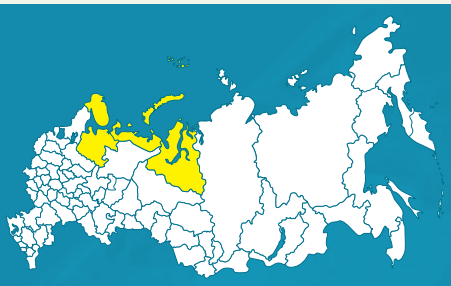
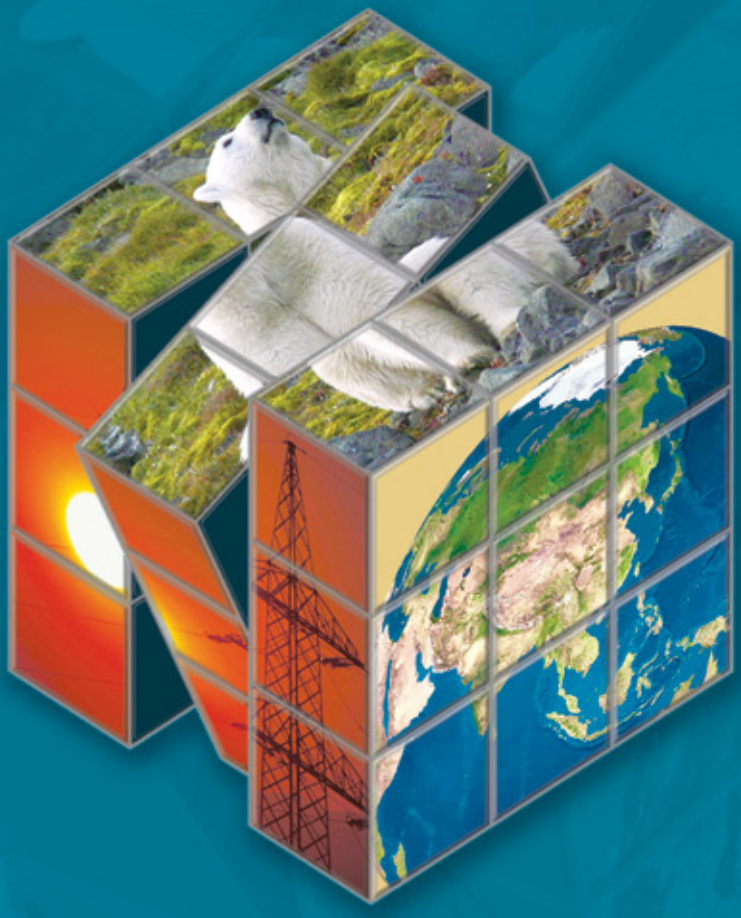


Для регионов России:

Мурманская область
Архангельская область
Ненецкий автономный округ
Ямало-Ненецкий автономный округ



А.О. Кокорин, Е.В. Смирнова, Д.Г. Замолодчиков

# ИЗМЕНЕНИЕ КЛИМАТА

КНИГА ДЛЯ УЧИТЕЛЕЙ СТАРШИХ КЛАССОВ

А.О. Кокорин, Е.В. Смирнова, Д.Г. Замолодчиков

# ИЗМЕНЕНИЕ КЛИМАТА

## КНИГА ДЛЯ УЧИТЕЛЕЙ СТАРШИХ КЛАССОВ

Москва — 2013

УДК 373.5.016:551.5(470.1/.2+571.1)

ББК 74.262.8

К 59

**Кокорин А. О., Смирнова Е. В., Замолодчиков Д. Г.**
**Изменение климата. Книга для учителей старших классов общеобразовательных учреждений.** Вып. 1. Регионы севера европейской части России и Западной Сибири. — М.: Всемирный фонд дикой природы (WWF), 2013. — 220 с.

ISBN 978-5-9903641-4-1

Рецензенты:
*Н. М. Бызова* (г. Архангельск, к. г. н., проф., зав. кафедрой географии и геоэкологии САФУ), *О. Н. Пермякова* (г. Владивосток, к. полит. н., доцент кафедры геологии, геофизики и геоэкологии ДВФУ), *Г. М. Чан* (г. Владивосток, координатор программы SPARE/ШПИРЭ в Дальневосточном федеральном округе, педагог дополнительного образования МБОУ ДОД «Центр детского творчества г. Владивостока»), *О. Б. Чехонина* (г. Москва, к. б. н., доцент кафедры биологии и экологии животных МГОУ).

Материалы, представленные в настоящем издании, посвящены проблеме изменения климата, его проявлениям в глобальном масштабе, в Арктике и в отдельных регионах России. Отдельно рассматривается влияние изменений климата на леса и их обратное влияние на климат. Для каждого из четырех регионов севера европейской части России и Западной Сибири представлена информация о местных изменениях климата, прогностических оценках, вероятных социальных, экономических и экологических последствиях. Даются практические советы по сбережению тепла и электроэнергии как способу личного участия школьников в решении проблемы воздействия человека на климат. Книга может быть использована учителями при проведении уроков географии, биологии, физики, экологии, математики и др., а также внеклассных мероприятий. Представлена примерная программа факультативного курса «Климат и энергосбережение» для учащихся 10–11-х классов общеобразовательных школ. Книга может быть использована для самостоятельного изучения вопросов, связанных с изменениями климата, преподавателями и студентами специальных и высших учебных заведений, педагогами системы дополнительного образования и всеми, кто интересуется данной проблемой.

Подготовлено в рамках программы «Климат и энергетика» Всемирного фонда дикой природы (WWF) при поддержке WWF Нидерландов. Использованы материалы программы Школьных проектов по использованию ресурсов и энергии (SPARE/ШПИРЭ). Тематический раздел 4 «Региональные изменения климата и их вероятные последствия» подготовлен при поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации, соглашение 14.U02.21.0677

Редактор: *Юлия Калиничева*
Корректор: *Елена Дубченко*
Дизайн, верстка: *Денис Копейкин*
Коллаж на обложке: *Денис Копейкин*
Издатель: Всемирный фонд дикой природы (WWF)
Типография: Полиграф Медиа Групп
Тираж: 3500 экз.

**Издание распространяется бесплатно**

FSC
www.fsc.org
МИКС
Бумага из ответственных источников
FSC® C105763

© Текст: 2013, Всемирный фонд дикой природы (WWF). Все права защищены.

# СОДЕРЖАНИЕ


ПРЕДИСЛОВИЕ . . . . . 7

БЛАГОДАРНОСТИ . . . . . 10

ВВЕДЕНИЕ . . . . . 13

ТЕМА 1
ИЗМЕНЕНИЕ КЛИМАТА НА ПЛАНЕТЕ . . . . . 18

Изменение климата на планете . . . . . 19

Климат менялся всегда . . . . . 20

Последние миллионы лет: радиационный баланс Земли . . . . . 23

Сотни тысяч лет: ледниковые периоды . . . . . 26

Естественные изменения климата в последние столетия:
океанские циклы, вулканы и Солнце . . . . . 29

Главная климатическая особенность последних десятилетий . . . . . 35

Рост температуры в мире и в России . . . . . 41

Разбалансировка климата и рост числа опасных
гидрометеорологических явлений . . . . . 44

Опасны не нынешние, а будущие изменения климата . . . . . 50

Резюме . . . . . 57

ТЕМА 2
ЧТО МЕНЯЕТСЯ В АРКТИКЕ И НАСКОЛЬКО ЭТО СЕРЬЕЗНО? . . . . . 58

Атмосфера . . . . . 59

Состояние льдов и океанских вод . . . . . 61

Морские экосистемы . . . . . 67

Наземные экосистемы . . . . . 71

Гидрологический режим и криосфера . . . . . 73

Резюме . . . . . 77

ТЕМА 3
ЛЕС И КЛИМАТ . . . . . 78

Лесные ритмы Европы в прошлом . . . . . 79

Тенденции современности . . . . . 83

Прогноз на будущее . . . . . 87

Воздействие леса на климат . . . . . 88

Резюме . . . . . 95

ТЕМА 4
РЕГИОНАЛЬНЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ КЛИМАТА
И ИХ ВЕРОЯТНЫЕ ПОСЛЕДСТВИЯ . . . . . 96

Изменения климата на севере европейской части России
и Западной Сибири . . . . . 98

Мурманская область . . . . . 107

Архангельская область . . . . . 118

Ненецкий АО . . . . . 130

Ямало-Ненецкий автономный округ . . . . . 139

ТЕМА 5
СБЕРЕЖЕНИЕ ТЕПЛА В ЗДАНИЯХ . . . . . 150

Что можно сделать для снижения влияния
человека на климат? . . . . . 151

Источники потерь тепла в жилых зданиях . . . . . 154

Как сохранить тепло? . . . . . 158

«Пассивные» дома . . . . . 163

ТЕМА 6
СБЕРЕЖЕНИЕ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ:
ЭТО МОЖЕТ СДЕЛАТЬ КАЖДЫЙ . . . . . 166

Потребление и возможности экономии электроэнергии . . . . . 167

Маркировка энергоэффективности . . . . . 174

Как наша экономия электроэнергии проявляется в тоннах $CO_2$? . . . . . 177

ПРИЛОЖЕНИЯ . . . . . 178

1 Справочная информация об антропогенных выбросах парниковых газов . . . . . 179

2 Углеродный и экологический «след» человечества . . . . . 193

3 Пример школьной работы по наблюдению за последствиями ледяного дождя . . . . . 199

4 Примеры работ школьников по сохранению тепла и электроэнергии . . . . . 205

5 Программа факультативного курса «Климат и энергосбережение» для учащихся 10–11-х классов общеобразовательных учреждений . . . . . 208

ЛИТЕРАТУРА И ИНТЕРНЕТ-ИСТОЧНИКИ . . . . . 216

# ПРЕДИСЛОВИЕ

Уважаемые читатели!

Перед вами издание, посвященное изменению климата — теме, которая имеет ряд принципиальных отличий от других экологических и естественно-научных проблем.

Во-первых, она относительно новая, поэтому пока недостаточно интегрирована в программы учебных курсов школ и вузов. Люди хорошо понимают, что загрязнение воздуха и воды, деградация почв, возникающие и разрастающиеся стихийные свалки бытовых отходов в лесах и на обочинах дорог и некоторые другие проблемы вызваны деятельностью человека и в конечном итоге ухудшают условия и качество жизни. Понимание сути проблемы изменения климата пока гораздо слабее. Поэтому по изменению климата на данном этапе требуется не столько учебное пособие по методике преподавания, сколько пособие для учителя, содержащее необходимую базовую информацию по этой теме.

Во-вторых, изменение климата — проблема глобальная. И миллионы, и тысячи лет назад климат менялся под действием явлений планетарного масштаба: тектонических процессов, изменения орбиты и радиационного баланса Земли в целом. Столь же глобально сейчас и загрязнение атмосферы человеком — дополнительное воздействие, которое накладывается на естественные процессы. Понять причины изменений можно, только зная ситуацию на всей планете. Однако выявить последствия изменений климата и вовремя принять меры можно только на месте.

Эта книга подготовлена, прежде всего, на базе докладов и бюллетеней Росгидромета, последних работ его институтов, список которых представлен в конце. Здесь также использованы данные по экологии и климату, полученные Всемирным фондом дикой природы (WWF) из заповедников и национальных парков, а также от региональных экспертов.

Споры о климате, причинах и тенденциях его изменения не прекращаются. Интересно, что спорят, как правило, не климатологи, а ученые других специальностей, журналисты, политики, бизнесмены. При этом они пытаются отстаивать крайние точки зрения: одни говорят, что человек на климат не влияет,

а другие — что все определяется действиями человека и мы идем к климатической катастрофе. Как часто бывает, истина посередине: пусть угрозы существованию жизни на Земле нет, но, как показано в научных трудах, факт воздействия человека на климат сомнения не вызывает.

Для того чтобы разобраться в ситуации со «спорами», в США даже провели специальные опросы. Выяснилось, что с аккуратными и по-научному сдержанными формулировками, такими как приведены ниже, в резюме первого тематического раздела, согласны практически все активно работающие ученые-климатологи[1]. В то же время в проблеме климата еще очень много неясного, и, читая книгу, вы это не раз отметите. В данном случае, чтобы не идти против истины, очень важно использовать предельно выверенные выражения о степени изученности того или иного вопроса.

Именно в таких тщательно выверенных формулировках авторы излагают проблему. Сначала рассмотрены изменения климата на планете, потом ситуация в Арктике. Следующая тема «Лес и климат» охватывает все леса нашей страны. Это результат специального исследования, проведенного для данной книги проф. МГУ имени М. В. Ломоносова Д. Г. Замолодчиковым. Далее идет характеристика местных изменений климата, их прогноз, описание вероятных последствий и мер, которые можно предпринимать в каждом из регионов.

Завершают книгу разделы, в которых рассказано о том, что может сделать каждый из нас, чтобы снизить воздействие человека на климатическую систему и одновременно позаботиться об энергетическом бюджете страны и о бюджете своей семьи. Это сбережение тепла и электроэнергии.

Надеемся, что примеры конкретных действий на уровне школ, семей и отдельных граждан помогут учителю включить в занятия интерактивные блоки, стимулировать проактивное участие школьников в обсуждении причин изменения климата, возможных мер по адаптации или смягчению последствий такого изменения собственными действиями.

Цель работы — показать современный уровень знаний в области изменения климата и содействовать широкому использова-

---

[1] Consensus Among Scientists: Climate Crisis Is Due To Human Activities. 7 February, 2013 http://www.countercurrents.org/cc070213A.htm См. также дискуссионный форум ученых-климатологов www.realclimate.org

нию полученных знаний на практике в соответствии с принципом «Мысли глобально, действуй локально!».

Впрочем, невозможно объять необъятное, и в книге нет многих вещей, имеющих отношение к проблеме климата, в частности, описания проблемы отходов, экологичного транспорта и т. п. Здесь авторы ограничились справочными приложениями по выбросам парниковых газов и экологическому следу, где можно найти ссылки на издания, освещающие самый широкий спектр вопросов. Региональные изменения климата и их последствия также пока рассматриваются лишь для небольшого числа субъектов Российской Федерации. Конечно, хотелось бы охватить все регионы, но WWF начал с тех, где он наиболее активно работает. Данная книга издана в двух вариантах (выпусках). В первом рассматриваются несколько регионов севера европейской части России и Западной Сибири, а во втором — ряд регионов Дальнего Востока.

Для удобства распространения и использования информации все разделы данной книги размещены на климатической странице сайта WWF России (www.wwf.ru/climate) как в виде pdf файла, так и в формате MS Word. Пожалуйста, используйте эти материалы как можно шире. Желаем вам успехов.

*Директор WWF России по охране природы*
*к. б. н. В. В. Элиас*

# БЛАГОДАРНОСТИ

Авторы хотели бы выразить благодарность более ста учителям школ и преподавателям вузов из разных городов России, горячо и конструктивно обсуждавших книгу на семинарах в Архангельске, Владивостоке, Москве и Мурманске. Несколько опытных преподавателей и методистов из разных регионов любезно согласились быть рецензентами данной книги: Н. М. Бызова, О. Н. Пермякова, Г. М. Чан и О. Б. Чехонина. Они дали массу ценных советов и замечаний, которые позволили сделать наше издание более четким и легким для понимания. Более того, Г. М. Чан подготовила специальное приложение, где описываются школьные работы, выполненные на Дальнем Востоке. Большой вклад в подготовку книги внесли сотрудники Института глобального климата и экологии Росгидромета и РАН Г. В. Груза и Э. Я. Ранькова, которые проанализировали данные местных метеостанций, без чего наша работа имела бы меньшую практическую наглядность.

Мы благодарим сотрудников национальных парков, заповедников и заказников — Бастака, Кенозерского, Командорского, Кроноцкого, Курильского, Лапландского, Ненецкого, Пасвик, «Русская Арктика», Сихотэ-Алинского, а также ряда других. Они заинтересованно отнеслись к просьбе WWF России и ответили на вопросы о наблюдаемых на их территории явлениях, прямо или косвенно связанных с изменением климата.

Также мы хотели бы выразить благодарность специалистам, которые помогли нам в подготовке книги, в том числе и тем, кто активно работает по программе Школьных проектов по использованию ресурсов и энергии (ШПИРЭ) и предоставил нам ее наработки, использованные в данной книге: В. Д. Бойцова, Л. В. Елфимову, В. М. Катцова, Е. Н. Кругликову, О. А. Макарову, Е. В. Меделян, Т. В. Назарову, С. С. Решетова, О. Н. Сенову, М. В. Смирнову, К. М. Соколова, А. А. Шлык и многих других.

Мы выражаем благодарность Агентству по международному развитию США и Ю. Е. Казакову за поддержку на начальном этапе работы, что, в частности, позволило провести семинары в различных городах для обсуждения черновых вариантов тематических разделов данной книги. Благодарим издательство Полиграф

Медиа Групп, качественно и за минимальную стоимость издавшее книгу на FCS сертифицированной бумаге. Это означает, что при ее изготовлении использовалась только древесина, полученная из лесных хозяйств, ведущих рубки с соблюдением экологических требований.

Авторы хотели бы поблагодарить сотрудников WWF России, которые в течение полутора лет помогали в работе над этой книгой и без которых вряд ли удалось бы успешно ее завершить: Ю. В. Калиничеву и О. Н. Липку, которые взяли на себя огромный труд технической подготовки и организации издания, а также Т. С. Баеву, В. Г. Краснопольского, Е. Г. Старостину, О. К. Суткайтиса, С. И. Титову, Ю. Р. Фоменко, А. А. Щеголева, В. В. Элиас и многих других.

*А. О. Кокорин*

*Е. В. Смирнова*

*Д. Г. Замолодчиков*

Эта книга издана в двух выпусках. Перед вами первый выпуск, охватывающий четыре региона Северо-Запада России и Западной Сибири: Мурманскую область, Архангельскую область, Ненецкий автономный округ, Ямало-Ненецкий автономный округ.

Второй выпуск книги посвящен семи регионам Дальнего Востока: Приморскому и Хабаровскому краям, Сахалинской и Амурской областям, Камчатскому краю, Еврейской автономной области и Чукотскому автономному округу.

Выпуски отличаются тематическими разделами «Региональные изменения климата и их вероятные последствия», подразделами темы «Лес и климат», в которой рассматриваются леса Европы или Азии, соответственно, а также приложениями 4 с примерами работ школьников. Остальные разделы обоих выпусков одинаковы.

Книги предназначены, прежде всего, для учителей школ вышеуказанных регионов, но их могут бесплатно получить и учителя других регионов, а также все, кто интересуется проблемой изменения климата.

За получением книг вы можете обратиться в офис Всемирного фонда дикой природы (WWF) в Москве:
**109240, ул. Николоямская, д. 19, стр. 3; тел. 8 (495) 727 09 39,**
**к Кокорину Алексею Олеговичу, akokorin@wwf.ru.**

Книги также имеются в офисах Всемирного фонда дикой природы (WWF)
**в Архангельске, Мурманске, Владивостоке и Петропавловске-Камчатском.**
Адреса и телефоны см. на **www.wwf.ru**.

# ВВЕДЕНИЕ

Вопросы изменения климата, особенно воздействие человека на климатическую систему Земли, — тема, в последние годы очень активно обсуждаемая в самых широких кругах. В ней остается немало не до конца исследованных «белых пятен». Поэтому, прежде чем разрабатывать методики преподавания данной темы, следует дать педагогам информационную основу, что и является целью данной книги. Пока система образования находится на этапе понимания того, *чему* надо учить. Поэтому перед вами книга для учителей, а не пособие по тому, *как* в образовательных учреждениях надо изучать вопросы изменения климата. Подготовка пособий — следующий этап, за которым, вероятно, последуют учебники и включение вопросов изменения климата в базовые курсы географии и других предметов.

Изложенные в книге материалы соответствуют имеющейся в РФ нормативной базе, касающейся климатических изменений. В конце 2009 года Президент России подписал Климатическую доктрину, где четко говорится про изменение климата, его во многом антропогенную природу, негативные и позитивные эффекты[1]. Вслед за этим документом в апреле 2011 года правительство приняло Комплексный план реализации Климатической доктрины на период до 2020 года[2], где среди прочего Росгидромету была поручена подготовка материалов по просвещению населения.

В 2009 году усилиями научных институтов Росгидромета и РАН издан двухтомный обзор об изменениях климата и их последствиях на территории нашей страны[3]. В 2011 году он был дополнен обзором экономических и социальных явлений, которые

---

[1] Климатическая доктрина РФ. 2009. Распоряжение Президента РФ от 17.12.2009 № 861-рп «О Климатической доктрине Российской Федерации». http://www.kremlin.ru/news/6365 или http://президент.рф/acts/6365. См. также http://www.climatechange.ru/files/Climate_Doctrine.doc

[2] Комплексный план реализации Климатической доктрины Российской Федерации на период до 2020 года. Распоряжение Правительства РФ от 25 апреля 2011 г. № 730-р «Об утверждении комплексного плана реализации Климатической доктрины РФ на период до 2020 г.». http://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/2074495/. См. также http://www.climatechange.ru/files/Climate_Doctrine_Action_Pl.

[3] Оценочный доклад об изменениях климата и их последствиях на территории Российской Федерации, т. 1 и т. 2, Росгидромет, М., 2009, http://climate2008.igce.ru

ожидаются в России в период до 2030 года[4]. Методические вопросы выявления изменений климата и их последствий рассмотрены в детальном труде, вышедшем в 2012 году[5]. В нашей стране ежегодно в марте выходит доклад об особенностях климата за предыдущий год[6]. Каждый месяц Росгидромет выпускает электронное издание — бюллетень «Изменение климата», рассчитанный на широкую аудиторию и освещающий последние данные науки, а также ответы ученых на наиболее злободневные вопросы[7]. Эти и другие издания размещаются на специально созданных сайтах www.global-climate-change.ru и http://climatechange.igce.ru.

Все это и позволило подготовить данную книгу, научную основу которой составили, прежде всего, указанные выше доклады и бюллетени. Кроме того, Всемирный фонд дикой природы (WWF) провел специальный опрос сотрудников заповедников, заказников и национальных парков, позволивший получить информацию о многих местных явлениях и эффектах, прямо или косвенно связанных с изменениями климата.

Структура данной книги построена на постепенном продвижении от глобального масштаба к местному — региональному, от проблем и мер, предпринимаемых на всей планете, к действиям, которые под силу каждому школьнику.

Первый тематический раздел дает читателю информацию об изменениях климата Земли в целом. Рассмотрение идет от явлений миллионов и тысяч лет к эффектам последних лет и их вероятному прогнозу в масштабе планеты и отдельных континентов. Подчеркивается, что у изменений климата много различных естественных причин, которые по-разному действуют в разных временных масштабах. Для сотен миллионов лет важно расположение континентов, для сотен тысяч лет — изменение орбиты Земли, для сотен лет — активность Солнца и океанские циклы.

---

[4] Оценка макроэкономических последствий изменений климата на территории Российской Федерации на период до 2030 г. и дальнейшую перспективу, под ред. В.М. Катцова и Б.Н. Порфирьева. Росгидромет. М.: Д'АРТ: Главная геофизическая обсерватория, 2011, 252 с. http://www.voeikovmgo.ru/ru/sobyitiya/doklad-otsenka-makroekonomicheskih-posledstviy-izmeneniya-klimata-na-territorii-rossiyskoy-federatsii.html

[5] Методы оценки последствий изменений климата для физических и биологических систем. С.М. Семенов (ред.). М.: Росгидромет, 2012, 512 с. http://www.igce.ru/category/knigi

[6] Доклад об особенностях климата на территории Российской Федерации за 2011 год. М.: Росгидромет, 2012 (доклады выходят ежегодно). www.meteorf.ru см. также http://climatechange.igce.ru

[7] Изменение климата, Ежемесячный электронный бюллетень, М. Росгидромет. www.meteorf.ru или www.global-climate-change.ru

В последние десятилетия на эту картину стало накладываться влияние на климатическую систему человека, которое в XXI веке будет усиливаться. Раздел завершается тремя параграфами краткого резюме, где в научно строгих формулировках дается сводка состояния вопроса. Это базис, необходимый для понимания сути изменений климата в любом учебном курсе, вне зависимости от предмета: географии, биологии, физики или иных дисциплин.

Второй тематический раздел посвящен Арктике. В нем собрана информация о том, насколько существенны изменения в Российской Арктике в последние годы, как они могут быть связаны с изменениями климата. В пяти кратких подразделах последовательно рассматриваются атмосфера, воды и льды Северного Ледовитого океана, морские экосистемы, наземные экосистемы, гидрологический режим и криосфера. Эти материалы могут использоваться как совместно, так и отдельно, в зависимости от конкретного курса или изучаемой дисциплины.

Третий тематический раздел — «Лес и климат», где рассказывается о том, как климат влияет на леса и как леса влияют на климат. Приведены специально подготовленные карты, наглядно демонстрирующие влияние изменений климата на растительный покров Европы в прошлые тысячелетия. Затем детально рассматриваются идущие сейчас процессы трансформации лесов России и их роль в круговороте $CO_2$. Эта информация может быть особенно полезной для курсов географии и биологии.

Четвертый тематический раздел посвящен региональным изменениям. В нем не дается физико-географического описания регионов и их климата, так как оно имеется в курсе географии. В данной книге дается дополнительная информация именно об изменениях климатических параметров и вызываемых ими последствиях.

Сначала в вводном подразделе рассматриваются изменения климата на Северо-Западе страны в целом. Затем следуют 4 подраздела — для каждого из регионов. Материал построен так, что для изучения вопросов местного изменения климата достаточно вводного подраздела и подраздела, посвященного данному региону. Это, конечно, привело к ряду повторов, но, по мнению авторов, упрощает использование информации. Для каждого региона приводятся данные о тенденциях изменения температуры и осадков, а также их прогноз на ближайшие десятилетия, составленный в Главной геофизической обсерватории им. А. И. Воейкова[8].

[8] Сайт Главной геофизической обсерватории: http://www.voeikovmgo.ru. Нужно выбрать справа вверху раздел «Изменение климата России в XXI веке».

Для отдельных метеостанций дан примерный прогноз изменения средних, максимальных и минимальных за год температур, специально подготовленный в Институте глобального климата и экологии Росгидромета и РАН. Эта информация может быть полезна для дополнительных занятий по географии вашего региона.

Кроме того, для каждого региона дана сводная таблица социальных, экономических и экологических проблем, которые могут быть вызваны наблюдаемыми изменениями климата. Таблица также содержит информацию о вероятных последствиях изменений климата и предлагаемых мерах. Меры, перечисленные в таблице, призваны помочь региону адаптироваться к новым климатическим условиям, избежать сильных негативных эффектов и, насколько возможно, воспользоваться позитивными факторами. Собран очень широкий спектр явлений, поэтому данная информация может использоваться при рассмотрении комплексного воздействия человека на природу региона, например, в курсе экологии или основ безопасности жизнедеятельности. Однако в этом разделе мы не говорим о том, как отдельный человек, например, школьник, может помочь снизить глобальное воздействие на климатическую систему.

Конкретным действиям, доступным каждому, посвящены пятый и шестой тематические разделы. В них рассматриваются сбережение тепла в зданиях и экономия электроэнергии. Ранее в первом тематическом разделе подчеркивается, что самым сильным воздействием человека на климатическую систему являются выбросы $CO_2$, образующиеся при сжигании ископаемого топлива (угля, газа, нефтепродуктов) преимущественно для производства тепла и энергии. В пятом и шестом тематических разделах даются практические советы по сбережению тепла и электроэнергии, которым могут следовать школьники.

Для лучшего понимания логической связи между материалами первого и пятого-шестого разделов мы подготовили справочные приложения 1 и 2. В приложении 1 дается подробная информация об источниках выбросов $CO_2$ и других газов, вызывающих парниковый эффект, которая может помочь читателю понять важную роль сбережения тепла и электроэнергии в снижении воздействия человека на климат. В приложении 2 приведена информация об углеродном и экологическом «следе» человечества. Она призвана облегчить понимание роли воздействия на климат в широком спектре всех видов нашего влияния на природу.

Учащиеся могут вести самостоятельные наблюдения за климатическими параметрами, а также выполнять более сложные

работы. Пример такой работы дан в приложении 3, где рассматриваются наблюдения за последствиями очень интересного явления — ледяного дождя. Подобные практические занятия могут быть частью изучения курсов географии, физики, биологии и других дисциплин.

Примеры конкретных действий по сбережению тепла и электроэнергии приводятся в приложении 4. Эти действия непосредственно связаны со знаниями, которые учащиеся получают в курсе физики, а расчеты требуют математических навыков. Поэтому материалы тематических разделов 5, 6 и приложений 1, 2 и 4 могут использоваться для практических занятий по физике и математике.

В приложении 5 дается примерная программа факультативного курса «Климат и энергосбережение» для учащихся 10–11-х классов общеобразовательных учреждений. Излагаются цели, задачи и ожидаемые результаты курса, его тематическое планирование.

В конце книги приведен список литературы и интернет-источников, которыми могут воспользоваться и педагоги, и учащиеся. Для удобства пользования он разделен на 2 части. В первой приведено около 10 главных источников (все на русском языке и с интернет-доступом), включая базовые материалы Росгидромета, во второй части собрано более 30 дополнительных источников.

ТЕМА 1

# ИЗМЕНЕНИЕ КЛИМАТА НА ПЛАНЕТЕ

# Изменение климата на планете

В наши дни об изменении климата говорят все — ученые, политики, бизнесмены. Об этом пишут в газетах и журналах, ведутся споры в Интернете, по телевидению выступают известные специалисты.

Понять суть проблемы нелегко, настолько противоположны взгляды и суждения. Потепление или похолодание? Какова причина изменения климата: деятельность человека или естественные процессы[1]?

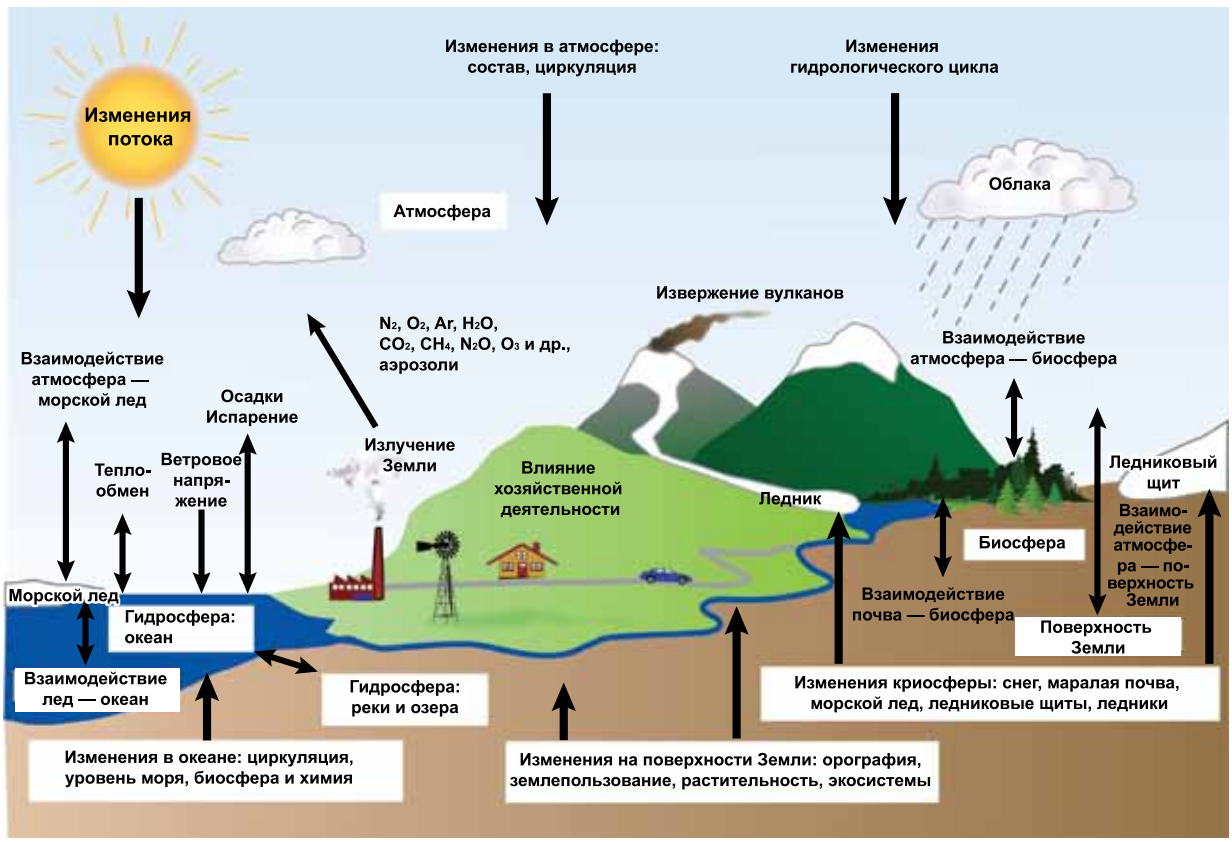



**Рис. 1.1. Составляющие климатической системы, основные климатообразующие процессы и их взаимодействия**

*Источник:* IPCC 4AR, vol. 1, Climate Change 2007.The Physical Science Basis.p. 104, www.ipcc.ch.

[1] Более детально см.: Оценочный доклад об изменениях климата и их последствиях на территории Российской Федерации. М.: Росгидромет, 2008. http//:climate2008.igce.ru

Приведенная на рис. 1.1 схема климатической системы Земли показывает, что климат планеты формируется как Солнцем, так и всеми средами нашей планеты: атмосферой, гидросферой, биосферой, вулканами, ледовым покровом и т.д., которые находятся в постоянном взаимодействии. При этом на них все сильнее воздействует хозяйственная деятельность человека, которая изменяет саму поверхность Земли и загрязняет все окружающие нас среды.

Рассмотрение роли каждой из сред со всеми ее взаимодействиями с «соседями», вероятно, потребовало бы создания учебного курса, рассчитанного на несколько лет обучения. Поэтому в качестве первого опыта изложения предмета «изменение климата» ниже предлагается кратко рассмотреть лишь главные факторы, продвигаясь от прошлых геологических эпох к настоящему времени.

## Климат менялся всегда

Климат на Земле изменялся во все времена, в том числе задолго до того, как свою роль в этом начала играть деятельность человека. В геологической истории Земли встречались и более теплые периоды, чем в последние миллионы лет. На рис. 1.2 показано, как сильно колебалась температура в разные геологические эпохи и как это соотносилось с покрытием суши льдом. Всемирная метеорологическая организация условилась отсчитывать изменения климата от средних значений за 1961–1990 годы, что показано на рисунке, поэтому можно сказать, что 500 млн лет назад было на 7 °С теплее, а 300 млн лет назад на 1 °С холоднее, чем в 60–90-е годы прошлого века. Покрытие суши льдом сильно понижало температуру на всей планете. Это установили по отметкам, которые лед оставляет на горных породах.

Кроме того, анализ геологических образцов, донных отложений океанов и других данных показывает, что теплые периоды совпадают с периодами высокого содержания $CO_2$ в атмосфере[2]. Концентрации газов в атмосфере принято выражать в молярных долях, что означает, сколько молекул данного газа приходится на миллион молекул газовой смеси, образующей воздух. Сейчас в воздухе примерно 390 частей $CO_2$ на миллион (ppm[3]),

[2] IPCC 4AR, vol. 1, Climate Change 2007. The Physical Science Basis. www.ipcc.ch.

[3] В климатической литературе принято использовать английскую аббревиатуру: ppm — parts per million. ppm — единицы мольного состава газовой смеси или *отношение числа молей $CO_2$ на миллион молей* всех составляющих воздуха, что то же самое, что и число молекул газа на миллион молекул всех газов воздуха.

**Рис. 1.2**
**Оценка изменения температуры на Земле за последние 500 млн лет** (получено с помощью геохимических и биологических методов)

Подготовлено по данным IPCC 4AR, vol. 1, Climate Change 2007. The Physical Science Basis. p. 433–465, www.ipcc.ch.

