

**ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА ПО ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИИ  
И МОНИТОРИНГУ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ  
(РОСГИДРОМЕТ)**

**ОЦЕНОЧНЫЙ ДОКЛАД  
ОБ ИЗМЕНЕНИЯХ КЛИМАТА И ИХ ПОСЛЕДСТВИЯХ  
НА ТЕРРИТОРИИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**

***ОБЩЕЕ РЕЗЮМЕ***

Москва — 2008

# ОЦЕНОЧНЫЙ ДОКЛАД ОБ ИЗМЕНЕНИЯХ КЛИМАТА И ИХ ПОСЛЕДСТВИЯХ НА ТЕРРИТОРИИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

## Общее резюме

---

УДК 551.583(470+570)  
ББК 19.3.4

**Научно-координационный комитет по подготовке “Оценочного доклада об изменениях климата и их последствиях на территории Российской Федерации”:**

Руководитель Росгидромета А. И. Бедрицкий (председатель), В. Г. Блинов, Д. А. Гершиноква (ответственный секретарь), Г. С. Голицын, В. П. Дымников, Ю. А. Израэль, В. М. Катцов, В. М. Котляков, В. П. Мелешко, В. И. Осипов, С. М. Семенов

**Головные научные учреждения Росгидромета по подготовке доклада:**

Государственное учреждение “Главная геофизическая обсерватория им. А. И. Воейкова” (ГУ “ГГО”)  
Государственное учреждение Институт глобального климата и экологии Федеральной службы по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды и Российской академии наук (ГУ ИГКЭ Росгидромета и РАН)

Настоящий “Оценочный доклад об изменениях климата и их последствиях на территории Российской Федерации” включает в себя два тома доклада, озаглавленные “Изменения климата” и “Последствия изменений климата”, а также Техническое резюме и Общее резюме.

Два тома доклада подготовили *Рабочая группа I “Изменения климата на территории Российской Федерации”* и *Рабочая группа II “Последствия изменений климата на территории Российской Федерации”*

**В подготовке Общего резюме участвовали:**

*В. П. Мелешко, руководитель Рабочей группы I*  
*С. М. Семенов, руководитель Рабочей группы II*

**и ведущие авторы доклада:**

*О. А. Анисимов, Ю. А. Анохин, Л. И. Болтнева, Е. А. Ваганов, Г. В. Груза, А. С. Зайцев, А. Н. Золотокрылин, Ю. А. Израэль, Г. Э. Инсаров, И. Л. Кароль, В. М. Катцов, Н. В. Кобышева, А. Г. Костяной, А. Н. Кренке, А. В. Мещерская, В. М. Мирвис, В. В. Оганесян, А. В. Пчелкин, Б. А. Ревич, А. И. Решетников, В. А. Семенов, О. Д. Сиротенко, П. В. Спорышев, Ф. С. Терзиев, И. Е. Фролов, В. Ч. Хон, А. В. Цыбань, Б. Г. Шерстюков, И. А. Шикломанов, В. В. Ясюкевич*

## Предисловие

---

Оценка наблюдаемых и ожидаемых изменений климата и их последствий, исходя из данных мониторинга и результатов научных исследований, является важной составляющей информационной базы при разработке климатической политики на национальном и международном уровнях. Обобщение и анализ этой информации на глобальном уровне периодически выполняет Межправительственная группа экспертов по изменению климата (МГЭИК), которая была учреждена в 1988 г. Всемирной метеорологической организацией и Программой ООН по окружающей среде. МГЭИК проводится работа по оценке информации, представленной в естественно-научной, технической и социально-экономической литературе в области климата и его изменений, последствий изменения климата, а также возможностей адаптации и смягчения воздействий на климат.



Результаты этой работы оформляются в основном в виде известных Оценочных докладов МГЭИК, которых к настоящему времени подготовлено четыре — в 1990, 1996, 2001 и 2007 гг. Как межправительственный орган, МГЭИК отвечает за представление мировому сообществу объективных научно-технических выводов, ориентированных на использование при выработке стратегии развития. Эти выводы правительства могут учесть и применить при разработке своей внутренней политики и соответствующих мер в рамках международных соглашений.

Вследствие ориентации на глобальные оценки доклады МГЭИК не могут дать полной и детальной картины региональных оценок изменений климата для каждой страны, которые необходимы для выработки и реализации на национальном уровне практических мер по уменьшению антропогенного влияния на климатическую систему и смягчению последствий изменений климата. И в этой связи многими странами в дополнение к работе в рамках МГЭИК выполняются национальные оценки применительно к своей территории, позволяющие включить в анализ значительно больший объем информации. Такие оценки позволяют более полно учесть физико-географические особенности страны и ее социально-экономический уклад, результаты мониторинга климата, осуществляемого гидрометеорологическими службами, научные данные, получаемые на национальном уровне.

Оценочный доклад об изменениях климата и их последствиях на территории Российской Федерации, инициатором подготовки которого выступил Росгидромет, направлен на анализ и обобщение климатической информации применительно к территории России. В нем рассмотрены следующие вопросы:

- наблюдаемые и ожидаемые изменения климата;
- их последствия для природных и хозяйственных систем, здоровья населения, а также возможности адаптационных мероприятий;
- необходимые дальнейшие исследования.

Настоящий Оценочный доклад является логическим продолжением и расширением опубликованного в 2005 г. Росгидрометом “Стратегического прогноза изменений климата Российской Федерации на период до 2010–2015 гг. и их влияния на отрасли экономики России”, подготовленного на основе анализа данных многолетних инструментальных наблюдений за климатом на территории России и обобщения материалов отечественных и зарубежных научных исследований.

Доклад может быть использован органами государственной власти и другими организациями при разработке политики и планировании конкретных мер по развитию отраслей экономики и при подготовке программ устойчивого развития территорий и регионов Российской Федерации, а также научными учреждениями, учебными заведениями, неправительственными организациями и общественностью, заинтересованными в информации по проблемам климата и его изменений на территории нашей страны.

Руководитель Росгидромета

А. И. Бедрицкий



## Введение

---

Настоящий Оценочный доклад (ОД) об изменениях климата и их последствиях на территории Российской Федерации подготовлен специалистами научных учреждений Росгидромета и Российской академии наук, высших учебных заведений страны на основе анализа данных климатических наблюдений государственной гидрометеорологической сети и результатов научных публикаций российских и зарубежных ученых по проблеме изменений климата и их последствий.

В первом томе доклада авторы анализируют научные основы антропогенного изменения глобального климата, наблюдаемые изменения климата России в течение XX века, оценки ожидаемых изменений климата на территории Российской Федерации в XXI веке (температуры приземного воздуха, осадков, снежного покрова, стока рек, морского льда в полярном бассейне, вечной мерзлоты, уровня океана). Во втором томе представлены оценки влияния наблюдаемых и ожидаемых изменений климата на природные системы суши и моря России, на деятельность ряда отраслей экономики (сельскохозяйственное производство, водопотребление, речное и морское судоходство, строительство и жилищно-коммунальное хозяйство) и здоровье населения. Особое внимание в этом томе уделяется широкомасштабным последствиям опасных гидрометеорологических явлений.

Основные выводы и оценки доклада обобщены в двух синтезирующих публикациях:

- в Общем резюме, представляющем краткую сводку основных наблюдаемых и ожидаемых изменений климата и их последствий, их оценку, а также описание возможных адаптационных мер;
- в Техническом резюме, где кратко в технических терминах представлены основные изменения климата и их последствия.

В Общем резюме сведены до минимума технические детали, которые приводятся в Техническом резюме и основном тексте доклада. Даны ссылки на отдельные главы и рисунки первого и второго томов доклада. Все ссылки на литературные источники использованной в докладе информации приведены в каждом из двух томов доклада. Специально в виде блоков выделены комментарии по возможным мерам адаптации к меняющемуся климату.

Подготовка Общего резюме проведена рабочей группой под руководством Руководителя Росгидромета А. И. Бедрицкого с участием В. П. Мелешко (ГГО) и С. М. Семенова (ИГКЭ), а также специалистов Управления научных программ, международного сотрудничества и информационных ресурсов Росгидромета: В. Г. Блинова, Д. А. Гершинской при технической поддержке П. Н. Варгина и А. О. Соколова.



---

## ОБЩЕЕ РЕЗЮМЕ

---

*Общее резюме (ОР) предназначено для широкого круга читателей, в том числе:*

- *руководителей федеральных и региональных правительственных органов, а также советников и экспертов этих органов, готовящих концепции и проекты перспективных планов развития и решений в области климатической политики;*
- *руководителей, советников и экспертов предприятий, деятельность которых зависит от изменений климата или влияет на него;*
- *общественных организаций и научных работников, заинтересованных в получении объективной информации в области оценки последствий наблюдаемых и будущих изменений климата для природных и хозяйственных систем, для здоровья населения.*

### Система наблюдений за климатом

Чтобы понять причины изменения климата и создать средства для его предсказания, необходимо проводить непрерывные и скоординированные наблюдения во всех регионах земного шара.

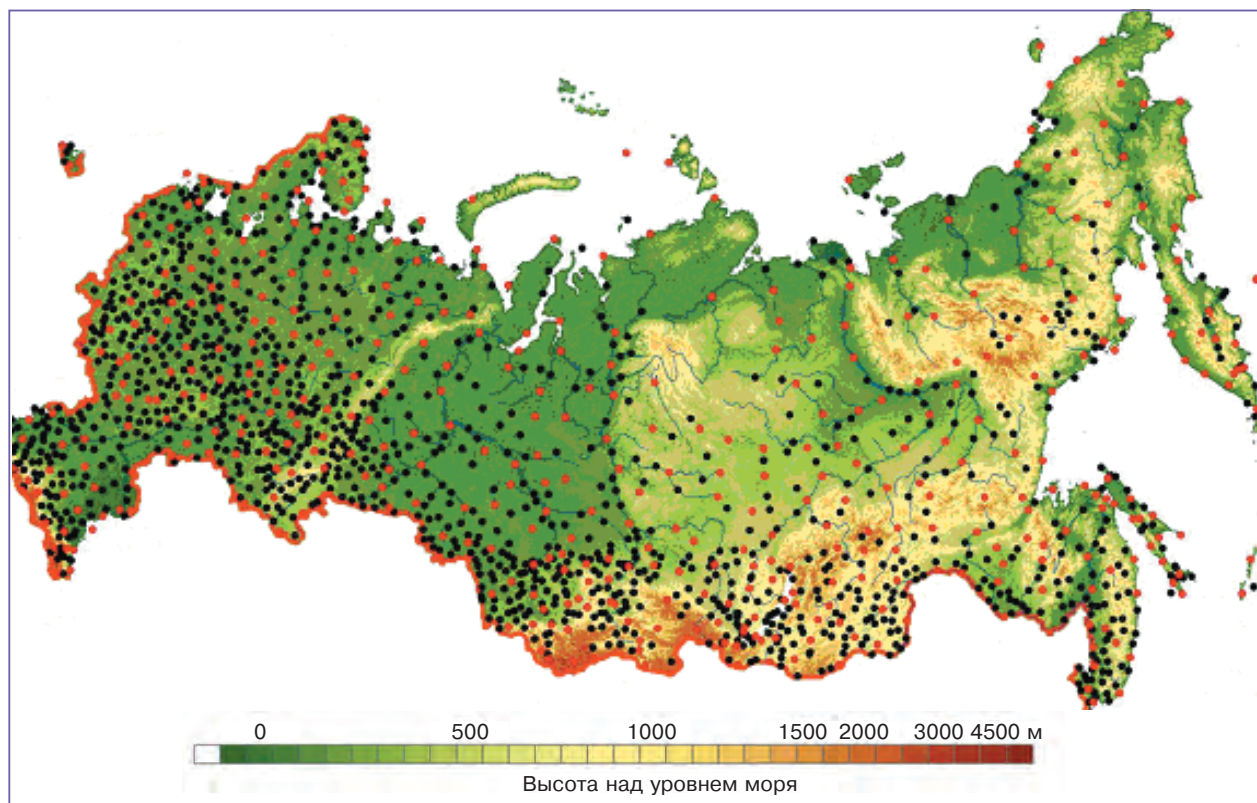
Глобальная система наблюдений за климатом (ГСНК), созданная Всемирной метеорологической организацией (ВМО), Программой Организации Объединенных Наций по окружающей среде, Международной океанографической комиссией ЮНЕСКО и Международным советом по науке, использует средства наблюдений, размещенные на континентах, морских судах, плавающих буях, зондах, самолетах и спутниках.

В Российской Федерации наблюдения за климатом и его изменениями проводятся Росгидрометом в рамках реализации Конвенции ВМО по программам Всемирной службы погоды, Глобальной службы атмосферы, Глобальной системы океанических наблюдений, Глобальной системы наблюдений за сушей. Российский сегмент Всемирной службы погоды состоит из 1627 станций, в том числе 454 станции входят в состав реперной климатической сети. Реперными станциями являются репрезентативные станции с полной программой наблюдений, освещающие территорию, однородную в отношении метеорологического режима, имеющие

продолжительные ряды наблюдений и не подлежащие закрытию и переносу. В наземную сеть наблюдений ГСНК от Российской Федерации входят 135 станций.

Региональная опорная климатическая сеть включает 238 станций, аэрологическая сеть — 105 станций, в том числе 12 станций ГСНК, озонометрическая сеть — 27 станций, мониторинг концентраций парниковых газов (диоксида углерода и метана) осуществляется на 2 станциях (Териберка и Новый Порт). Актинометрические наблюдения ведутся на 191 метеостанции, гидрологические наблюдения на реках, озерах и водохранилищах — на 3085 пунктах, высотные наблюдения пограничного слоя атмосферы — на одной станции (300-метровой мачте в Обнинске), наблюдения за снежным покровом в горных районах Северного Кавказа на 3 снеговалинных станциях и 8 постах в Дагестане.

Некоторые наблюдения, представляющие интерес в области климата, проводятся также другими ведомствами (Минобороны России, Российской академией наук). Однако Росгидромет выполняет объем наблюдений за климатом и его изменениями, несопоставимо превышающий объемы подобных работ в других ведомствах Российской Федерации.



