития мирового сообщества в XXI веке. В подготовке доклада использовались результаты исследований за последние пять лет.

## Потепление и антропогенный фактор

В докладе отмечается, что изменения концентрации парниковых газов и аэрозоля в атмосфере и интенсивное освоение новых земель в некоторых регионах земного шара воздействуют на поглощение, рассеяние и излучение тепловой радиации в климатической системе. Это, в свою очередь, вызывает изменения (положительные или отрицательные) глобального радиационного баланса.

Углекислый газ  $\text{CO}_2$  — наиболее важный парниковый газ. Его концентрация в 2005 году увеличилась на 35% (с



**1**  
*Временной ход атмосферной концентрации диоксида углерода (млн.<sup>-1</sup>) за последние 10 000 лет, восстановленный по измерениям содержания  $\text{CO}_2$  в ледовых колонках Гренландии и Антарктики и полученный по инструментальным наблюдениям за последние 100 лет (по данным МГЭИК, 2007)*

280 млн.<sup>-1</sup> до 379 млн.<sup>-1</sup>) по сравнению с доиндустриальным периодом — до 1750 года. (Напомним, что концентрация парникового газа измеряется количеством молекул данного газа, содержащегося в миллионе (млн.<sup>-1</sup>) или миллиарде (млрд.<sup>-1</sup>) молекул атмосферного воздуха.)

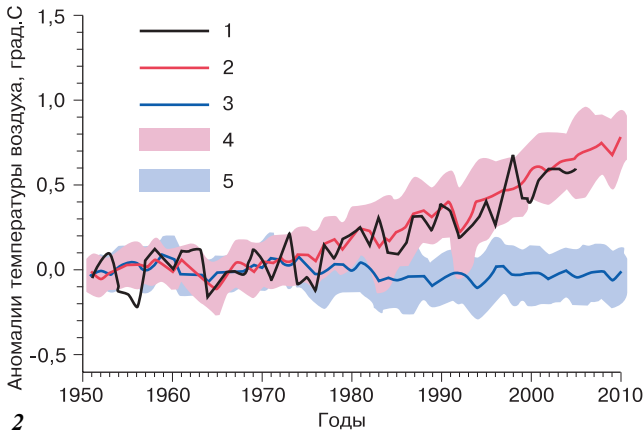
Метан  $\text{CH}_4$  — второй по значимости парниковый газ. Его концентрация по сравнению с доиндустриальным перио-

дом увеличилась в 1,5 раза (с 715 млрд.<sup>-1</sup> до 1774 млрд.<sup>-1</sup>).

Концентрация закиси азота ( $N_2O$ ) за то же время увеличилась на 18% (с 270 млрд.<sup>-1</sup> до 319 млрд.<sup>-1</sup>).

Концентрации других парниковых газов в атмосфере также возросли, и что особенно примечательно, резко увеличилась скорость их роста за последние 250 лет. Так, концентрация  $CO_2$  возросла на 20 млн.<sup>-1</sup> за 8 тыс. лет, которые предшествовали началу индустриализации, и эти изменения были обусловлены естественными причинами. Однако с 1750 года она выросла почти на 100 млн.<sup>-1</sup>, причем ежегодный прирост был особенно быстрым (1,9 млн.<sup>-1</sup>) в последние 10 лет (рис. 1).

Примерно 65% антропогенной эмиссии  $CO_2$  в атмосферу связано со сжиганием ископаемого топлива — нефти, газа, угля и др., и 35% — с уменьшением его стока, вызванного освоением новых земель и массовой вырубкой лесов. При этом примерно 45% от общей эмиссии  $CO_2$



2

**Временной ход средней за год аномалии глобальной приземной температуры воздуха, рассчитанный в МОЦАО и полученный по наблюдениям, по отношению к норме в период с 1951 по 1970 год.**

**Черная линия (1) — данные наблюдений.**

**Красная линия (2) — аномалия температуры, полученная по ансамблю из 16 МОЦАО с учетом известного роста парниковых газов и аэрозолей.**

**Синяя линия (3) — тот же расчет, но при значениях парниковых газов и аэрозолей, соответствующих доиндустриальному периоду.**

**В широкие полосы (4, 5) при нормальном распределении разброса попадают 68% модельных значений**

остается в атмосфере, 30% поглощается океаном, а остальная часть усваивается биосферой.