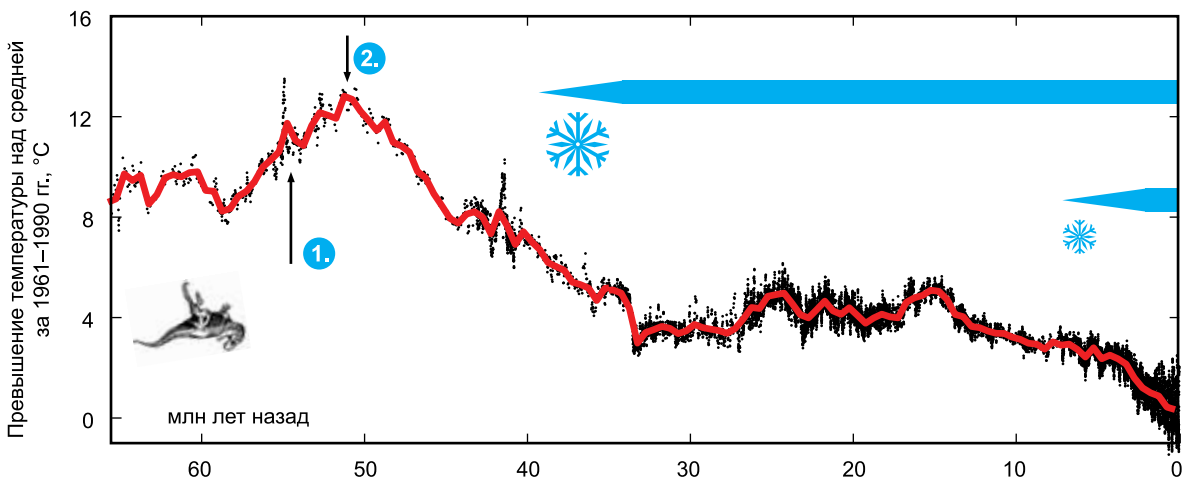
400 млн лет назад $CO_2$ было в 10 раз больше — несколько тысяч ppm, а 300 млн лет назад — лишь несколько сотен ppm.

Рассматривая причины столь сильных изменений климата за полмиллиарда лет, ученые анализируют всевозможные геологические, астрономические, биологические, геомагнитные и другие факторы. Говоря в целом о ситуации в течение сотен миллионов лет, нужно подчеркнуть главенствующую роль расположения суши относительно полюсов и экватора — тектонические процессы и дрейф континентов. Большую часть времени полярные районы были свободны от суши, там не накапливались ледниковые щиты, которые бы сильно отражали солнечное излучение. В результате в среднем было гораздо теплее, чем сейчас.

Более подробное рассмотрение последних 60 млн лет показывает, что нынешнее покрытие льдом Антарктиды началось примерно 40 млн лет назад, а оледенение Гренландии — менее 10 млн лет назад. Как видно на рис. 1.3, оба этих процесса сопровождались очень существенным снижением температуры, в результате чего она приблизилась к современному уровню. Вспомним, что, следуя правилам Всемирной метеорологической организации, изменения климата отсчитываются от ситуации,

наблюдавшейся в 1961–1990 годы. Поэтому можно сказать, что в последние миллионы лет жизни динозавров было на 8–10 °С теплее, чем в 1960–1990-е годы, а 52 млн лет назад, когда Индия соединилась с Евразией в один континент, было еще жарче — на 12 °С теплее, чем в во второй половине прошлого века.

В широких пределах менялась и концентрация $CO_2$: 40–60 млн лет назад она составляла от 300 до 1000 ppm, а в последние 20 млн лет — в среднем 200–400 ppm.




Черным цветом показаны относительно краткосрочные отклонения от средних значений.

— Антарктида постепенно покрывается льдом и остается такой до нынешнего времени.

— постепенное оледенение Гренландии и других приполярных областей Северного полушария до нынешнего времени.

— в этот период вымерли динозавры.

1. — *палеоцен–эоцен температурный максимум:* краткосрочный период резкого всплеска температуры, который ученые связывают с размораживанием залежей снегообразных соединений метана (метангидратов), в большом количестве имеющихся на дне морей и океанов. Это привело к очень быстрому (с геологической точки зрения) потеплению, когда примерно за 70 тыс. лет сначала потеплело на 5–10 °С, а потом климат вернулся к исходному состоянию.

2. — в этот момент Индия соединилась с Евразией в один континент.

**Рис. 1.3. Изменения температуры Мирового океана за последние 60 млн лет** (оценка по содержанию изотопа кислорода-18 в глубоководных океанских отложениях)

*Источник:* http://www.columbia.edu/~mhs119/TargetCO2/TargetFig3.pdf детальное описание см. в Hansen, J. E., and Mki. Sato, 2011: Paleoclimate implications for human-made climate change. In *Climate Change: Inferences from Paleoclimate and Regional Aspects.* Berger, André; Mesinger, Fedor; Sijacki, Djordje (Eds.) Springer, 2012, 270

Примерно 60 млн лет назад произошло хорошо известное и активно обсуждаемое вымирание динозавров. Выдвигаются разные причины — астрономические, например: падение гигантского метеорита в районе нынешнего Карибского моря, после чего некоторое время Земля была затенена пылью и для динозавров стало слишком холодно. Или биологические: та или иная конкуренция с более «совершенными» живыми организмами и т.п.

На рис. 1.3 также показан «резкий» всплеск температуры примерно 55 млн лет назад. Многие ученые объясняют его размораживанием метангидратов (снегообразных соединений метана, имеющихся на дне морей и океанов). Метан — сильный парниковый газ, и его выбросы ведут к повышению температуры. Потепление было очень сильным. С одной стороны, в шкале миллионов лет оно было очень кратким, примерно 70 тыс. лет. С другой, 70 тыс. лет — очень длительный срок, если рассматривать его в масштабе XX–XXI веков. Потом все вернулось к состоянию, определяемому иными факторами, в частности, расположением континентов и оледенением суши.

## Последние миллионы лет: радиационный баланс Земли

Основным фактором изменения климата в последние миллионы лет был и есть радиационный баланс Земли — разница между приходящим солнечным излучением и излучением нашей планеты в космос.

Радиационный баланс Земли постоянно менялся, но причины изменений были разные. Для каждого конкретного случая — ледниковых периодов, колебаний температуры в прошлом тысячелетии, нынешней ситуации — необходимо устанавливать свои причины. Есть три основных фактора изменения радиационного баланса Земли, показанные на рис. 1.4[4].

**1. Изменение поступающего солнечного излучения** (инсоляции), связанное с изменением орбиты Земли и/или светимостью Солнца.

**2. Изменение альбедо** — доли солнечного излучения, которое отражается Землей обратно в космос. Альбедо зависит от многих факторов, например, от того, какая часть планеты покрыта белым

[4] IPCC 4AR, vol. 1, Climate Change 2007. The Physical Science Basis. www.ipcc.ch.

**Рис. 1.4 Радиационный баланс Земли и парниковый эффект**

*Источник:* IPCC 4AR, vol. 1, Climate Change 2007. The Physical Science Basis. p. 115, www.ipcc.ch.

снегом и льдом; от загрязнения атмосферы и облачного покрова мелкими твердыми и жидкими частицами (аэрозолями). Такие частицы выбрасывают вулканы, создают пыльные бури, но в наше время очень велико влияние человека, выбрасывающего в атмосферу пыль, сажу и другие частицы. Особенно заметно такое влияние, когда частицы сажи оседают на белый снег или лед, уменьшая альбедо. Облачный покров также отражает солнечное излучение. Здесь существенно и количество облаков, и степень их белизны (насколько они загрязнены пылью, сажей, морской солью и т. п.).

На альбедо также влияют отмеченные выше тектонические процессы и дрейф континентов, но это очень медленные процессы, влияние которых велико только при рассмотрении миллионов лет. Сотни миллионов лет назад на Земле были периоды, в которые Антарктида была свободна ото льда. Она была темной и отражала мало солнечного света, что влияло на климат в сторону потеп-

ления. Если бы сейчас на месте Антарктиды был океан, ледовый покров Земли в целом был бы меньше и климат теплее. Если бы суша (а это всего 30% поверхности планеты) концентрировалась на полюсах, то площадь оледенения планеты была бы больше, а климат — гораздо холоднее.

**3. Изменение инфракрасной радиации, излучаемой Землей обратно в космос.** Наша планета, как всякое нагретое тело, излучает инфракрасную радиацию. Только около 10% этой радиации уходит в космос, остальные 90% поглощают газы, составляющие атмосферу Земли. Данный эффект был описан учеными еще в начале XIX века, при этом была подмечена аналогия с парником, пленка которого пропускает солнечный свет, но не выпускает тепло (инфракрасное излучение, испускаемое грядками). Поэтому сам эффект был назван парниковым, а соответствующие газы — парниковыми. Главные составляющие атмосферы Земли, азот и кислород, инфракрасное излучение не поглощают, таковы свойства их молекул. Поглощает тепловое излучение Земли в основном водяной пар; за ним идут углекислый газ, метан, а в последние годы добавились новые газы, созданные человеком: фреоны, фторсодержащие углеводороды, гексафторид серы и т. д.

Парниковый эффект очень важен для нашей планеты, без него средняя температура воздуха у поверхности Земли была бы не примерно +14 (как сейчас), а –19 °С, и жизнь была бы очень затруднительна. Иногда спрашивают, не грозит ли планете «парниковая катастрофа», не превратится ли Земля в Венеру, плотно покрытую облаками и очень жаркую. Этого не произойдет, так как особенности поглощения инфракрасного излучения Земли таковы, что даже очень сильный рост содержания водяного пара и $CO_2$ не приведет к росту парникового эффекта выше определенного предела. Поэтому жизни на планете катастрофа не угрожает, хотя изменения могут быть очень большими.

Сейчас речь идет о том, что человек усилил парниковый эффект, хотя и не сильно, на несколько процентов, но существенно. Человек повысил содержание в атмосфере $CO_2$ и метана (а также пыли, сажи и других веществ). По мнению ученых, даже усиление парникового эффекта на 2–3 °С приведет к большим проблемам, ведь, как будет показано ниже, это не плавное и приятное потепление, а рост неустойчивости — «экстремальности» — климата[5].

[5] Более детально см.: Оценочный доклад об изменениях климата и их последствиях на территории Российской Федерации. — М.: Росгидромет, 2008. http//:climate2008.igce.ru; IPCC 4AR, vol. 1, Climate Change 2007. The Physical Science Basis. www.ipcc.ch

# Сотни тысяч лет: ледниковые периоды

Главная причина изменения климата в последние сотни тысяч лет — изменение орбиты Земли, ответственное за приход и уход ледниковых периодов длительностью в десятки тысяч лет (рис. 1.5[6]).

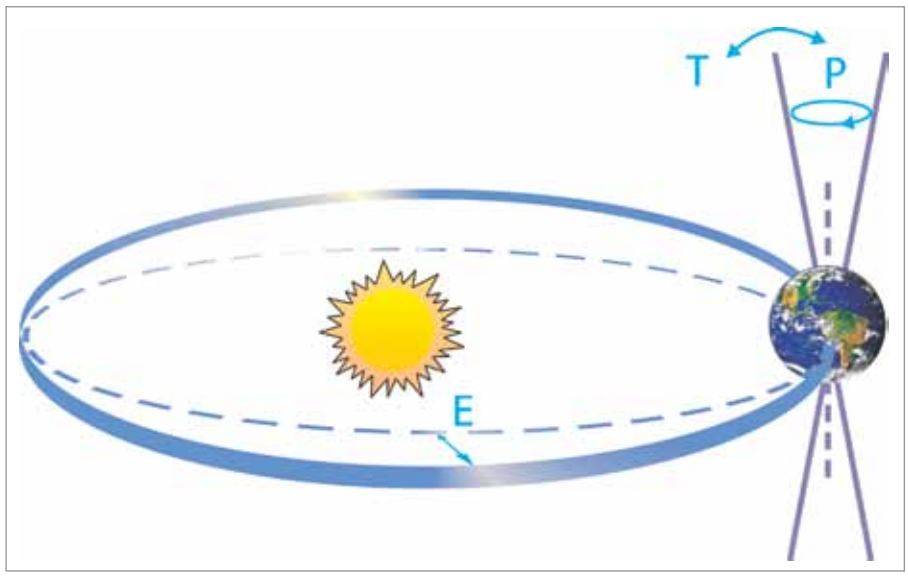



**Рис. 1.5 Изменения орбиты Земли (циклы Миланковича), которые определяют наступление ледниковых периодов.** *T* — изменения наклона (наклонения) оси Земли; *E* — изменения эксцентриситета орбиты (степени ее отклонения от круга, эксцентриситет круговой орбиты равен нулю); *P* — прецессия, то есть круговое изменение направления оси вращения планеты

*Источник:* IPCC 4AR, vol. 1, Climate Change 2007. The Physical Science Basis. p. 449, www.ipcc.ch.

**Прецессия** с периодичностью 19–23 тыс. лет смещает сезоны, то есть сильно изменяет широтное и сезонное распределение солнечной инсоляции.

**Наклон** (наклонение) оси Земли колеблется между 22° и 24,5° (сейчас 23,5°) с двумя близкими периодами длительностью около 41 тыс. лет. Наклон орбиты не влияет на общую инсоляцию, но чем он больше, тем сильнее в высоких широтах разница между теплым и холодным сезонами.

**Эксцентриситет** орбиты вращения Земли вокруг Солнца имеет более длительные периоды: примерно 400 и 100 тыс. лет. Сами по себе они оказывают незначительное влияние, так как в целом изменения в расстоянии между Солнцем и Землей малы, однако они взаимодействуют с сезонными эффектами. Когда эксцентриситет мал (орбита Земли близка к круговой), как это было около 400 тыс. лет назад и будет в течение следующих 100 тыс. лет,

[6] Более детально см. IPCC 4AR, vol. 1, Climate Change 2007. The Physical Science Basis. www.ipcc.ch

сезонные изменения инсоляции, вызванные прецессией, меньше, чем когда эксцентриситет больше (орбита Земли — более вытянутый эллипс).

Последний миллион лет ледниковые периоды инициируются минимумами летней инсоляции в высоких широтах Северного полушария, когда выпавший зимой снег сохраняется весь год и, накапливаясь, превращается в ледниковые щиты Северного полушария. Белый снег и лед отражают солнечное излучение, и становится еще холоднее. При этом уровень океана может падать почти на 100 м[7]. Именно в такой период древние люди перешли из Евразии в Америку, вероятно, в основном по суше, а частично — по узкому проливу, покрытому льдом.

Воздействие ледниковых периодов на Евразию, приход и уход ледников и изменение растительного покрова рассмотрены ниже, в теме «Лес и климат». С другой стороны, Южное полушарие мало подвергалось воздействию ледниковых периодов. Антарктида в последние миллионы лет была постоянно покрыта льдом и снегом, а изменения орбиты Земли слишком слабы, чтобы это изменить.

Углекислый газ тоже играет важную роль в ледниковых периодах, хотя и не является их причиной. В Антарктиде ученые сумели отобрать пробы льда по всей толщине ледникового щита, а это почти 4 км, или около миллиона лет накопления снега. В превратившемся в лед снеге остались пузырьки воздуха, которые можно проанализировать и определить состав воздуха в течение сотен тысяч лет. Концентрация $CO_2$ в холодные ледниковые времена была низкой — 160–190 ppm, а в теплые межледниковые периоды — высокой, до 300 ppm. По анализу изотопов кислорода ученые восстановили температуру прошлого: в последний миллион лет на нашей планете временами было теплее, чем сейчас.

Приходы ледниковых периодов и теплые межледниковые времена видны как периодические минимумы и максимумы всех параметров (температуры, концентраций $CO_2$, $CH_4$, уровня океана) на рис. 1.6.

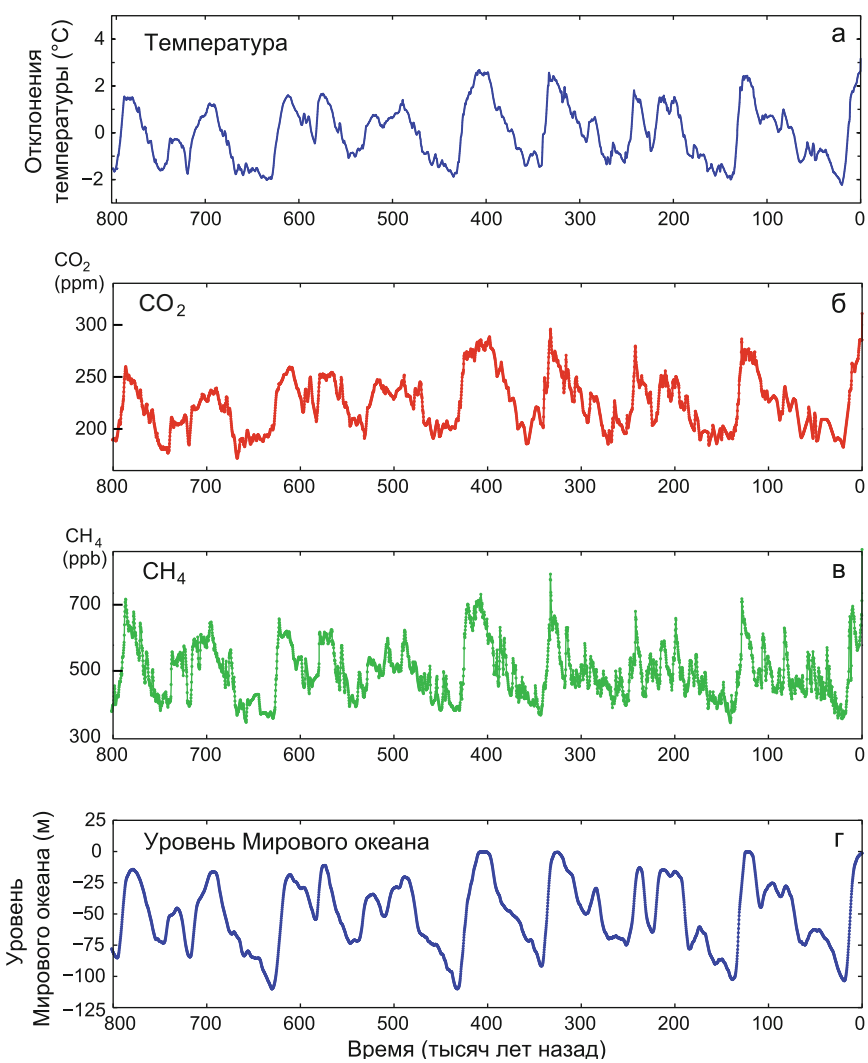
---

[7] Hansen, J.E., and Mki. Sato, 2011: Paleoclimate implications for human-made climate change. In *Climate Change: Inferences from Paleoclimate and Regional Aspects.* Berger, André; Mesinger, Fedor; Sijacki, Djordje (Eds.) Springer, 2012, 270 pp. http://www.springer.com/environment/global+change+-+climate+change/book/978-3-7091-0972-4; Rahmstorf, S., 2007: A semi-empirical approach to projecting future sea-level rise, Science, 315, 368-370; Hansen, J.E., 2007: Scientific reticence and sea level rise. *Environ. Res. Lett.*, 2, 024002 (6 pp.)

Содержание $CO_2$ в атмосфере следует за температурными изменениями в Антарктиде с запаздыванием на несколько столетий. Так, биосфера Земли реагирует на изменение температуры. При этом во время нескольких тысяч лет в начале и в конце ледникового периода $CO_2$ ускоряет этот процесс. Когда становится холоднее, содержание $CO_2$ падает, ослабляется парниковый эффект и становится еще холоднее. В конце ледникового перио-

**Рис. 1.6 Температура, концентрации $CO_2$ и метана, уровень Мирового океана за последние 800 тыс. лет**

*Источник:* Hansen, J.E., and Mki. Sato, 2011: Paleoclimate implications for human-made climate change. In *Climate Change: Inferences from Paleoclimate and Regional Aspects.* Berger, André; Mesinger, Fedor; Sijacki, Djordje (Eds.) Springer, 2012, 270 pp. http://www.springer.com/environment/global+change+-+climate+change/book/978–3–7091–0972–4




Температура дана как отклонения от среднего уровня за 800 тыс. лет (расчет по содержанию изотопов кислорода).

Единицы измерения для $CO_2$ — частей на миллион (ppm), для $CH_4$ (метана) — частей на миллиард (ppb) — число молекул газа на миллион или миллиард молекул всех газов воздуха. Сейчас с начала XIX века концентрация $CO_2$ возросла примерно на 100 ppm и практически достигла 400 ppm, метан вырос с 700 до 1900 ppb.

За ноль уровня моря принят сегодняшний уровень.

да становится теплее, концентрация $CO_2$ в атмосфере больше, и температура растет быстрее за счет усиления парникового эффекта.

Последний ледниковый период начался примерно 110, а закончился 13 тыс. лет назад. Более подробно его ход, а также динамика климата 20–5 тыс. лет назад рассмотрены ниже в тематическом разделе «Лес и климат». Там анализируется, как колебания температуры влияли на растительность, и приведены карты ее распределения в разные тысячелетия.

Примерно 5–7 тыс. лет назад климат был несколько более теплым и влажным, чем сейчас, — был пройден пик межледниковья (так называемый оптимум голоцена). Вероятно, такие условия были благоприятны для древнего человека и развития цивилизации, но заметим, что теперь у человека иные экономические условия, иная численность и расселение по планете, иная продолжительность и стандарты жизни. Поэтому было бы ошибочно думать, что «аналогичное» потепление на пару градусов будет благом и для нашей современной цивилизации. Затем около 5 тыс. лет назад климат постепенно похолодал и стал близок к современному.

Сейчас мы находимся в теплом межледниковом периоде и медленно движемся к следующему ледниковому периоду, который наступит через несколько десятков тысяч лет. Более точно определить время сильного похолодания пока не удается, но большинство ученых полагает, что у нас еще есть как минимум 20 тыс. лет. Поэтому рассматривая ниже климат последнего тысячелетия, а затем прошлого и нынешнего столетий, мы пока можем «забыть» об орбите Земли и ледниковых периодах и обратить внимание на иные факторы: океанские циклы, вулканы и Солнце.

## Естественные изменения климата в последние столетия: океанские циклы, вулканы и Солнце

Факторы, которые обусловили изменения климата в последние сотни лет, конечно, действовали всегда. Однако для более далеких времен у нас не хватает данных, чтобы отследить их относительно небольшое и краткосрочное влияние. Как было сказано выше, ученые определили, насколько климат 5–6 тыс. лет до нашей эры отличался от климата 13–14 тыс. лет назад. Но они

не могут сказать, чем климат, например, 5100-х годов до нашей эры отличался от климата 5300-х годов. Изменения, конечно, были, но какие конкретно, сказать нельзя. Можно лишь утверждать, что они были относительно краткосрочными и небольшими, гораздо меньшими, чем вариации климата, которые мы видели при рассмотрении климатической истории Земли за сотни тысяч и миллионы лет.

За последнюю тысячу лет есть гораздо больше данных. Конечно, прямые измерения температуры начались только в XVIII веке, но есть косвенные методы, которые уже хорошо проработаны и признаны учеными как надежные. Один из основных — дендрохронология: определение изменений температуры по ширине колец ежегодного прироста древесины. Кроме очень старых деревьев, в распоряжении ученых немало остатков деревянных строений, где есть очень старые бревна. Другие методы основаны на анализе растительного покрова, а также донных отложений различных водоемов. В результате для ряда регионов удается проследить вариации температуры за последние примерно 1200 лет, но не более (рис. 1.7).

Пока нельзя сказать, что о причинах изменений климата известно все. Уровень знаний растет, но при этом оценка роли различных факторов может меняться. Десять лет назад многие ученые главным фактором последнего тысячелетия называли вариации солнечной активности. Однако исследования последних лет выявили наличие очень мощных, но не связанных с Солнцем

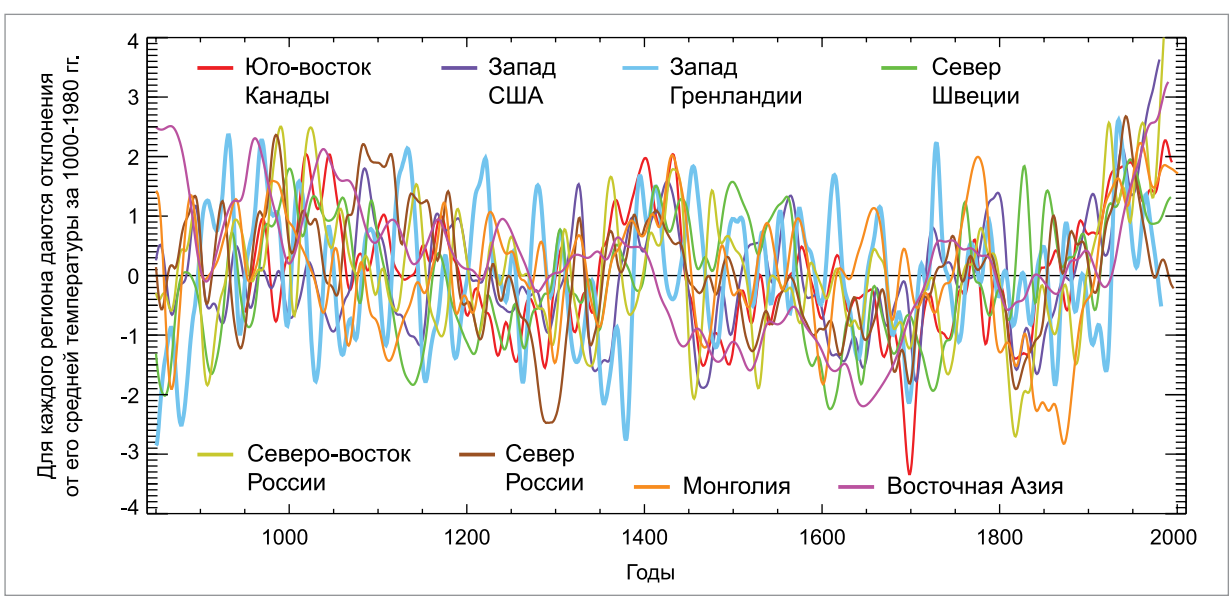



**Рис. 1.7 Вариации температуры в различных регионах мира за последние 1000 лет** (оценка по косвенным данным о растительном покрове, годичным кольцам деревьев и другим источникам)

*Источник:* IPCC 4AR, vol. 1, Climate Change 2007. The Physical Science Basis. p. 468, www.ipcc.ch

вариаций с периодом в несколько десятков лет, которые обычно называют океанскими циклами. Собственно, другого названия быть и не может, так как почти вся энергия климатической системы Земли сосредоточена именно в океане. В долгосрочных колебаниях атмосферные процессы могут серьезно влиять на климат, только если в них участвует океан.

**Океанские циклы.** Сейчас активно исследуются физические механизмы, которые могут приводить к циклическим изменениям в океане с периодом от 1–2 до ста и более лет. Картина очень непростая — идет единая циркуляция поверхностных и глубинных вод и их взаимодействие с атмосферой. Океанские течения объединены в огромный планетарный конвейер, причем трехмерный — есть поверхностные течения, а есть глубинные. В одних частях конвейера движение вод может быть более быстрым, а в других очень медленным, но охватывающим огромные массы воды. Теперь представим себе, что движение и температура различных частей этого конвейера могут «пульсировать». Когда чуть теплее поверхностные воды — над ними теплее атмосфера, когда чуть теплее глубинные воды — атмосфера холоднее. Энергия как бы «перетекает» из глубин на поверхность и обратно, из одной части океана или атмосферы в другую и «возвращается» назад, причем это может занимать десятки лет, но общее количество энергии остается практически неизменным. Одним из механизмов превращения непрерывного движения в циклический процесс может являться конвекция, которая из-за вязкости воды возникает только при определенной разнице в плотности воды, зависящей от ее температуры и солености. До этого температура глубинных вод может медленно нарастать, но конвекции не будет. Когда же разница достигнет определенного предела, начнется быстрое конвективное движение.

Ученые выявляют и изучают многолетние колебания океана и атмосферы по всему земному шару. Приведем только два примера. Для Атлантики характерны вариации с периодом примерно в 60-70 лет (рис. 1.8). Такие вариации сильно влияют на местный климат, в частности, на температуру в западной Гренландии (голубая линия на рис. 1.7). Вероятно поэтому, когда викинги ее открыли и назвали «Зеленой землей», там было относительно тепло, а в Швеции могло быть холодно, что только усилило контраст. Однако возможно и влияние океанских вариаций в глобальном масштабе (рис. 1.8).

Попробуем на примере вариаций в Атлантике (так называемого Атлантического мультидекадного колебания) сопоставить

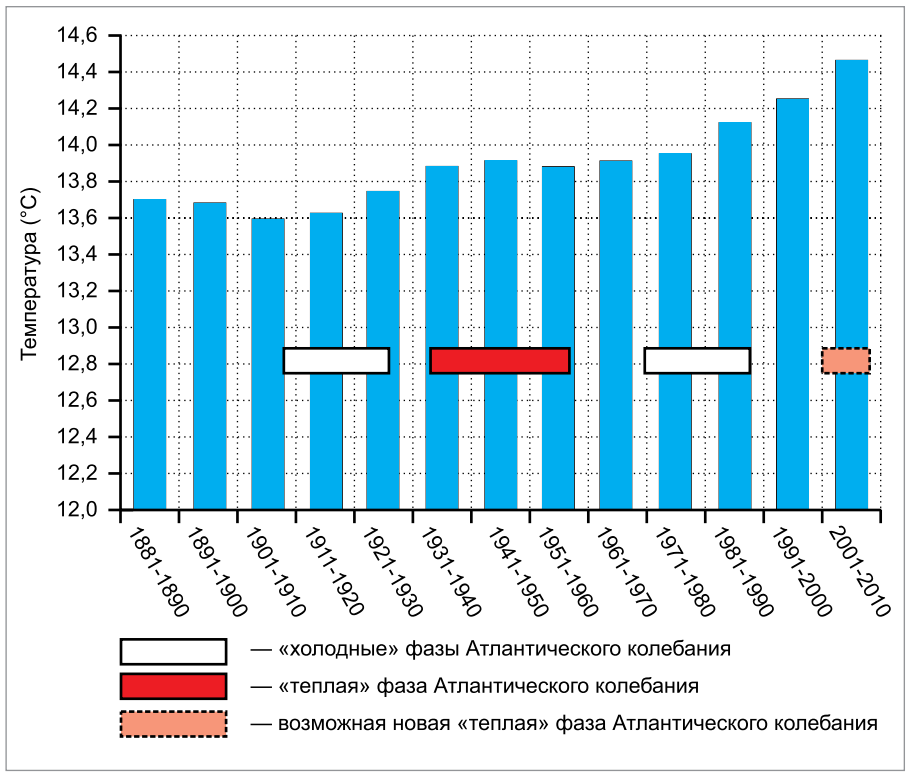



**Рис. 1.8**
**Рост глобальной приземной температуры воздуха в последние 130 лет и его примерное сопоставление с «теплыми» и «холодными» фазами Атлантического мультидекадного колебания**

*Источник:* По данным: Росгидромет «Изменение климата» вып. 34, май 2012 г. www.meteorf.ru или www.global-climate-change.ru. Названия фаз Атлантического колебания даны условно и приведены в кавычках. Данное явление описывается специальным индексом (AMO — Atlantic Multidecadal Oscillation Index). Периоды его роста условно названы здесь «холодными» фазами, а периоды, когда индекс постоянен и относительно высок — «теплыми». Источник данных об AMO: База данных US NOAA Earth System Research Laboratory, имеется в открытом доступе на сайте. http://www.esrl.noaa.gov/psd/data/timeseries/AMO/

фазы данного цикла и изменения глобальной температуры воздуха (см. рис. 1.8). В XX веке «теплая» фаза данного колебания пришлась на 1930–1960 годы, а «холодные» фазы — на 1905–1925 годы и 1970–1990 годы. После этого, вероятно, с конца 1990-х началась «теплая» фаза (слова «теплая» и «холодная» специально даны в кавычках, см. подпись под рис. 1.8). Точного периода у этих циклических колебаний нет и изучены они слабо. Кроме того, на 1930-е годы пришелся максимум солнечной активности. Поэтому на основании этих колебаний нельзя сказать, какие десятилетия XXI века будут холоднее, а какие теплее. Однако даже поверхностное сопоставление, показанное на рис. 1.8, говорит о том, что, возможно, эти океанские колебания существенно влияют на климат Земли.

Десятилетний период 2001–2010 годов стал самым теплым с начала инструментальных измерений температуры — с 1850 года[8]. Однако внутри данного десятилетия рост температуры не прослеживается: нельзя сказать, что 2006–2010 годы были теплее, чем 2001–2005 годы (см. ниже рис. 1.14). Возможно, это действие циклических океанских процессов.

[8] Росгидромет «Изменение климата», вып. 34, май 2012 г. www.meteorf.ru или www.global-climate-change.ru

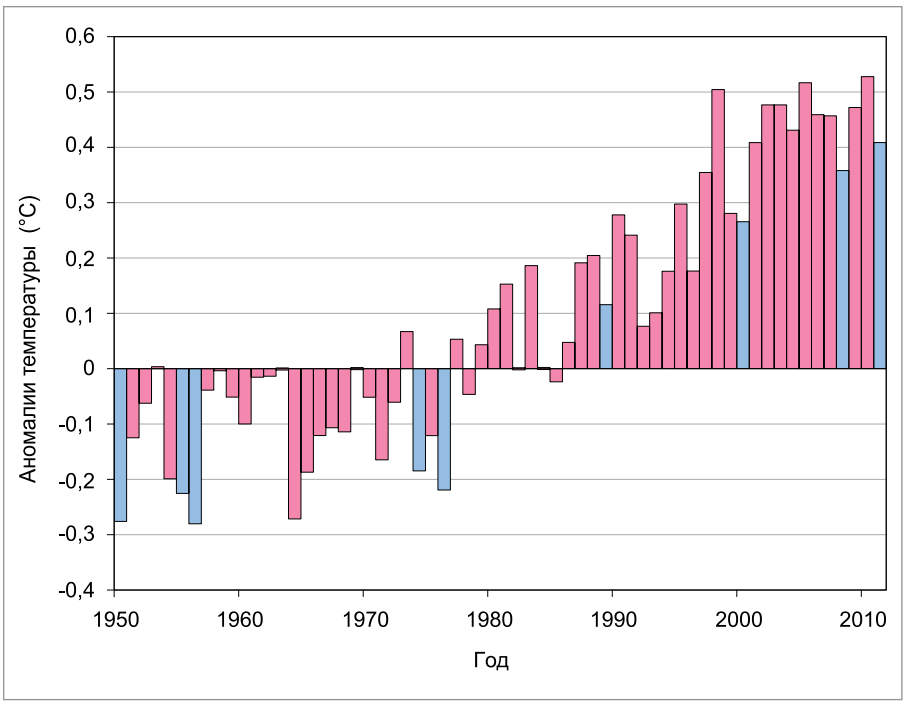



**Рис. 1.9 Отклонения глобальной средней приземной температуры воздуха от средней за 1961–1990 годы.** Синим цветом показаны случаи, когда на начало года температура вод в центральной и восточной частях Тихого океана была на 1,5–2 °C ниже средней (определенная фаза Южной осцилляции)

*Источник:* Всемирная метеорологическая организация (Заявление ВМО о состоянии глобального климата в 2011 г. на русском языке) http://www.wmo.int/pages/prog/wcp/wcdmp/documents/1085_ru.pdf

Другой пример: воздействие на температуру воздуха на планете океанского явления Эль-Ниньо, или Южной осцилляции[9]. Оно проявляется на огромной территории в южной части Тихого океана, от Индонезии до Южной Америки. Физическая природа явления очень сложна и еще далеко не до конца изучена. Схематически можно сказать, что очень теплая вода, сосредоточенная в 100–200-метровом слое в центральной части Тихого океана, «вдруг» тонким слоем начинает растекаться по поверхности океана, охватывая огромную площадь. Обычно холодные воды у берегов Перу вдруг сменяются более теплыми, очень сухая погода сменяется ливнями и т. д. Действие Эль-Ниньо очень заметно на всей планете. Именно с ним ученые связывают то, что 2011 год на планете был холоднее, чем 2009 и 2010 годы. На рис. 1.9 синим цветом выделены годы, когда Южная осцилляция была в определенной фазе своего циклического развития. В частности, когда на

[9] Эль-Ни́ньо (по испански *El Niño* — Малыш, Мальчик), или Южная осцилляция — колебание температуры поверхностного слоя воды в экваториальной части Тихого океана, имеющее заметное влияние на климат. В более узком смысле Эль-Ниньо — фаза Южной осцилляции, в которой область нагретых приповерхностных вод смещается к востоку. При этом ослабевают или вообще прекращаются пассаты, замедляется подъем глубинных вод в восточной части Тихого океана, у берегов Перу. Противоположная фаза осцилляции называется Ла-Нинья (*La Niña* — Малышка, Девочка). Характерное время осцилляции — от 3 до 8 лет, однако сила и продолжительность Эль-Ниньо сильно варьируются.