**Рис. ОР1.** Основная наземная метеорологическая сеть Росгидромета, насчитывающая 1627 пунктов наблюдений, включает 454 реперные станции (красные кружки).



Плотность метеорологической сети в ряде регионов России является недостаточной для изучения регионального климата, и в этой связи, наряду с организацией дополнительных станций, значительное внимание уделяется привлечению к анализу состояния климата данных спутниковых наблюдений.

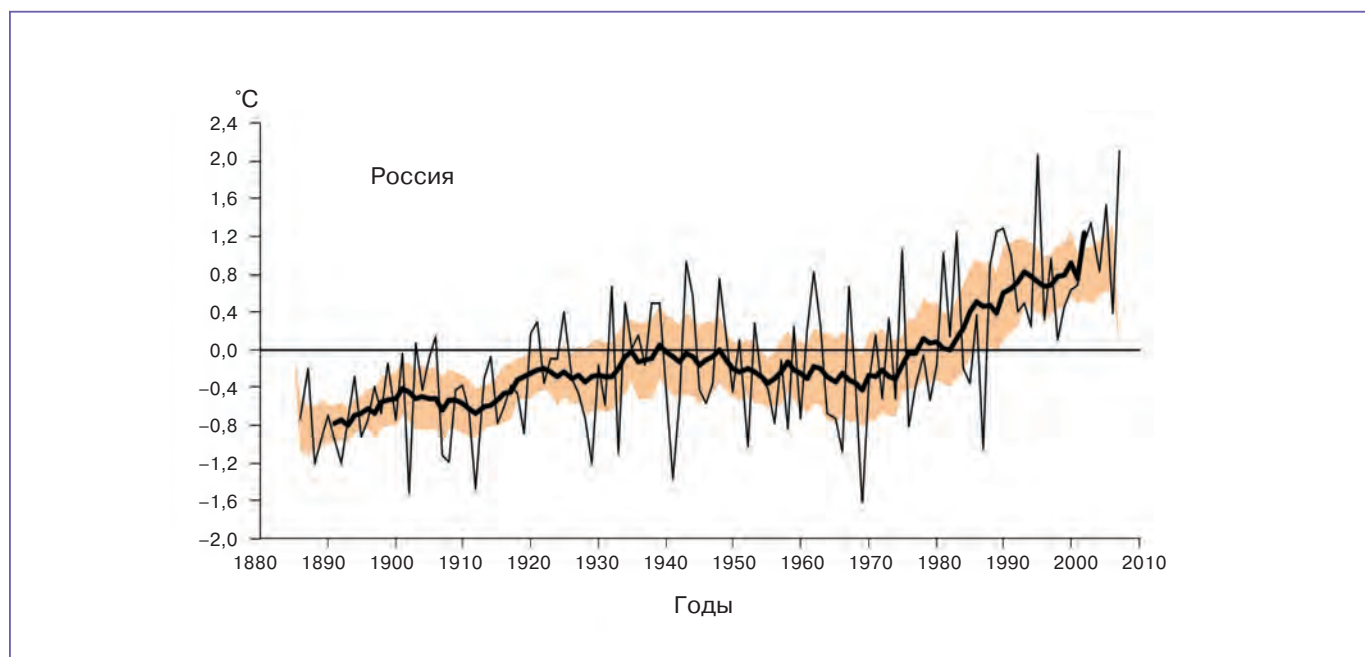
Росгидрометом ежегодно готовится доклад, в котором приводится информация о состоянии климата Российской Федерации и ее регионов в целом за год и по сезонам, данные об аномалиях климатических характеристик и экстремальных погодных и климатических явлениях (см. ОД, т. I, гл. 2).

### Изменения климата России за период инструментальных наблюдений

**Температура приземного воздуха.** Данные наблюдений и модельных расчетов показывают, что климат территории России более чувствителен к глобальному потеплению, чем климат многих других регионов земного шара. За последние 100 лет (1907–2006 гг.) по данным сети Росгидромета потепление в целом по России составило 1,29°C при среднем глобальном потеплении, согласно Четвертому оценочному докладу МГЭИК, 0,74°C.

За период 1976–2006 гг. среднее потепление по России достигло 1,33°C (рис. ОР2). На большей части территории России в этот период годовые минимумы и максимумы суточной температуры приземного воздуха увеличивались, разность между ними уменьшалась (минимумы увеличивались быстрее максимумов), число дней с морозом уменьшалось. Наибольшее увеличение минимальной и максимальной суточной температуры наблюдалось в холодный сезон (ОД, т. I, гл. 3).

**Атмосферные осадки.** Вследствие сложной физической природы явления и неоднородности инструментальных наблюдений изменения осадков изучены значительно хуже, чем изменения приземной температуры воздуха. Годовая сумма осадков за период 1976–2006 гг. в целом по территории России увеличилась (7,2 мм/10 лет). Однако в характере региональных изменений осадков наблюдались значительные различия. Наиболее заметными были увеличение осадков весеннего сезона (16,8 мм/10 лет) в Западной Сибири, на северо-востоке Восточной Сибири, Дальнем Востоке и на Европейской территории России (ЕТР) и их уменьшение зимой на северо-востоке Сибири, в том числе в Магаданской области, на севере Хабаровского края и на востоке Чукотского автономного округа. Показатели, характеризующие экстремальные осадки, указывают преимущественно



**Рис. ОР2.** Изменения среднегодовой приземной температуры воздуха (°C), осредненной по территории России, в отклонениях от средних за 1961–1990 гг. Тонкая линия показывает результаты наблюдений по станциям, жирная — сглаженный ход температуры воздуха (11-летние скользящие средние). На фоне устойчивого повышения температуры за последние примерно 35 лет наблюдаются значительные межгодовые колебания средней температуры (ОД, т. I, рис. 3.1).

на слабое увеличение повторяемости интенсивных осадков и уменьшение максимальной продолжительности сухих периодов (ОД, т. I, гл. 3).

**Облачность.** Во второй половине XX века на большей части территории России происходило увеличение доли облаков вертикального развития (кучевых и кучево-дождевых), уменьшалась доля слоисто-дождевой облачности, увеличивалась доля облаков верхнего яруса (ОД, т. I, гл. 3).

**Сток рек.** Анализ годового стока рек за 1978–2005 гг. показал, что по отношению к стоку за период 1946–1977 гг. на реках западной части ЕТР, левобережных притоках Волги произошло увеличение годового стока на 15–40%. Оно было больше среднего (на 10–15%) в верхней части бассейна Северной Двины, в верховьях Днепра, на левобережных притоках Дона. На Азиатской территории России (АТР) увеличение стока (на 20–40%) отмечалось на левых притоках Тобола и Иртыша. Увеличение водности наблюдалось также в бассейне Енисея (8%) и на значительной части бассейна Лены, особенно в последнее десятилетие XX века. Сток в бассейнах рек северо-востока АТР увеличился на 5–15% (ОД, т. I, гл. 3).

**Снежный покров.** Площадь снежного покрова в Северном полушарии, по данным спутниковых измерений, за последние 30 лет значительно сократилась, особенно весной и летом. В западных областях ЕТР, в Забайкалье и на Чукотке обнаружена тенденция уменьшения высоты снежного покрова. Основной причиной этих наблюдаемых в последние десятилетия изменений стало повышение температуры приземного воздуха. Однако в некоторых регионах с очень низкой среднегодовой температурой наблюдалось увеличение высоты снежного покрова, что объясняется увеличением количества осадков (ОД, т. I, гл. 3).

На большей части территории России число дней с высотой снежного покрова более 20 см увеличилось. На всем Арктическом побережье — от Кольского полуострова до Таймыра включительно — коэффициенты линейного тренда этой характеристики составляют 6–8 суток/10 лет. Такие же значения отмечаются на Урале, в восточных областях ЕТР и на юге Западной Сибири и Амурской области.

**Многолетняя мерзлота.** Во второй половине XX века, особенно в его последней четверти, на многих участках зоны многолетней мерзлоты происходило увеличение температуры верхнего слоя многолетнемерзлых пород, в отдельных регионах отмечалось увеличение глубины сезонного протаивания. Температура многолетней мерзлоты на севере Западной Сибири увеличилась в среднем на 1,0°C, на северо-востоке ЕТР на 0,8–1,0°C (ОД, т. I, гл. 3).

**Морской лед в Арктике.** Изменение площади морского льда является наилучшим индикатором изменений климата Арктики. Данные спутниковых наблюдений указывают на наличие устойчивой тенденции сокращения площади морского льда за последние два десятилетия. За последние 28 лет с начала спутниковых наблюдений (1979 г.) минимальная площадь сезонного льда, которая достигается в сентябре каждого года, сокращалась на 9% за десятилетие. В сентябре 2007 г. она достигла абсолютного минимума — 4,3 млн. км<sup>2</sup> (ОД, т. I, гл. 3).

### Изменения содержания парниковых газов и аэрозоля в атмосфере

#### Парниковые газы атмосферы

Хозяйственная деятельность оказывает существенное влияние на содержание парниковых газов в атмосфере. Среди них (рис. ОР3):

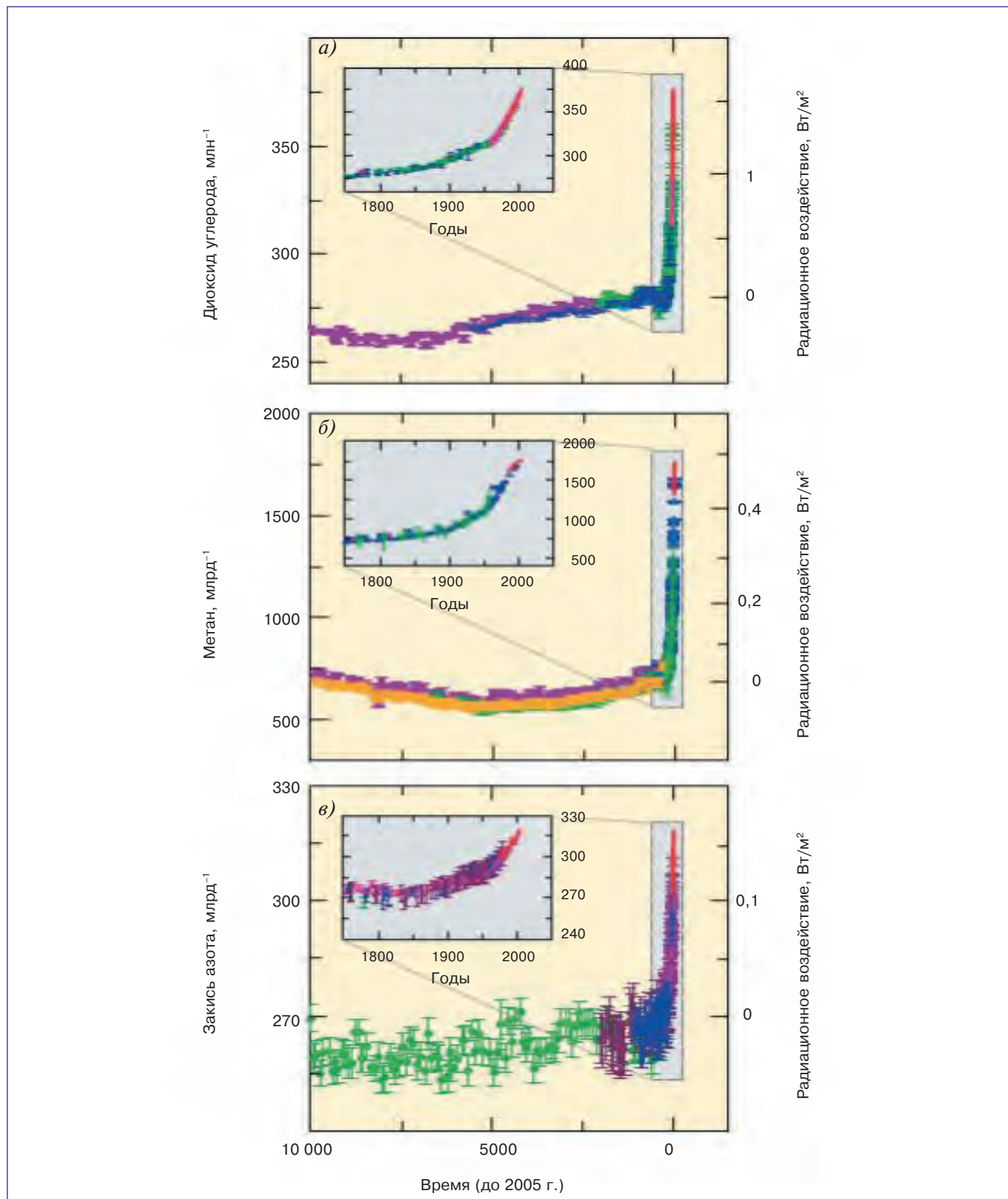
— **диоксид углерода (CO<sub>2</sub>)** является наиболее важным по влиянию на климат парниковым газом. За последние 250 лет наблюдалось беспрецедентное по скорости увеличение его концентрации в атмосфере на 35%. В 2005 г. она составила 379 млн<sup>-1</sup>;

— **метан (CH<sub>4</sub>)** является вторым по значимости парниковым газом после CO<sub>2</sub>; его концентрация увеличилась в 2,5 раза по сравнению с доиндустриальным периодом и составила 1774 млрд<sup>-1</sup> в 2005 г.;

— **закись азота (N<sub>2</sub>O)**, ее концентрация увеличилась на 18% к 2005 г. по сравнению с доиндустриальным периодом и составила 319 млрд<sup>-1</sup>; в настоящее время примерно 40% количества N<sub>2</sub>O, поступающего в атмосферу, обусловлено хозяйственной деятельностью (удобрения, животноводство, химическая промышленность) (ОД, т. I, гл. 4).

Временной ход концентрации CO<sub>2</sub> на российской станции Териберка (рис. ОР4) показывает, что средний за 20 лет тренд CO<sub>2</sub> составил 1,7 млн<sup>-1</sup> в год при значительных сезонных колебаниях, равных 15–20 млн<sup>-1</sup>.