Суммарное радиационное воздействие всех парниковых газов на климатическую систему составляет  $+2,63 \text{ Вт/м}^2$ . Принято считать, что эта величина оценена с высокой степенью достоверности. Прямое воздействие всех типов аэрозолей на климат, напротив, способствует похолоданию ( $-0,5 \text{ Вт/м}^2$ ), однако величина этого воздействия определена не так точно. Опосредованное влияние аэрозолей на климат может быть еще большим ( $-0,7 \text{ Вт/м}^2$ ) за счет изменения альбедо водяных облаков, но и это влияние пока не удалось рассчитать с достаточной достоверностью. В докладе МГЭИК отмечается, что суммарное антропогенное радиационное воздействие на глобальный климат ( $+1,6 \text{ Вт/м}^2$ ) теперь определено точнее, чем ранее.

Газовый состав атмосферы будет меняться и далее за счет роста концентрации парниковых газов, по крайней мере, в течение первой половины XXI века. Основываясь на данных наблюдений и многочисленных расчетах с помощью сложных физико-математических моделей климата, авторы доклада МГЭИК отмечают:

«Существует очень большая вероятность (более 90%), что только рост антропогенных парниковых газов вызвал глобальное потепление начиная со второй половины XX века.

Наблюдаемое глобальное потепление атмосферы и океана, а также одновременное уменьшение массы ледников в различных регионах земного шара приводят к выводу, что очень маловероятно (менее 5%), чтобы глобальное изменение климата второй половины XX века было вызвано только естественной изменчивостью климатической системы».

Средняя глобальная температура продолжает увеличиваться, и за последние сто лет (1906—2005 гг.) она выросла на  $0,74 \pm 0,18^\circ\text{C}$ . Средняя скорость потепления, рассчитанная для последних 50 лет ( $0,13 \pm 0,03^\circ\text{C}$  за 10 лет), в два с половиной раза больше, чем та же величина, рассчитанная для последних ста лет, и это хорошо согласуется с расчетами по климатическим моделям, которые учитывают известный рост парниковых газов в атмосфере (рис. 2). Однако если подставить в те же модели постоянные концентрации парниковых газов и аэрозолей, соответствующие доиндустриальному периоду, то в этих моделях глобальная температура в конце XX века расти не будет.

На территории России потепление за последние 35 лет оказалось более резким по сравнению с глобальным (1971—2005 гг.): с 1951—1970 гг. температура выросла на  $1,52^\circ\text{C}$ . Потепление маскируется большой естественной изменчивостью температуры: в отдельные годы в некоторых регионах возможны и похолодания. Однако при осреднении за большие интервалы времени (20 лет и более) потепление проявляется особенно отчетливо. За те же последние 35 лет наблюдались уменьшение осадков в теплое время года на территории России и рост годового стока на многих крупных реках, а также его внутрисезонное перераспределение (подробнее об этом будет рассказано ниже). Изменились условия ледовитости в окраинных морях Северного Ледовитого океана и в устьях северных рек. Зимой во многих регионах стало больше дней с оттепелью.

Согласно 4-му Докладу МГЭИК, средняя температура воздуха в арктическом бассейне увеличивалась в два раза быстрее, чем глобальная температура за последние несколько десятков лет, однако в этом регионе она имеет большую межгодовую и многолетнюю изменчивость. Концентрация морского льда и его протяженность (то есть площадь, занимаемая льдом, по отношению ко всей рассматриваемой площади и в абсолютных единицах — квадратных километрах) непрерывно определяются с 1978 года с помощью спутниковых микроволновых измерений. С 1978 по 2003 год средняя за год протяженность льда в Северном полушарии уменьшилась на 7%. Летом наблюдалось более заметное сокращение протяженности (на 14% в сентябре по сравнению с 5% в марте): причина в том, что за 10 лет подтаял на 7—9% многолетний, более толстый лед. С другой стороны, толщина морского льда заметно изменяется в пространстве и во времени, и это затрудняет изучение ее динамики. Среднемесячные наблюдения за многолетними паковыми льдами в Центральном полярном бассейне с 1971 по 1990 год показывают уменьшение их толщины на 10 см (менее 4%). Эта величина согласуется с некоторыми другими наблюдениями и модельными расчетами.