начало года температура поверхностного слоя воды в центральной и восточной частях экваториальной зоны Тихого океана была на 1,5–2 °С ниже среднего значения за 1961–1990 годы. В такие годы на всей планете было холоднее.

**Роль вулканов в формировании климата очень важна, но краткосрочна.** После извержений с выносом большого количества пепла и других частиц в стратосферу (если частицы не достигают стратосферы, то они быстро оседают) Земля на один-три года затеняется и температура на всей планете опускается примерно на 0,2–0,4 °С, что очень существенно. Например, в 1991 году после извержения вулкана Пенатубо охлаждающее действие выброшенных им частиц было почти в два раза больше, чем нагревающее действие $CO_2$, поступающего от всех источников на планете. Потом частицы оседают и климатическая система «забывает» об извержении. Заметим, что такие извержения случаются редко, за последние десятилетия они были только в 1963 (Агунг), 1982 (Эль-Чичон) и 1991 (Пенатубо) годах. Недавние извержения в Исландии и в других регионах стратосферу не затронули и на климат не повлияли.

**Еще одна причина климатических изменений — вариации солнечного излучения.** Известен 11-летний солнечный цикл. Наблюдения за Солнцем, начатые еще в XVII столетии, также позволяют проследить 40–45-, 60–70-, 100- и 200-летнюю изменчивость. При этом поток приходящей от Солнца энергии меняется слабо, но есть более сложные эффекты, которые тоже могут воздействовать на климат. Исследуется влияние Солнца на содержание в атмосфере озона (который является парниковым газом, хотя его вклад в общий парниковый эффект очень невелик); влияние на стратосферные облака (в ясную погоду от их количества зависят ночные температуры).С другой стороны, изучение влияния Солнца и других космических факторов на геомагнитные явления не выявило климатических эффектов.

Известен Маундеровский минимум солнечной активности (примерно 1640–1715 годы), когда было несколько холоднее, и это можно заметить на рис. 1.7. Повлияло Солнце на климат и в XX веке, в конце 1930-х годов был пик солнечной активности, а в Арктике льдов было относительно немного. Более слабый, но все же заметный максимум 200-летнего цикла Солнца был отмечен в 1980–1990-е годы. А восходящая ветвь 11-летнего цикла пришлась примерно на 1997–2003 годы. Тогда в прессе можно было прочесть, что потепление на Земле вызвано активностью Солнца. Климатологи с этим не соглашались, что затем получило

подтверждение — потепление растет, хотя активность Солнца идет на убыль. Поэтому можно услышать утверждения о похолодании в самое ближайшее время. Так и могло бы быть, если бы не вмешательство других факторов, гораздо более сильных. Это, вероятно, указанные выше естественные океанские циклы и, главное, усиление парникового эффекта из-за роста концентрации в атмосфере $CO_2$, метана и других парниковых газов антропогенного происхождения, о чем пойдет речь ниже.

Заметим, тот факт, что естественные факторы вызывали изменения климата в прошлом, не означает, что нынешнее изменение климата также вызвано естественными причинами[10]. Аналогичным образом то, что лесные пожары с давних пор вызываются естественными причинами, например ударами молний, не означает, что пожары не могут быть вызваны беспечностью человека.

## Главная климатическая особенность последних десятилетий

Теплые дни зимой, выпадающий только в январе снег, наводнения и засухи бывали и во времена А. С. Пушкина[11], и даже, как мы видели выше, когда викинги около 1000 лет назад открыли Гренландию. Но никогда в истории человечества не было ни столь высокой концентрации $CO_2$ в атмосфере, ни столь резкого ее роста, наблюдаемого с 1960–1980-х годов. Именно это является главной климатической особенностью последних десятилетий.

По записям температуры приземного слоя воздуха, в частности, за XX век почти ничего нельзя сказать о нынешнем изменении климата — подобно тому, как только по кашлю нельзя точно определить заболевание: это может быть грипп, бронхит или туберкулез. В 1930-е годы во время экспедиции «Челюскина» в Арктике тоже было теплее, чем в XX веке в целом. Но существенного роста концентрации $CO_2$ в атмосфере тогда еще не наблюдалось, а рост температуры был и в тропосфере, и в стратосфере. Это был равномерный прогрев всего атмосферного столба. Сейчас прогрев отмечается только в тропосфере, а выше, в стратосфере, идет охлаждение.

---

[10] Оценочный доклад об изменениях климата и их последствиях на территории Российской Федерации. М.: Росгидромет, 2008. http//:climate2008.igce.ru (см. главу 6 тома 1 данного доклада «Антропогенный вклад в изменение климата»).

[11] А.С. Пушкин. Евгений Онегин. *«Снег выпал только в январе. На третье в ночь. Проснувшись рано, В окно увидела Татьяна, Поутру побелевший двор, Куртины, кровли и забор, На стеклах легкие узоры, Деревья в зимнем серебре, Сорок веселых на дворе, И мягко устланные горы Зимы блистательным ковром».*

Проблема антропогенного изменения климата кроется в изменении химического и физического состава атмосферы, а не в росте температуры. Непосредственно человек почти не воздействует на климатическую систему, но загрязняет атмосферу пылью, сажей, увеличивает концентрацию $CO_2$ и метана, выбрасывает новые синтезированные парниковые газы, вырубает леса и изменяет альбедо, летает на самолетах и увеличивает количество перистых облаков и т.п. Эти воздействия могут как нагревать планету (как выбросы $CO_2$, метана, $N_2O$ и других парниковых газов, сажи), так и охлаждать (как загрязнение атмосферы аэрозолями). Ученые детально рассматривают все виды воздействий и сводят их к общему знаменателю — прогреву или охлаждению атмосферы в виде потока энергии в Вт/м$^2$ в секунду. Все потоки энергии — приход от Солнца, поглощение, отражение и излучение атмосферой, поверхностью Земли и облачным покровом, затраты на испарение и скрытая теплота конденсации — составляют ее глобальный баланс. Расчеты показали, что для планеты в целом самым главным и сильным воздействием человека сейчас является повышение концентрации $CO_2$[12]. Поэтому ниже рассматривается прежде всего $CO_2$.

Конечно, человек может и непосредственно прогревать атмосферу — сжигать топливо и нагревать окружающую среду. Наглядный пример этого — «тепловые острова» городов, в которых температура может повышаться более чем на 5 °С по сравнению с температурой за границей города. Но в глобальном масштабе это очень маленькое воздействие, не оказывающее влияния на климат планеты или даже области или края.

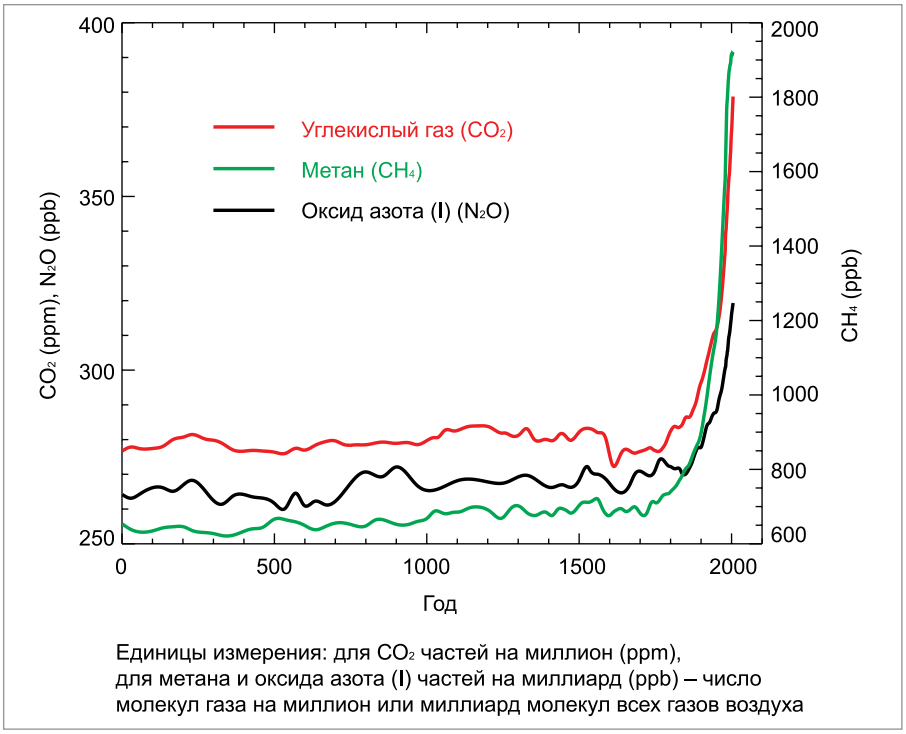
Еще раз подчеркнем, что учеными анализируются все возможные факторы, в том числе геологические и геомагнитные, в частности, вулканическая активность как прямой источник тепла и $CO_2$; наличие космической пыли и космического излучения, но они не считаются существенным фактором современных изменений климата[13].

Концентрацию $CO_2$ легко измерить, и такие наблюдения ведутся примерно на 300 станциях по всему миру. Но конкретное место в данном случае не важно: $CO_2$ хорошо перемешивается в атмо-

---

[12] Оценочный доклад об изменениях климата и их последствиях на территории Российской Федерации». М.: Росгидромет, 2008 г. Баланс энергии — см. том 1, с. 10; роль различных воздействий — см. том 1, с. 95. http//:climate2008.igce.ru

[13] Подробные пояснения см. Бюллетень Росгидромета «Изменение климата». Вып. 34, май 2012 г. www.meteorf.ru или www.global-climate-change.ru




Единицы измерения: для $CO_2$ частей на миллион (ppm), для метана и оксида азота (I) частей на миллиард (ppb) – число молекул газа на миллион или миллиард молекул всех газов воздуха

**Рис. 1.10 Концентрации парниковых газов за последние 2000 лет**

*Источник:* IPCC 4AR, vol. 1, Climate Change 2007. The Physical Science Basis. На русском языке см. Изменение климата, 2007 г. Физическая научная основа. стр. 111, www.ipcc.ch.

сфере, и рост концентрации практически одинаков по всему миру (рис. 1.10). Глобальный рост концентрации $CO_2$ зависит не от локальных выбросов, а от выбросов во всем мире. Также быстро растут концентрации $CH_4$ и $N_2O$, что также обусловлено деятельностью человека. Метан поступает в атмосферу от добычи природного газа, от домашних животных и с рисовых полей. Оксид азота (I) — при внесении в почву азотных удобрений (см. приложение 1).

Рассмотрим глобальный круговорот $CO_2$. Его можно представить как две огромные петли (темно-синие петли на рис. 1.11). Правая — газообмен атмосферы с наземной биотой, а левая — ее газообмен с океаном. Восходящая ветвь первой петли (эмиссия $CO_2$ в атмосферу) — это дыхание растений и животных, почвенных организмов, разложение органического вещества. Нисходящая ветвь (поглощение $CO_2$ из атмосферы) — фотосинтез наземных растений. Вторая петля — физический процесс газообмена океана с атмосферой, который тесно связан с третьей петлей (светло-голубая петля на рис. 1.11), которая находится уже в океане. Это дыхание и фотосинтез фитопланктона.

Когда человек начал добывать уголь, а потом нефть и газ, он вмешался в круговорот $CO_2$. Поясним это на примере угля (сжигание газа, нефтепродуктов и торфа, а также уничтожение лесов

в принципе действуют так же). Миллионы лет назад уголь образовался из растительных остатков. Тем самым тогда из атмосферы был изъят $CO_2$ (при росте и фотосинтезе растений) и помещен под землю в виде угля. Теперь человек достает его обратно и, сжигая, возвращает $CO_2$ в атмосферу. Казалось бы, ничего страшного — это круговорот. Но человек за год сжигает столько угля, сколько его образовывалось за сотни тысяч и миллионы лет. Поэтому баланса нет, а есть несбалансированный природными процессами выброс $CO_2$ в атмосферу (красные стрелки на рис. 1.11).

Но почему мы говорим, что рост $CO_2$ в атмосфере вызван именно человеком? Ведь биота дышит, потоки $CO_2$ между на-

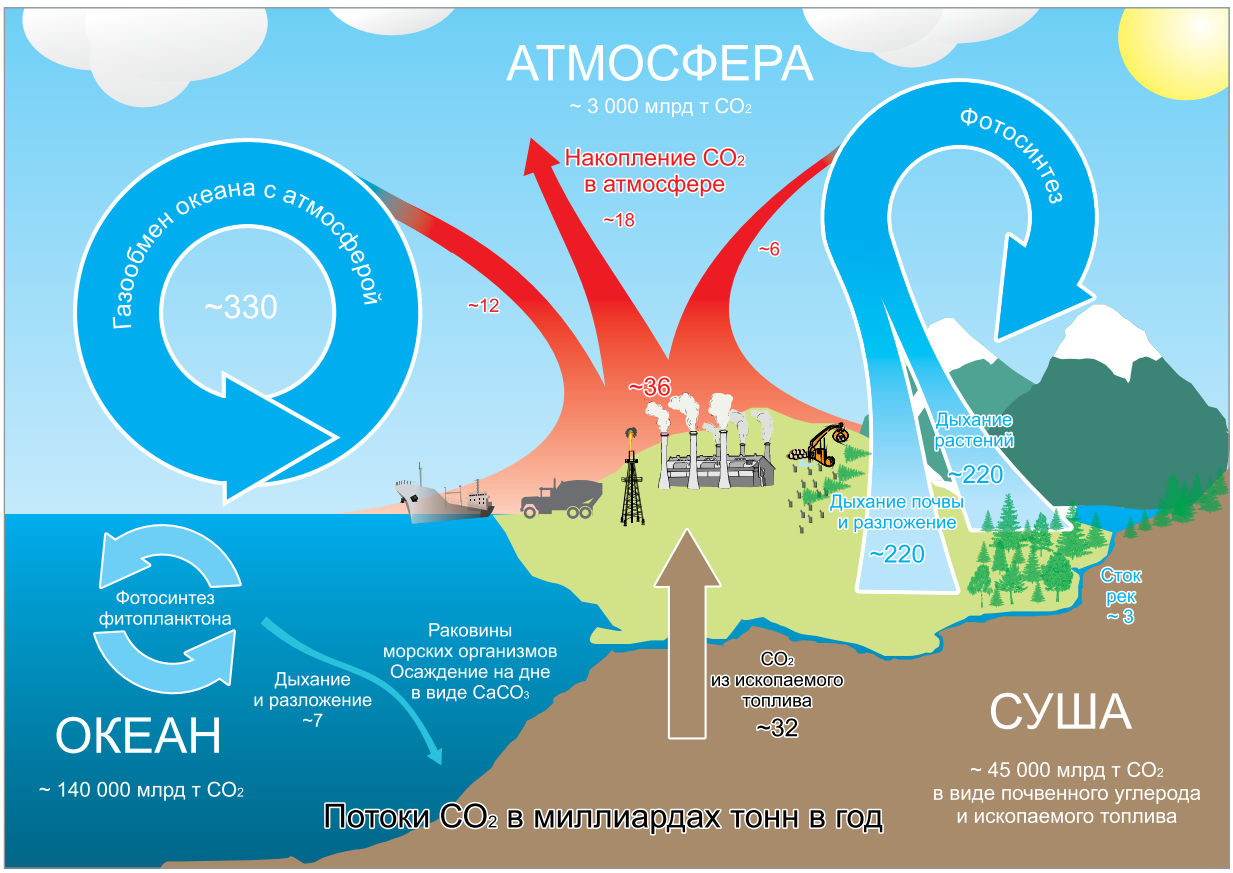



**Рис. 1.11. Круговорот $CO_2$ в природе**

*По данным:* Land Use, Land-Use Change and Forestry, IPCC, 2000 — Robert T. Watson, Ian R. Noble, Bert Bolin, N. H. Ravindranath, David J. Verardo and David J. Dokken (Eds.), Cambridge University Press, UK. pp 375.http://www.ipcc.ch/ipccreports/sres/land_use/index.php?idp=19; P. Falkowskiet. al. The Global Carbon Cycle: A Test of Our Knowledge of Earth as a System. Science 13 October 2000: Vol. 290 no. 5490 pp. 291–296 DOI: 10.1126/science.290.5490.291 http://www.sciencemag.org/content/290/5490/291; NASA Earth Observatory. The Carbon Cycle, 2011.http://earthobservatory.nasa.gov/Features/CarbonCycle/; данные о выбросах энергетики и промышленности за 2011 г. Trends in global CO2 emissions, 2012 report, EC Joint Research Center, PBL Netherlands. http://edgar.jrc.ec.europa.eu/CO2REPORT2012.pdf

земными экосистемами, атмосферой и океаном огромны — в 20 и более раз больше, чем поток $CO_2$ от сжигания ископаемого топлива (см. рис. 1.11). Может быть, эти огромные потоки как-то меняются естественным образом и это приводит к росту концентрации $CO_2$ в атмосфере. Почему виноват человек? На это четко указывает анализ корреляции между антропогенными выбросами $CO_2$, изменением соотношения изотопов углерода ($C^{12}$ и $C^{13}$) и ростом общего содержания $CO_2$ в атмосфере. Тот $CO_2$, которым прирастает атмосфера, имеет изотопный состав, характерный для продуктов сжигания угля, нефти и газа. Конечно, основную часть, более 99%, в любом случае составляет $C^{12}O_2$. Но в $CO_2$ от сжигания топлива $C^{13}O_2$ гораздо меньше, чем в $CO_2$, поступающем от фотосинтеза.

Концентрация $CO_2$ в атмосфере неумолимо растет каждый год: и в холодный, и в теплый. Это не удивительно, ведь источники роста — выбросы электростанций и котельных, транспорт, промышленные предприятия. Всюду, где сжигается уголь, газ, нефтепродукты, торф, в атмосферу поступает $CO_2$.

Куда девается $CO_2$? Сейчас более половины $CO_2$ накапливается в атмосфере, около 1/6 поглощается наземными экосистемами, а примерно 1/3 поглощается океаном (см. красные стрелки на рис. 1.11) и в конечном счете в виде известняка (карбоната кальция, $CaCO_3$), преимущественно раковин морских организмов фораминифер, осаждается на дне (рис. 1.12).

Сможет ли океан и дальше поглощать $CO_2$ в той же пропорции в будущем и превращать углерод, накопленный в угле, нефти, природном газе и торфе, в осадочные породы на океанском дне? Увы, и сам океан, как бы огромен он ни был, уже реагирует и на рост концентрации $CO_2$ в атмосфере, и на общее усиление парникового эффекта. Наиболее выделяются два эффекта.

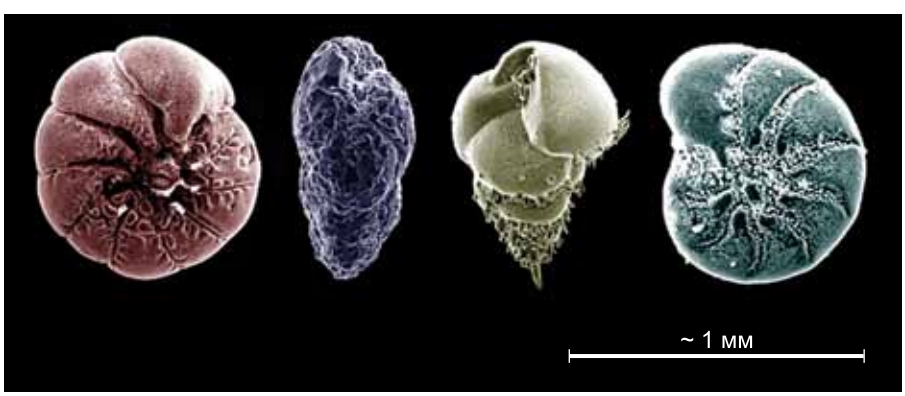



**Рис. 1.12**
**Раковины различных фораминифер**

*Источник:* British Geological Survey
http://www.bgs.ac.uk/research/img/climatechange/Forams.JPG

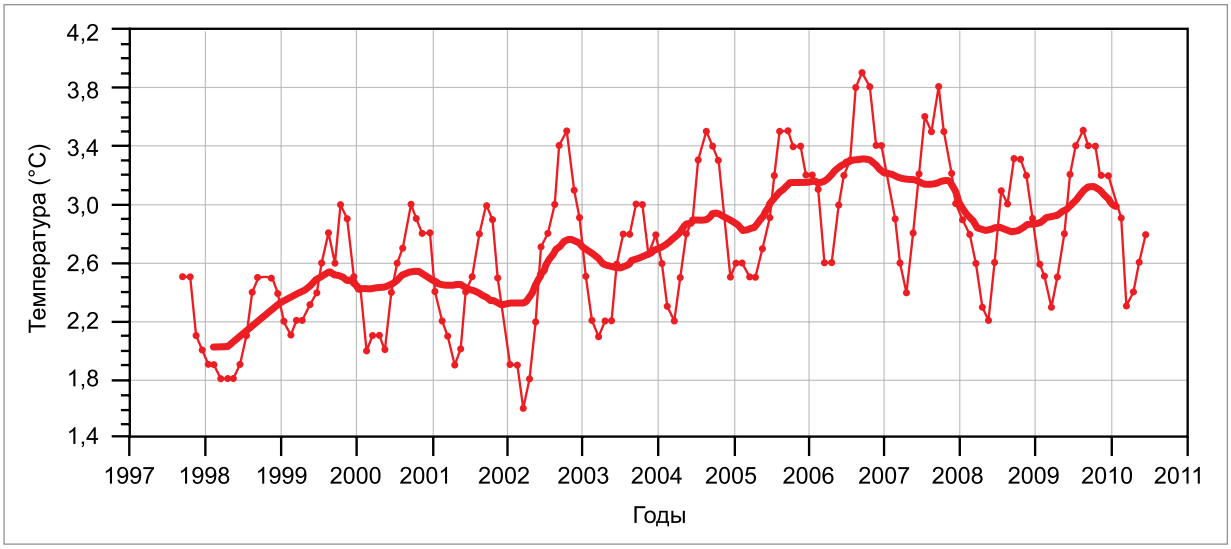



**Рис. 1.13 Температура океанских вод в проливе Фрама** (течение из Атлантики в Арктику к западу от Шпицбергена, измерения на 78°50' с.ш.)

*Источник:* Richter-Menge, J., M. O. Jeffries and J. E. Overland, Eds., 2011: Arctic Report Card 2011, http://www.arctic.noaa.gov/reportcard.

Во-первых, поверхностный слой океана становится более кислой средой — растворение в воде большего количества $CO_2$ приводит к эффекту, аналогичному добавлению кислоты. Увеличивается водородный показатель (pH) — величина, характеризующая концентрацию ионов водорода (равна отрицательному десятичному логарифму концентрации ионов водорода). В нейтральной среде pH = 7, в кислых средах < 7, в щелочных >7. За последние 20 лет в поверхностных водах океана он упал с 8,12–8,14 до 8,08–8,10. Казалось бы, совсем мало, но, например, для кораллов это существенно, ведь они привыкли жить в неизменной среде.

Во-вторых, океанские воды становятся теплее. Например, течение, которое идет из Атлантики в Арктику к западу от Шпицбергена, потеплело примерно на 1 градус (рис.1.13). Это совсем не мало, ведь теплеют огромные массы воды. Важнейший индикатор здесь не температура поверхности океанских вод или воздуха над океаном, а температура толщи воды. Поэтому такой рост наглядно свидетельствует о небольшом, но существенном прогреве планеты.

Важно понимать, что процесс поглощения $CO_2$ сложен и нелинеен, кислотность океана уже сместилась в сторону увеличения, и дальнейшую реакцию фитопланктона — основы жизни в океане — предсказать пока невозможно. Однако в большем числе научных работ говорится не о росте, а о снижении поглощения $CO_2$, а значит о неблагоприятном развитии событий. Поэтому, исходя из принципа предосторожности, лучше не надеяться на океан, а снижать выбросы $CO_2$.

Если воздействия столь наглядны и ведут к прогреву, то почему же тогда в вашем регионе не теплеет каждый год? Во-первых, воздействие человека накладывается на естественные процессы, которые имеют те или иные периоды потепления и похолодания. Они были рассмотрены выше.

Во-вторых, речь идет обо всей планете, и наиболее четкие тенденции видны на большой территории. Для того чтобы видеть динамику происходящих изменений, нужно смотреть на всю территорию России, а лучше — на всю поверхность океана и суши.

В-третьих, изменения средних температур очень невелики относительно растущего размаха колебаний — от необычно теплой погоды к холодной и снова к теплой. Мы замечаем, прежде всего, необычные, более частые, аномальные погодные явления, которые вместе с ростом уровня моря, таянием льдов и «вечной» мерзлоты являются главной проблемой нынешнего изменения климата. Два последующих раздела посвящены именно этим важнейшим особенностям последних десятилетий.

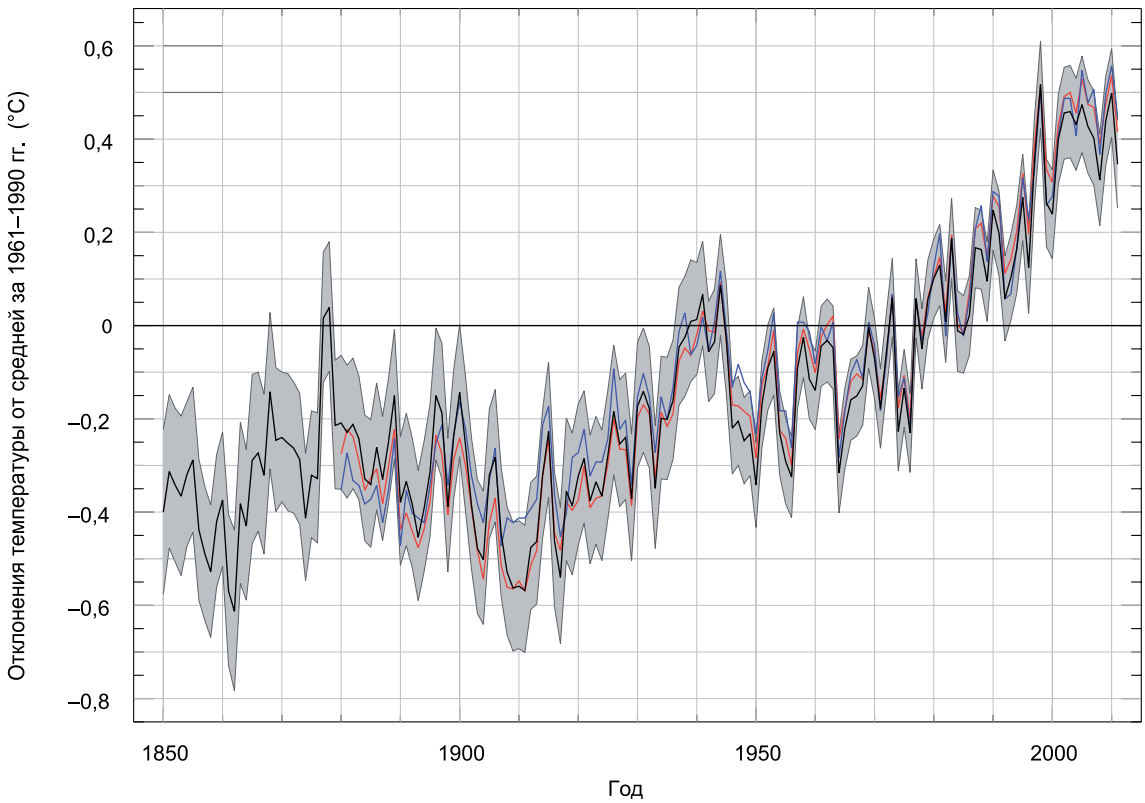
## Рост температуры в мире и в России

С начала XX века рост температуры приземного слоя воздуха на планете составил 0,8 °С. Средняя температура в наши дни уже не 13,7 °С, а 14,5 °С (см. рис. 1.8). На рассмотренные выше океанские циклы, вариации солнечной активности и извержения вулканов, которые определяли изменения климата в последние столетия, теперь накладывается антропогенное воздействие[14].

Изменяя состав атмосферы, человек влияет и в сторону потепления, и в сторону похолодания. Загрязнение атмосферы пылью дает похолодание, а $CO_2$ и другими парниковыми газами, сажей — в сторону потепления.

По данным последнего обзора Всемирной метеорологической организации, тенденция для мира в целом — потепление. Об этом говорят данные трех самых крупных метеорологических центров: США, Великобритании и Японии (рис. 1.14). При этом рост температуры гораздо больше, чем расхождения между данными разных центров.

[14] Оценочный доклад об изменениях климата и их последствиях на территории Российской Федерации. М.: Росгидромет, 2008. http//:climate2008.igce.ru (см. главу 6 тома 1 данного доклада «Антропогенный вклад в изменение климата»).




Синяя, черная и красная кривые — данные метеорологических центров США, Великобритании и Японии. Полоса, закрашенная серым цветом, отражает диапазон неопределенности, с которым британские ученые судят о точности имеющихся данных

**Рис. 1.14 Средняя глобальная температура приземного слоя воздуха**

*Источник:* Всемирная метеорологическая организация (Заявление ВМО о состоянии глобального климата в 2011 г. на русском языке) http://www.wmo.int/pages/prog/wcp/wcdmp/documents/1085_ru.pdf

Для России в целом общая, но неуклонная тенденция — это медленное потепление, проявляющееся на всей территории страны в целом заметнее, чем в отдельных регионах (рис. 1.15).

Как правило, если где-то холоднее нормы (тенденция не проявляется), как зимой 2010–2011 годов в европейской части России, то где-то теплее обычного, и тенденция потепления выражена особенно сильно, как весной 2011 года в Арктике и на большей части территории Сибири (рис. 1.16).

Учеными была проведена количественная оценка вклада человека в текущее изменение климата. Двухтомный доклад, в подготовке которого участвовали все работающие по проблеме климата институты Росгидромета и РАН, содержит такой вывод: *«Крайне маловероятно (< 5%), что изменения климата, наблюдавшиеся за последние 50 лет, происходили без внешнего воздействия; с высокой степенью вероятности (> 90%) можно утверждать, что*

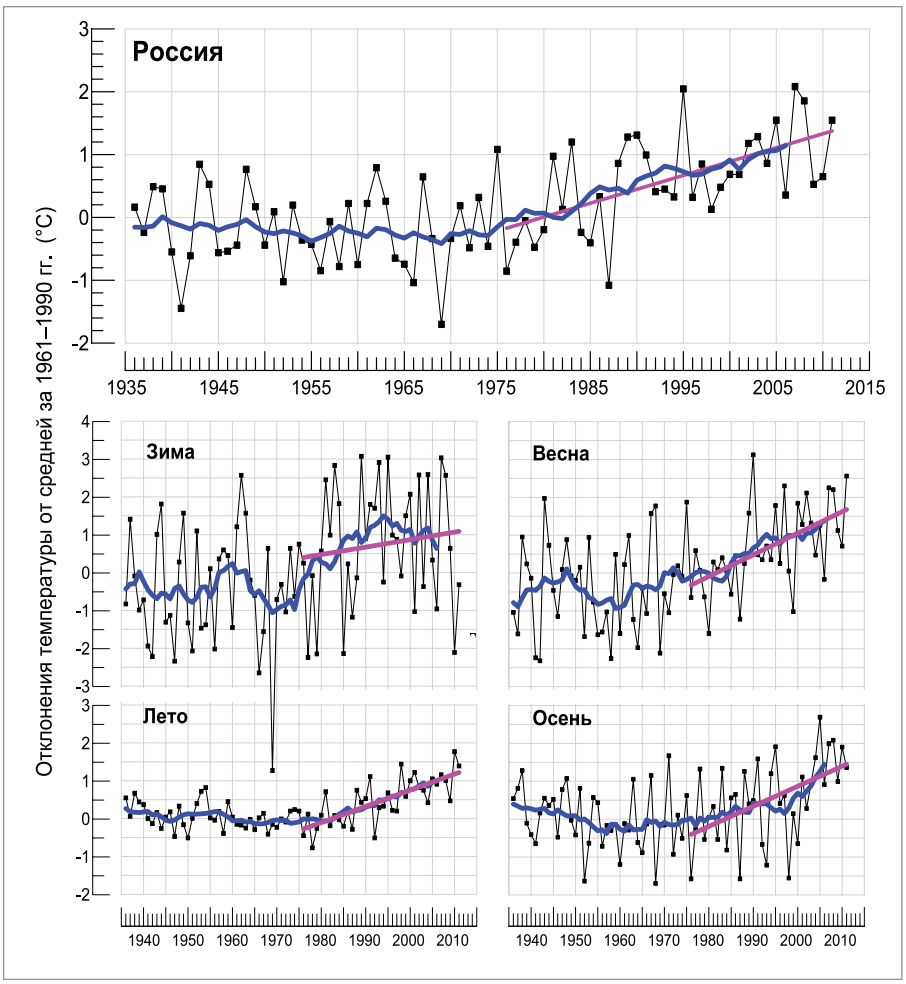



**Рис. 1.15 Средняя температура приземного слоя воздуха на территории России** (голубая кривая — 11 летнее среднее, красная линия — линейный тренд, подробное описание см. в начале тематического раздела 4)

*Источник:* Доклад об особенностях климата на территории Российской Федерации за 2011 год. М.: Росгидромет, 2012. www.meteorf.ru

*наблюдаемое увеличение концентраций антропогенных парниковых газов обусловливает большую часть глобального потепления начиная с середины XX века»*[15].

В данном докладе ученые не говорят о 100% вероятности, но разве 90% недостаточно для того, чтобы осознать серьезность проблемы и начать предпринимать меры? «Меры против чего?» — спросите вы. Конечно, должны приниматься меры не против незначительного глобального потепления (это лишь индикатор процесса изменения климата), а для остановки роста числа опасных гидрометеорологических явлений в целом (наводнений, засух, штормовых ветров, аномальных осадков, жары или мороза и т. п., всего, кроме извержений вулканов и цунами, которые с климатической системой не связаны). Речь о них пойдет ниже.

[15] Оценочный доклад об изменениях климата и их последствиях на территории Российской Федерации. М.: Росгидромет, 2008. http//:climate2008.igce.ru

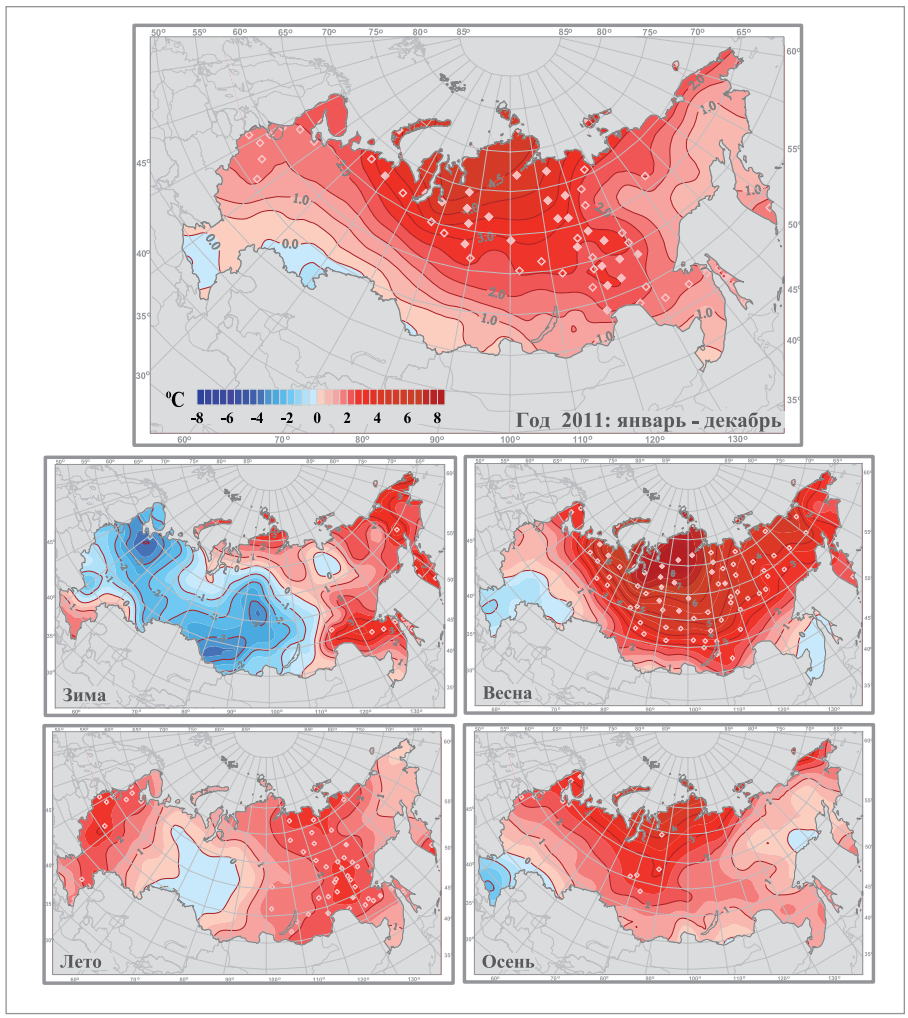



**Рис. 1.16 Средняя температура на территории России в 2011 году.** Цвета от синего до красного — отклонения температуры от средней за год или сезон в 1961–1990 гг.