Национальные объемы эмиссии парниковых газов в атмосферу оцениваются по различным секторам экономики на основе данных государственной статистической отчетности и иных данных о процессах и видах деятельности, приводящих к антропогенным выбросам из источников и абсорбции поглотителями парниковых газов. В соответствии с обязательствами Российской Федерации по Рамочной конвенции ООН об изменении климата (РКИК) и Киотскому протоколу подготовка Национальных докладов о кадастре антропогенных выбросов из источников и абсорбции погло-



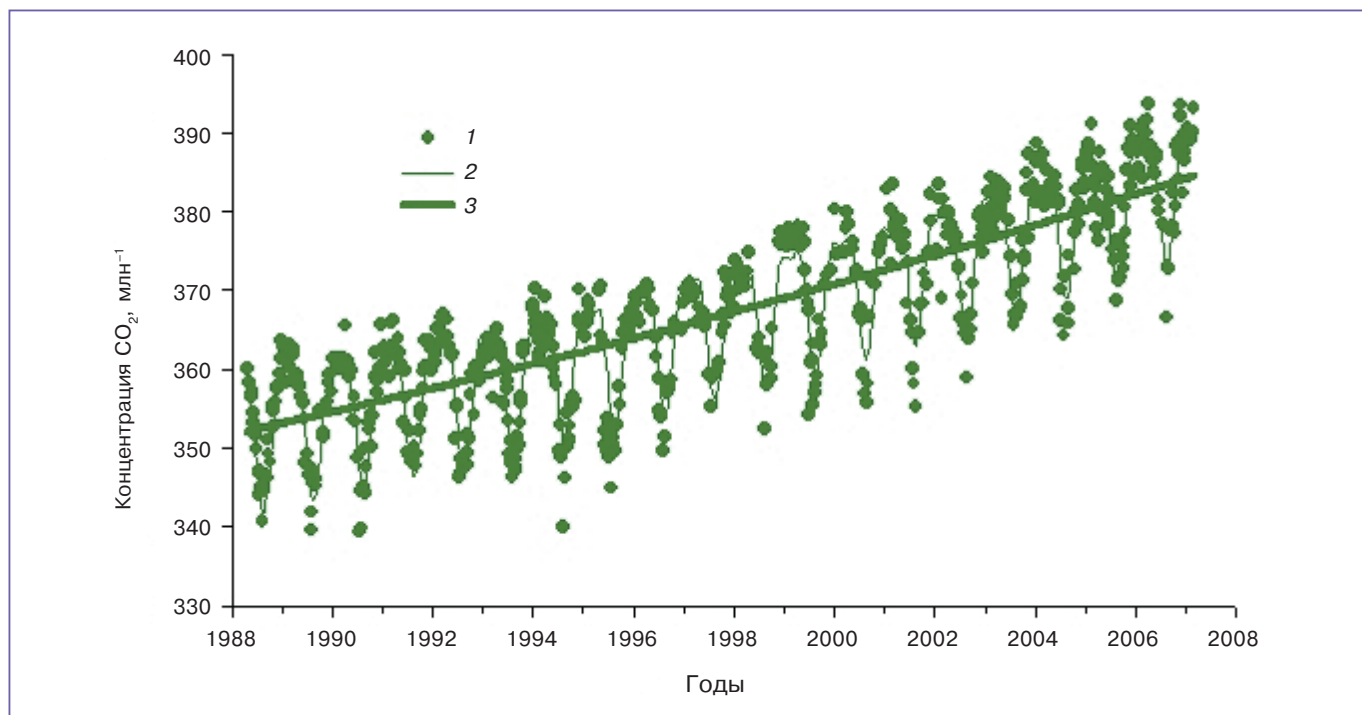
**Рис. ОР3.** Временной ход концентрации диоксида углерода (а), метана (б) и закиси азота (в) в атмосфере и их изменения за последние 10 000 лет (крупная панель) и начиная с 1750 г. (вставленная в нее панель меньшего размера). Результаты измерений в ледовых отложениях (символы разного цвета и конфигурации) по результатам различных исследователей и измерений в атмосфере (красная кривая). Шкала оценок соответствующих измеренным концентрациям радиационных воздействий приведена на больших панелях с правой стороны (ОД, т. I, рис. 4.1).

## ОБЩЕЕ РЕЗЮМЕ

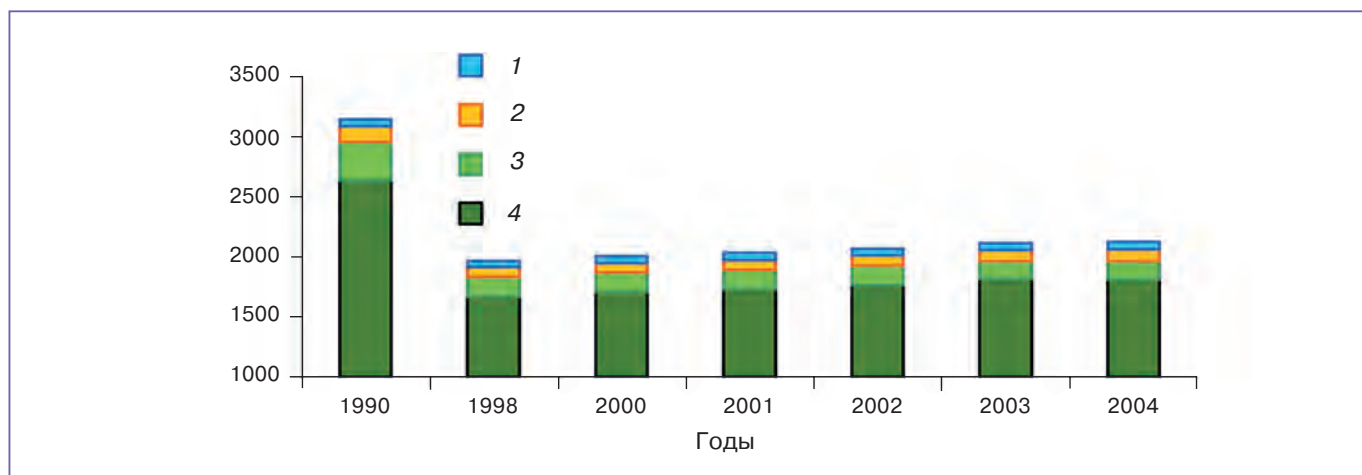
тителами парниковых газов, не регулируемых Монреальским протоколом, осуществляется на ежегодной основе с последующим представлением в секретариат РКИК и размещением на Интернет-сайте РКИК и Росгидромета.

Изменение выбросов парниковых газов в России в энергетике, промышленности, сельском хо-

зяйстве и при обращении с отходами (без учета выбросов в секторе землепользования, изменения землепользования и лесного хозяйства) в период с 1990 по 2004 г. представлено на рис. ОР5. Выбросы парниковых газов в этих секторах в России в 2005–2006 гг. незначительно отличались от 2004 г. и составляли около 70% уровня 1990 г.



**Рис. ОР4.** Временной ход концентрации CO<sub>2</sub> в атмосфере на станции Териберка (Кольский полуостров) за период наблюдений с 1988 г. Точками и линиями показаны единичные измерения (1), сглаженный сезонный ход (2) и многолетний тренд (3) CO<sub>2</sub> (ОД, т. I, рис. 4.2).



**Рис. ОР5.** Объемы выбросов (млн. т CO<sub>2</sub>-эквивалента) от промышленных источников и источников, связанных с сельскохозяйственным производством, в России за период 1990–2004 гг. по трем основным парниковым газам: CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> и N<sub>2</sub>O. 1 — отходы в целом; 2 — промышленные процессы; 3 — сельское хозяйство; 4 — энергетика (ОД, т. I, рис. 4.6).

### *Радиационное воздействие парниковых газов и аэрозоля на глобальную атмосферу*

Воздействие на радиационный режим атмосферы — основной механизм антропогенного влияния на глобальную климатическую систему. Вклад парниковых газов атмосферы составляет основную часть этого воздействия.

Все долгоживущие парниковые газы и озон дают положительное радиационное воздействие ( $2,9 \pm 0,3$  Вт/м<sup>2</sup>).

Суммарное радиационное воздействие антропогенных факторов, связанных с изменением концентрации всех парниковых газов и аэрозолей, составляет 1,6 [от 0,6 до 2,4] Вт/м<sup>2</sup>\*.

Все типы аэрозолей создают радиационный эффект прямого действия и опосредованно путем изменения альбедо облаков. Суммарное аэрозольное воздействие является отрицательным ( $-1,3 \pm 0,8$  Вт/м<sup>2</sup>). Однако достоверность этих оценок намного ниже полученных для парниковых газов.

С началом индустриального периода распашка земель и вырубка лесов ускорились, и к концу XX века сельскохозяйственные угодья и пашни стали занимать 35–39% всей площади суши, а доля, занятая лесами, сократилась на 20–24%. Радиационное воздействие, связанное с хозяйственным использованием земель, оценивается в 0,15–0,20 Вт/м<sup>2</sup> (ОД, т. I, гл. 4).

Прямое радиационное воздействие на глобальную атмосферу в результате изменений потока солнечной радиации с 1750 г. по настоящее время составляет 0,12 Вт/м<sup>2</sup>. Поэтому, согласно Четвертому оценочному докладу МГЭИК, нет оснований рассматривать изменения солнечной активности и связанные с ней изменения потока солнечной радиации на верхней границе атмосферы как единственную причину наблюдаемого потепления климата (ОД, т. I, гл. 4).

### *Современные климатические модели*

Глобальные объединенные модели общей циркуляции атмосферы и океана (МОЦАО) являются основным и наиболее перспективным инструментом **предсказания** будущих изменений климата, обусловленных естественным взаимодействием между разными компонентами климатической системы и внешними воздействиями естественного и антропогенного характера, а также **выявления** причин наблюдаемых изменений.

Одним из важнейших свойств моделей является их реакция на внешние воздействия (измене-

ние потока солнечной радиации, вулканическая деятельность, изменение газового состава атмосферы), которая определяется внутренними процессами климатической системы с обратными связями, способными усилить или подавить влияние этого воздействия. В настоящее время модели показывают разную чувствительность при одинаковом внешнем воздействии, и это является одной из причин неопределенности оценок будущих изменений климата. Исследования показывают, что чувствительность равновесного климата к удвоению концентрации CO<sub>2</sub> находится в пределах 2,0–4,5°C, но наиболее вероятной считается чувствительность 3°C. Разброс оценок чувствительности климата среди моделей вызван преимущественно различиями в описании облачно-радиационных обратных связей. Большой вклад в чувствительность климата также вносит обратная связь, обусловленная сокращением площади снежного покрова и морского льда и изменением альбедо земной поверхности (ОД, т. I, гл. 5).

Модельным ансамблем называется серия результатов параллельных расчетов параметров климата от разных начальных состояний или с разными независимыми моделями. Расчеты по ансамблю моделей, как правило, показывают наиболее высокую успешность при сравнении с данными наблюдений. Это связано с тем, что систематические ошибки, присущие каждой модели в отдельности, часто являются случайными по отношению к ансамблю и при осреднении взаимно компенсируются. Актуальной задачей является создание системы показателей, которые позволили бы количественно оценивать **совокупное** качество моделей при построении ансамблей (ОД, т. I, гл. 5).

В рамках подготовки Четвертого оценочного доклада МГЭИК был реализован беспрецедентный по масштабам и количеству участников проект CMIP3 по анализу расчетов климата XX и XXI веков с использованием более двух десятков МОЦАО нового поколения, разработанных в известных исследовательских центрах мира.

По сравнению с предыдущим поколением произошло улучшение МОЦАО как класса моделей на основе увеличения пространственного разрешения, совершенствования параметризаций физических процессов и учета в ряде моделей дополнительных климатически значимых процессов. Это позволило повысить качество воспроизведения современного климата во многих аспектах. Анализ качества расчетов современного климата с помощью ансамбля МОЦАО CMIP3 на территории России показал следующее (ОД, т. I, гл. 5):

\* В квадратных скобках указаны границы 90%-ного доверительного интервала, построенного по экспертным оценкам.

— МОЦАО успешно рассчитывают *сезонный ход температуры* приземного воздуха в разных регионах России. Однако они занижают среднюю за год температуру ( $-1,8 \pm 1,5$ )°С на большей части страны, что особенно проявляется в холодное время года на северо-западе ЕТР и в Западной Сибири;

— МОЦАО успешно рассчитывают пространственное распределение *годовых максимумов температуры* на территории бывшего СССР, включая положение области наиболее высокой температуры на юге Средней Азии. Однако они занижают годовые максимумы (на 2–4°С) в центральных районах Сибири и на Крайнем Севере и завышают *годовые минимумы температуры* в северо-восточных регионах России, преимущественно в Восточной Сибири;

— МОЦАО достоверно описывают основные особенности пространственного *распределения осадков*, в том числе для летних максимумов и зимних минимумов. Вместе с тем модели несколько завышают (на 8%) годовые суммы осадков в целом по России. Межмодельные стандартные отклонения оказываются, как правило, большими примерно в 1,5–2 раза, чем средние за год погрешности для всей России;

— средний за год *сток* по основным водосборам рассчитывается МОЦАО успешно. Межгодовая изменчивость стока сибирских рек (Обь, Енисей, Лена) по данным наблюдений составляет 7–15%, а межмодельный разброс ансамбля — 18–26%;

— достаточно успешно воспроизводятся положение и интенсивность *исландского и алеутского минимумов и сибирского максимума* зимой. Модели более достоверно рассчитывают положение блокирующих режимов. Однако их повторяемость меньше и существуют они в течение более коротких периодов;

— МОЦАО в среднем завышают *площадь снежного покрова* в течение холодного времени года и показывают значительный межмодельный разброс географического распределения снежного покрова. Многие модели демонстрируют избыток снега весной и запаздывание весеннего таяния вследствие занижения температуры приземного воздуха в Северной Евразии;

— расчетное положение среднегодовой нулевой изотермы на глубине 3 м для суглинков достаточно реалистично описывает современную границу *многолетней мерзлоты*, включая зоны прерывистой и островной мерзлоты;

— модели удовлетворительно воспроизводят сезонный ход *площади ледяного покрова* Северного Ледовитого океана. Вместе с тем большинство МОЦАО несколько завышает площадь морского льда в течение всего года.