## Мифы о «естественном» потеплении

В российской научной литературе и средствах массовой информации нередко обсуждаются альтернативные гипотезы потепления. Согласно одной из них, значительное влияние на современный климат Земли могут ока-

зывать изменения солнечной активности и соответственно изменения потока солнечной радиации, приходящей на верхнюю границу атмосферы. Однако непрерывные наблюдения за Солнцем в течение 28 лет (их результаты представлены в том же докладе МГЭИК) позволили установить, что колебания потока солнечной радиации между максимумом и минимумом в 11-летнем цикле составляют 0,08% и при этом нет заметного долговременного тренда, который мог бы вызвать рост температуры на планете. Прямое радиационное воздействие изменений солнечного потока на глобальную атмосферу с 1750 года по настоящее время составляет 0,12 Вт/м<sup>2</sup>. Это в десять с лишним раз меньше воздействия всех парниковых газов и аэрозоля, вместе взятых.

Основные положения доклада МГЭИК, по существу, отвергают и другие гипотезы: например, что нынешнее потепление может быть частью естественного долгопериодного цикла. В XX веке наблюдались два теплых периода: первый — с середины 20-х до 40-х годов, а второй начался с 80-х годов и продолжается до настоящего времени. На этом основании сторонники гипотезы утверждают, что самое значительное потепление в конце XX столетия приходится на восходящую ветвь 60-летнего колебания климатической системы, вызванного естественными процессами внутри системы или квазипериодическими внешними воздействиями, такими, как чандлеровские биения полюсов, циклы обращения наиболее крупных планет Солнечной системы вокруг общего центра и так далее.

Если эта гипотеза верна, то потепление закончится в ближайшие годы и начнется глобальное похолодание. Однако в докладах МГЭИК отмечается, что рост глобальной приземной температуры воздуха, скорее всего, будет продолжаться еще десятки и сотни лет. Более того, исследования показывают, что после попадания CO<sub>2</sub> в атмосферу этот парниковый газ (как и некоторые другие) может оставаться в ней очень долго. Так, потребуется примерно 30 лет, чтобы только 30% CO<sub>2</sub> было выведено из атмосферы в результате естественных процессов; еще 30% может быть удалено за несколько столетий, и, наконец, 20% останутся в ней на многие тысячи лет.

## Что такое МОЦАО

Климат — чрезвычайно сложная физическая система, поведение которой определяется взаимодействием между атмосферой, поверхностью океанов, морским льдом, поверхностью континентов и ледниками, а также биосферой. Благодаря этим взаимодействиям в климатической системе возбуждаются сложные естественные колебания с временными масштабами от нескольких недель до десятков и сотен лет. Система может также подвергаться внешним природным воздействиям, связанным с изменениями потока солнечной радиации, выбросами газов и аэрозолей в атмосферу во время извержений вулканов. Наконец, значительное влияние на климат оказывает деятельность человека.

Чтобы понять и рассчитать будущее поведение такой сложной системы, необходимо использовать глобальные модели общей циркуляции атмосферы и океана (МОЦАО). Расчеты по таким моделям требуют огромных вычислительных ресурсов, однако альтернативы им в принципе не существует. Современные МОЦАО воспроизводят основные особенности поведения климата, но в то же время они требуют дальнейшего совершенствования, поскольку они еще недостаточно качественно рассчитывают климат отдельных регионов и его изменения. Кро-



ме того, модели должны точнее воспроизводить не только средние изменения, но и изменения повторяемости экстремальных режимов погоды, которые сильнее всего влияют на нашу жизнь и хозяйственную деятельность.

Насколько достоверными можно считать прогностические оценки будущих изменений климата, полученные с помощью МОЦАО? При подобных расчетах уравнения, описывающие основные климатообразующие процессы, интегрируются на несколько десятков или даже сотни лет. Из-за этого накапливаются систематические ошибки, которые влияют на точность прогноза. Наиболее важные из них могут быть вызваны следующими причинами.

Во-первых, невозможно оценить с высокой степенью достоверности тенденции будущего технологического развития мирового сообщества и изменения окружающей среды на достаточно долгое время, и, как следствие, невозможно точно оценить будущий рост концентрации основных парниковых газов и аэрозолей в атмосфере.

Во-вторых, современные МОЦАО недостаточно совершенны из-за относительно низкого пространственного разрешения и неточного описания климатически значимых физических процессов, которые определяют чувствительность глобального и регионального климата к антропогенному воздействию.