*Источник:* Доклад об особенностях климата на территории Российской Федерации за 2011 год. М.: Росгидромет, 2012. www.meteorf.ru

## Разбалансировка климата и рост числа опасных гидрометеорологических явлений

Основной угрозой для природы и человека стало не потепление (оно пока невелико), а изменение, точнее, разбалансировка климата. То есть корректно говорить не о потеплении (как глобальной краткосрочной тенденции) или похолодании (как тенденции будущих десятков тысяч лет — ведь нас ждет новый ледниковый период), а о разбалансировке климата, ведь мы наблюдаем скачки температуры, в 5–10 раз большие, чем рост средних температур.

Например, зимы 2010 и 2011 годов на большей части России были существенно холоднее, чем в три предыдущих года.

Но при этом в феврале 2010 года был побит рекорд «жары» на полюсе холода в Оймяконе: было всего –15,3 °С, а в это же время на Олимпийских играх в канадском Ванкувере не хватало ни снега, ни холода. Росгидромет в «Докладах об особенностях климата на территории Российской Федерации» подчеркивает, что холодные зимы в отдельной части или даже на большей части территории России не указывают на смену тенденции.

Появляется иное измерение климата — его экстремальность. Если раньше мы говорили о морском климате с мягкой зимой и влажным летом и континентальном климате с жарким летом и холодной зимой, то теперь одновременно зима может быть аномально холодной и «жаркой», лето — и сухим, и дождливым. Так от месяца к месяцу колеблется наша новая погода.

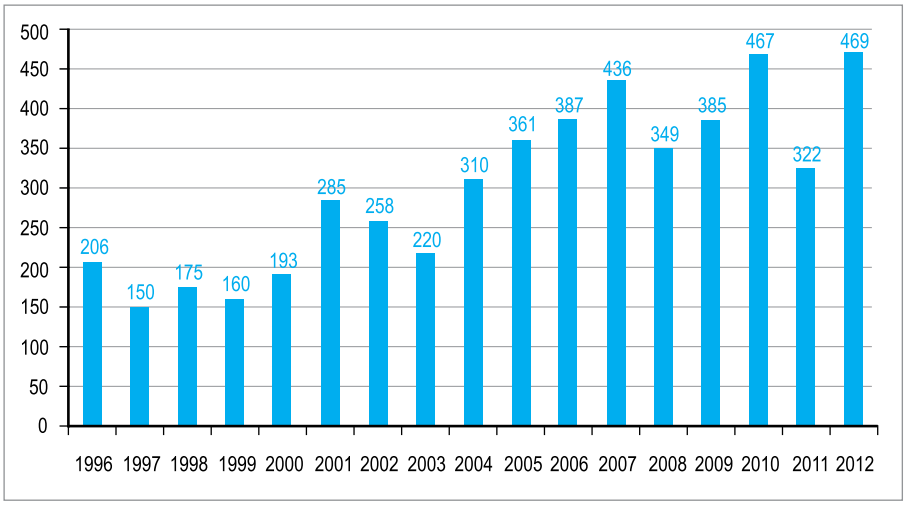
Росгидромет давно фиксирует увеличение числа опасных явлений, причем подсчитываются три параметра. Первый — число опасных метеорологических явлений (штормовые ветра, сильные дожди, снегопады, аномальная жара и аномальный холод, метели, смерчи, гололед, заморозки и т. п.), они прямо связаны с погодой и климатом. В 2012 году таких явлений было 536, в 2011-м — 401, в 2010-м — 511, в 2006–2009 годах — 390–446. За последние годы рост числа явлений проследить сложно, но по сравнению с 1998–2003 годами их стало в 2 раза больше. В основном рост наблюдается за счет более теплого времени года. Каких-то совершенно новых для той или иной местности явлений не фиксируется, но случается, что очень редкие события, например, ледяной дождь[16], происходят чаще и воспринимаются людьми как новые для их региона.

Второй параметр — общее число опасных явлений, включая агрометеорологические и гидрологические, в последние годы составляет 800–1000. Третий — явления, которые нанесли значительный ущерб отраслям экономики и жизнедеятельности населения. За последние 15 лет их число на территории России увеличилось вдвое: с 150–200 до 300–450 явлений в год, в 2012 году был поставлен рекорд — 469 явлений (рис. 1.17). Рост ущерба связан с двумя факторами: ростом метеорологических опасных явлений и ростом уязвимости всей инфраструктуры — мостов, дорог, линий электропередач, плотин, домов и других строений, которые часто возводятся без учета возможных чрезвычайных ситуаций.

[16] Ледяной дождь — очень редкое явление, которое иногда воспринимается как ранее невиданное. Такая ситуация в более неустойчивом климате и при резких перепадах погоды возникает чаще. Более подробно см. ниже, приложение 3.

**Рис. 1.17**
**Число опасных гидрометеорологических явлений, которые нанесли значительный ущерб**

*Источник:* Доклад об особенностях климата на территории Российской Федерации за 2012 год. — М.: Росгидромет, 2013 www.meteorf.ru

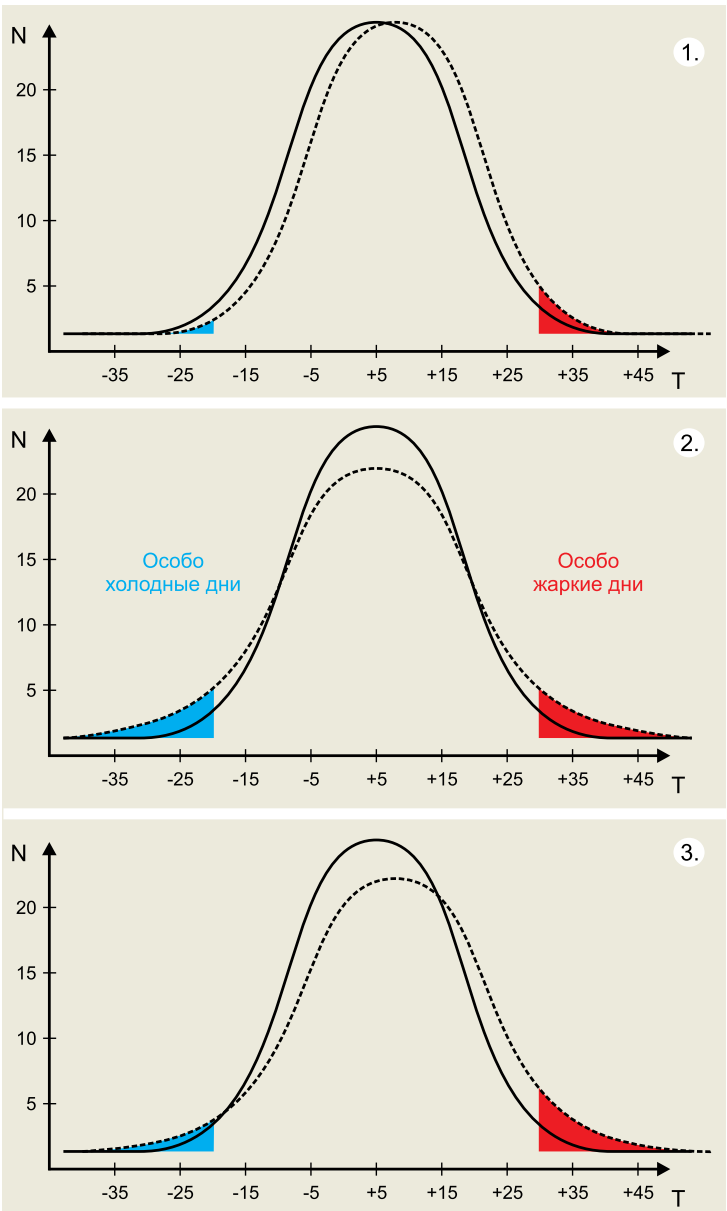



Почему при росте средней температуры может увеличиваться не только число жарких дней, но и число холодных? Это зависит от того, какой процесс преобладает: рост средней температуры или увеличение вариабельности климата. На рис.1.18 на верхней диаграмме показан эффект только от роста температуры — тогда действительно жарких дней больше, а холодных меньше. На средней диаграмме — только увеличение вариабельности, больше и холодных, и жарких дней. А на нижней диаграмме показано их возможное сочетание.

Заметим, что прогноз погоды и прогноз климата — вещи разные. Успех в одном не означает успеха в другом, и наоборот: неуспех в одном не ведет к неуспеху в другом. То, что погоду сложно точно предсказать даже на неделю, не означает, что нельзя предсказать изменение климата. Но при этом используется вероятностное описание, говорится о том, насколько чаще или реже будут наблюдаться те или иные температуры или погодные явления.

Работы по прогнозированию изменения частоты опасных гидрометеорологических явлений активно ведутся во всем мире. Пока удается давать прогноз только в очень обобщенном виде. Например, в последнем докладе Межправительственной группы экспертов по изменению климата, вышедшем в 2012 году[17], рассчитано, насколько чаще будут случаться явления, которые сейчас наблюдаются раз в 20 или 50 лет. Так, для севера Евразии экстремально высокие температуры, которые сейчас наблюдаются раз в 20 лет,

[17] Special report of the Intergovernmental Panelon Climate Change, «Managing the risks of extreme events and disasters to advance climate change adaptation», 2012, 582 pp., www.ipcc.ch




N – число дней в году с определенной среднесуточной температурой
T – среднесуточная температура, °C

—— — климат 1961–1990 гг.
------ — современный климат

1. Только эффект от роста средней температуры – тогда жарких дней больше, а холодных меньше (такая ситуация встречается очень редко)
2. Только увеличение вариабельности климата, больше и холодных, и жарких дней
3. Сочетание обоих эффектов, когда изменение числа жарких и холодных дней сильно зависит от местных условий. Возможен практически одинаковый рост числа жарких и холодных дней, а для каких-то мест в те или иные десятилетия рост числа холодных дней может даже превышать рост числа жарких

**Рис. 1.18 Возможное увеличение числа жарких и холодных дней**

*По данным:* Special report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, “Managing the risks of extreme events and disasters to advance climate change adaptation”, 2012, 582 pp., www.ipcc.ch

к середине XXI века будут в три раза чаще — раз в 7 лет. К концу века они могут повторяться уже раз в 3–5 лет, то есть станут более типичным явлением.

Сейчас активно обсуждается вопрос о причинах аномальной жары на европейской части страны в 2010 году. Есть работы, говорящие, что причины естественные, наступлению такой жары могло содействовать Эль-Ниньо (см. рис. 1.9) и циркуляция воздуха в Арктике[18]. Однако в большинстве научных статей выражается мнение, что антропогенное воздействие все же было. Ориентировочный вывод таков: естественные циклы могли привести к экстремальной жаре, но с вероятностью 80% внесло свой вклад и антропогенное воздействие, оцениваемое примерно как 20%. Расчеты показали, что если в климате 1960 года подобная экстремальная жара могла бы наблюдаться один раз примерно в 100 лет, то в более теплом климате 2000 года — уже в три раза чаще, примерно один раз в 30 лет[19]. Если продолжить эти оценки на будущее, то к середине века такая жара будет примерно раз в 10 лет, а к концу века, при неблагоприятных сценариях сильного антропогенного воздействия, раз в 3 года.

Аналогичным образом выглядит и прогноз для сильных осадков и наводнений на вторую половину XXI века. В научных докладах можно встретить такие фразы: «Если воздействие человека на климат будет минимально, то сильные наводнения, вероятно, будут случаться раз в пять лет, а если максимально — то раз в три года». Под «минимально» и «максимально» ученые имеют в виду совершенно конкретные сценарии изменения выбросов парниковых газов, аэрозольных частиц и т. п., то есть конкретные и реалистичные варианты развития мировой экономики и энергетики[20]. Из этого видно, что от нас зависит немало.

---

[18] Бюллетень «Изменение климата», № 38, 2012 г., с. 24 http://meteorf.ru или http://www.global-climate-change.ru

[19] http://eco.ria.ru/weather/20120221/571599637.html, более детально см. F. E. L. Otto, N. Massey, G. J. van Oldenborgh, R. G. Jones, and M. R. Allen.Reconciling two approaches to attribution of the 2010 Russian heat wave.Geophys.Res. Lett., 39, 4, doi:10.1029/2011GL050422, 2012 http://europa.agu.org. См. также: Груза Г. В., Ранькова Э. Я. Оценка возможного вклада глобального потепления в генезис экстремально жарких летних сезонов на европейской территории РФ. Известия РАН. Физика атмосферы и океана, том 47, № 6, ноябрь–декабрь 2011 г. http://www.maikonline.com/maik/showIssues.do?juid=REO6YUZVA&year=2011&lang=ru

[20] Более подробно см. ниже тематический раздел по региональным изменениям климата, а также сайт Главной геофизической обсерватории, где имеется интерактивная прогностическая карта. http://www.voeikovmgo.ru/ru/izmenenie-klimata-rossii-v-xxi-veke (на сайте ГГО http://www.voeikovmgo.ru можно выбрать справа вверху раздел «Изменение климата России в XXI веке»).

Разница между сценариями проявляется только через 50–80 лет. Более близкое будущее фактически предопределено уже произошедшими изменениями состава атмосферы. Ведь даже если человек немедленно и очень резко сократит выбросы $CO_2$, то его концентрация в атмосфере будет снижаться очень медленно.

По мнению директора Главной геофизической обсерватории им. А. И. Воейкова — нашего ведущего научного учреждения, занимающегося прогнозом изменений климата, В. М. Катцова, *«говоря о середине XXI века, достаточно уверенно можно говорить о том, что влияние антропогенного фактора будет усиливаться, даже если человечество вдруг станет интенсивно сокращать выбросы парниковых газов. Климатической системе присуща значительная инерция, прежде всего из-за такого «тяжелого» ее компонента, как океан. То, что мы наблюдаем сегодня, является реакцией на концентрации парниковых газов, накопленные в атмосфере десятилетия назад. То же самое относится и к будущему: наши сегодняшние усилия по сокращению выбросов климатическая система «почувствует» лишь во второй половине XXI века»*[21].

Далеко не все опасные гидрометеорологические явления в той или иной степени удается связать с воздействием человека. Вероятно, каких-то явлений может становиться больше по естественным причинам, на них могут влиять, например, океанские циклы. Тут еще очень много неясного.

Есть и эффект иного рода. Так, ущерб от тайфунов растет, но нельзя сказать, что тайфунов становится больше. Ущерб вызван тем, что все больше людей живет в зонах высокого риска. Во многих местах земли не хватает, и люди начинают селиться слишком близко к морю или на островах, часто строят совсем ветхие жилища.

Для наводнений мы видим сочетание двух факторов: рост ущерба как от увеличения числа наводнений, так и от проживания все большего количества людей в опасных зонах. Нередко ущерб многократно усиливается элементарной бесхозяйственностью или бездумным строительством дамб и прочих объектов, наличие которых приводит к наводнениям. Например, так было во время наводнения в Бангкоке в 2011 году и во время наводнения в Крымске в июле 2012 года.

[21] Санкт-Петербург, 28 июня 2011 г.

# Опасны не нынешние, а будущие изменения климата

Нерешенных вопросов в климатической науке еще очень много. Тем не менее, в вышедшем в 2009 году обобщающем докладе наши ученые сошлись во мнении, что серьезнейшей причиной изменений климата в последние десятилетия является антропогенное воздействие[22]. Действия человека, в частности, по выбросам $CO_2$ можно спрогнозировать (ведь это, прежде всего, ход развития мировой энергетики — потребление угля, газа и нефти), а значит и дать прогноз изменений климата. Именно он и вызывает опасения, поскольку сулит гораздо более серьезные потери от опасных гидрометеорологических явлений, чем мы видим сейчас.

Нарастание случаев необычной погоды, штормовых ветров, сильных осадков, наводнений и засух, а также в целом понимание причин и неизбежности ущерба — именно это и тревожит экологов. Для нашей страны также важно таяние и деградация «вечной» мерзлоты (подробнее см. тематический раздел по Арктике).

Другой эффект — повышение уровня океана и постепенное затопление малых островов, низко расположенных, но в наше время густонаселенных местностей и больших городов. Это относится, прежде всего, к Юго-Восточной Азии, но не надо забывать и о других прибрежных городах, включая Санкт-Петербург.

Приведенные выше на рис. 1.6 (стр. 28) палеоклиматические данные показывают, что на 1°С потепления или похолодания приходится примерно 15 м подъема или снижения уровня океана. За последнюю сотню лет потеплело на 0,8 °С, а уровень океана вырос всего примерно на 20 см (сейчас он растет на 3–5 см за 10 лет как за счет теплового расширения воды в верхнем слое океана, так и за счет разрушения и таяния ледников). При этом ученые говорят о росте уровня океана на 0,5–1,5 м к концу XXI века[23].

Причина «несоответствия» во временном масштабе — 15 м на 1°С — соответствует равновесному состоянию, в которое кли-

[22] Оценочный доклад об изменениях климата и их последствиях на территории Российской Федерации. М.: Росгидромет, 2008. http//:climate2008.igce.ru (см. главу 6 тома 1 данного доклада «Антропогенный вклад в изменение климата»).

[23] Подробный анализ прогнозов подъема уровня океана см. Turn Down the Heat. Why a 4 °C Warmer World Must be Avoided. 2012, Potsdam Institute for Climate Impact Research and Climate Analytics for World Bank, http://climatechange.worldbank.org/

матическая система Земли приходит сотни и, вероятно, даже тысячи лет. Это значит, что даже если резко снизить антропогенное воздействие на климат, то уровень океана будет постепенно расти сотни и тысячи лет. В принципе рост может составить даже несколько десятков метров. Процесс этот нелинеен, и пока не известно, насколько нелинеен. Не «выстрелит» ли уровень океана в конце XXI века или в середине XXII века? Или, может быть, процесс столь медленный — десятки тысяч лет, и нам на помощь придет новый ледниковый период, который обратит данный процесс вспять? Сейчас на эти вопросы ответа нет, но, вероятно, лучше следовать принципу предосторожности и ориентироваться на худшие варианты развития событий.

Природа ко многому может приспособиться, но ей нужно время. Процесс изменений не должен быть очень быстрым, иначе потерь не избежать. Плавность означает, что человечество должно замедлить рост выбросов парниковых газов, а потом постепенно его снижать. В вышедшем в 2007 году международном докладе ученые уже дали примерный ответ об относительно безопасном уровне выбросов и необходимых действиях: к середине XXI века глобальные антропогенные выбросы парниковых газов надо снизить в 2 раза от уровня 1990 года. В этом случае рост средней температуры будет 2 °С или лишь несколько больше, что должно позволить избежать наиболее опасных явлений и большого ущерба[24].

Посмотрим, чем опасно «незначительное» (с точки зрения большинства обывателей) повышение температуры на несколько градусов на планете (рис. 1.19).

По продовольствию снижение урожаев в Африке и Азии ожидается при любом повышении температуры, но до определенного предела оно может компенсироваться ростом урожаев в более северных и развитых странах. При росте глобальной температуры более чем на 4 °С снижение урожайности приобретает всемирный характер и требует дорогостоящих методов ведения сельского хозяйства и использования новых сортов.

Особую тревогу вызывает ожидаемый дефицит пресной воды. До «порога» в 2 °С от этого страдают лишь отдельные засушливые регионы, а при большем повышении средней температуры дефицит приобретает массовый характер. По имеющимся оценкам, тогда на всех континентах, в том числе в Центральной Азии

[24] IPCC 4AR, vol. 1–3, Climate Change 2007.www.ipcc.ch

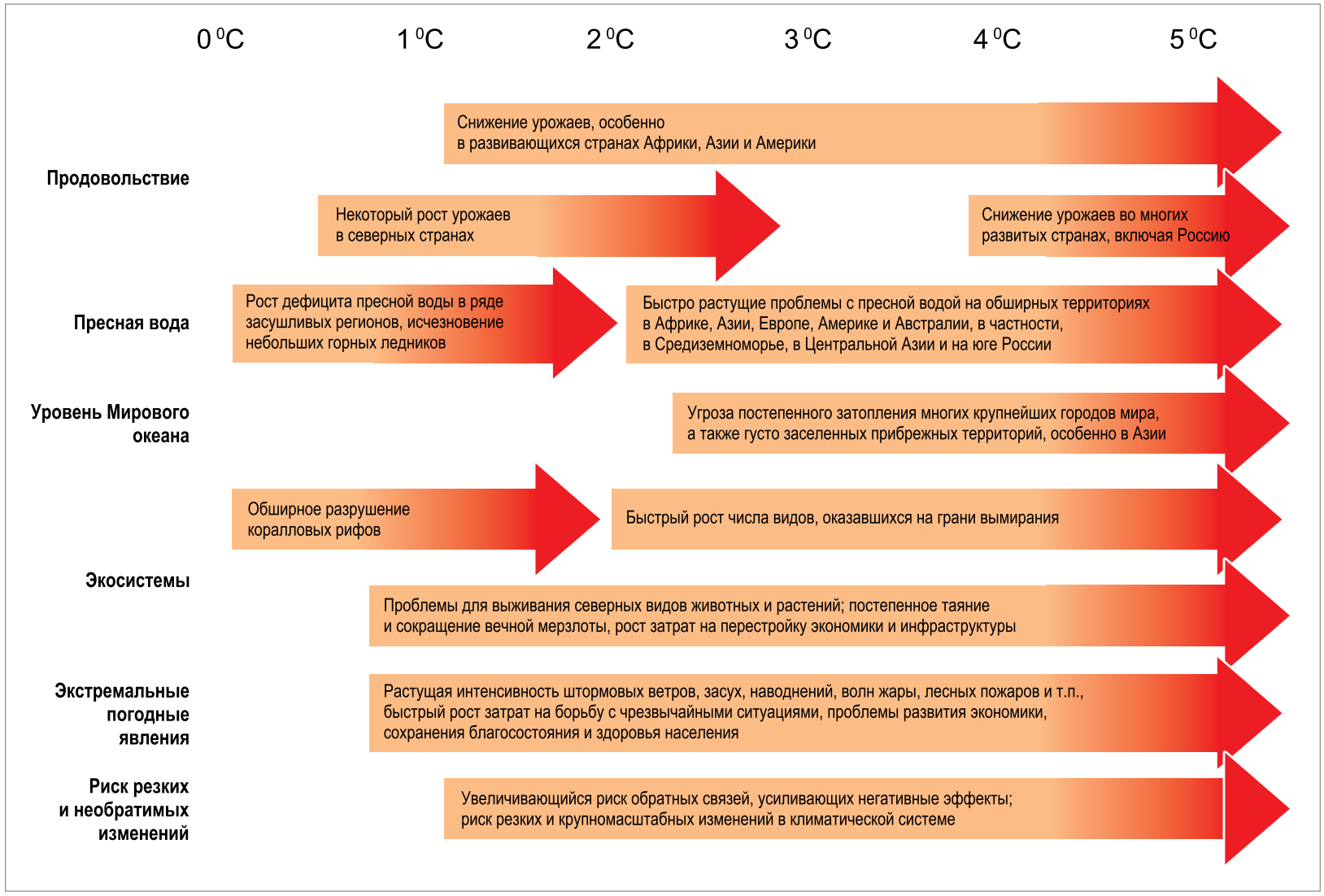



**Рис. 1.19. Развитие опасных явлений при изменении средней глобальной температуры воздуха по сравнению с «доиндустриальной эпохой» (второй половиной XIX века)**

*По данным:* IPCC 4AR, vol. 1–3, Climate Change 2007.www.ipcc.ch

и на юге России, до трети населения будет страдать от нехватки воды.

Про повышение уровня Мирового океана уже говорилось выше. Фактически его подъем на 1 м уже неизбежен, это лишь вопрос времени. Не будет ли хуже — это принципиально важно для больших городов и низменных территорий Юго-Восточной Азии и, конечно, островных государств.

С океаном связана и другая проблема — повышение кислотности его вод. Коралловые рифы страдают уже сейчас. При неблагоприятном развитии событий ожидается быстрый рост числа видов водных организмов, которые будут на грани вымирания.

В целом аналогичная ситуация и с наземными экосистемами. По имеющимся оценкам, если глобальная температура повысится на 3–4 °С, то от 30 до 50% всех видов окажутся на грани вымирания. Конечно, жизни на Земле угрозы не будет, но необратимые потери биоразнообразия могут быть очень велики.

Об еще одном факторе — экстремальных погодных явлениях выше уже говорилось (см. рис 1.17, более подробно для наших регионов эта проблема рассматривается ниже, в четвертом тематическом разделе).

Кроме того, экологов очень беспокоит рост риска быстрых и необратимых изменений в климатической системе. Например, резкого изменения Гольфстрима, вероятность которого пока считается крайне малой, но к середине XXII века может сильно возрасти.

Конечно, лучше, чтобы рост средней температуры остановился на уровне 1,5 °С, тогда можно будет спасти практически все, даже малые, островные государства, которым грозит затопление. На первый взгляд, уже поздно, и столь сильно рост выбросов уже не остановить. Однако, как не раз подчеркивалось выше, наши знания о нынешних изменениях климата не полны. Возможно, лучшее знание естественных циклов или отклика климатической системы на рост концентрации парниковых газов в будущем позволит пересмотреть пределы достижимого.

По мнению экологических организаций, столкнувшись с очень серьезными потерями от изменений климата, человечество действительно резко сократит выбросы парниковых газов и даже обратит вспять рост концентрации $CO_2$ в атмосфере. Технически такое возможно. Именно поэтому экологи не сбрасывают со счетов

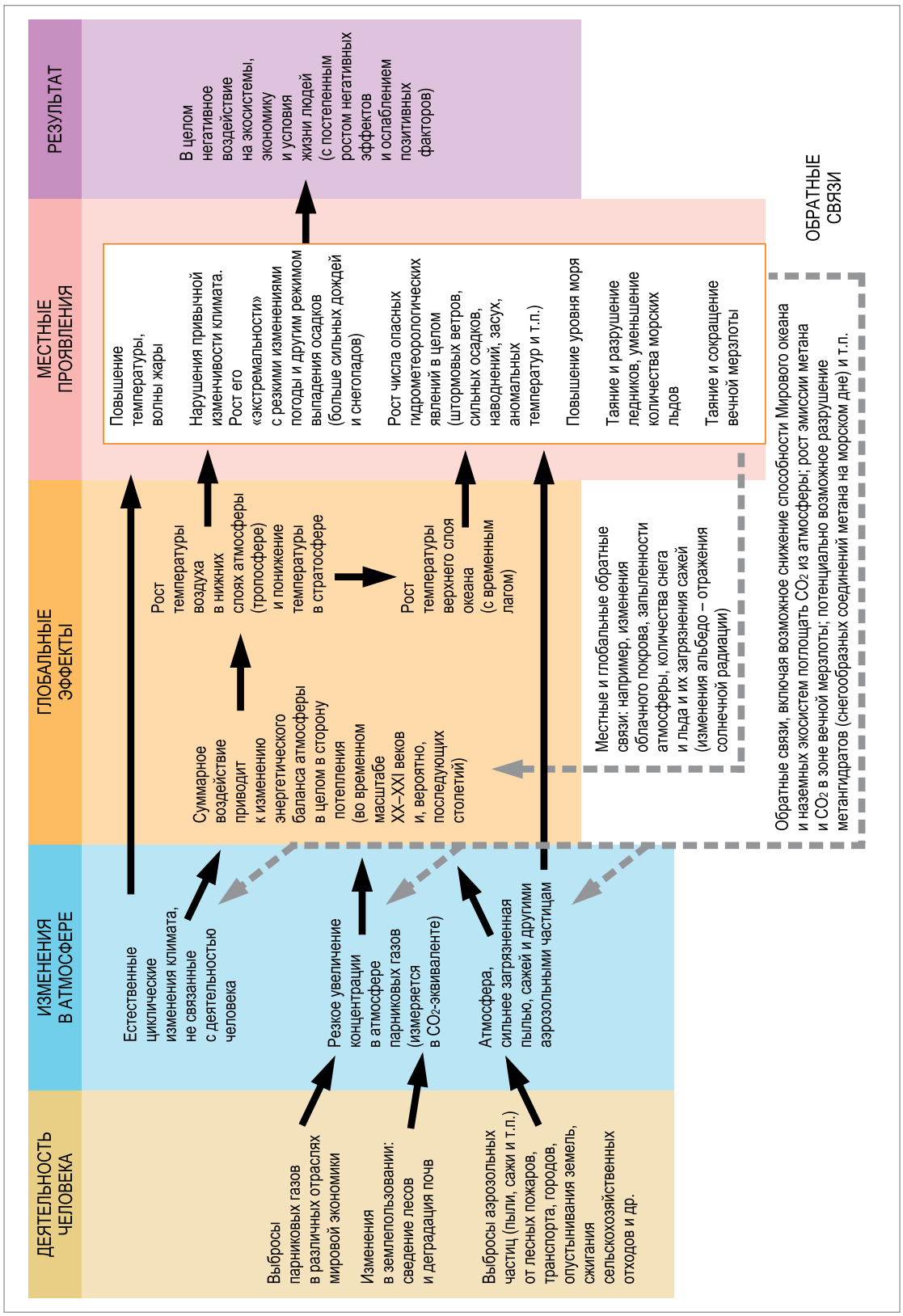



**Рис. 1.20. Взаимодействия и обратные связи изменений климата**

*По данным:* IPCC 4AR, vol. 1–3, Climate Change 2007.www.ipcc.ch

цель «1,5 °С» и требуют, казалось бы, недостижимого, но столь желательного результата.

Имеются и другие идеи. Ряд ученых говорит, что ситуация с выбросами крайне негативна (справочная информация о выбросах приведена в приложении 1), что может потребоваться «геоинжиниринг» — искусственное воздействие на климатическую систему Земли[25]. Теоретически это возможно, например, предлагается защитить планету «экраном» из подкисленных серой мельчайших капелек воды, затеняющих нас от Солнца. Однако, по мнению подавляющего большинства ученых, это лишь сугубо теоретическая возможность, так как создание экрана может резко изменить глобальную атмосферную циркуляцию и даже не исключено досрочное и быстрое наступление ледникового периода. Поэтому подобные идеи нужно исследовать на компьютерных моделях, но не пытаться делать натурные эксперименты над всей планетой.

Прямое воздействие человека ограничивается сугубо локальными действиями. Например, можно воздействовать на туманы в аэропортах и на дорогах, улучшать погоду во время массовых мероприятий, но воздействовать на погоду или климат даже в отдельном регионе нельзя[26].

У ученых большие опасения вызывает возможное ускорение изменений климата из-за обратных связей (рис. 1.20). Самую серьезную тревогу вызывает негативная реакция океана на рост концентрации $CO_2$ в атмосфере. Под словом «негативная» понимается снижение его способности поглощать $CO_2$ из атмосферы и еще более быстрый рост его концентрации в атмосфере.

Вторым глобальным эффектом называется риск эмиссии в атмосферу огромного количества метана, имеющегося в многолетнемерзлых грунтах на суше и в виде метангидратов (снегообразных соединений метана) на морском дне. Грунты оттаивают все сильнее. Метангидраты даже при небольшом повышении температуры могут начать разрушаться и превращаться в газ. Это актуально именно для Арктики, где они залегают на небольшой

[25] Вопросы геоинжиниринга обсуждались на международной научной конференции «Проблемы адаптации к изменению климата», Москва, 2011 г. Результаты конференции см. в бюллетене «Изменение климата» № 29 (ноябрь–декабрь 2011 г.) на сайтах Росгидромета www.meteorf.ru и www.global-climate-change.ru или http://climatechange.igce.ru.

[26] Заседание совместной коллегии Комитета Союзного государства России и Беларуси по гидрометеорологии и мониторингу загрязнения природной среды. Архангельск, 29–30 июня 2011 г. Сайт Росгидромета http://www.meteorf.ru / (раздел «Новости», 04.07.2011), интервью руководителя Росгидромета А. В. Фролова газете «Правда Севера» http://www.pravdasevera.ru/?id=1051782090

глубине. Немало в арктических почвах и болотах и органического вещества, которое при повышении температуры начнет разлагаться, что может привести к сильной эмиссии $CO_2$ в атмосферу. Сейчас исследуются и другие возможные местные и глобальные обратные связи, в частности, влияние вырубки лесов на облачный покров.

Для Арктики немаловажны и выбросы сажевых частиц[27]. Для мира в целом их роль в антропогенном воздействии на климат намного меньше, чем у парниковых газов. Однако, выпадая на белый — чистый арктический снег, сажа в несколько раз увеличивает поглощение солнечного излучения (кроме того, сажа — канцероген, который наносит прямой вред здоровью людей).

Согласно Климатической доктрине РФ, есть две возможности, которые нужно реализовывать одновременно[28]. Во-первых, надо адаптироваться к изменениям, причем действовать с запасом и рассчитывать не на минимальные (лучшие) изменения, а на худшие из прогнозов. Принимать меры надо вне зависимости от того, знаем ли мы все причины современного изменения климата. Во-вторых, нужно снижать выбросы парниковых газов, которые зависят, прежде всего, от выработки и расходования электроэнергии и тепла. Действия по снижению выбросов должны одновременно предприниматься во всех странах (источники выбросов, их распределение по странам и видам человеческой деятельности см. приложение 1).

По мнению директора Главной геофизической обсерватории им. А. И. Воейкова, *«если бы страны могли сейчас договориться о сокращении выбросов, можно было бы избежать или очень сильно снизить вероятность того, что реализуются «жесткие» (худшие) сценарии изменения климата. Немного времени, я думаю, у человечества еще есть, для того чтобы если не решить, то смягчить эту проблему. Те, кто профессионально, всерьез размышляют о будущем, часто говорят о выборе между плохим и худшим. На то это и вызов человечеству, что легкие и простые решения не просматриваются»*[29].

---

[27] Более строгим научным понятием является термин black carbon (черный углерод), см.USEPA. Report to Congress on Black Carbon, March 2012, 338 pp. http://www.epa.gov/blackcarbon. Основной компонентой черного углерода является именно сажа, поэтому на бытовом уровне допустимо говорить именно о выбросах сажи или сажевых частиц. Международная Рамочная коалиция «Климат и чистый воздух» см. http://www.unep.org/ccac

[28] Климатическая Доктрина РФ. 2009. Распоряжение Президента РФ от 17.12.2009 № 861_рп «О Климатической Доктрине Российской Федерации». http://www.kremlin.ru/news/6365 или http://президент.рф/acts/6365 см. также http://www.climatechange.ru/files/Climate_Doctrine.doc

[29] Санкт-Петербург, 28 июня 2011 г.

# Резюме

Проблема изменения климата — это не миф, а реальность, к которой следует отнестись серьезно.