### Антропогенный вклад в потепление климата

В настоящее время выполнено большое количество ансамблевых расчетов с МОЦАО по воспроизведению изменений климата за период инструментальных наблюдений. Сравнение модельных расчетов с данными наблюдений за температурой приземного воздуха дает убедительные аргументы в пользу антропогенной природы наблюдаемого потепления. При этом влияние антропогенного воздействия на температуру воздуха обнаруживается не только в глобальных изменениях, но и в масштабе континентов (ОД, т. I, гл. 6).

Данные наблюдений за климатом России также указывают на повышение температуры приземного воздуха, начавшееся с середины 1970-х годов. Установлено хорошее согласование наблюдаемой скорости повышения температуры воздуха и результатов расчета по ансамблю МОЦАО с учетом антропогенного повышения концентраций парниковых газов и аэрозоля, осредненных в целом по России (рис. ОР6). Результаты совместного анализа наблюдений и модельных расчетов для основных континентов земного шара, включая территорию России, дают согласованную картину потепления и позволяют сделать следующие выводы (ОД, т. I, гл. 6):

— крайне маловероятно, что изменения климата, наблюдавшиеся за последние 50 лет, происходили без внешнего воздействия;

— с высокой степенью вероятности можно утверждать, что, начиная с середины XX века, наблюдаемое увеличение концентраций антропогенных парниковых газов обусловило большую часть глобального потепления.

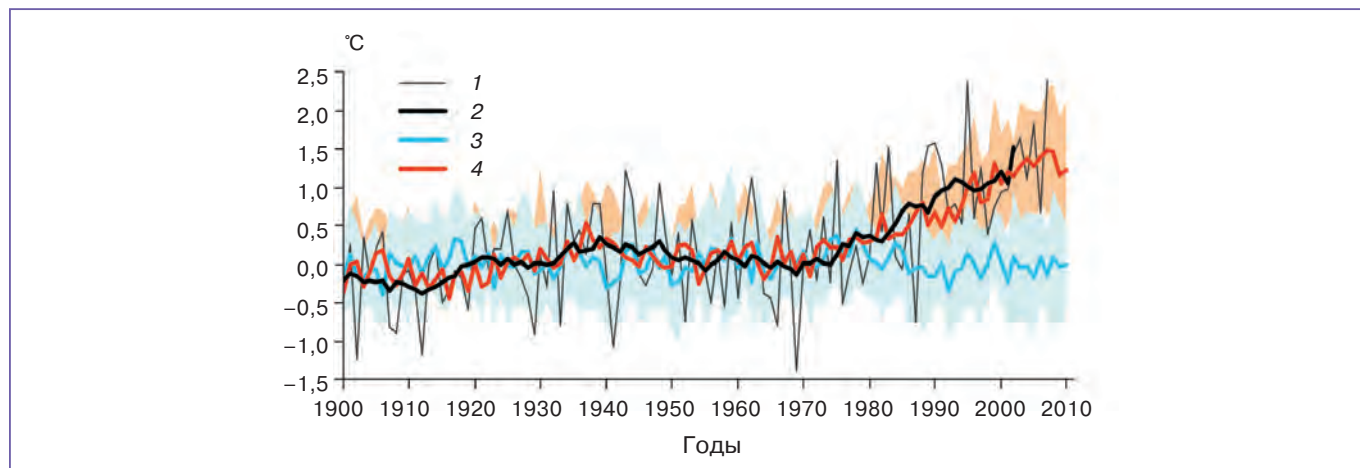
Вместе с тем глобальное потепление происходит на фоне межгодовой естественной изменчивости климата, которая особенно значительна в средних и высоких широтах и часто превышает антропогенный сигнал на пространственных масштабах меньше субконтинентального (ОД, т. I, гл. 6).

### Ожидаемые изменения климата на территории России в XXI веке

Достоверность прогнозов будущих изменений климата зависит от многих факторов, каждый из которых вносит некоторую долю неопределенности. Основными источниками неопределенностей являются (ОД, т. I, гл. 7):

— принципиальные сложности прогноза развития энергетики и технологий в мире на длительный период и связанные с ними неопределенности оценок будущих концентраций парниковых газов и других радиационно-активных примесей в атмосфере;

— невозможность априорного учета естественных внешних воздействий на климат, таких



**Рис. ОР6.** Временной ход среднегодовых аномалий температуры приземного воздуха на территории России по данным наблюдений (1, 2) и по ансамблю 16 МОЦАО СМIP3 с учетом только естественных внешних воздействий (3), антропогенных и естественных воздействий (4). Аномалии рассчитаны по отношению к среднему за 1901–1950 гг. Кривая 2 получена из 1 с помощью 11-летнего скользящего осреднения. Цветные заштрихованные области показывают разброс на соответствующие стандартные отклонения ( $\pm\sigma$ ) от средних по ансамблю (ОД, т. I, рис. 6.7).

как будущие извержения вулканов и изменения потока солнечной радиации на верхней границе атмосферы;

— недостаточное знание и соответственно неточности описаний в физико-математических моделях климатически значимых процессов и обратных связей.

Изменения климата в XXI веке на территории России и сопредельных регионов получены по расчетам ансамбля МОЦАО СМIP3 (16 моделей), принимавших участие в подготовке Четвертого оценочного доклада МГЭИК. В качестве исходного периода, с которым сравнивались расчеты климата XXI века, был принят 1980–1999 гг.

МГЭИК разработала сценарии эмиссии парниковых газов и аэрозоля в атмосферу в XXI веке с учетом демографических, экономических, технологических и других факторов. Согласно “жесткому” сценарию А2 к 2050 г. концентрации основных парниковых газов диоксида углерода ( $\text{CO}_2$ ) и метана ( $\text{CH}_4$ ) увеличатся в 1,51 раза и закиси азота ( $\text{N}_2\text{O}$ ) в 1,21 раза по сравнению с их концентрациями в 1990 г. Однако расчеты показали, что, по крайней мере, до середины века потепление глобального климата и климата России в целом слабо зависит от выбранного сценария эмиссий (ОД, т. I, гл. 7).

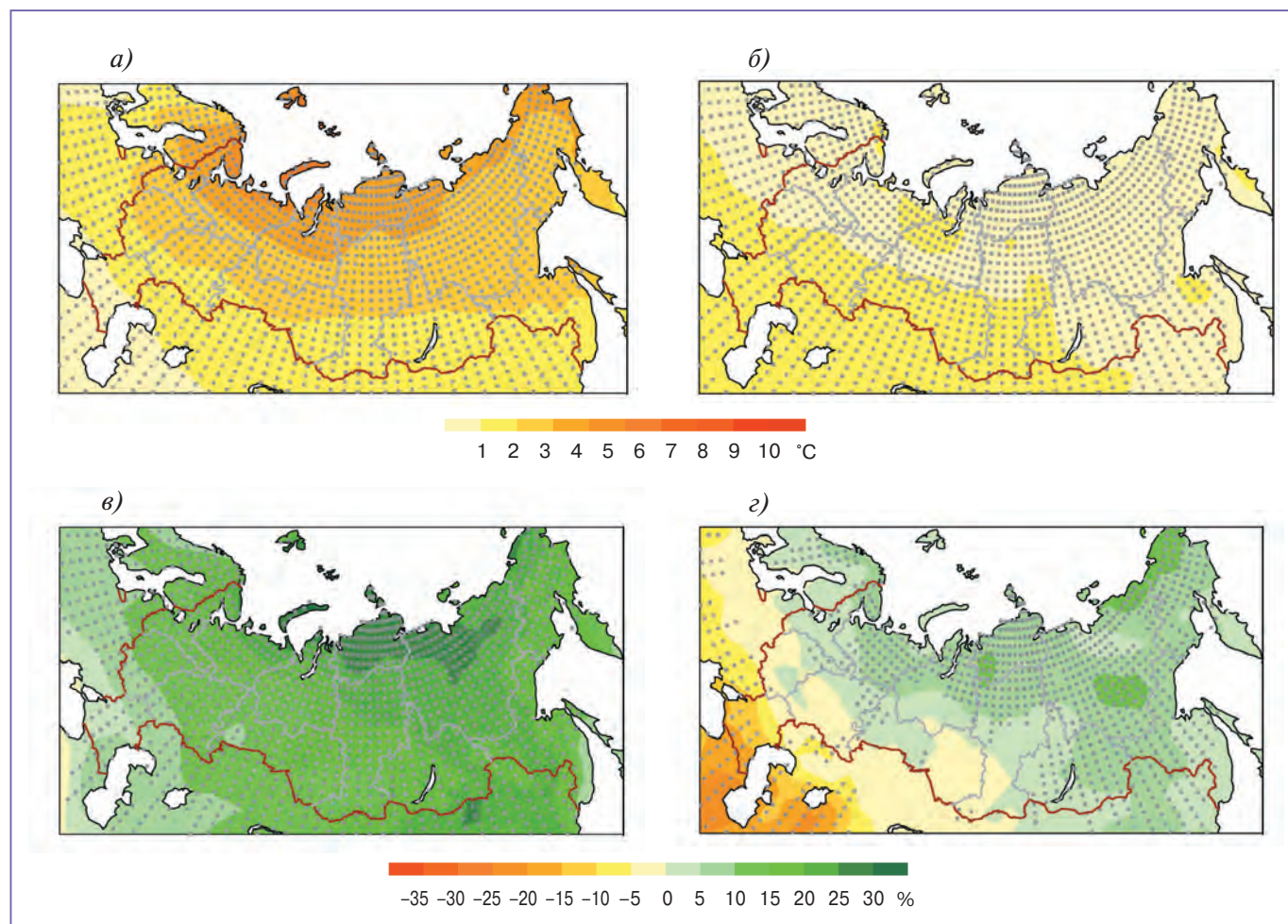
**Температура приземного воздуха.** Повышение среднегодовой температуры на территории России ожидается значительно большим, чем на всем земном шаре. К 2020 г. ее увеличение превысит межмодельный разброс ( $1,1 \pm 0,5$ )°C, а в середине века (2041–2060 гг.) повышение будет еще бóльшим ( $2,6 \pm 0,7$ )°C, особенно зимой ( $3,4 \pm 0,8$ )°C (рис. ОР7а, б).

К середине века произойдет повышение наиболее низких в году суточных минимумов температуры на 4–6°C. Увеличение суточных максимумов температуры не превысит 3°C. Таким образом, уменьшится годовая разность между самой высокой и самой низкой суточной температурой в году на всей территории России и, особенно, на ЕТР. В Сибири и на Дальнем Востоке сократится число дней с морозом на 10–15, а на ЕТР — на 15–30 (ОД, т. I, гл. 7).

**Атмосферные осадки.** Зимой ожидается увеличение осадков на всей территории России, а летом знак изменения осадков зависит от региона (рис. ОР7в, г).

К середине века годовая сумма осадков уменьшится на юге ЕТР и на юге Сибири. Существенное увеличение количества осадков ожидается в Восточной Сибири при их более редкой повторяемости. При этом летом следует ожидать увеличения осадков большой интенсивности практически на всей территории России, особенно в южных регионах России (ОД, т. I, гл. 7).

**Годовой сток рек.** Ожидается дальнейшее увеличение водных ресурсов в регионах, где уже существует достаточное или избыточное увлажнение, и их уменьшение в регионах, где водообеспеченность является предельной или недостаточной в настоящее время (рис. ОР8). Наибольшее увеличение стока ожидается на водосборах северных и сибирских рек. Лишь на водосборах южных рек (Днепр, Дон) сток будет уменьшаться вследствие уменьшения годовых сумм осадков и увеличения испарения весной и летом. К середине века изменения годового стока превысят меж-



**Рис. ОР7.** Изменения температуры приземного воздуха (а, б) и суммарных (твердых и жидких) осадков в процентах по отношению к их значениям в соответствующее время года за период 1980–1999 гг. (в, г) на территории России и сопредельных регионов зимой (а, в) и летом (б, г) к середине XXI века (2041–2060 гг.), рассчитанные по ансамблю из 16 МОЦАО СМIP3 для сценария А2. На рисунках а, б точками обозначены области, в которых средние изменения температуры воздуха по ансамблю превышают стандартные отклонения межмодельного разброса (т. е. сигнал больше шума), на рисунках в, г — области, в которых более двух третей моделей показывают изменения одного знака (ОД, т. I, рис. 7.7 и 7.14).

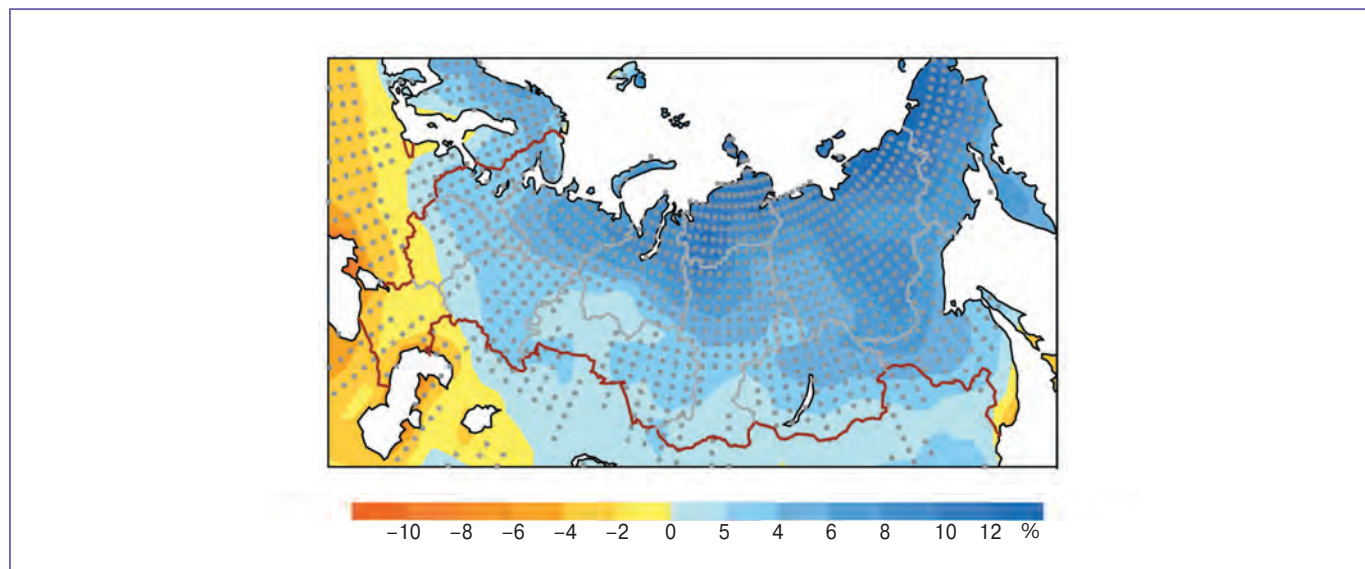
модельный разброс на водосборах Лены, Енисея, северных и некоторых других рек. Лишь на водосборах Волги и Урала изменения стока будут незначимы до конца века (ОД, т. I, гл. 7).