Возможные изменения климата в будущем были рассчитаны с помощью МОЦАО нового поколения (то есть тех моделей, которые принимали участие в совместной программе расчетов, проведенных в рамках подготовки 4-го Доклада МГЭИК) для сценариев интенсивного и слабого роста парниковых газов и аэрозолей в атмосфере. Оказалось, что, согласно расчетам, потепление на территории России в первые 40–50 лет слабо зависит от выбранного сценария, поскольку в начале XXI века они незначительно отличаются между собой. Скорость потепления в эти годы будет определяться ранее накопленными в атмосфере парниковыми газами. В климатической системе уже сформировался неравновесный радиационный режим, и адаптация климата к любому новому состоянию потребует нескольких десятков лет. Это означает, что замедлить потепление климата, вызванное антропогенным влиянием, едва ли удастся до середины XXI века, особенно если учесть, как неторопливо международное сообщество принимает значимые решения в этой области. Таким образом, уменьшение или увеличение скорости роста парниковых газов в ближайшие полвека не отразится значимо на скорости потепления.

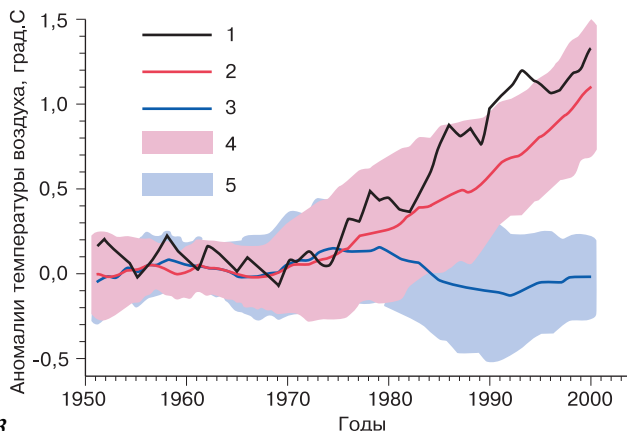
Сегодня в научных центрах промышленно развитых стран применяют более двадцати МОЦАО, однако не все они одинаково хороши: расчеты будущих изменений климата при одних и тех же сценариях роста парниковых газов в атмосфере показывают некоторый разброс результатов, возрастающий с увеличением срока прогноза. Однако точность расчетов современного климата по ансамблю независимых моделей оказывается намного



выше, чем аналогичные расчеты по одной, даже самой лучшей, модели.

## Прогноз на ближайшие полвека

Россия — большая страна, и климат ее чрезвычайно разнообразен. В целом он считается достаточно суровым: во многих регионах температуры воздуха ниже нуля на-

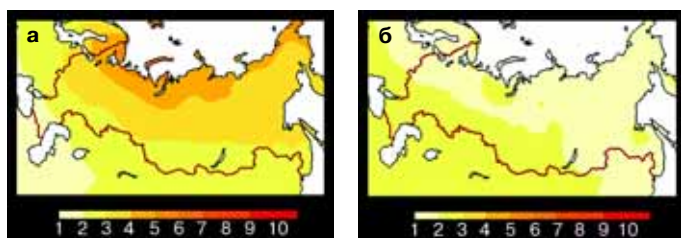


3  
*Временной ход средней за год аномалии приземной температуры воздуха на территории России, рассчитанный в МОЦАО и полученный по наблюдениям, по отношению к норме в период с 1951 по 1970 год. Обозначения те же, что и на рис. 2*

блюдаются более полугода. Зимой на большей части России осадки выпадают в виде снега, который накапливается до весны. Весной же снег начинает быстро таять, вызывая паводки. С наступлением лета почвы иссушаются, на обширных пространствах европейской территории России и Сибири формируются засушливые условия.

Дальнейшее содержание этой статьи основано на оценках будущих изменений климата России, выполненных коллективом Главной геофизической обсерватории им. А.И.Воейкова, в которых широко использовались расчеты с помощью МОЦАО нового поколения. (Исследования изменений климата, основанные на применении сложных физико-математических моделей, ведутся также в Институте вычислительной математики и Институте физики атмосферы РАН.)