- В масштабе десятков тысяч лет Земля движется к похолоданию — к новому ледниковому периоду, но в XXI–XXII веках ожидается глобальное потепление, вызванное деятельностью человека. Оно будет накладываться на естественную климатическую изменчивость — какие-то десятилетия могут быть теплее, а какие-то холоднее.

- Основная опасность состоит не в потеплении как таковом, а в его последствиях — разбалансировке климата и погоды, которая ведет к росту числа и интенсивности опасных гидрометеорологических явлений; повышению уровня Мирового океана; таянию многолетней мерзлоты и т. п.

- Людям, экономике, экосистемам необходима подготовка к таким изменениям, основанная на особенностях конкретного региона. Нужно понимание роли каждого человека, организации, города и региона в проблеме климата, а также знание и выполнение конкретных действий, как ослабляющих негативное влияние людей на климат (снижение выбросов парниковых газов, сажи, сохранение лесов и т.п.), так и позволяющих свести ущерб к минимуму (меры по адаптации).

Имеющиеся данные и рекомендации на будущие 10–30 лет приводятся ниже для конкретных регионов России (тематический раздел 4), отдельно для Арктики (тематический раздел 2) и для лесов России (тематический раздел 3).

ТЕМА 2

# ЧТО МЕНЯЕТСЯ В АРКТИКЕ И НАСКОЛЬКО ЭТО СЕРЬЕЗНО?

Каждый год ученые дают оценку тому, что происходит в Арктике, какие изменения обнаружены за истекший год и в целом за последние несколько десятилетий. В ежегодном докладе Росгидромета об особенностях климата есть специальные разделы, посвященные Арктике и многолетней мерзлоте[1]. Самые свежие арктические новости освещаются в ежемесячных бюллетенях «Изменение климата»[2], а оперативная информация, например, по состоянию льдов размещается на сайте Арктического и антарктического научно исследовательского института (ААНИИ)[3]. Также каждый год выходит обобщающий доклад Национального агентства США по исследованию атмосферы и океана (NOAA)[4], в подготовке которого участвует более ста ученых из всех арктических стран. На этих источниках и основывается данный тематический раздел.

Ниже мы рассмотрим пять арктических сред: атмосфера, состояние льдов и океанских вод, морские экосистемы, наземные экосистемы и гидрологический режим и криосфера. Далее, следуя докладу NOAA, постараемся оценить изменения по трехбалльной шкале: 3 балла — сильные изменения; 2 балла — есть ряд изменений, 1 балл — мало или нет изменений.

## Атмосфера

Рост температуры приземного слоя воздуха в Арктике намного сильнее, чем в более низких широтах. Если за последние 30–40 лет средний рост температуры в мире составил 0,6 °С, то в Арктике — в 2,5 раза больше (рис. 2.1). Более того, в Арктике рост средней за год температуры наблюдается во всех ее частях, в отличие от более южных регионов, где формируется «пятнистая» картина: в большинстве мест стало теплее, но где-то холоднее. Причина этого явления кроется в разных механизмах потепления.

---

[1] Доклад об особенностях климата на территории Российской Федерации за 2011 год. М.: Росгидромет, 2012 (доклады выходят ежегодно). www.meteorf.ru См. также http://climatechange.igce.ru

[2] Изменение климата, Ежемесячный электронный бюллетень. М.: Росгидромет. www.meteorf.ru или www.global-climate-change.ru

[3] В частности, данные ААНИИ см. http://www.aari.nw.ru/main.php?lg=0, раздел «Оперативные данные», Обзорные ледовые карты и др.

[4] Richter-Menge, J., M.O. Jeffries and J.E. Overland, Eds., 2012: Arctic Report Card 2011, http://www.arctic.noaa.gov/reportcard.

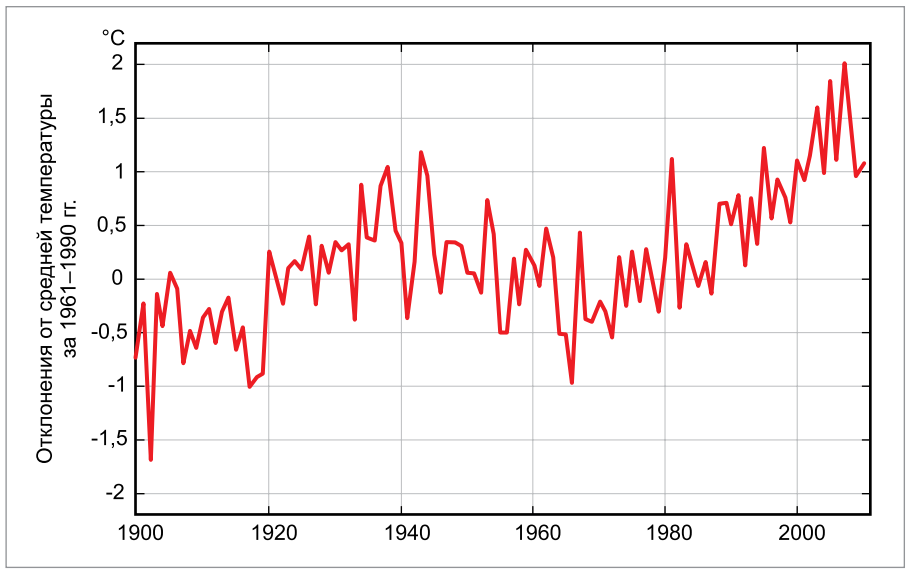



**Рис. 2.1**
**Рост среднегодовой температуры приземного слоя воздуха в Арктике в целом (60–90° с. ш.)**

*Источник:* Richter-Menge, J., M. O. Jeffries and J. E. Overland, Eds., 2012: ArcticReport Card 2011, http://www.arctic.noaa.gov/reportcard по данным www.cru.uea.ac.uk/cru/data/temperature

В Арктике важную роль играет повсеместное уменьшение снежного и ледового покрова и соответствующий прогрев: темная поверхность суши или воды прогревается гораздо сильнее, чем белая, покрытая снегом. Большое влияние оказывает то, что воды, поступающие из Атлантики, стали чуть теплее, как и воздух, приходящий со всех южных направлений.

В южных регионах механизм иной, и он главным образом связан с более слабым широтным (запад–восток и восток–запад), но более сильным меридиональным (север–юг и юг–север) переносом воздушных масс. В результате вокруг Арктики наблюдается то вторжение очень теплого воздуха с юга, то очень холодного с севера. В частности, с этим были связаны сильные морозы, которые с середины января до середины февраля 2012 года наблюдались в Европе и на европейской части России.

Поток тепла с юга в полярные широты значительно увеличился. Но этот поток не только сдвинул среднюю температуру на 1,5 °С в сторону потепления, но гораздо сильнее «раскачал» Арктику и соседние регионы. На практике это означает, что мы видим не плавное потепление, а постоянные «качели», охватывающие Северный Ледовитый океан и соседние регионы. Например, в декабре 2009 года и в феврале 2010 года в высоких арктических широтах было намного менее холодно, чем обычно, но зато на севере Европы и в восточной части Северной Америки стояли сильные морозы и люди рассуждали об окончании глобального потепления.

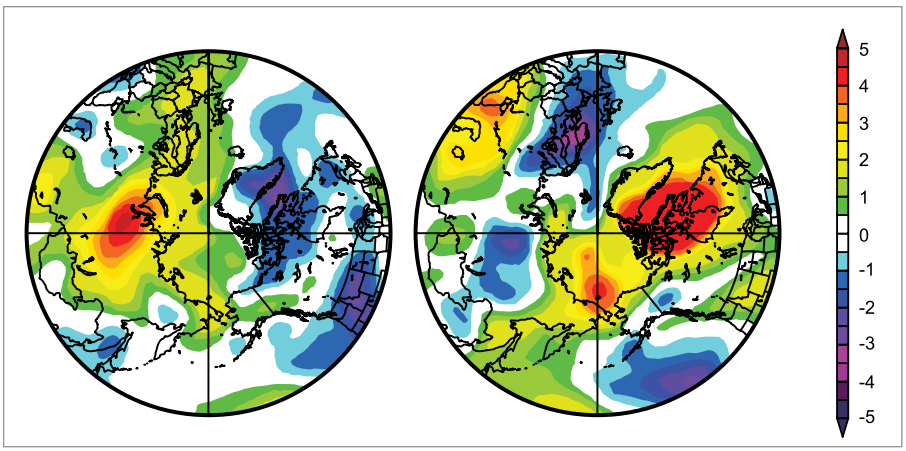



**Рис. 2.2 Пример арктических температурных «качелей» — пятен высоких и низких температур в различных регионах** (отклонения температуры, °C, от средней за тот же сезон в 1981–2010 гг. на уровне 1000 миллибар). В один сезон, например, в октябре–декабре 2010 г. (правый рисунок) на Чукотке и в Канаде было «жарко», а на Кольском полуострове холодно, в апреле–июне 2011 г. (левый рисунок) все поменялось.

*Источник:* Richter-Menge, J., M. O. Jeffries and J. E. Overland, Eds., 2012: Arctic Report Card 2011, http://www.arctic.noaa.gov/reportcard

Размах «качелей» в среднем за сезон может превышать 10 °C (5° в плюс и 5° в минус), рис. 2.2, а в отдельные дни и недели достигать даже 20 °C. Понятно, что на фоне столь «нервного» климата людям сложно заметить средние изменения на 1–2°, и иногда они теряются в догадках — стало теплее или холоднее? В Арктике всюду стало теплее, но главное, что климат стал более переменчивым.

Проанализировав атмосферные изменения в Арктике, можно сделать вывод о том, что они значительные, оценка — 3 балла.

## Состояние льдов и океанских вод

Наблюдения за состоянием льдов и вод Северного Ледовитого океана показывает, что за последние 10 лет Арктика сильно изменилась. В качестве причин, кроме отмеченных выше изменений в атмосфере, существуют еще два явления. Первое — повышение температуры поступающих в Арктику атлантических вод примерно на 0,5 °C (см. рис. 1.13 и рис. 4.9). Второе — снижение количества льда. Эти явления взаимно усиливают друг друга: более теплая вода приводит к таянию льдов, а свободная ото льда поверхность воды быстрее прогревается.

Льды сокращаются быстрее, чем ожидалось, и ученые исследуют, какие еще процессы могут усиливать эффект. В канадском, аляскинском и чукотском секторах Северного Ледовитого океана имеется круговое течение Бофорта, где льды движутся под действием ветра. Наблюдения за перемещением льдов ведутся с конца 1940-х годов, и до конца XX века там отмечались циклические вариации с периодом в 5–8 лет. Площадь льда была то меньше, то больше. Но в последние 10–15 лет ситуация изменилась. Теперь в районе

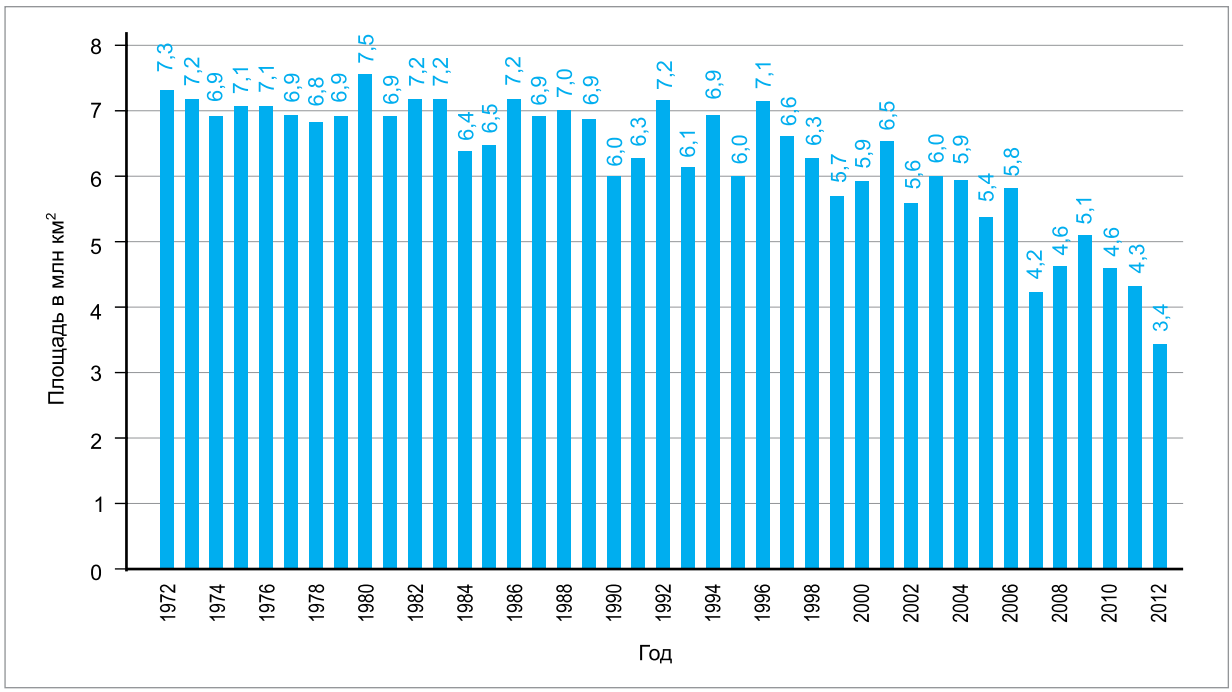



**Рис. 2.3 Площадь арктических льдов (летний минимум, наблюдающийся в середине сентября) в 1972–2012 гг.**

*По данным:* National Snow and Ice Data Center (USA) http://nsidc.org/data/google_earth/index.html#sea_ice_index_sept (данные за 2007–2012 г. см. http://nsidc.org/arcticseaicenews/2012/09/arctic-sea-ice-extent-settles-at-record-seasonal-minimum/ Аналогичные данные ААНИИ см. http://www.aari.nw.ru/main.php?lg=0, раздел «Оперативные данные», Обзорные ледовые карты)

течения Бофорта, как правило, господствуют ветра, которые «убирают» лед из российских арктических морей.

Другая гипотеза: развитие над свободной ото льда поверхностью воды восходящих потоков воздуха (конвекции), которая может воздействовать на циркуляцию воздушных масс и приводить к ветрам, нагоняющим в Арктику добавочное количество теплой воды.

Национальный центр данных по снегу и льду США (NSIDC) сообщил, что 16 сентября 2012 года площадь арктических льдов достигла минимума за всю историю наблюдений. Был побит рекорд 2007 года (рис. 2.3).

Картина состояния льдов подтверждается и картой анализа ледовой обстановки, составленной ААНИИ. Основная часть сокращения площади льдов приходится именно на Российскую Арктику. По данным ААНИИ, лед очень сильно «ушел» к полюсу — к северу от Земли Франца-Иосифа во второй половине сентября 2012 года сплошные льды начинались только после 85° с.ш., что совершенно невозможно было себе представить ни во времена Нансена и Седова, ни в конце XX века (рис. 2.4).

Заметим, что в то же время был побит рекорд зимней площади льда в Антарктике. 26 сентября 2012 года площадь составила 19,44 млн км$^2$, что более чем на миллион выше среднего значения

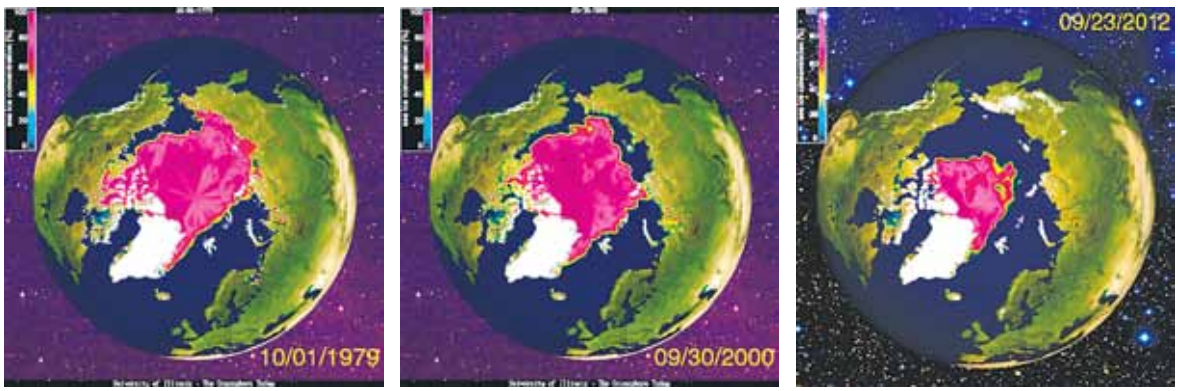



**Рис. 2.4 Снимки из космоса — состояние льдов во время летнего минимума в 1979, 2000 и 2012 годах.** Фиолетовым цветом показаны области, где лед покрывает 80–100% площади, красный — покрытие 60%, желтый — 40%, синий — 20%. Белый — ледниковый покров Гренландии и других участков суши. Темно-синий — вода безо льда

*Источник:* http://arctic.atmos.uiuc.edu/cryosphere/archive.html снимки за каждый день с 1979 по 2009 г., более поздние данные см. http://arctic.atmos.uiuc.edu/cryosphere

за период с 1979 по 2000 год (18,3 млн км$^2$), предыдущий рекорд был в 2006 году — 19,39 млн км$^2$. Однако ученые совершенно не считают данное явление противоречащим общей тенденции глобального потепления. Более того, оно вписывается в общую картину. Более теплая в целом в Антарктиде температура приводит к усилению циркумполярных ветров, которые «раздувают» лед по большей площади.

Сравнивать тренды, касающиеся летнего и зимнего льда, очень сложно, поскольку в разные сезоны «главными» становятся разные процессы. Летом главную роль играет таяние льда, прогрев свободной ото льда воды и возникающая в итоге обратная связь. Зимой в игру вступают ветры и снегопады. Поэтому, отмечают ученые, снижение площади арктического льда летом является более значимым индикатором тренда потепления, чем зимние изменения в Антарктике[5].

Учитывая прослеживающуюся цикличность процессов, скорее всего, в 2013–2014 годах льдов в Арктике будет больше, чем в последние два года, но меньше, чем это было 10 и 20 лет назад. Однако еще более показательным стало трехкратное снижение объема арктических льдов за последние 30 лет (рис. 2.5).

Данный эффект связан с «омоложением» льда. Все меньше и меньше становится толстых многолетних льдов, в то время как доля молодых и тонких все больше увеличивается. Сложившаяся ситуация нередко порождает иллюзию доступности Арктики для хозяйственного освоения, добычи нефти и газа, движения судов.

[5] http://ria.ru/arctic_news/20121003/764913364.html и http://nsidc.org/news/press/20121002_MinimumPR.html

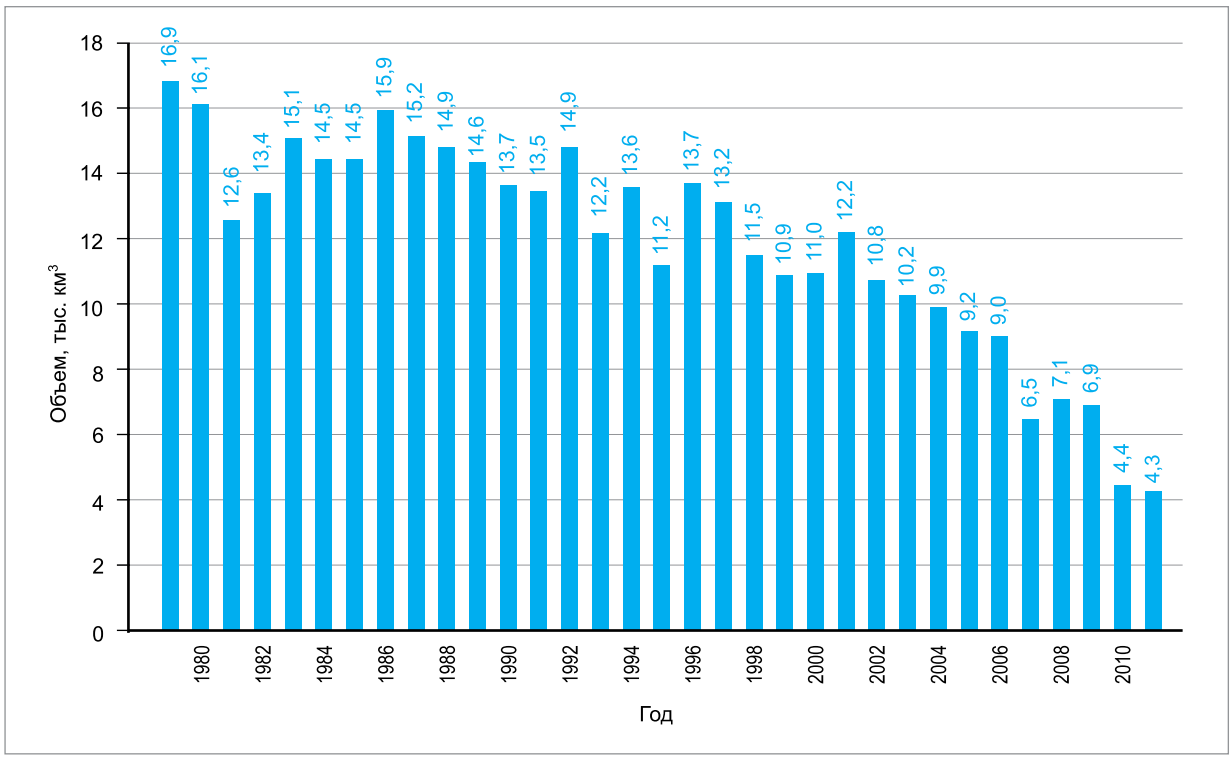



**Рис. 2.5**
**Объем арктических льдов (летний минимум) в 1979–2011 гг.**

*По данным:* Polar Science Center. http://psc.apl.washington.edu/wordpress/research/projects/arctic-sea-ice-volume-anomaly/ (данные за 2012 г. на момент сдачи книги в печать еще отсутствовали)

Однако преждевременно думать, что Арктика скоро очистится ото льда. Расчеты, проведенные ААНИИ и Главной геофизической обсерваторией, показали, что действительно льды исчезают быстрее, чем предсказывалось ранее. Однако, скорее всего, процесс не столь быстр. Об Арктике, постоянно свободной ото льда летом и осенью, можно говорить лишь к середине XXI века. Об Арктике, свободной ото льда зимой и весной, пока речь не идет. В ближайшие десятилетия зимой лед по-прежнему будет покрывать почти всю акваторию Арктики (рис. 2.6), хотя в целом он будет тоньше, особенно в российских арктических морях, где отступление льдов наиболее заметно.

Важнейшим фактором остается нестабильность ледового режима. Так, в 2007 году, который занимает второе место по минимальной площади льдов (на первом — 2012 год), «узкое место» Северного морского пути — пролив Вилькицкого (между Таймыром и Северной Землей) был закрыт льдами. В 2010 году льдов было гораздо больше, но пролив был чист. В будущем рост общей нестабильности климата, вероятно, вызовет и рост нестабильности ледового режима.

Через 10–20 лет может начаться более сильное разрушение арктических ледников и появление айсбергов. Разрушение ледников пока сильнее всего в Гренландии и на шельфе канадской Аркти-

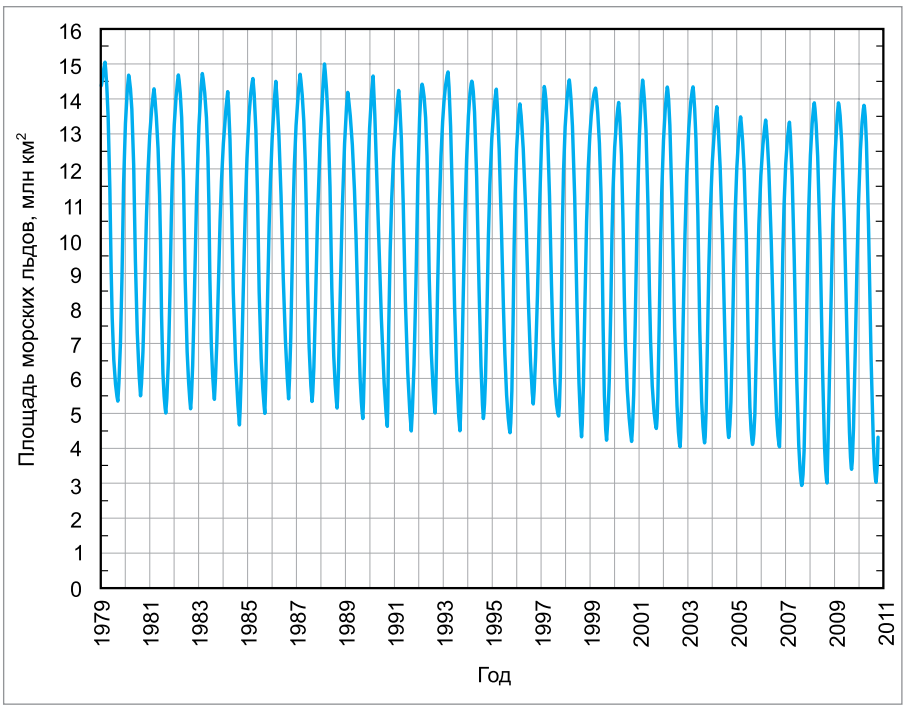



**Рис. 2.6 Площадь льдов в Арктике в 1979–2011 гг.** Верхние максимумы – зима (март), нижние минимумы – лето (сентябрь)

*Источник:* Атлас биологического разнообразия морей и побережий российской Арктики. — М.: WWF России, 2011. — 64 с. http://www.wwf.ru/resources/publ/book/500

ки, но и Новая Земля уже потеряла более 250 км$^2$ ледового покрова. Сейчас этот процесс активно идет в Западной Антарктике, где разрушаются шельфовые ледники, нижняя граница которых ниже уровня моря. Образуется много айсбергов. Конечно, в Арктике айсберги будут намного меньше, но и они будут представлять опасность для судов.

Если по Северном морскому пути пойдут перевозки нефти, например, из Норвегии в Японию, или же начнется ее добыча на шельфе арктических морей, то айсберги и нестабильность ледового режима будут создавать угрозу аварий и разливов. При этом пока нет никакой технологии ликвидации разливов нефти в ледовых условиях[6]. Поэтому экологи призывают к установлению и строгому соблюдению

[6] Когда нефть разливается в ледовых условиях, она покрывает лед со всех сторон, включая нижнюю его поверхность, соприкасающуюся с водой, по трещинам нефть проникает и в глубь льда. Поэтому ее очень сложно собрать или сжечь. К тому же многие технологии ликвидации разливов нефти, пригодные для теплых широт, в холодных условиях просто не работают. Вероятно, пройдет много лет, прежде чем научатся эффективно ликвидировать нефтяные разливы в ледовых условиях. Не исключено, что к тому моменту развитие в мире возобновляемых источников энергии и рост энергоэффективности снизят спрос на нефтепродукты и востребованной будет только относительно дешевая нефть Ближнего Востока и других южных регионов, а арктическая нефть так и останется недобытой. Впрочем, и сейчас добыча нефти и газа на арктическом шельфе — столь дорогое дело, что его прибыльность спорна. В частности, поэтому в 2012 году было отложено промышленное освоение Штокмановского газового месторождения в Баренцевом море.

стандартов на арктические перевозки, а саму добычу нефти в Арктике предлагают отложить до того момента, когда будет разработана технология ликвидации нефтяных разливов в ледовых условиях.

Сейчас в СМИ встречается информация о том, что таяние Арктики может привести к остановке Гольфстрима и резкому похолоданию в Северной Европе и Баренцевоморском регионе. Действительно, таяние льда приводит к формированию более пресных вод верхнего слоя Северного Ледовитого океана. Этот эффект наиболее заметен в канадской Арктике, где течение Бофорта крутит воду на одном месте. Там с 2003 года «накопилось» примерно 5000 км$^3$ пресной воды, которая смешивается с морской и делает воды более пресными. В 1970-х годах поступление пресной воды было на 25% меньше, чем сейчас.

В целом верхний слой океана в Арктике становится более теплым и более пресным, что в принципе может привести к перестройке цепи океанских течений и воздействию на Североатлантическое течение (продолжение Гольфстрима). Однако пока ученые считают такое развитие событий маловероятным даже в следующем столетии. Для этого должна быть очень сильно снижена соленость и увеличена температура вод, чтобы их плотность стала достаточной для влияния на Североатлантическое течение. Пока оно стабильно, и есть лишь относительно слабые сигналы того, что менее плотным могло стать «подныривающее» под него Лабрадорское течение.

Другой обсуждаемой темой является повышение уровня арктических морей из-за таяния льдов. Детальные исследования говорят о небольшом тренде — примерно на 2 см за последние 10 лет. Однако этот подъем мало зависит от таяния арктических льдов, он отражает глобальный эффект и связан с тепловым расширением верхнего слоя океана, разрушением ледников Западной Антарктики и, в меньшей степени, Гренландии.

Таким образом, изменения льдов и вод в Арктике действительно значительны — оценка 3 балла, хотя и не так катастрофичны, как иногда можно прочесть в СМИ. Пока Арктика не обречена растаять, но прогнозы показывают, что если не снизить антропогенное влияние на климатическую систему, то последствия для арктических экосистем могут быть плачевными[7].

---

[7] См., в частности, расчеты, проведенные в Институте физики атмосферы РАН по разным сценариям антропогенного воздействия на климатическую систему Земли. И.И. Мохов, А.В. Елисеев «Моделирование глобальных климатических изменений в XX–XXIII веках при новых сценариях антропогенных воздействий RCP». Доклады Академии наук 2012, том 443, № 6, http://strf.ru/material.aspx?CatalogId=21731&d_no=47344

# Морские экосистемы

В экосистемах все взаимосвязано. На вершине пищевой пирамиды стоит белый медведь, который зависит от тюленей, тюлени — от рыбы и наличия льдов, а рыба — от планктона. При этом особая роль принадлежит полыньям и границе льдов — широкой полосе с полями отдельных льдин и открытой воды, именно ее держатся тюлени[8].

Арктической весной граница льдов сдвигается на север так быстро, что медведи не успевают на это отреагировать и оказываются отрезанными огромными пространствами воды безо льда от своей главной пищи — тюленей (рис. 2.7). Конечно, медведь может проплыть десятки километров, но не сотни. Кроме того, медвежата этого сделать не могут. В итоге на берегу остается большое число животных, которые могли бы питаться моржами. Но им проще пойти в поселки и на помойки, где можно найти остатки пищи и останки моржей. Тем самым увеличивается число «неожиданных» встреч медведя и человека, что опасно для обеих сторон.

**Рис. 2.7**
**Белому медведю, оставшемуся на суше на расстоянии более 100 км от кромки льдов и тюленей, хочется «выть» от изменений климата**

Фото: Алексей Кокорин

[8] Более детально см.: Атлас биологического разнообразия морей и побережий Российской Арктики. — М.: WWF России, 2011. — 64 с. http://www.wwf.ru/resources/publ/book/500

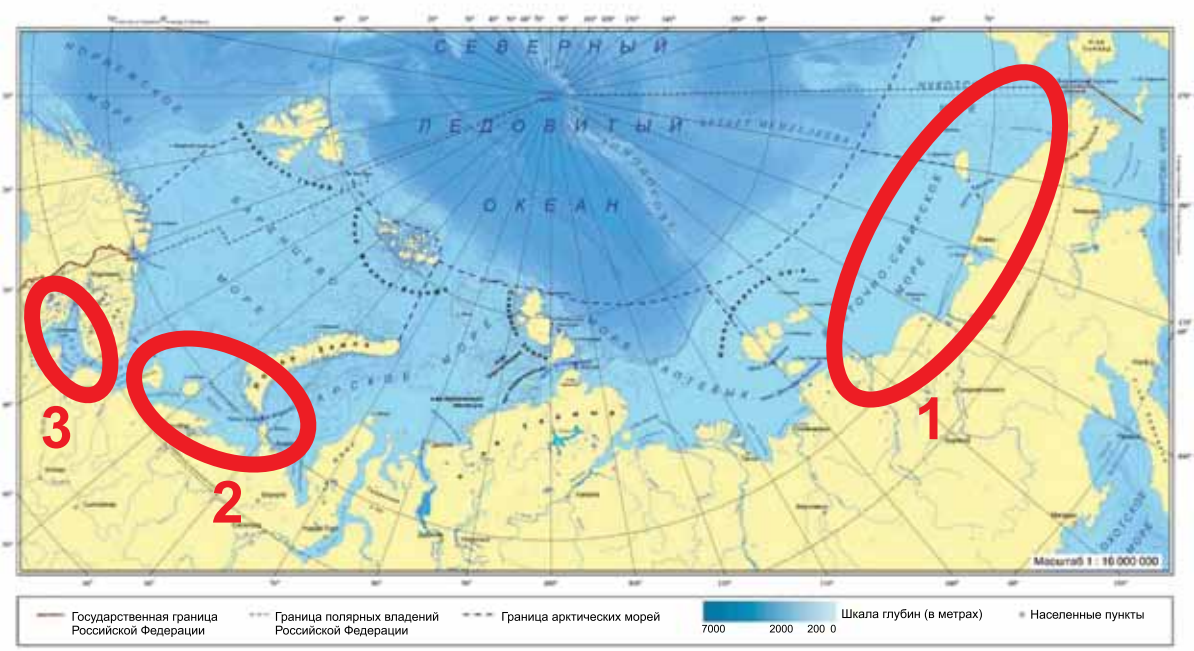
Наиболее явно это проявляется в Чукотском и Восточно-Сибирском морях (рис. 2.8–1), но в принципе та же ситуация складывается и в центральном и в западном секторах Российской Арктики. Поэтому мониторинг и соответствующие меры должны предприниматься заблаговременно.

Сейчас резко возросло число конфликтов медведя и человека, часто приводящих к гибели животных. Есть и случаи гибели людей. Выход из этой ситуации понятен: у людей должны быть средства отпугивания медведей — прежде всего, резиновые пули, а поселки должны быть очищены от потенциальной пищи для медведей, туши моржей должны быть удалены на безопасное расстояние.

WWF России активно участвует в этих работах, одновременно ведя мониторинг численности и перемещений медведей, чтобы заранее выявить потенциальные опасности. Одна из них — неблагополучие моржовых лежбищ. В отсутствие льдов моржи вынуждены менять места лежбищ. Иногда тысячи животных появляются в новых местах, где человек может их сильно тре-

**Рис. 2.8**
**Наиболее заметные на сегодняшний момент проблемы с морскими млекопитающими в Российской Арктике**

По данным WWF России




1 — очень быстрые изменения ледового режима. Белый медведь не успевает адаптироваться. Меняются лежбища тихоокеанских моржей

2 — меняются лежбища атлантических моржей (в районах добычи нефти и газа — фактор беспокойства)

3 — проблема выживания тюленей в Белом море

вожить. Так, например, вновь созданное лежбище было замечено на Чукотке, на мысе Кожевникова, неподалеку от аэродрома. При неожиданном появлении самолета моржей охватывает паника, и гигантские самцы давят детенышей. За один раз может погибнуть несколько десятков животных. Меры решения проблемы просты: нужно до появления самолета создать шум, слабое беспокойство, чтобы моржи без паники ушли в море. Если не использовать эти приемы предотвращения конфликтов между человеком и животными, то можно потерять немалую часть популяции медведя и тихоокеанского моржа (рис. 2.8–1).

В Баренцевоморском регионе ситуация с моржами сложнее. Там обитает другой вид — атлантический морж, занесенный в Красную книгу, его численность которого гораздо ниже, чем тихоокеанского. У этих моржей мало лежбищ, причем они расположены не только в удаленных районах Земли Франца-Иосифа или на островах к северу от Новой Земли, но и на Вайгаче, Колгуеве и в других относительно легкодоступных местах. Именно там проходят транспортные пути, по которым ожидаются активные перевозки, в частности, нефти, предполагается поставить нефтедобывающие платформы (рис. 2.8–2). Там уже находится платформа Приразломного месторождения. Нужно очень тщательно отслеживать ситуацию, чтобы выявить негативные эффекты в самом начале и не допустить исчезновения атлантического моржа в южной части Баренцевоморского региона.