**Снежный покров суши.** При потеплении климата ожидается сокращение площади снежного покрова на значительной части территории страны. Увеличение сумм осадков зимой на ЕТР будет происходить в основном вследствие увеличения жидкой фазы, в то время как в Западной и Восточной Сибири основную долю осадков составит твердая фаза. В результате на ЕТР следует ожидать сокращения массы снега зимой и увеличения зимнего стока, а в Западной и Восточной

Сибири, наоборот, накопления массы снега зимой и его интенсивного таяния весной (ОД, т. I, гл. 7).

**Морской лед в полярном бассейне.** Значительное сокращение площади ледяного покрова будет неуклонно происходить в течение всего XXI века. Максимальная площадь морского льда (в марте) будет сокращаться в течение XXI века на 2% за десятилетие, а минимальная (в сентябре) — на 7% за десятилетие по отношению к площади льда за базовый период (1910–1959 гг.) при более быстром уменьшении площади многолетнего морского льда в Арктике по сравнению с площадью сезонного льда (ОД, т. I, гл. 7).





**Рис. ОР8.** Изменения среднего за год стока (%) в середине XXI века (2041–2060 гг.), рассчитанные по ансамблю из 16 МОЦАО СМIP3 для сценария А2. Точками обозначены области, в которых более двух третей моделей показывают изменения одного знака (ОД, т. I, рис. 7.16б).

### Природные экосистемы суши

В условиях меняющегося климата в XX веке в ряде регионов произошли заметные сдвиги сроков фенологических событий у растений, в том числе разворачивания листьев (рис. ОР9), и животных (например, прилета птиц) и границ растительных зон в пространстве, а также изменения структуры экосистем (ОД, т. II, гл. 2.6).

При дальнейшем потеплении в XXI веке эти тенденции сохранятся. Границы растительных зон будут, как правило, сдвигаться к северу. При этом на ЕТР лесная зона будет расширяться как к северу, так и, возможно, при гумидном потеплении (т. е. при потеплении, сопровождающемся увеличением увлажнения) к югу, а в Сибири площадь лесов может сократиться при одновременном увеличении флористического разнообразия. Потенциально изменения могут приводить к рассогласованию межвидовых взаимодействий в экосистемах, изменению границ растительных зон и высотных поясов растительности в горах, а также изменению структуры экосистем. Заповедники и другие особо охраняемые территории могут частично утратить свое природоохранное значение вследствие таких климатогенных изменений (ОД, т. II, гл. 3.6).

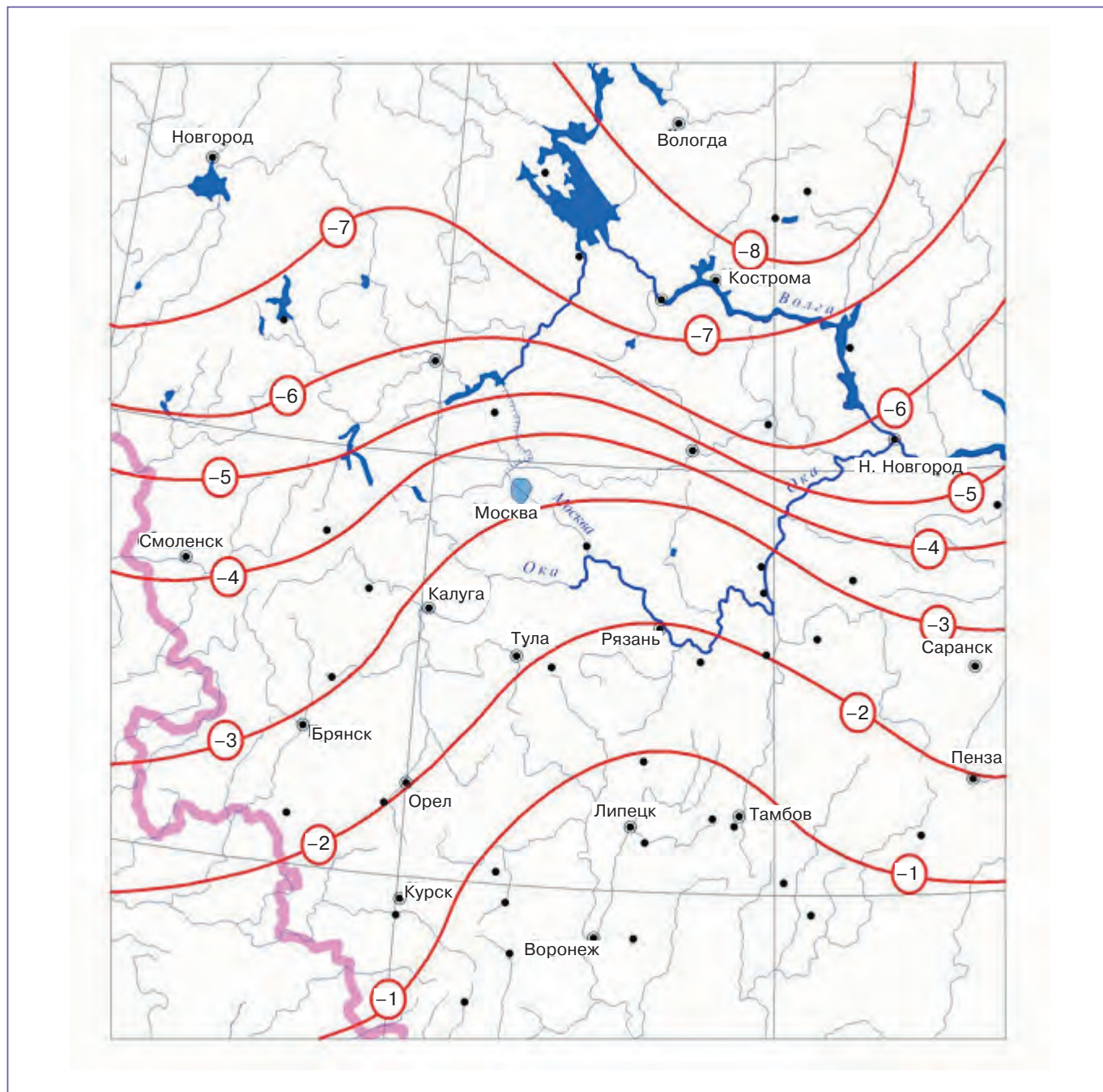
Территориальную форму охраны природы (т. е. с помощью природоохранного режима на выделенных территориях — заповедниках, заказниках и т. д.) целесообразно допол-

нять формами, обеспечивающими сохранение видов и биологических сообществ на меняющейся области их распространения. Развитие и внедрение более широкой концепции охраны природы, основанной на многолетнем мониторинге экосистем в заповедниках и на сопредельных территориях, — один из возможных путей адаптации к изменению климата.

На большей части территории России в последней четверти XX века — начале XXI века изменения климата были таковы, что при неизменных прочих условиях среды первичная продукция экосистем увеличивалась. В то же время в ряде регионов (на разных широтах) фактические значения радиального прироста деревьев во второй половине XX века уменьшились по сравнению с его серединой.

Содержание углерода в почвах в последней четверти XX века — начале XXI века при неизменных прочих условиях среды увеличивалось. В XXI веке при умеренном потеплении преобладающая часть почв России сможет продолжать накапливать углерод при сохранении достаточного уровня увлажненности почв.

Засушливые земли России были подвержены в XX веке преимущественно антропогенному опустыниванию. Они не входят в область климатического опустынивания, а их аридизация (т. е. уменьшение увлажненности) лишь эпизодически подерживается климатическими факторами в годы



**Рис. ОР9.** Изолинии сдвига сроков разворачивания первых листьев у березы бородавчатой на ЕТР за период 1970–2000 гг., сутки. Точками показаны пункты фенологических наблюдений (ОД, т. II, рис. 2.6.2).

опасных засух. При развитии аридного потепления на ЕТР к концу XXI века засушливость климата возрастет в лесостепи, степи и полупустыне. Более сухими станут степи Краснодарского края и Ростовской области. Чрезмерное увеличение хозяйственной нагрузки на аридные земли в условиях меняющегося климата может создать предпосылки для катастрофического локального опустынивания.

Мерой адаптации в связи с опустыниванием может служить рациональное регулирование хозяйственной нагрузки на аридные земли, учитывающее взаимодействие климатических и хозяйственных факторов опустынивания.

## Криосфера суши

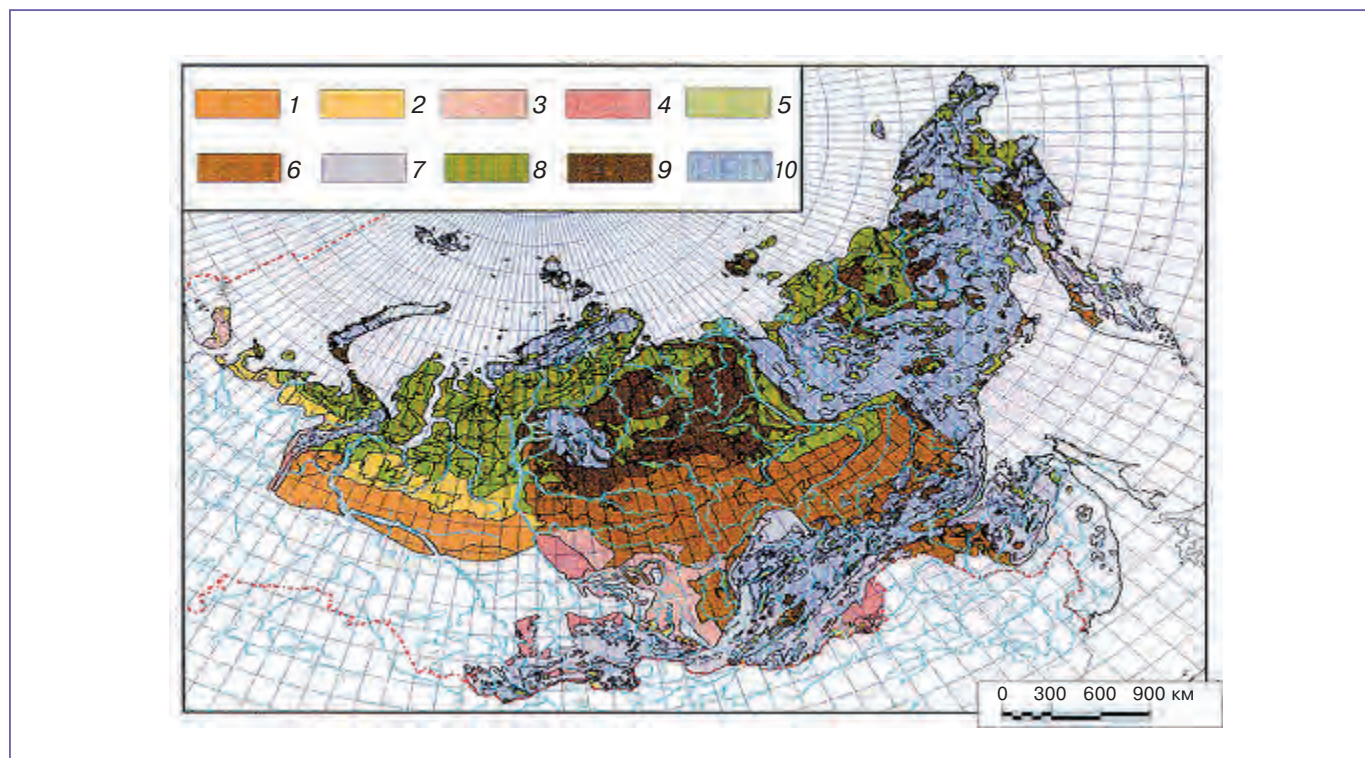
Во второй половине XX века, особенно в его последней четверти, в условиях заметного потепления изменился термический режим многолетней мерзлоты, что сказалось как на границах ее распространения, так и на механических свойствах многолетнемерзлых почвогрунтов. На протяжении XX столетия южная граница многолетней мерзлоты смещалась на 1–2° широты в периоды похолодания 1960–1970-х годов и последующего потепления (ОД, т. II, гл. 2.7).

Деградация многолетней мерзлоты под влиянием потепления климата в XXI веке будет проявляться прежде всего в увеличении мощности сезонно-талого слоя и повышении температуры многолетнемерзлых грунтов. В некоторых районах может произойти отрыв замерзающей части сезонно-талого слоя от глубинных толщ многолетней мерзлоты. Изменение глубины сезонного протаивания, так же как и глубины сезонного промерзания, существенно зависит от типа грунта, толщины снежного покрова и температуры на поверхности (ОД, т. II, гл. 3.7).

К середине XXI века южная граница многолетней мерзлоты сместится к северу: в Западной Сибири — в области интенсивного оттаивания многолетнемерзлых пород — через 20–25 лет на 30–80 км, а к 2050 г. — на 150–200 км (рис. ОР10).