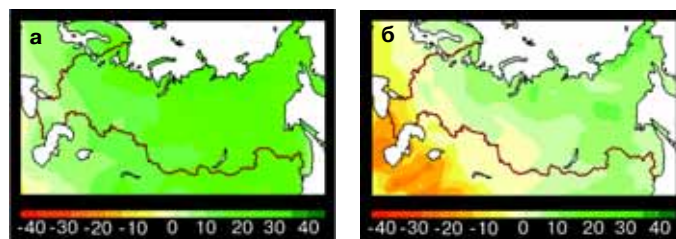
**Температура воздуха.** В XXI веке на территории России, прежде всего в арктических и субарктических регионах, потепление будет заметно больше по сравнению с глобальным (рис. 3). Среднее за год потепление в середине века может составить  $2,6 \pm 0,7^\circ\text{C}$  по сравнению с



4  
*Изменения температуры воздуха ( $^\circ\text{C}$ ) у Земли зимой (а) и летом (б) на территории России в середине XXI века (2041—2060 гг.). Здесь и далее расчеты выполнены по ансамблю из 16 моделей, участвовавших в оценке изменений климата при подготовке 4-го Доклада МГЭИК; изменения подсчитывались по отношению к базовому периоду 1951—1970 гг.*

концом XX века (1980—1999 гг.). Ожидаемое увеличение температуры существенно зависит от времени года и региона (рис. 4). Все без исключения модели показывают наиболее значительное потепление зимой ( $3,4 \pm 0,8^\circ\text{C}$ ), особенно в Сибири и широтной зоне вдоль Полярного круга. Летом, наоборот, в этой широтной зоне потепление будет наименьшим ( $1,9 \pm 0,7^\circ\text{C}$ ). Изменение температуры воздуха у поверхности Земли во всех регионах России зимой и летом ожидается значительно большим, чем разброс изменений между отдельными моделями. Это говорит о том, что расчеты по моделям достоверны.

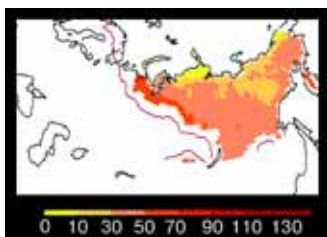
**Осадки.** Среднегодовое количество осадков возрастет к середине века на  $8,2 \pm 2,5\%$  по сравнению с периодом 1980—1999 гг. Самый значительный рост осадков приходится на зиму, с максимумом в восточных и северных регионах (рис. 5). В 2050 году на большей части России ожидаемое увеличение количества осадков в три раза превышает модельную изменчивость ( $14,5 \pm 4,5\%$ ). Летние дожди тоже станут обильнее, но не настолько ( $4,1 \pm 3,1\%$ ), и для них на большей части европейской территории России разброс между моделями особенно велик. Это означает, что достоверность расчета осадков в отдельных регионах России пока еще недостаточно высока. На юго-западе России осадков даже станет меньше. Изменения фазового состояния осадков (дождь пойдет или снег?) также важны. В европейской части России рост суммарных осадков происходит преимущественно за счет дождей, в то время как в Западной и Восточной Сибири — за счет снега. Таким образом, в Сибири следует ждать дополнительного накопления снега зимой и более обильного таяния весной.



5  
*Изменения количества осадков (%) зимой (а) и летом (б)*

**Влажность почвы.** При потеплении климата не только растет количество осадков, но и усиливается испарение с поверхности почвы, а это существенно уменьшает влагосодержание деятельного слоя почвы (глубиной 1 м) и речной сток именно в тех регионах, где особенно развито сельское хозяйство: на Северном Кавказе, в Поволжье и др. Модельные расчеты показывают, что там, где снежный покров сходит рано, влагосодержание почвы начнет уменьшаться уже весной, а с наступлением лета это уменьшение станет заметным на всей территории России. Вырастет вероятность засухи, особенно в южных регионах.

**Речной сток.** Рост среднегодовых осадков при потеплении заметно увеличит сток на водосборах крупных речных систем (при условии, что испарение не будет расти быстрее, чем осадки). У южных рек, где количество осадков увеличится не так сильно, годовой сток может заметно сократиться из-за повышенного испарения. На водосборах северных рек, таких, как Печора, Северная Двина, Мезень, Енисей, Лена, заметно вырастут среднегодовые стоки. Принимая во внимание, что на этих водосборах зимой будет накапливаться больше снега, увеличится и вероятность паводковых ситуаций весной.



6  
Изменения глубины протаивания многолетнемерзлых грунтов (в сантиметрах) для августа середины XXI века. Красной линией обозначена граница многолетнемерзлых грунтов во второй половине XX века



Сезонное протаивание многолетнемерзлых грунтов. В России многолетнемерзлые грунты (это более корректное название «вечной мерзлоты» употребляют специалисты) занимают около 70% территории. Глубины сезонного протаивания грунтов существенно зависят от их свойств (торфяники, суглинки, пески) и растительных покровов. Поэтому в естественных условиях протаивание происходит не равномерно, а мозаично. При потеплении глубина протаивания конечно же увеличится, и это не лучшим образом скажется на многих видах хозяйственной деятельности.