Еще одна проблема — выживание гренландских тюленей в Белом море[9] (рис. 2.8–3). Гренландский тюлень распространен в Белом, Баренцевом морях и западной части Карского моря. Он типичный обитатель дрейфующих льдов. Для размножения и линьки тюлени идут в Белое море и в феврале–марте скапливаются на льдах десятками и сотнями тысяч. В отличие от медведей тюлени не могут размножаться на берегу, поскольку там им угрожают волки, собаки и другие хищники[10].Длительное время гренландский тюлень был объектом морских промыслов поморов, особенно ценились белька — детеныши в возрасте до двух недель с белым пушистым мехом. В настоящее время промысел запрещен. Много животных может погибнуть и при прохождении судов через места скоплений тюленей. Сейчас

[9] Более подробно см. в тематическом разделе по региональным изменениям климата, где рассматривается Архангельская область.

[10] Поморская энциклопедия: в 5 т./ гл. ред. Н.П. Лавёров. Архангельск, 2001. — Т. II; Природа Архангельского Севера / гл. ред. Н.М. Бызова. — Архангельск: Поморский университет, 2007. — 603 с.

от капитанов судов требуется их обходить[11], и животных гибнет гораздо меньше.

Современное потепление климата и уменьшение ледовитости Белого моря опасно для тюленей. Частые оттепели с разрушением льдов приводят к тому, что льдины с детенышами выносятся в открытое море, где многие из них гибнут. Вероятно, в будущем, если льда станет совсем мало, необходимы будут заповедные острова, где бельки смогут спокойно подрастать. На состоянии популяции негативно сказываются и последствия чрезмерного вылова таких рыб, как сайка и мойва, которыми питаются тюлени.

Что касается китов, то в целом для них в Арктике складываются более благоприятные условия. Однако и тут возможны чрезвычайные ситуации. Например, из-за нестабильности ледового режима в отдельные годы с более тяжелыми льдами киты могут гибнуть, будучи зажатыми льдами. Здесь также нужен тщательный мониторинг ситуации.

Еще одна проблема — повышение кислотности вод, которое идет в большей части Мирового океана, а в Арктике уже обнаружено в Беринговом и Чукотском морях. Большее поглощение $CO_2$ из атмосферы приводит и к более активному летнему развитию фитопланктона и повышению кислотности поверхностного слоя вод. Идет разрушение $CaCO_3$, связанного в скелетиках и раковинах морских организмов, что говорит о потенциальной возможности негативного воздействия изменения климата на морские экосистемы.

За последние 10 лет биопродуктивность арктических вод в целом возросла примерно на 20%, в основном вследствие более длинных периодов с открытой водой. На первый взгляд это хорошо: больше планктона — больше рыбы. Но ситуация сложнее и опаснее, поскольку возможно проникновение в арктические воды чужеродных видов. Поэтому ученые рекомендуют тщательно отслеживать идущие изменения, чтобы заблаговременно выявлять негативные эффекты и стараться предотвращать их развитие.

Оценка изменений морских экосистем: «есть изменения» — 2 балла.

---

[11] Капитанам судов предписано обходить места массовой лежки тюленей, которые хорошо видны со спутников и информацию о которых руководство архангельского порта получает заранее.

# Наземные экосистемы

В Арктике стало теплее, а растительность теперь дольше свободна от снега. Весной тундра раньше становится зеленой: в 2000-х годах вегетационный период стал начинаться на две недели раньше, чем в 1980-х годах. Растительный покров и в целом стал зеленее. Когда поверхность земли свободна от снега, она гораздо сильнее прогревается. К тому же и воздух стал немного теплее. Поэтому летом верхний слой почвы стал протаивать глубже, чем раньше. Этот процесс получил название «таяние мерзлоты».

С ним связано немалое беспокойство экологов, так как при таянии мерзлоты возможно попадание в атмосферу огромного количества парниковых газов — $CO_2$ и метана ($CH_4$). Дело в том, что в тундре и лесотундре в нескольких верхних метрах почвы содержится гигантское количество органического углерода (остатков растений, отмерших много лет назад) — примерно триллион тонн, что равно всем запасам угля на планете. Там же множество пузырьков $CO_2$ и $CH_4$ — продуктов разложения этих остатков, которые не могут выйти на поверхность, так как почва находится в замерзшем состоянии. Если постепенно сверху все более толстый слой почвы оттаивает, то все больше $CO_2$ и $CH_4$ будет попадать в атмосферу. Все активнее будут идти сами процессы разложения, то есть образовываться $CO_2$ и $CH_4$. Когда в почве достаточно кислорода, то при разложении образуется $CO_2$, если кислорода недостаточно, то образуется $CH_4$, у которого парниковый эффект (в расчете на 1 т газа) более чем в 20 раз сильнее, чем у $CO_2$.

С другой стороны, более сильный растительный покров означает более быстрое накопление в заболоченной тундре торфа, то есть многолетнюю «консервацию» органического углерода. Пока сложно сказать, насколько накопление торфа может компенсировать эмиссию $CO_2$ и $CH_4$ при таянии мерзлоты и насколько таяние мерзлоты и более высокие температуры почвенного слоя в Арктике могут повлиять на концентрации $CO_2$ и $CH_4$ в атмосфере Земли.

Чтобы выяснить это, ученые проводят экспериментальные измерения концентраций $CO_2$ и $CH_4$ в полярных районах. В высоких широтах есть станции в Канаде, США, Гренландии и на Шпицбергене, где регулярные измерения ведутся уже более 20 лет. Полученные данные ученые сравнивают с измерениями в Антарктиде, где не может быть описанных выше процессов из-за отсутствия там почвы и растительности. Тем самым удается отделить глобальный

рост концентраций $CO_2$ и $CH_4$ в атмосфере и арктические эффекты. Результаты показывают, что для Арктики в целом пока рано говорить о росте потоков $CO_2$ и $CH_4$ в атмосферу.

Однако есть настораживающие результаты местных исследований. В ряде болот Западной Сибири отмечается рост потока метана. Повышенные концентрации $CH_4$ отмечаются над Восточно-Сибирском морем, что может быть связано с разрушением метангидратов — снегообразных соединений метана, залегающих на дне мелководного шельфа и чувствительных к повышению температуры. Мнение ученых единодушно: есть потенциальная опасность, и нужно тщательно следить за происходящими процессами. В худшем случае, при резком росте эмиссии $CO_2$ и $CH_4$, Арктика может существенно повлиять на климат Земли[12].

Другой негативный процесс — рост береговой эрозии, вызванный большим числом штормов и меньшим количеством льда, защищающего берега (рис. 2.9). По некоторым оценкам Россия ежегодно теряет до 30 км$^2$ своей территории за счет исчезновения земель в Арктике из-за эрозии. При этом также есть опасность эмиссии метана, немало которого содержится в почве береговых склонов.

**Рис. 2.9 Примеры береговой эрозии, Новосибирские острова**

Фото: Андриан Колотилин.

Эрозия речных берегов также усиливается из-за более сильных паводков. В ряде мест, например на Чукотке, возможна прямая угроза прибрежным поселкам, мостам, дорогам, ЛЭП. В других местах, например на Таймыре, более раннее вскрытие рек и тая-

[12] См., в частности, расчеты, проведенные в Институте физики атмосферы РАН по разным сценариям антропогенного воздействия на климатическую систему Земли. И.И. Мохов, А.В. Елисеев «Моделирование глобальных климатических изменений в XX–XXIII веках при новых сценариях антропогенных воздействий RCP». Доклады Академии наук 2012, том 443, № 6 http://strf.ru/material.aspx?CatalogId=21731&d_no=47344

ние тундры мешает миграции северных оленей и нередко приводит к гибели части животных. На Кольском полуострове оленям также мешает слабый ледовый покров на реках.

Оценка изменений наземных экосистем: «есть изменения» — 2 балла.

## Гидрологический режим и криосфера

Общее количество осадков в Арктике в среднем не изменилось. Но их выпадение как в мире в целом, так и в Арктике становится более неравномерным. То же количество выпадает за меньшее число более сильных дождей или снегопадов.

Кроме того, анализ спутниковых данных (1966–2011 годы) показывает одну особенность Арктики: снежный покров сейчас быстрее сокращается и сходит весной и в начале лета (в мае и особенно в июне), чем это было в 1970–1980-е годы. Период без снега наступает существенно раньше. С другой стороны, осенью снежный покров устанавливается в те же сроки, как и было в прошлом. Эта особенность одинакова и в Евразии, и в Северной Америке.

Сток крупнейших рек и в Евразии, и в Северной Америке несколько растет. Для шести крупнейших рек Российской Арктики (Северная Двина, Печора, Обь, Енисей, Лена и Колыма) за последние двадцать лет суммарный рост составил примерно 10 км$^3$ в год. Это пока не очень много (при общем стоке в 1800 км$^3$ в год и его межгодовых колебаниях в 100–200 км$^3$). Однако прогнозы говорят о вероятном продолжении и усилении данной тенденции в ближайшие десятилетия. Поэтому вероятны более сильные паводки и подтопления населенных пунктов.

Массового разрушения ледников в высоких арктических широтах пока не отмечается. Исключение составляют ряд мест Канадской Арктики и Гренландии, где имеются шельфовые ледники, нижняя граница которых располагается на дне моря, Земля Франца-Иосифа (ЗФИ) и Новая Земля. На ЗФИ потери льда составляют до 4 км$^3$ в год. Из-за сокращения ледников Новая Земля уже сократилась более чем на 250 км$^2$[13]. По прогнозам скорость сокращения площади ледников и отступания береговой линии на этих островах может увеличиться. Таяние и разрушение ледников активно идет в Гренландии, особенно в ее юго-западной части.

[13] Оценочный доклад об изменениях климата и их последствиях на территории Российской Федерации, т. 2, Росгидромет, М., 2009, http://climate2008.igce.ru

Таяние и разрушение — разные вещи. Часто ледник не столько тает сверху, сколько разрушается водой, затекающей по трещинам до самого его основания и играющей роль смазки для айсбергов, сползающих в море. Сейчас этот эффект наиболее заметен в Западной Антарктике, но его развитие вероятно во всех полярных регионах.

В 1990-е годы объем льдов Гренландии увеличивался, но с 2000-х годов он снижается быстрыми темпами. По некоторым оценкам, в 2011 году снижение достигло рекордной отметки в 1000 млрд т в год. Если бы Северный Ледовитый океан ежегодно терял столько же льдов, то они все бы исчезли примерно за 15 лет. Количество высвобождающейся воды таково, что оно во много раз превосходит эффект от уменьшения арктических льдов. Тем не менее, в масштабе Гренландии потери льда пока не очень велики, а для подъема уровня Мирового океана гренландские потери 2011 года означают примерно 1 мм в год.

В 2012 году в Гренландии был поставлен еще один рекорд. В первой половине июля над всем островом был очень теплый воздух. В результате если 8 июля только 40% поверхности ледников было подвержено таянию, то 12 июля, всего через 4 дня, процент возрос до 97. Некоторые СМИ даже выступили с катастрофическими прогнозами о скором исчезновении ледников Гренландии. К счастью, это было ошибкой, ведь сам факт таяния еще не означает, что оно интенсивно. Вероятно, более серьезно, что в том же июле 2012 года от гренландского ледника Петермана отломился гигантский айсберг. Его площадь примерно 60 км$^2$, а высота — 200 м. Сейчас этот гигант находится между Гренландией и Канадой и, вероятно, всем нам напоминает трагедию «Титаника», произошедшую ровно 100 лет назад[14]. Как бы далеко это место ни было от путей российских судов, очевидно, что и в 2011-м и в 2012 году мы увидели настораживающие сигналы.

В России до 60% территории всей страны занимают многолетнемерзлые грунты, называемые многолетней, или «вечной» мерзлотой. Это слой замерзшей породы, толщина которого на южной границе мерзлоты может быть всего несколько метров, а на севере, в самых холодных местах — несколько сотен метров. Летом

[14] Более подробно о таянии Гренландии в июле 2012 года и об образовании айсберга см. http://www.nasa.gov/topics/earth/features/greenland-melt.html на русском языке см., например, Ледники Гренландии не растают к концу лета, WWF России, 30 июля 2012 г. http://www.wwf.ru/resources/news/article/9962

**Рис. 2.10**
**Анализ вертикального разреза многолетнемерзлых пород с ледяными жилами**

Фото: Николай Шикломанов
*Источник:* Доклад об особенностях климата на территории Российской Федерации за 2011 год. — М.: Росгидромет, 2012. — С. 52. www.meteorf.ru

верхний слой мерзлоты оттаивает, в разных местах до глубины от 10 см до метра или несколько более. Любое строительство в зоне мерзлоты требует специального подхода. Нужно, чтобы сооружения стояли на крепком основании, которое бы летом не могло оттаять и поплыть.

Высокие температуры и большее количество воды ведут к просадкам земной поверхности, вызванным таянием подземных ледяных линз и слоев (этот процесс называют развитием термокарста), к более глубокому летнему протаиванию многолетней мерзлоты. Последующее замерзание, в свою очередь, ведет к пучению, когда размер образующихся бугров может достигать метра и более.

Все это приводит к разрушениям зданий и сооружений, особенно когда природные явления накладываются на бесхозяйственность — протечки водопровода, неудовлетворительное состояние канализации или водостоков с крыш, нарушение правил уборки снега и т. п. Иллюстрацией может служить обрушение секции жилого дома в июне 2001 года в поселке Черский, расположенном в верхнем течении р. Колымы (рис. 2.11). Из-за периодических утечек воды из систем водо- и теплоснабжения и сточных вод началось развитие термокарста под фундаментом здания. Повышение температуры воздуха, произошедшее в конце 1990-х годов, способствовало ускорению этого процесса, что в результате и привело к обрушению части здания. Весьма вероятно, что при отсутствии протечек воды разрушений бы не случилось, то есть

**Рис. 2.11**
**Рухнувшее здание в пос. Черский**

Фото: Владимир Романовский. *Источник:* Оценочный отчет. Основные природные и социально-экономические последствия изменения климата в районах распространения многолетнемерзлых пород: прогноз на основе синтеза наблюдений и моделирования. Под ред. О.А. Анисимова. СПб.: Государственный гидрологический институт, 2009, стр. 18. http://www.permafrost.su/publications

ключевую роль играет совместное воздействие всех, в том числе и совершенно не климатических, факторов. Увы, таких примеров уже немало[15].

Таяние мерзлоты по-разному проявляет себя в каждом конкретном случае. Ситуация сильно зависит от того, что конкретно находится под зданием — твердая порода, мягкий, легко деформирующийся грунт или ледяная жила, способная растаять, если до нее доберется протаивание или бесхозяйственность. Поэтому необходимо детальное обследование почвогрунтов под каждым объектом.

Оценка изменений криосферы: 3 балла — «значительные изменения».

[15] Оценочный отчет. Основные природные и социально-экономические последствия изменения климата в районах распространения многолетнемерзлых пород: прогноз на основе синтеза наблюдений и моделирования. Под ред О.А. Анисимова. — СПб.: Государственный гидрологический институт, 2009. — 44 с. http://www.permafrost.su/publications или www.greenpeace.org/russia/ru/press/reports/4607490

# Резюме

В атмосфере, криосфере и гидросфере Арктики в последние десятилетия уже произошли значительные изменения. Более того, они уже повлекли ряд изменений в морских и наземных экосистемах.

Арктика сильно зависит от происходящих глобальных процессов. По масштабу изменения температуры, атмосферных и ледовых процессов Арктика опережает другие районы земного шара.

Есть опасность, что Арктика может очень сильно «ответить» всей планете — так откликнуться на изменение климата, что эффект, например, эмиссии метана и $CO_2$ негативно отразится на климате всей Земли.

Поэтому ей уделяется повышенное внимание ученых и мировой общественности, которая хотела бы уберечь Арктику от резких изменений, вызванных деятельностью человека. Эти изменения включают и непосредственную хозяйственную деятельность в Арктике, которую нужно вести очень осторожно, чтобы не разрушить хрупкие и уязвимые экосистемы, и глобальные выбросы парниковых газов, сажи и других веществ.

# ТЕМА 3

# ЛЕС И КЛИМАТ

Глобальное изменение климата воздействует на все типы растительного покрова суши и, конечно, на леса. Рассмотрим, каковы были изменения лесного покрова при изменениях климата в прошлом, как это воздействие выражено в настоящее время и что будет происходить в недалеком будущем. В какой степени леса, в свою очередь, влияют на климатические изменения, можно ли считать леса «легкими планеты» и возможно ли бороться с глобальным потеплением за счет управления лесами[1].

## Лесные ритмы Европы в прошлом

В прошлом климат Земли испытывал неоднократные циклические колебания, временами было намного холоднее, чем в настоящее время, что приводило к оледенениям, временами — значительно теплее. История климата четвертичного геологического периода, начавшегося 2,6 млн лет назад и продолжающегося поныне, установлена вполне надежно, как и сопутствующие изменения растительного покрова. На четвертичный период пришелся ряд продолжительных оледенений, названия которым обычно даются по южной границе ледникового щита. Потому оледенения одного периода в различных регионах имеют разные названия. На территории Восточно-Европейской равнины выделяют шесть оледенений[2]: донское (620–530 тыс. лет назад), окское (500–400 тыс. лет назад), днепровское (300–250 тыс. лет назад), московское (170–125 тыс. лет назад), тверское (70–43 тыс. лет назад) и осташковское (41–11 тыс. лет назад).

Нахождение воды в материковых ледниковых щитах и повышение ее плотности в верхнем слое океана в периоды похолоданий приводили к понижению уровня морей на 100–150 м

[1] Раздел подготовлен на основе материалов автора — Д.Г. Замолодчикова, в частности, статей «Оценка климатогенных изменений разнообразия древесных пород по данным учетов лесного фонда», «Леса и климат — вчера, сегодня, завтра», «Динамика бюджета углерода лесов России за два последних десятилетия» (в соавторстве с В.И. Грабовским и Г.Н. Краевым). При построении палеокарт использованы материалы Adams J. M. (1997). Global land environments since the last interglacial. Oak Ridge National Laboratory, TN, USA. http://www.esd.ornl.gov/ern/qen/nerc.html

[2] *Источник:* Рычагов Г.И. Общая геоморфология. М.: Изд-во Моск. ун-та: Наука, 2006. 416 с.

и увеличению площади суши. При потеплении в межледниковья уровень океана временами превышал современный на 10–15 м.

150 тыс. лет назад, в период максимума московского оледенения, южная граница ледникового щита доходила до современных Смоленска, Москвы и Нижнего Новгорода (понятно, что городов тогда и в помине не было). Южнее находилась сравнительно узкая полоса полярных пустынь, а далее шли широкие просторы тундростепи[3], вплоть до нынешних южных границ нашей страны. Массивы лесов в это время вообще отсутствовали!

Затем климат постепенно потеплел, и примерно 125 тыс. лет назад наступил оптимум межледникового периода. В этот период температура была на 2–3 °С выше современной (точнее, той, которая была характерна для середины XX века). Почти вся европейская часть России была покрыта широколиственными лесами, тайга присутствовала лишь в виде узкой полосы вблизи Северного Ледовитого океана. Уровень моря тогда был намного выше, чем ныне, потому северные берега располагались южнее, а Скандинавия была отдельным островом.

Примерно 110 тыс. лет назад начался новый ледниковый период. В горах Скандинавии стал формироваться ледниковый щит. Похолодание начало сказываться на перераспределении растительных зон. Север Европы заняли тундры, центральную часть — тайга, на юге сохранились широколиственные леса.

70 тыс. лет назад похолодание усилилось, началось тверское (ранневалдайское) оледенение. Ледниковый щит покрыл северную часть материковой Европы до линии Смоленск—Тверь. Остальная часть Европы была покрыта тундрами, тундростепями и степями, леса можно было найти лишь в горах южной Европы. 43 тыс. лет назад пришло временное потепление, климат стал напоминать современный. Но лесной покров в это время так и не успел восстановиться, а преобладающим типом растительного покрова были степи и лесостепи.

Похолодание вернулось 41 тыс. лет назад и длилось около 30 тыс. лет. Северная часть Европы подверглась осташковскому

[3] Тундростепь — тип экосистем, развивающийся в условиях сухого и холодного климата. От современных тундр отличается замещением мохово-лишайникового покрова злаками.

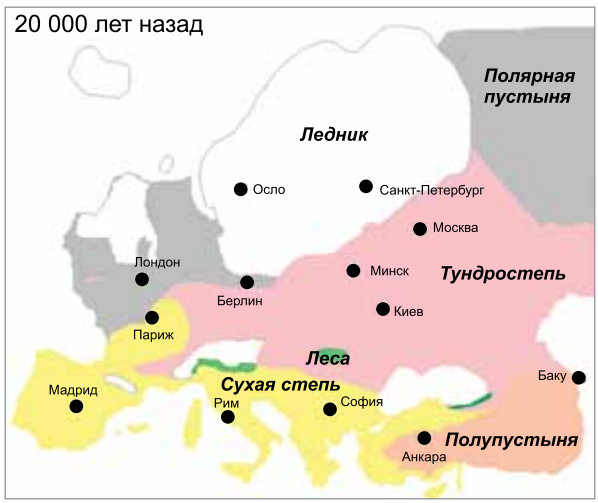



**Рис. 3.1. Растительный покров Европы 20 000 лет назад**

**Рис. 3.2. Растительный покров Европы 13 000 лет назад**

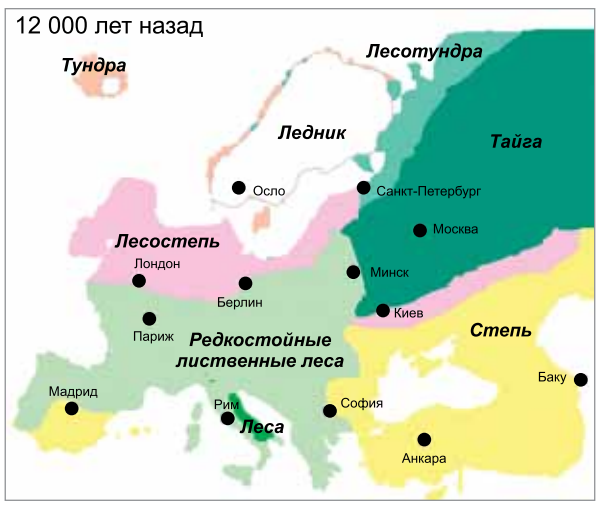



**Рис. 3.3. Растительный покров Европы 12 000 лет назад**

**Рис. 3.4. Растительный покров Европы 11 000 лет назад**

(поздневалдайскому) оледенению, название которого опять же указывает на его южную границу (рис. 3.1). При максимуме похолодания среднегодовые температуры были здесь на 8–9 °С ниже современных.

В связи с наличием покровного материкового ледника уровень моря понизился примерно на 100 м, Великобритания стала частью материка, а Черное море отделилось от Средиземного.

**Рис. 3.5. Растительный покров Европы 8000 лет назад**

**Рис. 3.6. Растительный покров Европы 5000 лет назад**

К югу от ледника присутствовала полоса тундр, а вся остальная часть Европейской России была покрыта тундростепью. Климат был не только холоднее, но существенно суше современного. Потому на юге Европы и в Малой Азии тундростепи сразу переходили в сухие степи и полпустыни. Леса можно было найти лишь в виде узкой полосы на южных берегах Черного моря, которое, ввиду понижения уровня океана, не имело связи со Средиземным.

13 тыс. лет назад происходит резкое потепление (рис. 3.2), ледниковый щит начинает отступать к северу. Доминирующим типом растительного покрова становятся степи, в центральных районах Европейской России развивается таежное редколесье.

Наконец, 10 тыс. лет назад начинается устойчивое потепление. Оно приводит к постепенному исчезновению европейского покровного ледника. Это время принято за начало новой геологической эпохи — голоцена, которая продолжается и в настоящее время. Лес начинает возвращаться в Европу, причем характер лесного покрова постоянно меняется вслед за прогрессирующим потеплением. Так, 8 тыс. лет назад (рис. 3.5) центр и север Европейской России покрыты таежными лесами, на юге сменяющимися степью и лесостепью. К западу от линии Варшава—Будапешт тайга сменяется широколиственными лесами, преобладающими во всей Западной Европе.

На промежуток от 7 до 5 тыс. лет назад приходится наиболее теплый и влажный периода голоцена. Температуры были на 2–3 °С выше, чем в середине XX века. Север Европейской части России был покрыт тайгой (рис. 3.6), простиравшейся от Северного Ледовитого океана до линии Великий Новгород—Пермь, южнее находились широколиственные и смешанные леса. К югу от линии Киев—Саратов леса сменялись лесостепью и степями.

Вскоре климат похолодал и фактически стал близок к современному, хотя некоторые колебания присутствовали и в дальнейшем. Однако климат уже перестал быть главным фактором, контролирующим ритмы лесного покрова. На первый план постепенно вышло воздействие человека, сводившего леса при земледелии, строительстве поселений и дорог, изменявшего состав древесных пород при лесозаготовках и лесовосстановлении.

## Тенденции современности

Современные климатогенные изменения наиболее ярко проявляются на северном пределе распространения леса. На Полярном Урале отмечен подъем по склонам гор древесной и кустарниковой растительности в пояс горных тундр. Верхняя граница распространения лиственничных редколесий и сомкнутых древостоев за последние 80–90 лет повысилась в среднем на 35–40 м (а в максимуме — на 50–80 м). Продвижение кустарников вверх по склону на 50 м и более описано для Хибин. Активный рост кустарниковой растительности, в особенности ив, наблюдается в восточно-европейских тундрах.

Южная граница леса тоже претерпевает изменения. Известна проблема деградации и усыхания дубрав лесостепной и степной зон европейской части России. Климатическими факторами этой деградации стали экстремально низкие зимние температуры, а также засухи. В Байкальском регионе, наоборот, наблюдается наступление сосновых лесов на степные экосистемы, что объясняется увеличением количества осадков (рис. 3.7).

Климатическое воздействие на леса зачастую имеет негативный характер, вплоть до ослабления и гибели лесных насаждений. На сегодняшний день доминирующей причиной гибели лесов в России являются лесные пожары. Однако гибель лесов от неблагоприятных погодных факторов весьма значительна и по масштабам

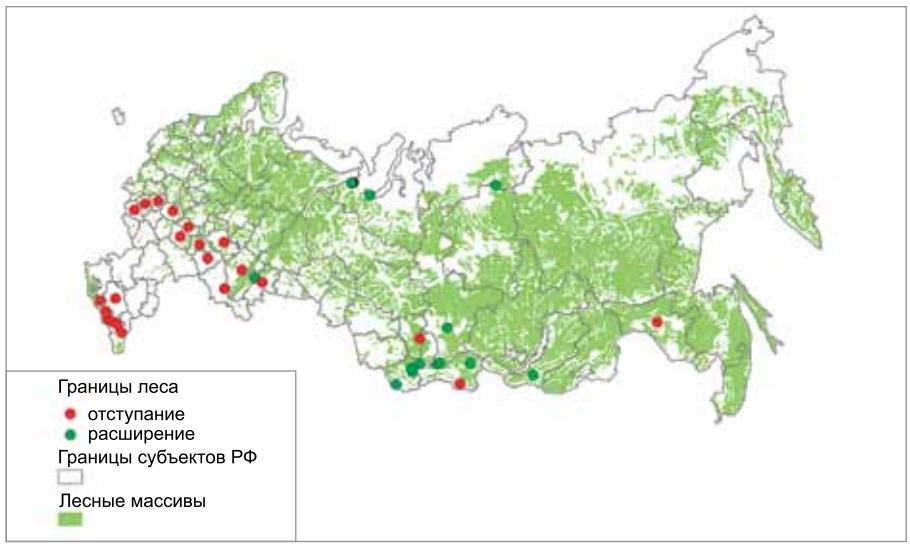



**Рис. 3.7 Экспериментально-полевые свидетельства современных изменений границ леса**

*Источник:* Краев Г.Н., Замолодчиков Д.Г. Наблюдаемые воздействия современных климатических изменений на леса России // Экология. 2013

сравнима с усыханием лесов от вспышек насекомых-вредителей. На состоянии лесов негативно сказываются засухи, приводящие к усыханию, ураганные ветры, вызывающие массовый ветровал и бурелом, ливни, во время которых происходит либо смыв отдельных участков леса, либо усыхание деревьев в результате длительного затопления. Массовое повреждение деревьев может вызываться обильно выпавшим мокрым снегом (снеголом) или обледенением (рис. 3.8)[4]. При сильном граде происходит повреждение коры ветвей, что может вызвать заметное ослабление древостоев и частичное их усыхание.

**Рис. 3.8 Ледяной дождь в Подмосковье в декабре 2010 г. и его последствия в мае 2011 г.**

Фото: Дмитрий Замолодчиков

[4] Наблюдения за ледяным дождем, сделанные школьниками, приведены ниже в приложении 3. Там же дано описание данного явления.

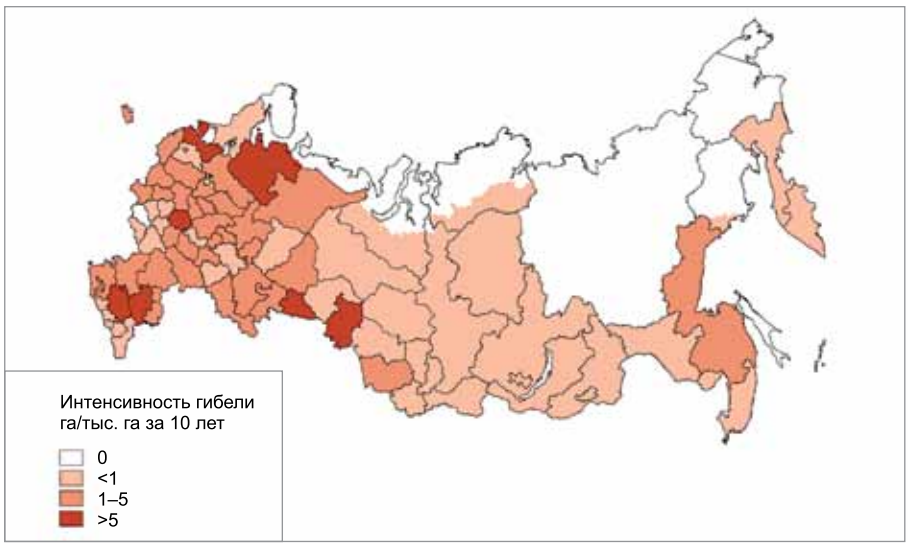



**Рис. 3.9 Интенсивность гибели лесов России от неблагоприятных погодных факторов в 1999–2009 гг.**

*Источник:* Замолодчиков Д.Г. Леса и климат – вчера, сегодня, завтра // Живой лес. 2011. № 3. С. 16-22. http://givoyles.ru/index.php?option=com_content&task=view&id=115&Itemid=

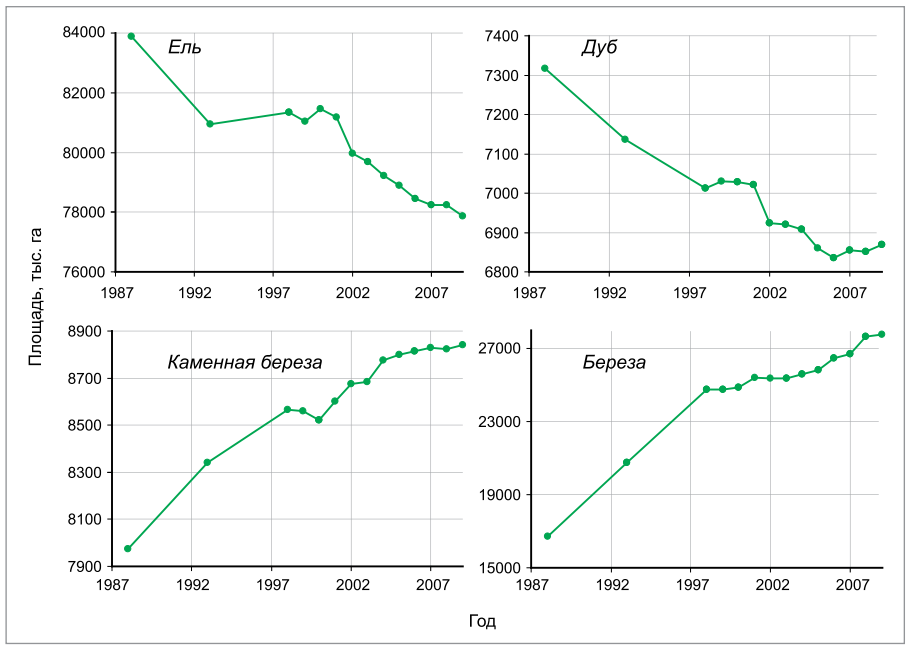
В 1999–2009 годах интенсивность гибели лесных насаждений от погодных факторов (в расчете на покрытую лесом площадь региона) была повышена в большинстве областей европейской части России, а также Алтайском крае, Оренбургской области и Хабаровском крае (рис. 3.9). В регионах северной части Сибири (Республика Саха, Красноярской край, Чукотский АО, Магаданская область) интенсивность гибели насаждений невелика либо близка к нулю.

Распределение интенсивности гибели лесных насаждений от неблагоприятных погодных факторов во многом соответствует региональным тенденциям изменения температуры воздуха и осадков. Неблагоприятное сочетание тенденций характерно для ряда регионов европейской части России, где рост температур сопровождается уменьшением количества осадков. Именно здесь ныне регистрируются наиболее высокие интенсивности гибели насаждений от погодных факторов. Сходная ситуация имеет место и на юге Дальнего Востока.

Изменения лесного покрова в условиях меняющегося климата не всегда идут постепенно, а могут сопровождаться быстрой гибелью целых лесных массивов. С одной стороны, региональные климатические тенденции оказываются неблагоприятными для существующих лесов, что приводит к их ослаблению и постепенному отмиранию доминирующих древесных пород. С другой, переходные периоды всегда чреваты нестабильностью,

**Рис. 3.10 Изменения площадей лесов России с преобладанием различных древесных пород**

*Источник:* Замолодчиков Д.Г. Оценка климатогенных изменений разнообразия древесных пород по данным учетов лесного фонда // Успехи современной биологии. 2011. Т. 131. № 4. С. 382-392. http://elibrary.ru/item.asp?id=16824433



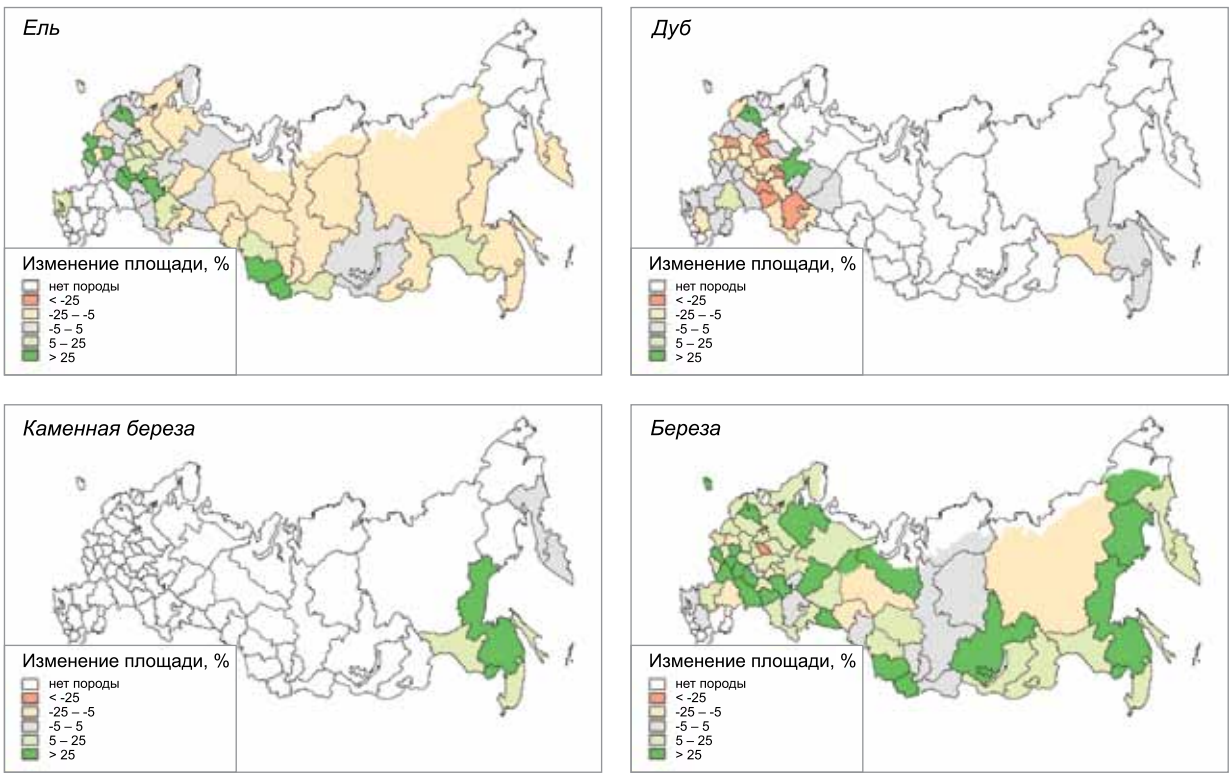




**Рис. 3.11. Изменения по регионам России площадей лесов с преобладанием различных древесных пород за 1988–2009 гг.**

*Источник:* Замолодчиков Д.Г. Оценка климатогенных изменений разнообразия древесных пород по данным учетов лесного фонда // Успехи современной биологии. 2011. Т. 131. № 4. С. 382-392. http://elibrary.ru/item.asp?id=16824433

потому в регионах с наиболее выраженными климатическими тенденциями чаще встречаются экстремальные погодные ситуации. И именно эти кратковременные, но мощные по воздействию события становятся непосредственной причиной гибели лесов.