Эти изменения многолетней мерзлоты, занимающей более 60% территории России, оказывают заметное влияние на состояние экосистем, расположенных на многолетней мерзлоте, приводят к уменьшению несущей способности почвогрунтов, а также усиливают поступление метана с земной поверхности в атмосферу. Однако ожидаемая в XXI веке дополнительная эмиссия метана из болот, расположенных в России в зоне многолетней мерзлоты, не приведет к заметному воздействию на глобальный климат.

На территории России во второй половине XX века, в особенности в его конце, деградация оледенения арктических островов и горного оледенения стала доминирующей тенденцией. В горах это наблюдалось в отношении ледников Кавказа, Урала, Алтая, северо-востока Сибири и Камчатки. В XXI веке в условиях продолжающегося потепления климата эта тенденция сохранится.



**Рис. ОР10.** Возможные изменения многолетней мерзлоты на территории России к 2020 и 2050 гг. вследствие изменения климата. 1 — повсеместное оттаивание к 2020 г. на равнинах; 2, 3, 4 — повсеместное оттаивание к 2050 г. на равнинах, плоскогорьях и в горах соответственно; 5, 6, 7 — частичное оттаивание к 2050 г. на равнинах, плоскогорьях и в горах соответственно; 8, 9, 10 — относительно стабильное состояние на равнинах, плоскогорьях и в горах. Границами внутри цветных контуров показаны территории с разными проявлениями мерзлотных процессов при потеплении климата (ОД, т. II, рис. 3.7.1).

### Моря

**Северные моря (Балтийское море, арктические моря, Берингово море).** Распространение льдов в арктических морях евразийского шельфа оказывает прямое влияние на морскую хозяйственную деятельность. В связи с потеплением в XX веке в целом площадь льдов уменьшилась. Смещение границы льдов к северу не было, однако, повсеместным. Например, в восточном секторе Арктики граница многолетних льдов сместилась в последнее двадцатилетие XX века к югу в среднем на 300 км по сравнению с предшествующим двадцатилетием (ОД, т. II, гл. 2.8).

В условиях потепления в 2001–2005 гг. существенно улучшились ледовые условия плавания по Северному морскому пути в конце теплого сезона — в августе и сентябре — по высокоширотным трассам к северу от арктических архипелагов Земля Франца-Иосифа, Северная Земля, Новосибирские острова. Однако более частое появление айсбергов увеличивает риск для морских перевозок и рыбного промысла. Произошедшие изменения климата оказали негативное влияние на берега северных морей (активизация эрозионных процессов) и прибрежную инфраструктуру.

Экосистемы северных морей в условиях меняющегося климата в XX веке претерпели заметные изменения. Они касались микробиологических показателей, фитопланктона, зоопланктона, зообентоса, ихтиофауны, а также популяций морских птиц и млекопитающих. В конце XX века в связи с сокращением площади морских льдов значительно ухудшились условия обитания белого медведя.

При дальнейшем потеплении в XXI веке общей тенденцией будет уменьшение ледовитости северных морей, хотя будут наблюдаться отдельные периоды ее увеличения и сокращения в региональном масштабе. В периоды потепления возможны увеличение числа айсбергов, деградация припайных льдов и эрозия береговой линии. В ряде регионов в условиях плавания по Северному морскому пути будут наблюдаться циклические изменения, связанные с периодами уменьшения и увеличения ледовитости. Так, до 2015 г. сохранится вероятность формирования сложных и очень сложных ледовых условий в проливах Вилькицкого и Шокальского, а также в проливах Дмитрия Лаптева, Санникова и Лонга. В 2020–2030-х годах возможно увеличение ледовитости на Баренцевом и Карском морях.

В XXI веке в условиях меняющегося климата ожидаются дальнейшие сдвиги ареалов многих морских видов к северу и изменение биологического разнообразия и численности популяций. Изменения климата окажут существенное влияние на условия рыбного промысла на северных морях (ОД, т. II, гл. 3.8).

При среднесрочном и долгосрочном планировании морской хозяйственной деятельности в Арктике целесообразно учитывать характер ожидаемых изменений при проектировании судов, планировании объемов ледокольной проводки, а также при строительстве береговой инфраструктуры. В связи с циклическим характером изменений условий ледовитости (при ее ожидаемом уменьшении в целом в XXI веке) важное значение имеет поддержание эффективности ледокольного флота.

Рациональное планирование рыбного промысла, включая проектирование рыболовного флота и районирование рыболовства, — возможные меры адаптации отрасли к изменению климата северных морей.

**Южные моря (Черное, Азовское, Каспийское).** На южных морях в конце XX — начале XXI века существенно менялись их основные физические и химические климатообусловленные параметры (термический режим, уровень, соленость), а также концентрация хлорофилла (ОД, т. II, гл. 2.9).

Повышение уровня Черного моря прослеживается с начала 1920-х годов. С середины 1980-х оно стало существенно более интенсивным (около 2 см в год). В целом в конце XX — начале XXI века средняя годовая температура поверхности Черного моря повысилась. Однонаправленных изменений солености в поверхностном слое и концентрации хлорофилла в этот период времени не выявлено. Наряду с изменениями температуры на концентрацию хлорофилла оказывали значительное влияние вариации стока Дуная. В XX веке наблюдалась долговременная тенденция к увеличению стока Дуная.

Уровень Азовского моря стал интенсивно увеличиваться (аналогично с уровнем Черного моря) с начала 1990-х годов. Температура поверхности моря с 1920-х годов до начала 1980-х в среднем медленно повышалась, а затем ее увеличение стало в несколько раз более интенсивным. В XX веке наблюдались периоды существенного повышения солености моря вследствие зарегулирования стока рек и климатических причин. Однако с начала 1990-х годов региональные проявления климатических изменений привели к уменьшению солености Азовского моря до величин, наблюдавшихся до зарегулирования стока рек бассейна моря. С конца 1970-х годов сток в бассейне Азовского моря имеет долговременную тенденцию к увеличению.

В XX веке до 1970 г. температура поверхности Каспия медленно повышалась, а в конце века скорость ее повышения увеличилась в 5–10 раз. Значи-

тельные многолетние изменения солености наблюдались в основном в мелководном Северном Каспии, где они обусловлены, главным образом, изменениями стока Волги. В конце XX — начале XXI века наблюдались колебания концентрации хлорофилла. Долговременных тенденций не выявлено.

Уровень Каспия претерпевал значительные колебания в XX веке, примерно от  $-29$  до  $-25,7$  м в Балтийской системе высот (БС) (рис. ОР11). Его сильное понижение к 1977 г. и существенное повышение к 1995 г. привели к заметному экологическому и экономическому ущербу.

Согласно существующим среднесрочным оценкам, к 2015 г. уровень Каспия не превзойдет  $-26$  м БС. Оценки изменения уровня Каспийского моря на долгосрочную перспективу — до конца XXI века — неопределенны (некоторые исследования предсказывают его повышение, другие — понижение). Основной источник неопределенности — различия в модельных описаниях процессов испарения (ОД, т. II, гл. 3.9).

Повышение уровня Каспия выше отметки  $-26$  м БС может оказать существенное негативное влияние на населенные пункты и хозяйственные объекты, привести к негативным изменениям ландшафта в прибрежной полосе шириной до 30 км.

Фактор риска затопления прибрежной полосы Каспия целесообразно учитывать при разработке перспективных планов развития прибрежных регионов России — Астраханской области, Республики Дагестан, Республики Калмыкия. Эти планы должны включать специальные меры адаптации инфраструктуры населенных пунктов, хозяйственных объектов и коммуникаций к этому фактору.

### Технические системы

**Состояние зданий и сооружений.** В конце XX века обозначилась тенденция к увеличению снеговых нагрузок на здания и технические сооружения. Ветровые и гололедно-ветровые нагрузки в среднем уменьшились. На ЕТР и Дальнем Востоке (Приморье) негативная роль заморозков и оттепелей при эксплуатации зданий увеличилась. В некоторых районах Сибири в условиях многолетней мерзлоты вследствие изменения несущей способности почвогрунтов из-за потепления и увеличения глубины сезонного протаивания ухудшились прочностные характеристики фундаментов зданий и технических сооружений. Этому способствует также усиление карстовых процессов (ОД, т. II, гл. 2.2).

Из-за прогнозируемого к 2015 г. увеличения зимнего и летнего стока рек в Центральном, Приволжском федеральных округах, в юго-западной части Северо-Западного федерального округа и в других регионах в условиях уменьшения глубины и сокращения периода промерзания почвогрунтов уровни грунтовых вод будут повышаться. Для равнинных территорий России, характеризующихся избыточным увлажнением, неглубоким залеганием грунтовых вод и слабой дренирующей способностью, это может привести к подтоплению обширных районов, к деформации и ослаблению фундаментов разных зданий и сооружений.

Особенно могут пострадать от этого ценнейшие исторические центры городов, памятники и архитектурные ансамбли в Архангельской, Вологодской и Ленинградской областях, объекты Золотого кольца России в Костромской и Нижегородской областях, в других регионах Северо-Западного и Центрального федеральных округов. Эти

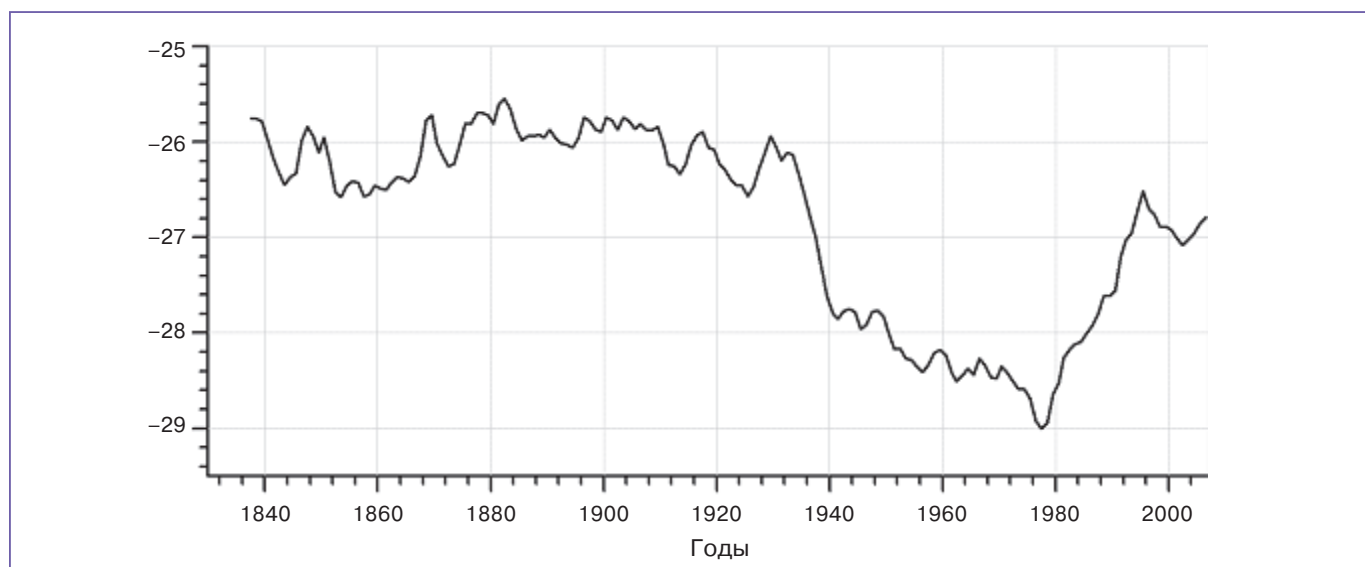


Рис. ОР11. Многолетний ход уровня Каспийского моря (м БС) с 1837 по 2006 г. (ОД, т. II, рис. 2.9.14).

процессы происходят уже в настоящее время, и в условиях изменения климата следует ожидать их интенсификации в ближайшей перспективе.

Увеличение как количества осадков (особенно жидких и смешанных), так и частоты обильных осадков на значительной части территории России привело к ухудшению условий эксплуатации автомобильных и железных дорог, создало опасность размыва некоторых их участков. Условия автомобильных перевозок по зимникам и замерзшим рекам ухудшились вследствие потепления в Сибирском и Дальневосточном федеральных округах (особенно в Республике Саха (Якутия) и Магаданской области).

В условиях дальнейшего потепления в течение всего XXI века эти тенденции сохранятся. Особенно существенным негативное влияние потепления климата на несущую способность почвогрунтов в зоне многолетней мерзлоты будет на Чукотке, в бассейнах верхнего течения Индигирки и Колымы, в юго-восточной части Якутии, на значительной части Западно-Сибирской равнины, на побережье Карского моря, на Новой Земле, а также на островной мерзлоте на севере ЕТР. Усиление процесса размыва русел в условиях меняющегося климата повысит риск аварийных ситуаций на подводных участках трубопроводов (ОД, т. II, гл. 3.2).

Учет изменяющихся климатических условий при проектировании зданий, технических сооружений, коммуникаций и транспортных средств, а также при разработке правил их эксплуатации может увеличить потенциал адаптации хозяйственной сферы к изменению климата.

Для предотвращения возможных аварий на трубопроводном транспорте необходимо пересмотреть в сторону уменьшения расчетные сроки эксплуатации подводных переходов трубопроводов и организовать эффективную систему мониторинга состояния трубопроводов.

С целью предотвращения подтопления, деформации и ослабления фундаментов, вызванных повышением уровня грунтовых вод, необходимо организовать исследование исторических памятников старины, других важных зданий и сооружений, разработать и осуществить меры по их защите, включая мероприятия по управлению водным режимом подтапливаемых территорий.

**Отопительный период.** В условиях потепления на большей части территории России в последние три десятилетия сократилась продолжительность

отопительного периода и потребность в топливе для нужд обогрева помещений. К 2015 г. продолжительность отопительного периода в среднем по России относительно 2000 г. сократится на 3–4 суток. Наибольшее сокращение отопительного периода до 5 суток ожидается на юге Приморского края, Сахалинской и Камчатской областей.