Расчеты показывают, что смещение к северу границы многолетнемерзлых грунтов сохранит широтный характер и составит к середине века от 100 до 250 км. На большей части территории Сибири глубины протаивания возрастут на 20–40 см (рис. 6). При этом во всей рассматриваемой области разброс значений, полученный по разным моделям, меньше средней величины, полученной по ансамблю моделей.

Деградация многолетнемерзлых грунтов приведет к деформации или даже разрушению строений и транспортных путей. Наиболее уязвимыми будут портовые объекты и другие сооружения инфраструктуры водного транспорта, так как для севера Западной Сибири в руслах рек преобладают песчаные грунты, а именно они в наибольшей степени подвержены протаиванию. Такие же грунты характерны для полуострова Ямал, где в ближайшие годы планируется интенсивная добыча газа.

## Выводы

Научное прогнозирование изменений климата в XXI веке, несомненно, заслуживает пристального внимания. Однако вследствие чрезвычайно большой инерции климатической системы, обусловленной продолжительным временем жизни парниковых газов в атмосфере, а также огромной термической памятью Мирового океана и ледников Гренландии и Антарктиды, потепление климата будет продолжаться несколько столетий. Это означает, что если концентрации парниковых газов в XXI веке будут расти с такой же скоростью, как в последние несколько десятков лет, то серьезная угроза ожидается в отдаленной перспективе. С другой стороны, долговременные программы для ранних превентивных действий, рассчитанные на реализацию в течение нескольких десятков лет, недостаточно убедительны для правительственных организаций. Правительства не готовы рассматривать последствия изменений климата за пределами 10–20 лет. К тому же изменения, наблюдаемые в течение небольшого времени, достаточно малы по сравнению с естественной изменчивостью климата, и это притупляет внимание к грядущим проблемам.

Какие именно ранние предупредительные меры необходимо принять сейчас, чтобы ослабить долговременные последствия? Этот вопрос требует особого внимания, и правильный ответ на него представляется непростым.

На фоне глобального потепления региональные изменения климата России будут далеко не одинаковыми, а их влияние на хозяйственную деятельность — как благоприятным, так и пагубным. Зона комфортного проживания может переместиться к северу, сократятся расходы на отопление, улучшится ледовая обстановка и соответственно упростятся транспортировка грузов вдоль арктического побережья и на крупных реках, освоение природных ресурсов арктического шельфа и т. д. В то же время более частыми станут засухи в одних регионах и наводнения в других. Протаивание многолетнемерзлых грунтов может нанести серьезный ущерб строениям и коммуникациям в северных регионах России. Нарушится равновесие в биоценозах, изменится их видовой состав. Могут возникнуть серьезные проблемы, связанные с миграцией населения.

Оценки влияния климатических изменений на сельское хозяйство России, водные ресурсы, растительный и животный мир, демографическую ситуацию все еще весьма неопределенны. Однозначная же оценка (выгодно или невыгодно потепление для России), по-видимому, в принципе невозможно, учитывая как сложность взаимодействия разных факторов, так и этическую сторону проблемы в международном плане. Например, можно ожидать катастрофических последствий в одних регионах земного шара и появления новых экономических возможностей в других.

Глобальное потепление создает для России — с учетом ее географического положения, экономического потенциала, демографических проблем и геополитических интересов — новую ситуацию, и руководству страны необходимо осознать важность грядущих перемен с точки зрения национальных интересов. В подавляющем большинстве промышленно развитых стран изменение климата рассматривается как первоочередная проблема, которая требует всестороннего изучения и разработки долговременных программ. Очевидно, что в XXI веке антропогенное воздействие на климат и меры, направленные на уменьшение негативных последствий этих изменений, будут в центре внимания мирового сообщества. Игнорирование глобального потепления, оправдываемое его недостаточной изученностью, — не самый благоразумный выбор, и за него, возможно, придется дорого заплатить.

### Что еще можно почитать об этом

**Мелешко В.П. и др.** Антропогенные изменения климата в XXI веке в Северной Евразии. *Метеорология и гидрология*. 2004, № 7, 5–26.

**IPCC, 2007:** Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Working Group I Contribution to the Intergovernmental Panel on Climate Change. Fourth Assessment Report. Technical Summary.