В лесах России имеют место направленные изменения разнообразия древесных пород, многие из которых с большой вероятностью вызваны потеплением климата. Климатогенные причины сокращения площадей твердо установлены для ели и дуба (рис. 3.10 и 3.11), вероятны для ольхи черной и тополя. Климатические причины увеличения площадей вероятны для каменной березы и древовидных ив. Наличие пространственной мозаики изменений площади хорошо заметно на примере березы (рис. 3.11). Мелколиственные породы (береза, осина, ольха) первыми возобновляются на местах вырубок и других нарушений лесного покрова, их наличие обычно рассматривается как свидетельство антропогенных преобразований хвойных лесов в результате эксплуатации. Необходимо учесть, что существует и обратный процесс — постепенная смена мелколиственных пород хвойными по мере развития лесного насаждения. При снижении годовых объемов лесозаготовок (что характерно для России с начала 1990-х годов) темпы смены мелколиственных пород хвойными должны постепенно превысить скорость образования насаждений мелколиственных пород на вырубках. Однако этого не происходит. Здесь, скорее всего, проявляется влияние климата, отрицательно воздействующего на возобновление хвойных пород, в первую очередь ели, под пологом мелколиственных пород. Следовательно, через ослабление темнохвойных лесных насаждений изменения климата способствуют расширению площадей березы, осины и ольхи.

## Прогноз на будущее

Согласно прогнозам из всех лесных регионов планеты наибольшие изменения будут происходить в бореальных (северных) и умеренных районах Евразии и Северной Америки за счет смещения на север границ лес—тундра и лес—степь[5].

[5] *Источник:* Fischlin A. et al. Ecosystems, their properties, goods, and services // Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge, Cambridge University Press, 2007. p. 211–272

При повышении температуры на 2 °С обезлесение затронет лишь юг Западной Сибири, а общая площадь лесного покрова России увеличится за счет распространения лесов в современную зону тундр.

При повышении температуры на 4 °С отступление лесов будет идти по всей южной границе их распространения, приходящейся на территорию России. Отступление лесов с юга будет более масштабным, чем их продвижение на север, в зону тундр. В частности, естественное обезлесение охватит почти всю среднюю полосу европейской части России и Западной Сибири.

## Воздействие леса на климат

Воздействие климатических изменений на леса очевидно. Однако существует и обратное влияние леса на климат. Например, наличие леса изменяет отражающие свойства земной поверхности, тем самым изменяя количество тепла, поглощаемое поверхностью в светлое время суток. Лес влияет на гидрологический цикл и испаряемость, делая климат региона более мягким и влажным. В лесу дольше задерживается снежный покров, сглаживая весенние скачки температуры и снижая риски весеннего половодья. Но важнейшее свойство лесов, сказывающееся на глобальном климате, связано с углеродным циклом — поглощением и эмиссией $CO_2$.

В процессе фотосинтеза из атмосферы поглощается углекислый газ и углерод запасается в растительной биомассе, а атмосфера обогащается кислородом. В средствах массовой информации по отношению к лесам часто употребляется термин «зеленые легкие планеты». Однако процесс газообмена леса с атмосферой не столь прост (рис. 3.12). Помимо фотосинтеза (продукции биомассы), в лесных экосистемах идут процессы дыхания (то есть разложения органического вещества). Дышат и многочисленные животные, и грибы и бактерии, разлагающие мертвые растительные остатки и органическое вещество почвы, дышат сами растения. В старовозрастных лесах величины продукции и дыхания приблизительно равны, в результате их разность, то есть годовой баланс углерода, оказывается близкой к нулю. Однако это не значит, что старовозрастные леса не играют роли в регуляции газового состава атмосферы. Просто период активного поглощения углерода в этих лесах остался в прошлом, а ныне они стали хранителями «законсервированного» углерода, то есть того, который уже не может вызывать парниковый эффект. Лес хранит углерод

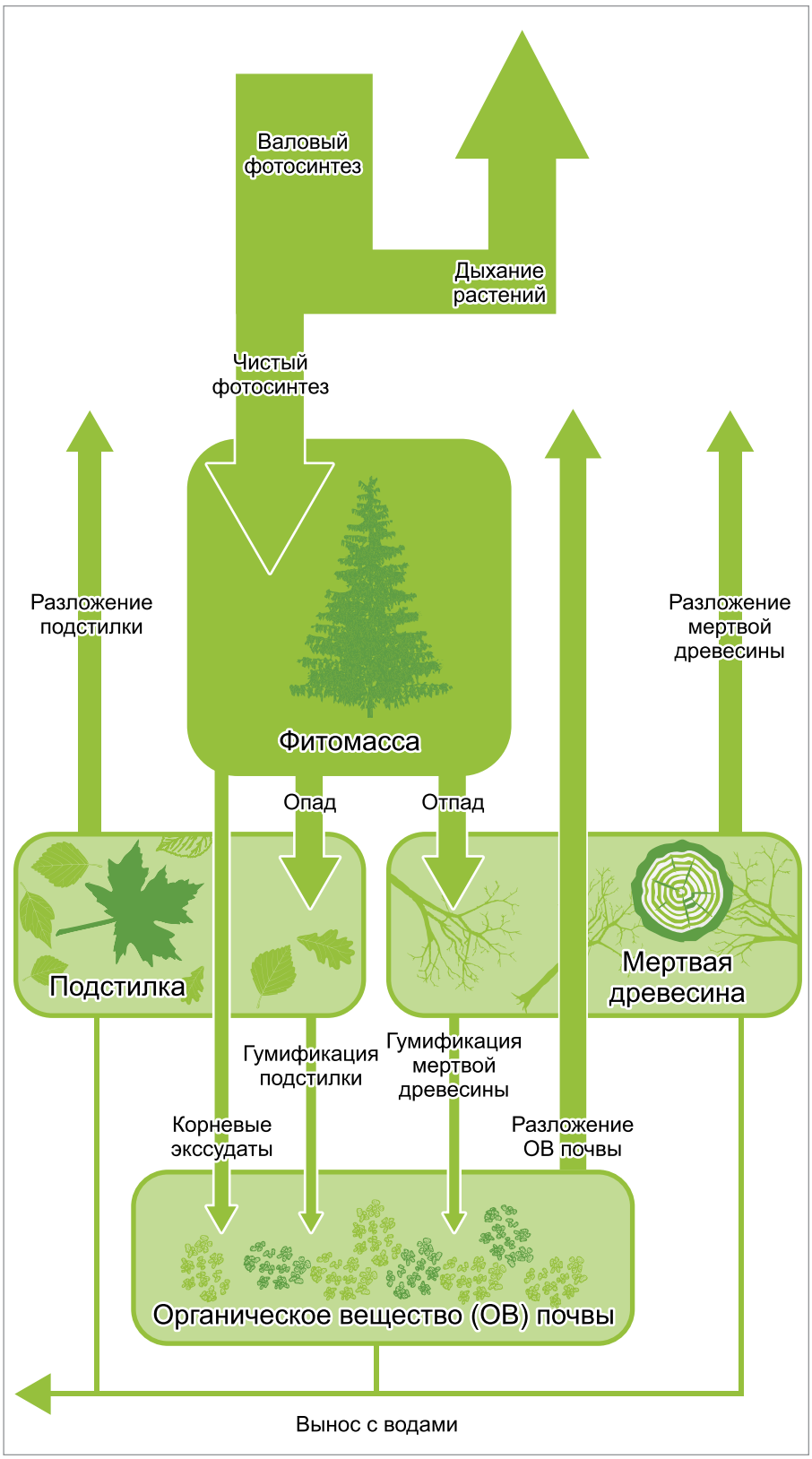



**Рис. 3.12**
**Схема бюджета углерода лесной экосистемы.**
Некоторые термины: корневые экссудаты — растворимые органические вещества, попадающие в почву из корней растений, опад — опадающие и отмирающие части живых растений (листва, ветви, цветы, шишки и т. д.), отпад — отмирание целых деревьев, гумификация — образование гумуса почвы

*Источник:* Замолодчиков Д.Г. Системы оценки и прогноза запасов углерода в лесных экосистемах (часть I) // Устойчивое лесопользование. 2011. № 4. С. 15-22. http://www.wwf.ru/resources/publ/magazines/forest_mag/doc2502/page3

в биомассе растений, в мертвой древесине сухостоя и упавших деревьев, в лесной подстилке и гумусе почвы. В бореальных (северных) лесах именно почва служит главным хранилищем углерода, в то время как в тропических лесах — биомасса растений.

Молодые растущие леса по своему углеродному циклу отличаются от старовозрастных. Здесь продукционные процессы преобладают над разложением, за счет чего и происходит увеличение запасов углерода, обеспечивающее удаление (сток)[6] углекислого газа из атмосферы. Именно молодые леса в полной мере можно считать «зелеными легкими» планеты.

Леса подвержены различным нарушающим воздействиям: рубкам, лесным пожарам, вспышкам вредителей, ветровалам, что приводит к гибели либо деградации лесов, потерям запасов углерода и эмиссии углекислого газа в атмосферу. К счастью, потери запасов углерода лесами могут быть обратимыми. Если на вырубках, гарях и местах других нарушений начинают восстанавливаться молодые леса, происходит постепенная компенсация запасов углерода при росте биомассы и пополнении других хранилищ. Если же на местах нарушений происходят изменения землепользования, например, перевод в пахотные земли или застройка территории, то компенсация потерь отсутствует.

Таким образом, уровень нарушающих воздействий становится рычагом, который управляет бюджетом углерода[7] лесов. Этот рычаг уже в течение нескольких тысячелетий контролируется в первую очередь человеком.

Рассмотрим современные изменения углеродного бюджета лесов России (рис. 3.13). В конце 1980-х годов леса России ежегодно поглощали из атмосферы около 70 млн т углерода в год[8]. В середине 1990-х годов имело место резкое увеличение поглощения углерода. Ныне годовой сток углерода из атмосферы в леса России близок к 210 млн т.

---

[6] Сток углерода — такое состояние экосистемы, при котором входящие потоки углерода преобладают над исходящими, а размеры запасов углерода в различных частях экосистемы возрастают (эти запасы часто называют пулами углерода).

[7] Бюджет углерода — совокупность потоков, обеспечивающих углеродный обмен экосистемы со внешней средой и перераспределяющих углерод между пулами экосистемы.

[8] Конечно, леса поглощали из атмосферы не углерод, а $CO_2$, но, говоря о лесных экосистемах, ученые обычно переводят все потоки в тоннах $CO_2$ в тонны углерода (для этого тонны $CO_2$ надо разделить на 3,667).

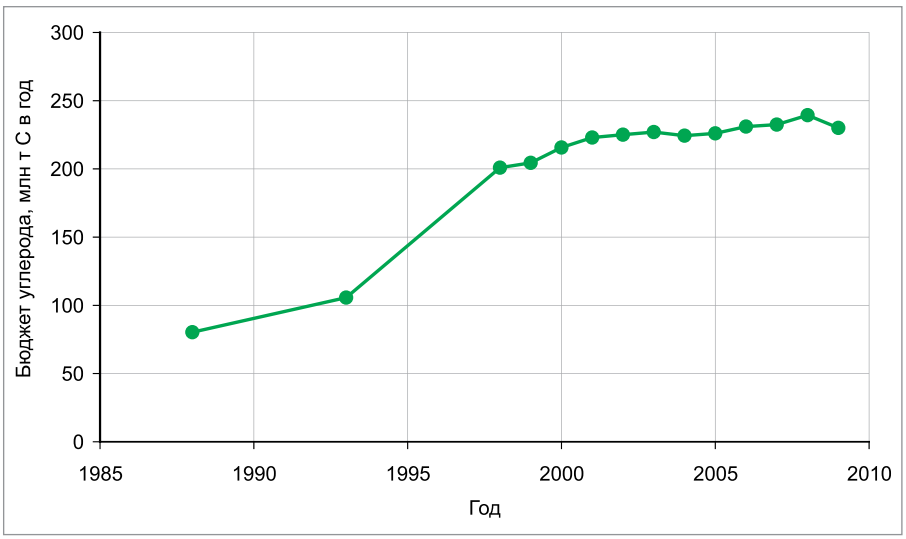



**Рис. 3.13 Поглощение $CO_2$ из атмосферы лесами России**

*Источник:* Замолодчиков Д.Г., Грабовский В.И., Краев Г.Н. Динамика бюджета углерода лесов России за два последних десятилетия // Лесоведение. 2011. № 6. С. 16-28. http://elibrary.ru/item.asp?id=17097641

Это связано с динамикой суммарных объемов лесозаготовок (рис. 3.14). В 1950–1980-х годах годовой объем заготовок древесины в лесах нашей страны был близок к 350 млн м$^3$. В период социально-экономических реформ начала 1990-х годов объемы лесопользования упали до 150 млн м$^3$ в год и фактически стабилизировались на этом уровне. Изменения режима лесопользования стали основной причиной недавнего роста поглощения углерода лесами России. Стабильность объемов лесозаготовок в 1950–1990 годах привела к возникновению устойчивой возрастной структуры российских лесов, обеспечивающей прирост

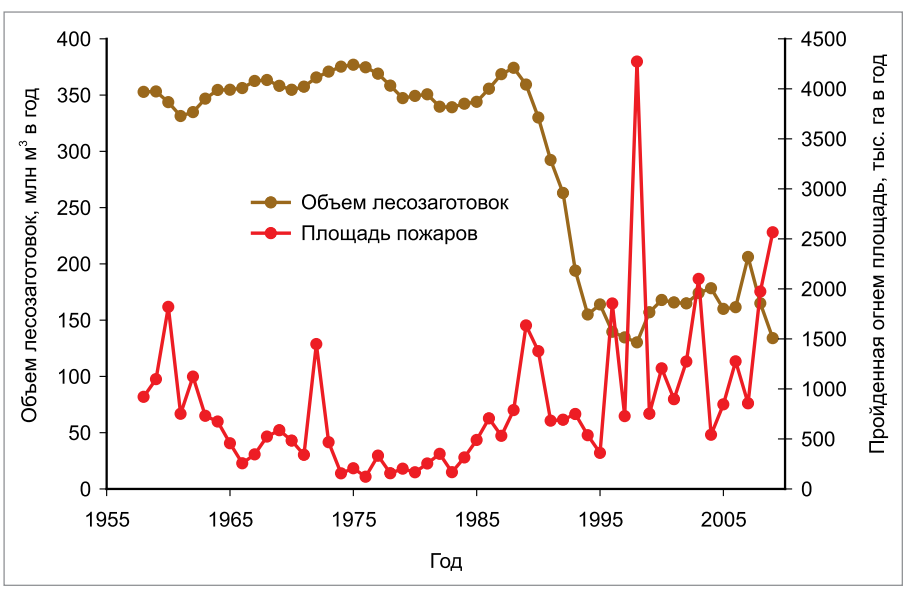
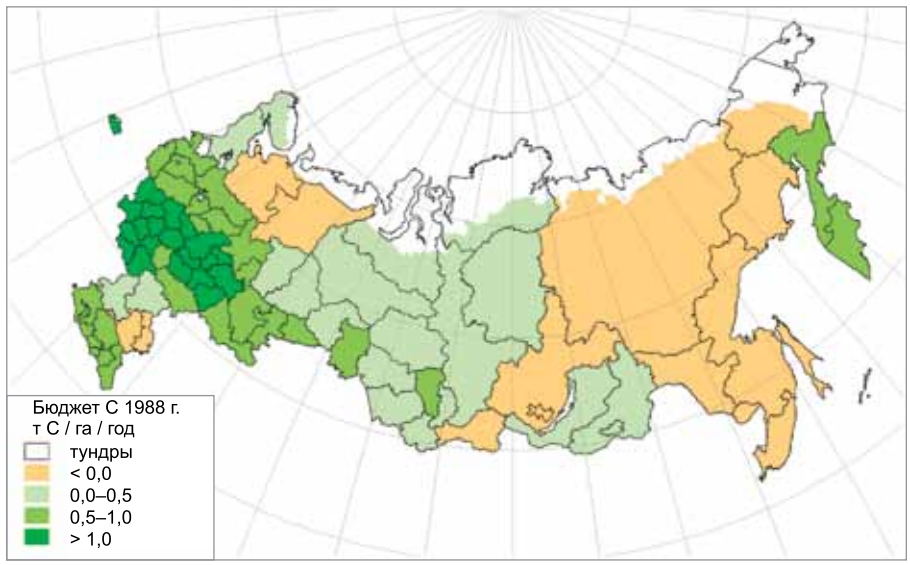



**Рис. 3.14 Динамика объемов лесозаготовок и площадей лесных пожаров в России за 1958–2009 гг.**

*Источник:* Замолодчиков Д.Г. Динамика углеродного баланса лесов России и ее вклад в изменение атмосферной концентрации углекислого газа // Бюллетень «Использование и охрана природных ресурсов в России». 2012. № 5. С. 31-38. http://www.priroda.ru/lib/detail.php?ID=10706

**Рис. 3.15 Пространственное распределение углеродного бюджета лесов в 1988 г.**

*Источник:* Замолодчиков Д.Г., Грабовский В.И., Краев Г.Н. Динамика бюджета углерода лесов России за два последних десятилетия // Лесоведение. 2011. № 6. С. 16-28. http://elibrary.ru/item.asp?id=17097641




древесины, компенсирующий ее изъятие с лесозаготовками. Как уже отмечалось выше, в такой ситуации углеродный бюджет лесов не должен сильно отличаться от нулевого. При сокращении лесозаготовок прирост стал превышать изъятие, что привело к росту как запасов древесины в лесах, так и усилению поглощения углерода. Эту тенденцию не смогло преломить наблюдающееся с середины 1990-х годов увеличение горимости лесов (рис. 3.14), связанное как со снижением усилий по охране лесов от пожаров, так и с потеплением климата.

Пространственное распределение углеродного бюджета лесов в 1988 и 2009 годах показано на рис. 3.15 и 3.16. В 1988 году леса почти всей территории Дальнего Востока, частично Восточной Сибири, а также севера европейской части России были источником углерода (рис. 3.15). К 2009 году леса этих регионов стали небольшим стоком углерода (рис. 3.16), за исключением Тувы, Магаданской области и лесной части Чукотского автономного округа. Леса с максимальными величинами стока углерода как в 1988-м, так и в 2009 году находились в средней полосе европейской части России.

Отмеченные особенности пространственного распределения стоков и источников углерода в лесах вполне объяснимы географическими особенностями осуществления лесохозяйственной деятельности. Принципиальные различия между европейско-уральской и азиатской частями России связаны с влиянием пожа-

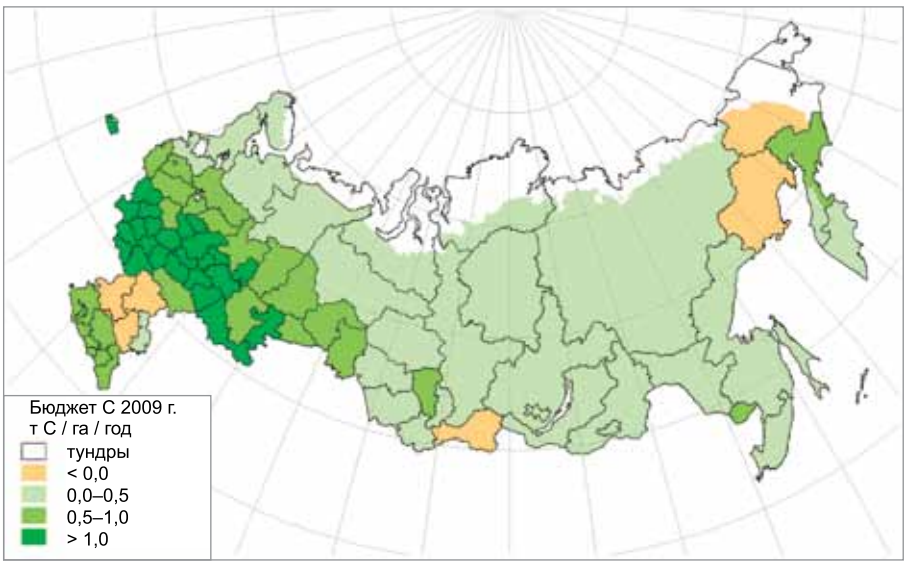



**Рис. 3.16 Пространственное распределение углеродного бюджета лесов в 2009 г.**

*Источник:* Замолодчиков Д.Г., Грабовский В.И., Краев Г.Н. Динамика бюджета углерода лесов России за два последних десятилетия // Лесоведение. 2011. № 6. С. 16-28. http://elibrary.ru/item.asp?id=17097641

ров. В европейско-уральской части преобладает наземная форма организации охраны лесов от пожаров, как правило, достаточно эффективно выполняющая свои функции. В Сибири и на Дальнем Востоке велика зона космического мониторинга лесных пожаров, в которой борьба с лесными пожарами проводится лишь в том случае, когда они угрожают населенными пунктам и объектам инфраструктуры. Потому в этих регионах пожары охватывают огромные площади и влекут за собой значительные потери углерода лесов. Причиной усиления стока углерода в леса от 1988 к 2009 году является снижение уровня заготовок древесины (см. рис. 3.14). Это снижение прошло по всей территории России, повысив сток углерода в леса европейской части и почти ликвидировав лесные источники углерода на Дальнем Востоке.

Как было рассмотрено выше, влияние климатических изменений пока проявляется разнонаправленно: расширение границ леса и увеличение скорости роста молодых насаждений на севере компенсируется ослаблением и гибелью насаждений на юге. Реализация сценария наиболее сильного потепления, при котором прогнозируется обезлесение средней полосы европейской части России и Западной Сибири, приведет к переходу хранимого лесами углерода в углекислый газ атмосферы. Это, в свою очередь, может усилить процесс потепления.

К счастью, в настоящее время леса умеренных широт являются глобальным стоком углерода. В развитых странах Евразии

и Северной Америки, на территории которых находятся основные площади таких лесов, в XX веке снизились темпы роста населения, стабилизировались формы землепользования, получили широкое распространение приемы и технологии устойчивого управления лесами. Во многих странах задачи устойчивого экологического развития стали приоритетными по отношению к экономическому росту. Все эти факторы во второй половине XX века привели к уменьшению нарушающих нагрузок на бореальные и умеренные леса, что, естественно, выразилось в увеличении ими поглощения углерода из атмосферы. Территории умеренного и бореального поясов планеты поглощают ныне около 1 млрд т углерода в год, тем самым замедляя рост содержания парниковых газов в атмосфере и снижая темпы потепления.

С углеродным балансом тропических лесов складывается менее благополучная ситуация. Во многих развивающихся странах, обладающих значительными площадями тропических лесов, продолжается их сведение с последующим переводом земель в иные типы землепользования, в первую очередь сельскохозяйственные. Этот процесс приводит к годовой эмиссии в атмосферу до 2 млрд т углерода в год. Однако в целом углеродный баланс наземных экосистем тропического пояса близок к нейтральному. Выбросы углекислого газа от обезлесения компенсируются нарастанием запасов углерода в лесах, восстанавливающихся на ранее нарушенных территориях. Кроме того, имеет место усиление стока углерода в нетронутых тропических лесах, возможно, в результате положительных эффектов глобальных изменений климата. Некоторые страны (Китай, Индия, а ранее — Коста-Рика) самостоятельно, не ожидая внешней поддержки, осуществляют программы сохранения и восстановления лесов.

# Резюме

Современное потепление, все очевиднее воздействующее на леса, в очень немалой степени имеет антропогенную природу. Пока леса помогают сдерживать потепление, поглощая из атмосферы часть $CO_2$, выброшенного туда человеком. Однако их возможности не беспредельны, и при усилении потепления леса могут превратиться в дополнительный источник парниковых газов. Будем надеяться, что антропогенные изменения климата все же будут остановлены раньше.

ТЕМА 4

# РЕГИОНАЛЬНЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ КЛИМАТА И ИХ ВЕРОЯТНЫЕ ПОСЛЕДСТВИЯ

В предыдущих тематических разделах были рассмотрены глобальные изменения климата за последние миллионы, сотни и десятки лет, ситуация в Арктике, взаимодействие лесного покрова и климатической системы Земли. Однако для каждого из нас еще больший интерес вызывают местные изменения климата, их прогноз и возможные социально-экономические и экологические последствия, действия, которые можно предпринять для адаптации к региональным явлениям. Этому посвящен данный тематический раздел, где сначала дается общее описание изменений климата на севере европейской части России и Западной Сибири, а затем идут отдельные подразделы для каждого из рассматриваемых регионов. Общее описание географических особенностей, природных зон и климата различных частей страны имеется в курсе географии и здесь не дублируется.

Причины изменения климата глобальны по своей природе: движение континентов, изменения орбиты Земли и активности Солнца, извержения вулканов, когда пепел разносится по всей планете, вариации океанских течений на огромных территориях. Глобально и добавившееся к ним влияние человека: рост концентрации $CO_2$ и других парниковых газов, аэрозольных частиц охватывает всю атмосферу. Региональные эффекты тоже есть: например, загрязнение воздуха сажей, которая, выпадая на белый снег, резко увеличивает поглощение солнечной радиации. Однако они гораздо слабее глобальных воздействий[1].

Поэтому причины региональных изменений здесь не обсуждаются, им посвящен первый тематический раздел. Здесь рассматриваются региональные проявления глобальных изменений, которые могут сильно отличаться от средних по планете[2]. Их социально-экономические и экологические последствия тоже индивидуальны для каждого региона[3].

---

[1] Оценочный доклад об изменениях климата и их последствиях на территории Российской Федерации, т.1, Росгидромет, М., 2009. http://climatechange.igce.ru, с. 95.

[2] Доклад об особенностях климата на территории Российской Федерации за 2011 год. М.: Росгидромет, 2012. www.meteorf.ru, см. также: http://climatechange.igce.ru

[3] Оценка макроэкономических последствий изменений климата на территории Российской Федерации на период до 2030 г. и дальнейшую перспективу, под ред. В. М. Катцова и Б.Н. Порфирьева, Росгидромет. М.: Д'АРТ: Главная геофизическая обсерватория, 2011, 252 с. http://www.voeikovmgo.ru/ru/sobyitiya/doklad-otsenka-makroekonomicheskih-posledstviy-izmeneniya-klimata-na-territorii-rossiyskoy-federatsii.html

# Изменения климата на севере европейской части России и Западной Сибири

Температура. В целом на севере европейской части России и Западной Сибири среднегодовая температура увеличивается (рис. 4.1). По правилам, принятым во Всемирной метеорологической организации, во всем мире изменения температуры отсчитываются как отклонения от так называемого «базового» периода — 1961–1990 годов. Например, температура 1 января 2011 года сравнивается со средней температурой 1 января за указанные 30 лет. Эту разницу называют отклонением, или аномалией температуры 1 января 2011 года. Затем то же делают для каждого дня месяца, сезона или года в целом и суммируют полученные отклонения. В результате получается отклонение температуры за тот или иной месяц, сезон или год. Среднюю температуру определенного дня, месяца или сезона за данные 30 лет часто называют «нормой». Среднегодовые значения отклонений от «нормы» для европейской части России и для Западной Сибири приведены на рис. 4.1 (ниже аналогично вычисленные отклонения приводятся для метеостанций каждого отдельного региона).

При наличии больших отклонений (аномалий) метеорологи говорят о «холоде» или «жаре» в тот или иной день, месяц или год в целом. Такая терминология несколько отличается от обычного понимания холода и тепла. Например, если средняя за 1961–1990 годы температура января («норма») в вашем городе была –15 °С, а в этом году –8 °С, то месяц считается жарким, хотя –8 °С — это довольно холодная погода. Аналогичным образом июль с температурой +12 °С будет назван очень холодным, поскольку в среднем за 1961–1990 годы было +20 °С. По принятым правилам день считается жарким, если температура выше «нормы» более чем на 7 °С, а теплым — если она выше на 3–7 °С. Аналогичным образом выделяют очень холодные и просто холодные дни. Для месяца, сезона и года тоже есть свои пороговые значения[4]. Также имеются четкие определения «волн» жары или холода, используемые медиками[5].

---

[4] Месяц считается жарким/очень холодным, если его средняя температура выше/ниже нормы на 4 °С, теплым/холодным, если на 1–4 °С выше/ниже; для сезона пороговые значения равны 3 и 0,7 °С, для года 0,7 и 0,4 °С. *Источник:* ИА Метеоновости. http://www.hmn.ru/index1.php?code=14&value=6#c_table

[5] Оценка риска и ущерба от климатических изменений, влияющих на повышение уровня заболеваемости и смертности в группах населения повышенного риска: Методические рекомендации. М., Федеральный центр гигиены и эпидемиологии Роспотребнадзора, 2012. 48 с. Утверждены Главным государственным санитарным врачом РФ Г.Г. Онищенко 17 января 2012 г. http://www.erh.ru/pdf/Metodicheskie%20rekomendacii%20MR%202.1.10.0057-12.pdf. Определения волн жары и холода см. с. 15 данного документа.

Чтобы лучше видеть долгосрочные изменения (отделить их от межгодовых колебаний температуры), принято делать 11-летнее скользящее осреднение: расчет средней температуры за 5 лет назад и 5 лет вперед. Например, 11-летнее среднее для 2005 года является средним значением за 2000–2010 годы (голубая кривая на рис. 4.1).

Затем делается расчет линейного «тренда» — прямой линии, которой можно описать изменение того или иного параметра (в нашем случае температуры) за определенный период (красная прямая на рис. 4.1). За начало отсчета берется середина базового периода — 1976 год, то есть рассчитывается, какой прямой линией можно описать изменение температуры за 1976–2011 годы (когда готовилась эта книга, в распоряжении авторов еще не было данных за 2012 год).

На европейской части России с 1976 года рост температуры составил 2 °С, что намного больше, чем в среднем для всего мира — 0,6 °С (см. рис. 1.14) и для России в целом — 1,5 °С (см. рис. 1.15). В Западной Сибири рост температуры меньше — 1 °С.

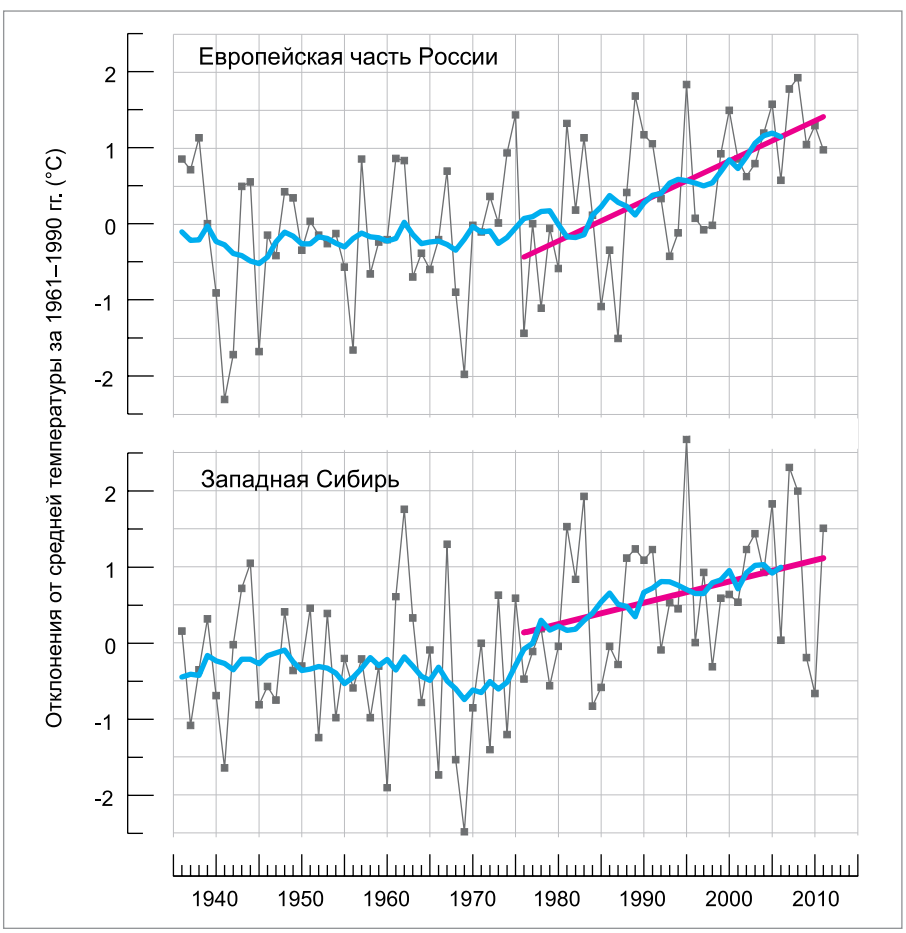



**Рис. 4.1 Изменения температуры, °С (отклонения от средней за 1961–1990 гг.).** Сглаженная кривая соответствует 11-летнему скользящему осреднению. Линейный тренд показан за 1976–2011 гг.

*Источник:* Доклад об особенностях климата на территории Российской Федерации за 2011 год. М.: Росгидромет, 2012. www.meteorf.ru, см. также http://climatechange.igce.ru

Линейные тренды изменения температуры рассчитаны для всей территории России, и составлены соответствующие карты (рис. 4.2). По ним можно проследить, как средний по европейской части России тренд, показанный на рис. 4.1, выражен в вашем регионе, причем с разбиением на сезоны — можно видеть, насколько потеплели зима, лето или осень. Тренд принято выражать в °С за 10 лет (°С/10 лет), поэтому, чтобы получить суммарное изменение температуры за 35 лет (с 1976 по 2011 год), нужно показанные на картах значения умножить на 3,5.

Значительное повышение среднегодовой температуры отмечается почти по всей России, исключение составляет юг и центр Западной Сибири. На севере европейской части страны выделяются повсеместный рост осенних температур и более теплые зимы в Мурманской области.