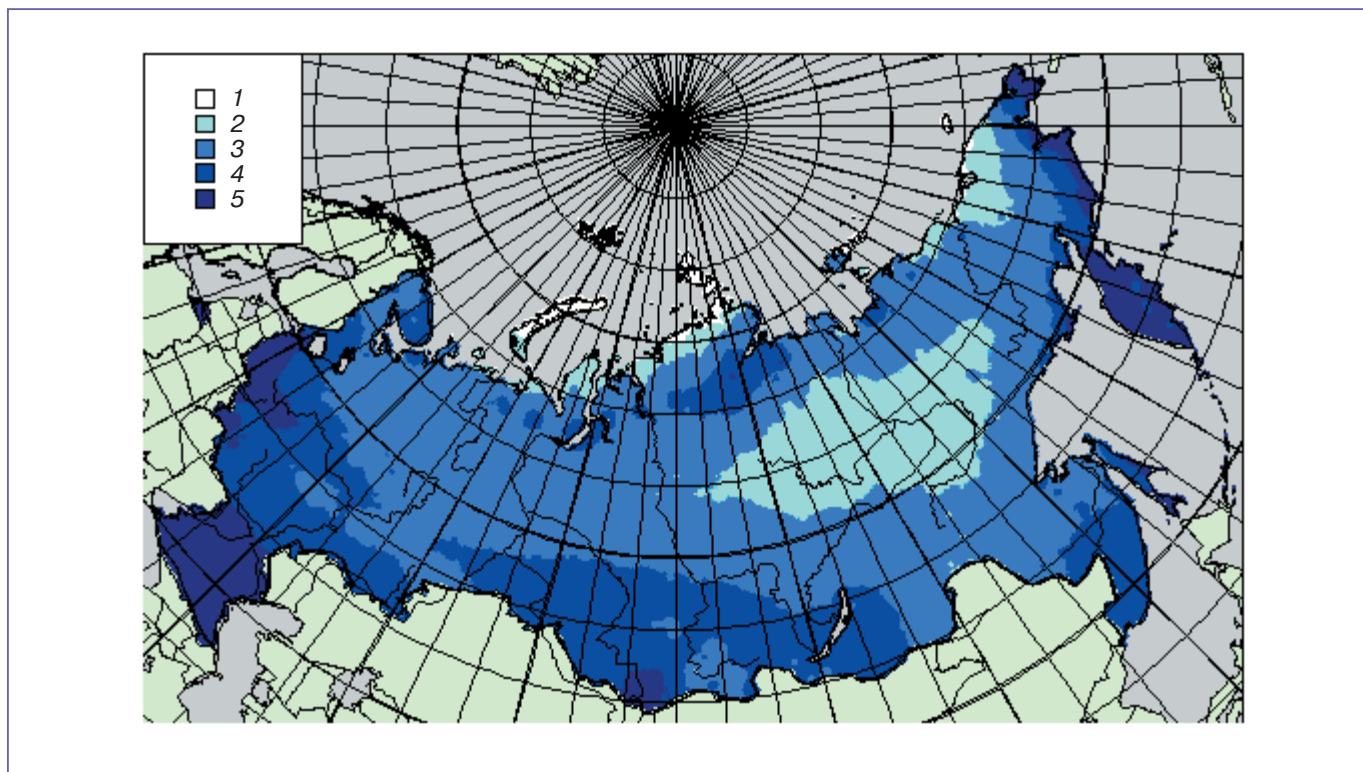
По сравнению с уровнем 1961–1990 гг. на большей части территории России расчетная продолжительность отопительного периода в XXI веке сократится — до 5% к 2025 г. и на 5–10% к 2050 году (рис. ОР12). Особенно это будет выражено на Дальнем Востоке. Потребность в энергии для нужд обогрева помещений сократится соответственно. При этом затраты на охлаждение помещений с помощью кондиционеров, в том числе на промышленных предприятиях, увеличатся (ОД, т. II, гл. 3.2).

Несмотря на сокращение средней продолжительности отопительного периода, при выработке стратегических решений необходимо принимать во внимание естественную изменчивость, проявляющуюся в том, что в отдельные годы в отдельных субъектах Российской Федерации реальная продолжительность отопительного периода может превысить установленные в настоящее время региональные средние значения. Здесь может сказаться и тенденция к увеличению изменчивости климата, которая проявится в отклонениях реальных потребностей в отоплении от средних значений.

### Водные ресурсы

Важнейшим индикатором водных ресурсов является годовой сток рек, который в естественных условиях зависит в основном от осадков на водосборах рек и испарения. Увеличение годовых сумм осадков (в 1978–2005 гг. по отношению к 1946–1978 гг. они увеличились практически повсеместно) и уменьшение испарения на большей части территории России обусловили заметное увеличение речного стока к концу XX века. Суммарный годовой сток шести крупнейших рек Евразии, впадающих в Северный Ледовитый океан (Енисей, Обь, Лена, Колыма, Северная Двина, Печора), с 1936 по 2005 г. увеличился. Сток увеличился практически на всех реках России, кроме бассейна Дона и верховьев Оби. Вследствие этих процессов в конце XX века водные ресурсы России в целом увеличились (ОД, т. II, гл. 2.4).

В следующие 30 лет возобновляемые водные ресурсы могут увеличиться в целом по стране на 8–10%, а их распределение по сезонам будет более равномерным. Однако в ряде густонаселенных регионов, в которых водные ресурсы и в современ-



**Рис. ОР12.** Изменение продолжительности отопительного периода (%) на территории России к 2025 г. относительно среднего за 1961–1990 г. (ОД, т. II, рис. 3.2.3). 1) 0...–1,9; 2) –2...–3,9; 3) –4...–5,9; 4) –6...–7,9; 5) –8...–10.

ных условиях довольно ограничены, они уменьшатся на 5–15%, а также увеличатся нагрузки на них на 5–25%. Это ожидается на территориях черноземных областей Центрального федерального округа и в Южном федеральном округе, а также в юго-западной части Сибирского федерального округа. Изменится приток воды в водохранилища и его сезонное распределение.

Прогнозируемое изменение стока рек скажется на притоке воды к крупным водохранилищам. Прогнозируется увеличение на 5–10% среднегодового притока к водохранилищам Волжско-Камского каскада, Северо-Западного федерального округа; в пределах от 0 до 15% изменится приток к Ангаро-Енисейским водохранилищам, а также к водохранилищам на реках Вилюй, Колыма, Зeya. Вместе с тем следует ожидать уменьшения среднегодового притока в пределах от 5 до 15% к Цимлянскому, Краснодарскому и Новосибирскому водохранилищам. Изменение стока рек вследствие ожидаемых изменений климата имеет важное значение для гидроэнергетики.

В условиях продолжающегося потепления в XXI веке на Большом Кавказе и его северном склоне ожидается уменьшение ледникового стока, хотя тренды общего речного стока в этих регионах будут положительны (ОД, т. II, гл. 3.4).

В регионах, где ожидается уменьшение водных ресурсов, целесообразны меры адаптации в направлении поиска и внедрения альтернативных и дополнительных источников водных ресурсов на хозяйственные нужды (в том числе на ирригацию и производство электроэнергии), а также оптимизация регионального водопользования.

Прогнозируемые изменения притока воды к водохранилищам потребуют пересмотра режима их работы с учетом интересов основных потребителей, прежде всего гидроэнергетики, и охраны окружающей среды.

#### Сельское хозяйство

В период 1975–2004 гг. изменения теплообеспеченности и термических условий зимовки сельскохозяйственных растений, увлажненности сельскохозяйственных земель и континентальности климата были позитивными для сельскохозяйственного производства в регионах России, обеспечивающих производство около 85% товарного зерна. Это, несмотря на неблагоприятные для сельского хозяйства во вторую половину рассматриваемого

периода социально-экономические обстоятельства, обусловило положительный тренд урожайности зерновых и зернобобовых культур в 70% субъектов Российской Федерации.

В конце XX века наблюдалась, в особенности на юге ЕТР и Западной Сибири, активизация ряда насекомых — вредителей сельскохозяйственных растений, жизненный цикл которых существенно зависит от климата, в том числе саранчовых и колорадского жука. Увеличение их численности и расширение ареалов были сопряжены со значительной потерей урожая. При дальнейшем потеплении в России может возрасти неблагоприятное воздействие насекомых — вредителей сельскохозяйственных культур — на валовые сборы продукции растениеводства. В том числе создадутся предпосылки для дальнейшего распространения саранчовых в Ставропольском крае, Калмыкии, Волгоградской, Астраханской, Саратовской и Ростовской областях, а также для их укоренения в ряде регионов Сибири (ОД, т. II, гл. 3.2).

Реакция урожайности сельскохозяйственных растений на дальнейшее потепление будет зависеть от характера изменения увлажнения:

— при уменьшении увлажнения на ЕТР урожайность зерновых и кормовых культур будет практически везде уменьшаться, кроме севера и северо-запада;

— при увеличении увлажнения урожайность в среднем по России будет расти, по крайней мере до середины XXI века. В дальнейшем урожайность зерновых в Черноземной зоне будет ниже современной уровня на 10–13%, а в Нечерноземной зоне превысит современную на 11–29%. На юге Сибири при сохранении современного уровня агротехники и географического распределения посевов урожайность зерновых культур может снизиться на 20–25%.

При дальнейшем потеплении существенно увеличится общая площадь земледельческой зоны России, появятся возможности для расширения посевов теплолюбивых сельскохозяйственных культур. Так, граница выращивания среднеспелых сортов кукурузы на зерно и позднеспелых сортов подсолнечника продвинется к северу до линии Москва — Владимир — Йошкар-Ола — Челябинск. Окажется возможным расширение посевов сахарной свеклы до линии Иваново — Ижевск — Курган. Создадутся условия для развития субтропического земледелия в некоторых южных регионах.

Для использования благоприятных изменений климата в зоне достаточного увлажнения целесообразно внедрять следующие меры адаптации растениеводства, направленные на использование дополнительных тепловых ресурсов:

— расширение посевов более позднеспелых и более урожайных видов (сортов) зер-

новых колосовых культур, кукурузы, подсолнечника, позднеспелых сортов картофеля, рапса;

- увеличение применения таких удобрений и средств химизации, которые более эффективны в условиях более теплого и влажного климата;
- расширение свеклосеяния, повышение доли более теплолюбивых видов кормовых культур — сои, люцерны и др.

В зоне недостаточного увлажнения адаптационные меры должны быть направлены в том числе на экономное расходование водных ресурсов путем:

- более широкого внедрения влагосберегающих технологий (снегозадержание, уменьшение непродуктивного испарения и т. д.);
- расширения посевов более засухоустойчивых культур, прежде всего кукурузы, а также подсолнечника, проса и др.;
- расширения посевов озимых культур — пшеницы в степных районах Поволжья и Урала, ячменя на Северном Кавказе;
- расширения орошаемого земледелия, которое следует рассматривать как необходимое условие для наиболее полного использования в растениеводстве дополнительных тепловых ресурсов.

### Здоровье населения

Изменения климата влияют на состояние здоровья людей, в том числе на распространение ряда заболеваний. В городах России, где были проведены специальные исследования (в том числе в Москве и Твери), наблюдалось негативное воздействие волн тепла (продолжительных периодов экстремально высокой температуры) на уровень заболеваемости и смертности в отдельных группах населения. В последнее десятилетие повторяемость и выраженность волн тепла увеличились (ОД, т. II, гл. 2.5).

В XXI веке в условиях, когда волны тепла будут наблюдаться чаще, а максимальные значения температуры будут увеличиваться, ситуация для групп риска ухудшится. Сочетание волн тепла с повышенным загрязнением атмосферного воздуха при неблагоприятных метеорологических условиях может усилить негативное воздействие. Возможно ухудшение ситуации и с качеством воды в некоторых регионах, в том числе в Калмыкии, Дагестане, Карачаево-Черкесии (ОД, т. II, гл. 3.5).

Изменение климата может приводить к изменению условий распространения определенных инфекционных и паразитарных болезней человека и жи-



вотных. Среди них клещевой энцефалит, иксодовый клещевой боррелиоз, геморрагическая лихорадка с почечным синдромом, крымская геморрагическая лихорадка, лихорадка Западного Нила, малярия. В последние три десятилетия XX века, в особенности в конце века, заболеваемость этими болезнями увеличилась, ареалы некоторых из них расширились.

Ожидается, что в условиях дальнейшего потепления в течение всего XXI века эти тенденции сохранятся, а для некоторых заболеваний усилятся.

Возможно возникновение проблем, связанных с воздействием меняющегося климата на здоровье и традиционный уклад жизни населения в Арктике, в том числе из-за изменения ареалов обитания некоторых биологических видов, добыча которых является чрезвычайно важной для местного населения (ОД, т. II, гл. 3.5).

Развитие технических средств и систем кондиционирования жилых и рабочих помещений, рост их доступности для населения, мониторинг неблагоприятных метеорологических условий, а также профилактика в отношении групп риска могут служить мерами адаптации к волнам тепла.

Постоянный мониторинг заболеваемости инфекционными и паразитарными болезнями, а также ареалов и численности переносчиков трансмиссивных болезней будет способствовать эффективной адаптации к потенциальному увеличению распространения этих болезней в условиях потепления.

#### Последствия экстремальных метеорологических явлений

В России отмечаются более 30 видов опасных гидрометеорологических явлений (ОЯ). Их общее число за год в конце XX — начале XXI века в среднем увеличилось. Из них 52% наблюдались на ЕТР и 48% на АТР. Наиболее подвержены возникновениям разных ОЯ Северо-Кавказский и Волго-Вятский экономические районы, Сахалинская, Кемеровская, Ульяновская, Пензенская, Ивановская, Липецкая, Белгородская, Калининградская области и Республика Татарстан (ОД, т. II, гл. 2.10).

По оценкам Всемирной метеорологической организации, Международного банка реконструкции и развития и других международных организаций, в настоящее время отмечается устойчивая тенденция увеличения материальных потерь и уязвимости общества из-за усиливающегося воздействия опасных природных явлений. За период 1991–2005 гг. в России в среднем ежегодное увеличение числа ОЯ составляет 6,3%. Эта тенденция сохранится и в дальнейшем.

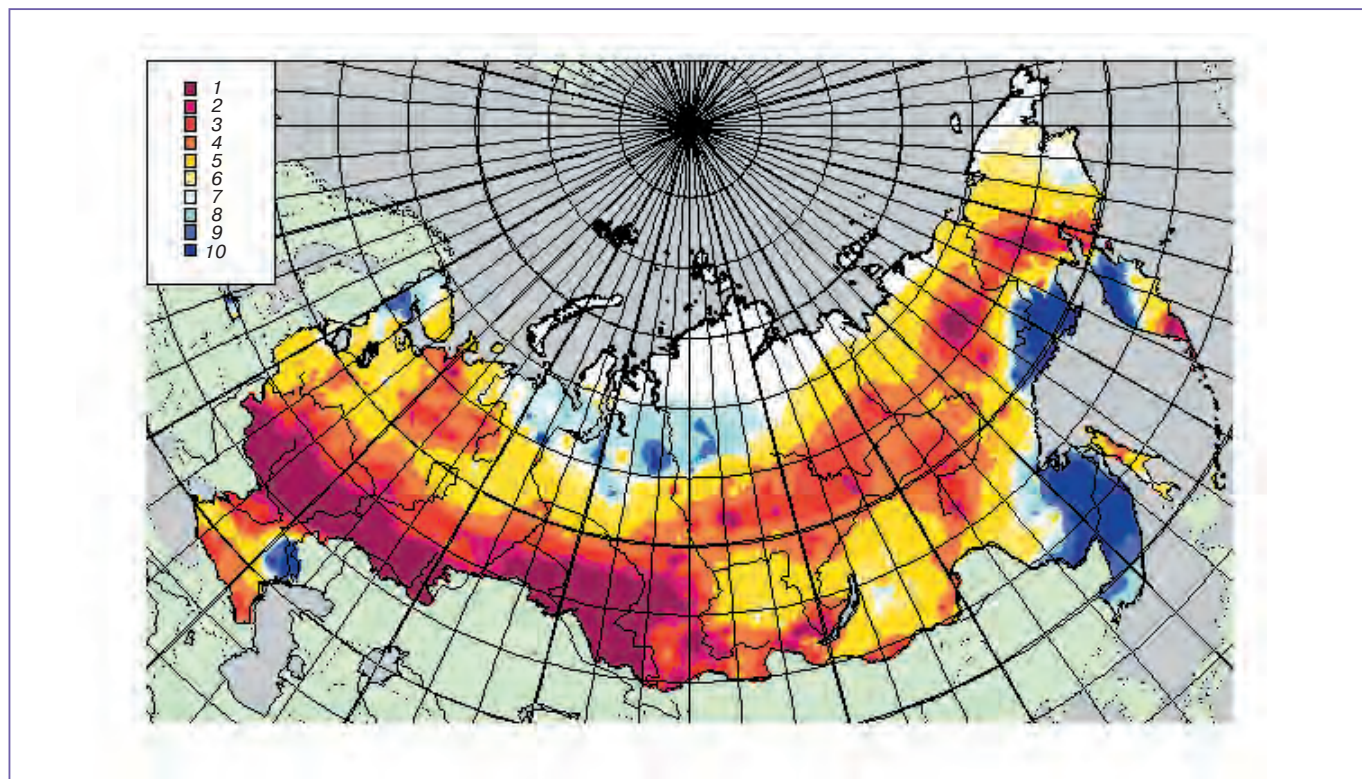
**Засухи.** В последнее тридцатилетие XX — начала XXI века обширные общие засухи (атмосферная и почвенная одновременно) на территории России отмечались в 1972, 1975, 1979, 1981, 1995, 1998 и 2002 гг. Засухи 1975 и 1981 гг. охватили все зернопроизводящие районы страны и не имели аналогов с 1891 г. Недобор валового сбора зерна в целом по стране составил около 23% среднего сбора. Однако в долговременном плане — за XX век — определенной тенденции в изменении влагообеспеченности территорий не обнаружено.

Перспективные оценки региональных изменений климата в рамках некоторых сценариев указывают на возможность уменьшения в XXI веке в весенне-летний период влагосодержания почв и формирования более засушливых условий практически на всей ЕТР. При условии существенного повышения температуры воздуха, уменьшения количества осадков, увеличения повторяемости экстремально высокой температуры и экстремально малого количества осадков, в частности, на водосборах Дона и Днепра увеличится повторяемость почвенной засухи в южных регионах России (ОД, т. II, гл. 3.10).

**Лесные пожары.** Возникновению причиняющих значительный ущерб лесных пожаров способствует установившаяся на длительное время сухая и жаркая погода. Однако первопричина около 70% лесных пожаров — нарушение людьми правил пожарной безопасности в лесу. Прямые потери от лесных пожаров (стоимость сгоревших и поврежденных древостоев, лесной продукции и др.) в 2004 г. составили почти 20 млрд. руб. Число учетных лесных пожаров в России в конце XX — начале XXI века увеличилось. Число суток в году с пожароопасностью “высокой и больше” заметно увеличилось, особенно в центре ЕТР, на юге Западной Сибири и Дальнего Востока.

К 2015 г. увеличение числа дней с пожароопасной обстановкой составит до 5 суток за сезон для большей части территории страны. При этом произойдет как увеличение числа суток с пожароопасной обстановкой высокой интенсивности, так и пожароопасной обстановкой средней интенсивности. Наибольшее увеличение продолжительности пожароопасной обстановки (более чем на 7 суток за сезон) ожидается на юге Ханты-Мансийского АО, в Курганской, Омской, Новосибирской, Кемеровской и Томской областях, в Красноярском и Алтайском краях, Республике Саха (Якутия).

На преобладающей части территории России, покрытой лесами, к 2025 г. ожидается увеличение числа суток в году с потенциальной горимостью леса “высокой и больше” на 20–60% на юге ЕТР и юге Западной Сибири, в средних широтах Восточной Сибири и Дальнего Востока (рис. ОР13).



**Рис. ОР13.** Изменение (%) числа суток в году со значениями индекса горимости “высокими и больше” к 2025 г. относительно нормы 1961–1990 гг. 1) 60–50; 2) 50–40; 3) 40–30; 4) 30–20; 5) 20–12; 6) 12–1; 7) 0; 8) –1...–10; 9) –10...–20; 10) –20...–30 (ОД, т. II, рис. 3.10.1).

Уменьшение числа пожароопасных суток ожидается в Приамурье, в районе Магадана и на востоке Камчатки (ОД, т. II, гл. 3.10).

Дистанционный (самолетный, спутниковый) оперативный мониторинг состояния леса, внедрение более совершенных технических средств тушения лесных пожаров, а также укрепление соответствующих оперативных служб — возможности эффективной адаптации к лесным пожарам.

Разработка и реализация программ, стимулирующих население к соблюдению мер противопожарной безопасности при посещении леса, усиление природоохранных разделов в программах обучения в средних и высших учебных заведениях — важные элементы адаптации, снижающие риск возникновения лесных пожаров.

**Наводнения.** Во многих экономических районах России в начале XXI века повторяемость катастрофических наводнений, обусловленных высокими паводками и половодьями, увеличилась на 15% по сравнению с последним десятилетием XX века,

в особенности на горных реках Северного Кавказа, в Восточной Сибири и на юге Дальнего Востока. Произошло увеличение повторяемости нагонных наводнений на р. Нева в Санкт-Петербурге.

При сохранении современных тенденций изменения климата в XXI веке следует ожидать увеличения числа наводнений на реках значительной части территории России. В связи с прогнозируемым увеличением осадков увеличится вероятность наводнений при дождевых паводках на малых и средних реках европейской части России, особенно на Северном Кавказе, а также на Дальнем Востоке. Риск опасных наводнений во время весенних половодий к 2015 году возрастет в районах, где максимальные расходы воды весной в реках сопровождаются формированием заторов льда (Архангельская область, Республика Коми, Уральский регион, Восточная Сибирь, северо-восток азиатской части России). Увеличится вероятность нагонных наводнений в устьях больших рек, впадающих в Азовское и Балтийское моря (ОД, т. II, гл. 3.10).

Для снижения ущерба от наводнений и защиты населения необходимо сконцентрировать усилия на разработке современных автоматизированных систем прогнозирования

и предупреждения наводнений, а также создании бассейновых противопаводковых систем защиты от них. Кроме того, необходимо упорядочивание землепользования в зонах риска, совершенствование нормативно-правовой базы, определяющей четкую ответственность государственных органов власти и муниципальной администрации за последствия наводнений.

**Сели и лавины.** При сохранении современной тенденции к потеплению в XXI веке на северном склоне Большого Кавказа увеличится продолжительность селеопасного периода в среднем на 47–50 суток, увеличится объем горных пород, участвующих в формировании селевых потоков, на 20–30% возрастут объемы селевых потоков.

К середине XXI века на северном склоне Большого Кавказа сократится продолжительность лавиноопасного периода года и площадь лавиноопасной территории на высотах 1500–2000 м. Увеличится повторяемость крупных катастрофических лавин на высотах более 3000 м (ОД, т. II, гл. 3.10).

### Заключение

Опубликованные в 2007 г. выводы МГЭИК о том, что основной причиной наблюдаемого в последние десятилетия глобального потепления климата является интенсификация хозяйственной деятельности человека, вызвали озабоченность широких слоев общественности, представителей бизнеса, науки и правительств большинства стран мира.

С этими выводами МГЭИК хорошо согласуются и оценки российских ученых, приведенные в настоящем Оценочном докладе, которые свидетельствуют в том числе и о значимом воздействии изменений климата на природную среду и социально-экономическую деятельность Российской Федерации как в целом по стране, так и применительно к ее отдельным регионам.

Большая часть территории России находится в области значительного наблюдаемого и прогнозируемого изменения климата. При этом вследствие значительных природно обусловленных особенностей изменения климата на территории России проявляются и будут проявляться в дальнейшем крайне неравномерно.

Наблюдаемые и прогнозируемые изменения климата могут приводить как к благоприятным, так и к негативным последствиям. С одной стороны, изменение климата будет способствовать смещению к северу зоны комфортного проживания

людей, уменьшению продолжительности отопительного периода и увеличению возможностей сельскохозяйственного производства в регионах с достаточным увлажнением. Глобальное потепление благоприятно повлияет на ледовую обстановку в арктических морях, способствуя расширению возможностей морского транспорта и облегчению освоения арктического шельфа.

С другой стороны, прогнозируется уменьшение водных ресурсов в регионах, где уже сейчас наблюдается их дефицит. Усиление сезонного протаивания многолетней мерзлоты (особенно на ее южной границе) создает угрозу объектам инфраструктуры — коммуникациям, зданиям и техническим сооружениям, включая нефте- и газопроводы.

Наблюдаемые и ожидаемые изменения климата могут увеличивать вероятность экстремальных гидрометеорологических явлений, в том числе наводнений, селей и лавин в горных районах, засух, усиления пожароопасности в лесах, которые могут вызвать значительные негативные последствия для населения и хозяйственной деятельности и природного комплекса.

Вследствие глобального потепления существенные изменения произойдут в природных экосистемах. Ожидается расширение области распространения некоторых болезней человека, вызываемых переносчиками, а также некоторых насекомых — опасных вредителей сельскохозяйственных культур.

Для комплексной оценки наблюдаемых и прогнозируемых изменений климата необходимо дальнейшее развитие научных исследований в области изменений климата, их последствий (в том числе социально-экономических) и возможностей адаптаций как в целом по стране, так и на региональном уровне.

Особое значение имеет развитие систем раннего обнаружения и прогнозирования экстремальных гидрометеорологических явлений, способных привести к значительным негативным социально-экономическим и экологическим последствиям.

Необходимо расширение работ по созданию технологий, способствующих уменьшению глобального изменения климата, а также работ, направленных на повышение энергосбережения, развитие возобновляемых источников энергии и разработку технологий улавливания и захоронения антропогенных парниковых газов.

Полноценные исследования изменений климата и активное участие в международном сотрудничестве невозможны без устойчивого функционирования национальной комплексной системы наблюдений за климатом, основу которой составляют регулярные наблюдения гидрометеорологической службы страны.

## ОБЩЕЕ РЕЗЮМЕ

Существенная зависимость природного комплекса России и ее экономики от климатических факторов, большая неоднородность наблюдаемых и ожидаемых последствий изменения климата для населения и социально-экономической деятельности, а также участие Российской Федерации в международных усилиях, направленных на уменьшение антропогенного воздействия на глобальный климат, требуют серьезного научного обоснования политики страны в области изменения климата. Ее необходимыми элементами являются меры по уменьшению антропогенного воздействия на климатическую систему и меры по адаптации к меняющемуся климату — предотвращение или снижение негативных и использование благоприятных последствий изменения климата. Наиболее мас-

штабные меры в области изменения климата должны регулироваться государственными решениями, тем более, что значительная часть таких решений связана с взаимодействием Российской Федерации с международным сообществом.

В целях обеспечения разработки и осуществления климатической политики страны необходимой научной, технической и социально-экономической информацией Росгидромет предусматривает и в дальнейшем с участием других заинтересованных организаций и ведомств РФ проводить на регулярной основе подготовку национальных оценочных докладов об изменениях климата и их последствиях, а также о возможностях адаптации к изменениям климата.

**ОЦЕНОЧНЫЙ ДОКЛАД ОБ ИЗМЕНЕНИЯХ КЛИМАТА  
И ИХ ПОСЛЕДСТВИЯХ  
НА ТЕРРИТОРИИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**

**Общее резюме**

Редактор *Т.В.Лешкевич*  
Корректор *В.В.Борисова*  
Компьютерная верстка *И.В.Ломакиной*

Подписано в печать 18.11.08. Формат 60×84 1/8. Бумага офсетная.  
Усл. печ. л. 3,02. Усл. кр.-отт. 3,27. Уч.-изд. л. 3,25.  
Тираж 600. Индекс ММ-12. Заказ

Набрано в ГУ «НИЦ «Планета»  
123242 Москва, Б. Предтеченский пер., 7  
Отпечатано ГУ «ВНИИГМИ-МЦД»