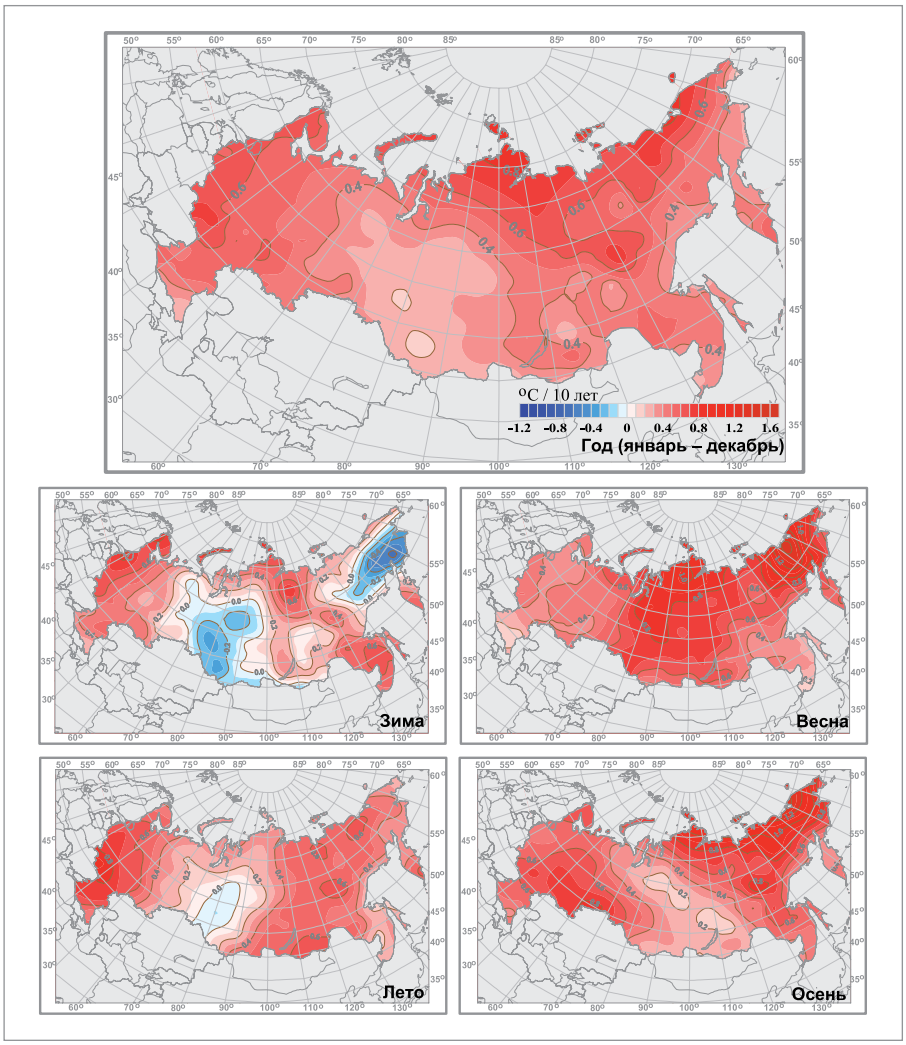



**Рис. 4.2 Изменения температуры за 1976–2011 гг., линейный тренд в °С/10 лет**

*Источник:* Доклад об особенностях климата на территории Российской Федерации за 2011 год. М.: Росгидромет, 2012, стр. 16. www.meteorf.ru

Осадки. Изменения среднегодового количества осадков на европейской части России и в Западной Сибири показаны на рис. 4.3. Можно заметить некоторую тенденцию к увеличению, но она гораздо менее выражена, чем рост температуры. Сходная ситуация наблюдается по всей России, по этой причине здесь не приводится карта изменений количества осадков за 1976–2011 годы аналогичная приведенной на рис. 4.2, так как изменения среднего количества осадков отсутствуют или очень невелики[6].

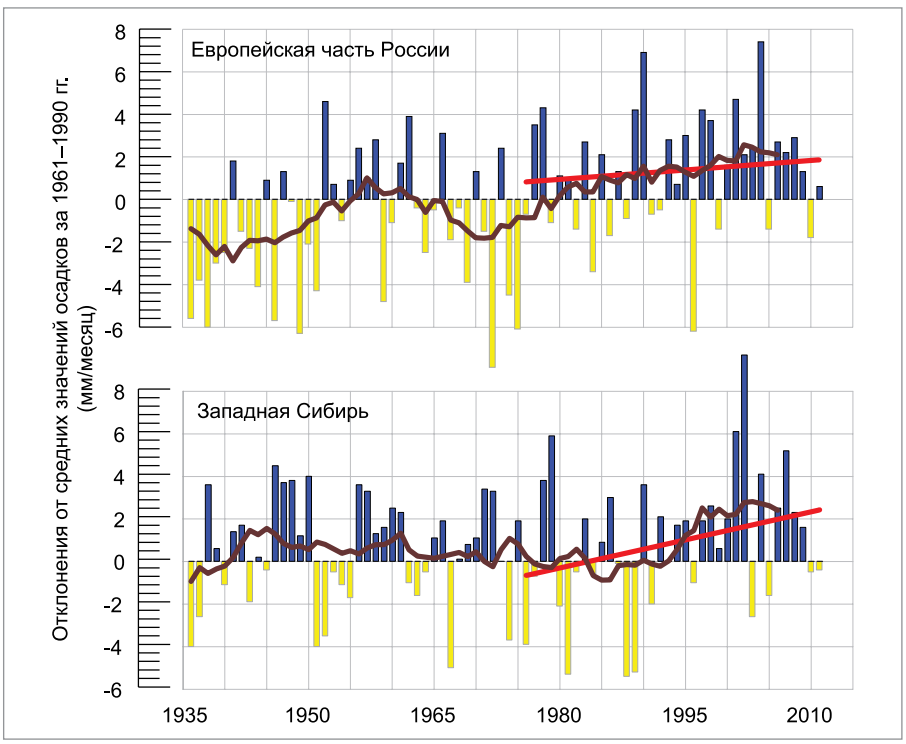



**Рис. 4.3 Осредненные среднегодовые аномалии осадков (отклонения от средних значений за 1961–1990 гг.), мм/месяц.** Сглаженная кривая соответствует 11-летнему скользящему осреднению. Линейный тренд показан за 1976–2011 гг.

*Источник:* Доклад об особенностях климата на территории Российской Федерации за 2011 год. М.: Росгидромет, 2012.www.meteorf.ru

Гораздо более наглядно выглядит рост высоты максимального за зиму снежного покрова на севере европейской части России и Западной Сибири[7] (рис. 4.4). В 2000-е годы к концу зимы снега было примерно на 10 см больше, чем в 1961–1990 годах, для средних значений по столь большой территории это очень существенно и чревато сильными весенними паводками (более подробно этот вопрос обсуждается ниже для каждого из регионов).

[6] Доклад об особенностях климата на территории Российской Федерации за 2011 год. М.: Росгидромет, 2012. www.meteorf.ru, см. также http://climatechange.igce.ru

[7] Сюда входит примерно следующая территория России: южная граница — 62°–63° с.ш., восточная граница — линия г. Ноябрьск (на юге Ямало-Ненецкого автономного округа) — мыс Челюскин (северная оконечность п-ва Таймыр), см. рис. 4.5. Доклад об особенностях климата на территории Российской Федерации за 2011 год. М.: Росгидромет, 2012, с. 30. www.meteorf.ru

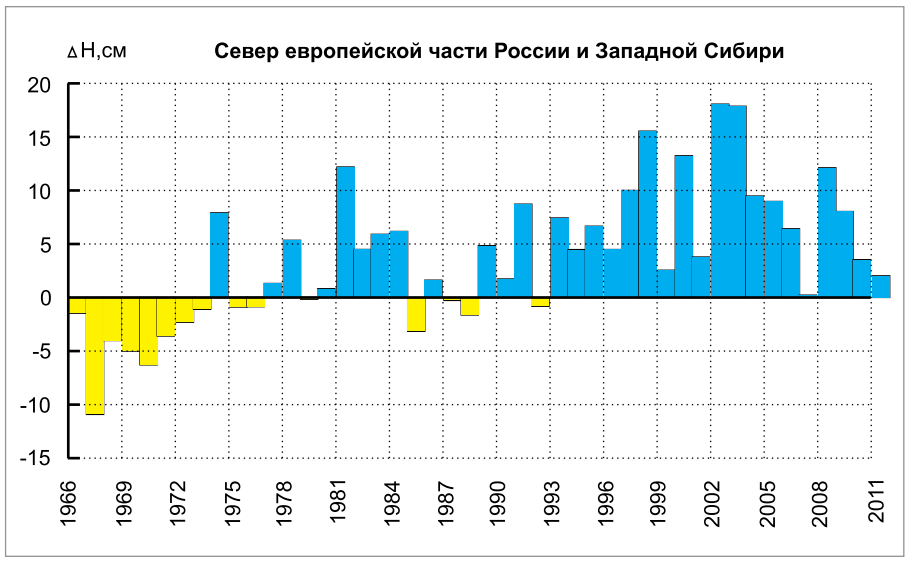



**Рис. 4.4 Изменения максимальной за зимний период высоты снежного покрова, осредненной по территории севера европейской части России и Западной Сибири (за ноль приняты средние значения за 1961–1990 гг.)**

*Источник:* Доклад об особенностях климата на территории Российской Федерации за 2011 год. М.: Росгидромет, 2012. www.meteorf.ru

Показанное на рис. 4.4 увеличение максимального по толщине снежного покрова не означает столь же сильного роста среднего за зиму снежного покрова, его изменения могут быть гораздо меньше. Подобная ситуация — одно из следствий более неравномерного режима выпадения осадков в сочетании с колебаниями температуры и таянием части снежного покрова.

При подготовке данной книги был проведен анализ произошедших изменений годового количества осадков для отдельных метеостанций, см. ниже рис. 4.8, 4.13, 4.19, и 4,22[8]. Можно видеть, что средние изменения за 1976–2010 годы, как правило, намного меньше, чем межгодовые вариации количества осадков. От года к году количество осадков колеблется намного сильнее, чем их средний рост за 35 лет.

Опасные метеорологические явления. Наибольший ущерб и неудобства приносят опасные метеорологические явления: сильные осадки и штормовые ветра, аномально жаркая или особо холодная погода, заморозки, метели и т.п. Тенденция к увеличению числа подобных опасных явлений проявляется по всему миру. В России в 2007–2012 годах их было примерно в 2 раза больше, чем в 1998–2003 годах (более подробно см. первый тематический раздел, стр. 45). В Северо-Западном федеральном округе в 2010 году их было 54, в 2011-м — 37, а в 2012-м — 40[9].

[8] Данные об осадках на отдельных станциях были обработаны и проанализированы в Институте глобального климата и экологии Росгидромета и РАН под руководством д. ф.-м. н. проф. Г.В. Грузы и д. ф.-м. н. Э.Я. Раньковой.

[9] Доклад об особенностях климата на территории Российской Федерации за 2012 год. М.: Росгидромет, 2013. www.meteorf.ru, см. также http://climatechange.igce.ru

Примерно вдвое увеличилось за последние 15 лет и число различных гидрометеорологических явлений (метеорологических, гидрологических, агрометеорологических), которые нанесли значительный ущерб (см. рис. 1.17). В 2012 году был поставлен рекорд — 469 явлений. В Северо-Западном федеральном округе больше всего было сильных ветров и метелей, очень холодной погоды, заморозков и сильных осадков. В рассматриваемых регионах, как и по всему миру, отмечается тенденция к более «экстремальному» выпадению осадков. Имеется в виду, что примерно то же количество осадков за год выпадает в виде более редких, но сильных дождей и снегопадов, вместо более равномерного выпадения более частых умеренных осадков, как это было в прошлом. Подробнее опасные метеорологические явления последних лет рассматриваются ниже для каждого из регионов.

Прогноз изменения температуры. Так как изменения климата — процесс, имеющий глобальные причины, то для региональных прогнозов среднегодовых и среднесезонных температур на ближайшие десятилетия и на XXI век используются глобальные модели, описывающие естественные и антропогенные процессы в атмосфере и океане Земли в целом. Ученые не полагаются на одну модель, а совместно используют расчеты по моделям, работающим в разных странах, в том числе и в России. В нашей стране ведущим учреждением по прогнозу изменения климата является Главная геофизическая обсерватория им А. И. Воейкова (ГГО). Там построены прогностические карты, где приведены средние значения, полученные по 16 глобальным моделям (то есть каждая из приводимых цифр — это средняя из 16).

Прогноз дается для трех временных периодов: 2011–2031, 2041–2060 и 2080–2099 годы. Точности расчетов не хватает, чтобы давать прогноз на какой-либо конкретный год или несколько лет. Поэтому прогнозы даются для отклонения (превышения) средней температуры за 20 лет, например, за 2041–2060 годы от средней температуры за последние 20 лет XX века — 1980–1999 годы. Рассчитываются среднегодовые и среднесезонные температуры, тогда как прогноз на отдельные месяцы не дается.

На большей части России, в том числе во всех регионах Севера и Дальнего Востока, наибольшие изменения ожидаются зимой. Поэтому на рис. 4.5 приводится карта для зимнего сезона (карты для всех сезонов и для среднегодовых значений можно посмотреть на сайте ГГО)[10].

[10] Сайт Главной геофизической обсерватории: http://www.voeikovmgo.ru. Нужно выбрать справа вверху раздел «Изменение климата России в XXI веке».

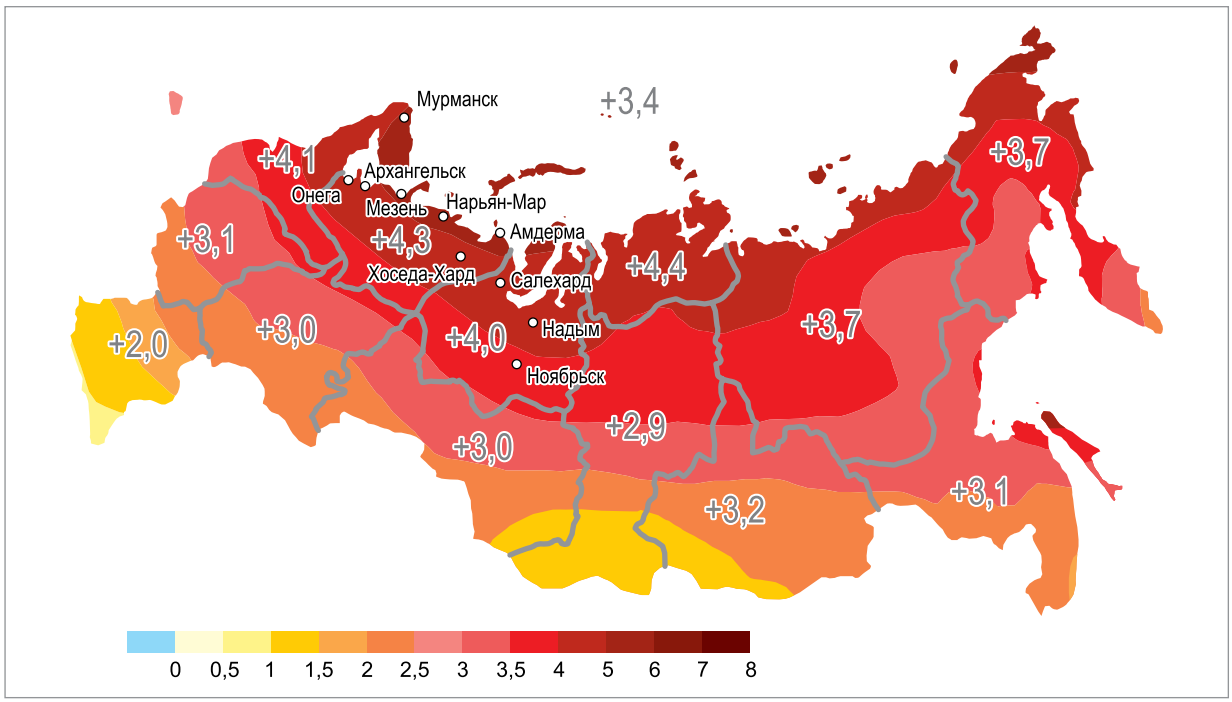



**Рис. 4.5 Прогноз отклонения среднезимней температуры в 2041–2060 гг. (в среднем за 20 лет) от среднезимней температуры в 1980–1999 гг., °С**

*Источник:* ГГО http://www.voeikovmgo.ru, раздел «Изменение климата России в XXI веке»

По всем моделям расчеты проводились по 3 сценариям антропогенного воздействия на климатическую систему Земли, включающим разные темпы роста в атмосфере концентраций парниковых газов и аэрозольных частиц. Как отмечалось в первом тематическом разделе (стр. 49), климатическая система инерционна и на ближайшие десятилетия изменения практически не зависят от выбора сценария. Для средних значений за 2041–2060 годы отличия между сценариями невелики, а для 2080–2099 годов очень существенны. На рис. 4.5 показан прогноз по среднему из трех сценарию, дающему на 2041–2060 годы средние значения между максимальным и минимальным сценариями.

Через 30–50 лет средние зимние температуры могут существенно потеплеть: на побережье Северного Ледовитого океана примерно на 5 °С, а южнее — на 3–4 °С.

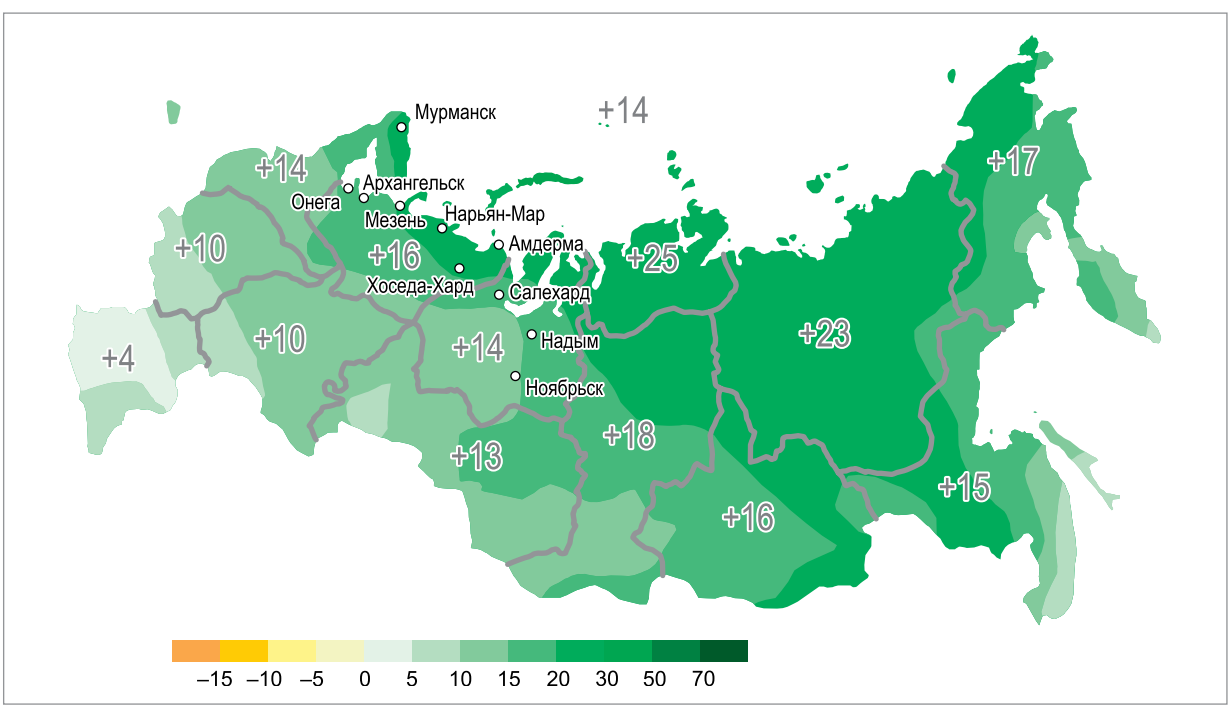
Ниже на базе карт ГГО для каждого из регионов составлены таблицы (табл. 4.1, 4.4, 4.7 и 4.10), где указаны диапазоны изменения температур для каждого из сезонов и за год в целом. Они представляют собой диапазоны между максимальными и минимальными значениями роста температур по разным сценариям и в разных частях данного региона. Там же для каждого из регионов обсуждается, насколько велики прогнозируемые изменения температуры для различных сезонов года в ближайшие 20 лет и через 30–50 лет.

При подготовке данной книги был проведен анализ произошедших изменений температуры для отдельных метеостанций (рис. 4.7, 4.12, 4.18, 4.21). Затем для этих станций был сделан ориентировочный прогноз изменения средних, минимальных и максимальных за год температур на период до 2035 года, рис. 4.10, 4.17, 4.20 и 4.24[11]. Прогностические расчеты имеют невысокую точность, на рисунках показаны большие диапазоны между максимальными и минимальными прогностическими значениями. Поэтому расчеты были проведены только для 5 станций севера европейской части России и Западной Сибири, равномерно распределенных по данной территории. Делать расчеты для большего числа станций и пытаться рассматривать различия между ними при таких диапазонах неопределенности было бы нецелесообразно.

Прогноз изменения количества осадков был составлен в ГГО аналогично описанному выше прогнозу температуры. Были рассчитаны изменения годовых и сезонных значений (в процентах) для тех же трех 20-летних периодов XXI века в сравнении

**Рис. 4.6 Прогноз изменения количества зимних осадков: на сколько процентов их среднее значение в 2041–2060 гг. (в среднем за 20 лет) будет больше, чем в 1980–1999 гг., %**

*Источник:* ГГО http://www.voeikovmgo.ru , раздел «Изменение климата России в XXI веке»




[11] Данные о температуре на отдельных станциях были обработаны и проанализированы в Институте глобального климата и экологии Росгидромета и РАН под руководством д. ф.-м. н. проф. Г.В. Грузы и д. ф.-м. н. Э.Я. Раньковой, там же был составлен примерный прогноз изменений средних, максимальных и минимальных за год температур. Это так называемый статистический регрессионный прогноз (период оценки регрессии 1976–2005 гг., в качестве регрессора использована атмосферная концентрация $CO_2$).

с 1980–1999 годами. Дополнительно на сайте ГГО имеется карта разницы между годовым количеством осадков и испарением влаги в атмосферу.

В большинстве регионов России наибольшие изменения осадков ожидаются зимой. Поэтому на рис. 4.6 приводится карта для зимнего сезона (карты для всех сезонов и для годовых значений можно посмотреть на сайте ГГО)[12]. Как и для температуры, на карте показаны расчеты для среднего из 3 сценариев антропогенного воздействия на климатическую систему.

Через 30–50 лет в рассматриваемых нами регионах зимних осадков ожидается несколько больше, чем в конце XX века. Однако данный рост (10–25%) не очень велик и меньше, чем межгодовая изменчивость выпадения зимних осадков.

Ниже на базе карт ГГО для каждого из регионов составлены таблицы (табл. 4.2, 4.5, 4.8 и 4.11), где указаны диапазоны изменения количества осадков для каждого из сезонов и за год в целом. Они представляют собой диапазоны между максимальными и минимальными значениями по разным сценариям и в разных частях данного региона. Как и для температуры, дается информация о том, насколько велики прогнозируемые изменения количества осадков в те или иные сезоны в ближайшие 20 лет и через 30–50 лет.

Прогноз числа и силы опасных метеорологических явлений — очень непростая задача с массой неопределенностей. Скорее всего, экстремально высокие температуры и случаи особо сильного выпадения осадков к середине XXI века будут наблюдаться гораздо чаще, возможно, даже в 2–3 раза, чем сейчас (см. тематический раздел 1, стр. 46–48).

Ущерб растет, однако, как отмечалось в первом тематическом разделе, он в большой степени связан с элементарной бесхозяйственностью и бездумным строительством, с неготовностью руководства, различных организаций и населения во всеоружии встретить чрезвычайные ситуации и негативные последствия изменений климата. Пока нельзя определенно сказать, сколько опасных явлений в виде штормовых ветров и сильных осадков будет наблюдаться на Северо-Западе России, например, через 30 лет: 10, 20 или 40 в год, если сейчас за год их примерно 10–15. Однако более разумно будет готовиться к худшему развитию событий.

---

[12] Сайт Главной геофизической обсерватории: http://www.voeikovmgo.ru. Нужно выбрать справа вверху раздел «Изменение климата России в XXI веке».

Прогнозы социально-экономических и экологических последствий изменений климата для каждого из регионов рассматриваются отдельно. В следующих ниже региональных подразделах даются не только тренды и прогнозы температур и осадков, но и обсуждаются погодные аномалии и изменения последних лет. Там же приводится информация о региональных явлениях — местных последствиях изменений климата, которые уже наносят или в ближайшем будущем могут нанести социально-экономический или экологический ущерб. Указываются возможные меры по снижению ущерба. Кроме того, рассматриваются и положительные эффекты, и возможные пути их практической реализации. Основным источником информации послужил доклад, недавно подготовленный институтами Росгидромета и РАН[13], а также данные, которые были специально получены из заповедников, заказников и национальных парков в процессе подготовки данной книги.

Исследования показали, что в настоящее время не просматривается одного или нескольких явлений, которые можно назвать главными региональными последствиями изменений климата и на которых надо сконцентрировать основное внимание. Имеется довольно длинный список проблем, подверженных влиянию изменений климата. Чтобы облегчить восприятие этой достаточно «пестрой» и разнородной информации, для каждого из регионов она приведена в виде сводной таблицы (табл. 4.3, 4.6, 4.9, 4.12).

В таблицах собрана информация о вероятных последствиях изменений климата на ближайшие 10–30 лет, а не до конца XXI века или на более долгий срок. Поэтому там не отражены вероятные долгосрочные процессы, например, значительное изменение границ природных зон — зарастание тундры лесом и т. п. Таким образом, удается выделить последствия, требующие принятия мер в самом ближайшем будущем.

# Мурманская область

Температура. С 1976 года увеличение среднегодовой температуры в области составило примерно 1,8 °С, что несколько больше, чем для России в целом, и в 3 раза больше, чем в среднем для

[13] Оценка макроэкономических последствий изменений климата на территории Российской Федерации на период до 2030 г. и дальнейшую перспективу, под ред. В.М. Катцова и Б.Н. Порфирьева, Росгидромет. М.: Д'АРТ: Главная геофизическая обсерватория, 2011, 252 с. http://www.voeikovmgo.ru/ru/sobyitiya/doklad-otsenka-makroekonomicheskih-posledstviy-izmeneniya-klimata-na-territorii-rossiyskoy-federatsii.html

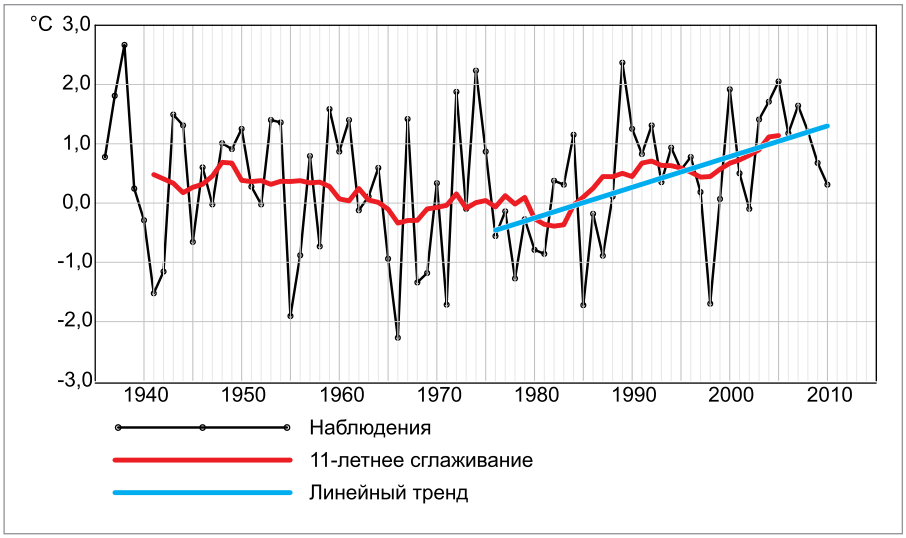



**Рис. 4.7 Отклонение среднегодовой температуры на ст. Мурманск от средней за 1961–1990 гг.**

*Источник:* Г.В. Груза, Э.Я. Ранькова, Институт глобального климата и экологии

всего мира. Особенно значителен был рост зимних температур на западе области, достигающий 2,5 °С (см. рис. 4.2).

По наблюдениям на метеостанции Мурманск (рис. 4.7) можно видеть, что рост среднегодовой температуры очень существенен, но почти в 2 раза меньше амплитуды межгодовых колебаний. Средняя за 1961–1990 годы температура равнялась –0,03 °С, а в 2000-е годы она в среднем была более +1 °С. Линейный тренд за 1976–2010 годы составляет 0,52 °С/10 лет.

Осадки показывают тенденцию к росту, но от года к году их количество варьирует намного сильнее, чем линейный тренд. В 1961–1990 годах среднее количество осадков составляло 40 мм/месяц. Линейный тренд за 1976–2010 годы составляет 2,0 мм/месяц за 10 лет (рис. 4.8).

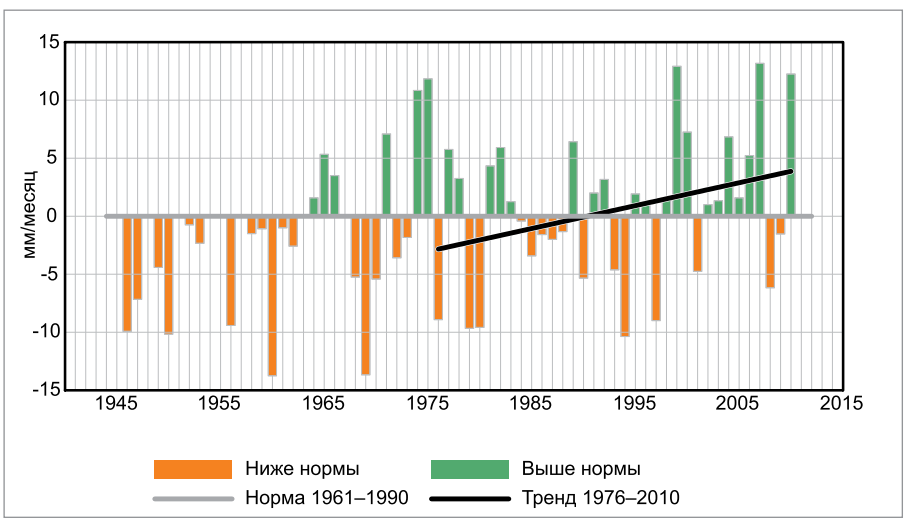



**Рис. 4.8 Отклонение годового количества осадков от нормы — среднего за 1961–1990 г.**

*Источник:* Г.В. Груза, Э.Я. Ранькова, Институт глобального климата и экологии

Наиболее заметен рост весенних осадков, за 35 лет он составил примерно 20%. В северо-западной части области значительно увеличилось число дней со снежным покровом, рост составил до 30 дней, прежде всего за счет более раннего выпадения снега. На западе области увеличилась и высота максимального за зимний период снежного покрова, а на востоке она наоборот уменьшилась, как и число дней со снежным покровом[14].

Температура морских вод является очень важным индикатором климата, ведь именно в океане сосредоточено более 90% всей кинетической и тепловой энергии климатической системы Земли. Уже более 100 лет ведутся наблюдения на уникальном океанографическом разрезе в Баренцевом море — «Кольском меридиане». Эти работы выполняет Полярный научно-исследовательский институт морского рыбного хозяйства и океанографии им. Н. М. Книповича (ПИНРО), на сайте которого вы можете увидеть данные о температуре и солености Мурманского течения в слое до глубины 200 м за последние 60 лет[15]. С этим течением в южную и восточную части Баренцева моря поступают атлантические воды системы Гольфстрим (см. также рис. 1.13 — повышение температуры вод в проливе Фрам, между Шпицбергеном и Гренландией).

Данные показывают, что в течение последних двух десятилетий воды в море действительно теплеют. Однако ввиду глобальности процессов преждевременно делать вывод о продолжении роста в ближайшей перспективе. Скорее всего, это будет какое-то сочетание периодов потепления и похолодания с общим небольшим

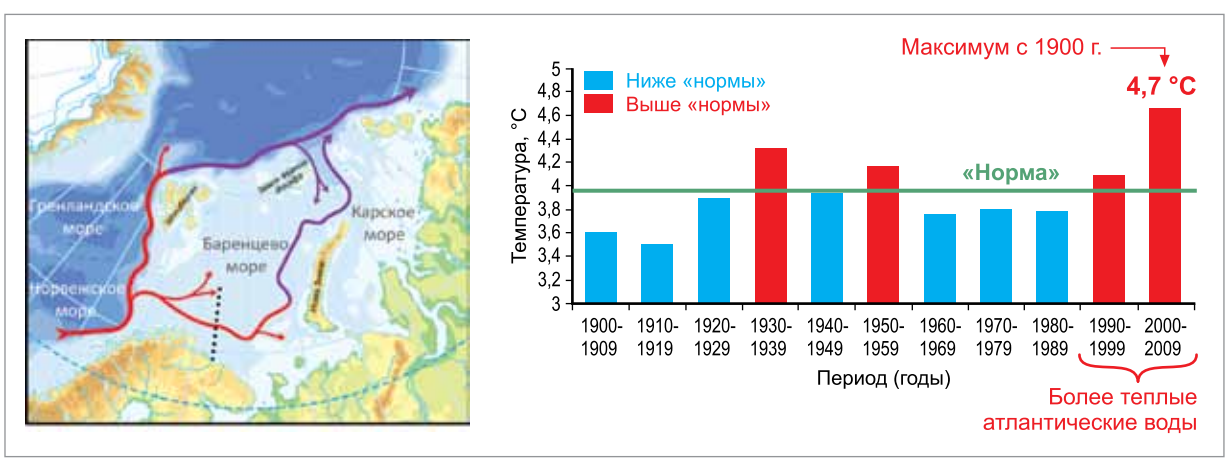



**Рис. 4.9 Основные потоки атлантических вод в Баренцевом море и положение разреза «Кольский меридиан»** (черные точки на левом рисунке); **данные о температуре вод в слое 0–200 м** на данном разрезе по десятилетиям (правый рисунок). За «норму» принято среднее за период наблюдений

*Источник:* Vladimir D. Boitsov, Alexey L. Karsakov and Alexander G. Trofimov Atlantic water temperature and climate in the Barents Sea, 2000–2009 *ICES J. Mar. Sci. (2012)69(5):833-840* http://icesjms.oxfordjournals.org/content/69/5/833.full.pdf+html

[14] Доклад об особенностях климата на территории Российской Федерации за 2011 год. М.: Росгидромет, 2012. www.meteorf.ru

[15] http://www.pinro.ru/n22/index.php/ru/structure/labs/labhidro/kolasection

трендом на повышение температуры в целом, как это ожидается в нынешнем веке для планеты в целом.

Повышение температуры воды в целом позитивно влияет на морских обитателей. В последние годы наблюдается рост запасов большинства баренцевоморских промысловых рыб. Вместе с тем причины этого еще не очень ясны, нужен мониторинг ситуации и детальные исследования. При этом необходим прогноз целого комплекса параметров (численности и биомассы видов, их пространственного распределения, вероятности вселения новых гидробионтов и т.п.), причем как при увеличении, так и при понижении температуры[16].

Изменения флоры и фауны. Отмечается продвижение на север бурого медведя, что, возможно, связано с климатическим изменением границ лесной зоны. Вероятно, у медведя в настоящее время наблюдается восстановление древнего ареала, так же как и у лося[17]. В заповеднике Пасвик появились птицы, которых там ранее не было[18]. Конечно, нельзя говорить о том, что все дело в изменениях климата: вероятно, одновременно действует немало различных факторов, но климат — один из них. На первый взгляд, здесь нет проблемы, но в принципе появление новых соседей может и вредить коренным обителям Арктики. Поэтому все происходящее надо тщательно изучать, чтобы заранее выявить возможные негативные эффекты и свести их к минимуму.

Не всегда ясно, виноваты ли в появлении «пришельцев» изменения климата. Но бороться со многими из них приходится в любом случае. Пример тому — распространение борщевика[19],

---

[16] ПИНРО. Соколов К.М. «Климат и промысловые гидробионты Баренцева моря: Неопределенность ожиданий», презентация на семинаре «Адаптация к изменениям климата: Арктика и Мурманская область. Проблемы морских и прибрежных территорий», Мурманск, 21 июня 2012 г.

[17] Макарова О.А. К динамике ареалов крупных наземных млекопитающих Мурманской области в начале XXI века // Современные проблемы зоо- и филогеографии млекопитающих. Материалы конференции (Пенза, 15–20 мая 2009 г.). М.: Товарищество научных изданий КМК, 2009. С. 51.

[18] Макарова О.А., Аспхольм П.Э., Гюнтер М. Залеты золотистой щурки (Merop apiaster Linnaeus) на границе России и Норвегии//Поведение, экология и эволюция ж-х: монографии, статьи, сообщения/ под общ. ред. В.М. Константинова. Т. 2. Рязань: НП «Голос губернии», 2011. — С. 366–368.
Е.И. Хлебосолов, О.А. Макарова, О.А. Хлебосолова, Н.В. Поликарпова, И.В. Зацаринный. Птицы Пасвика. НП «Голос губернии», Рязань, 2007. 175 с.

[19] Имеется в виду борщевик Сосновского — зонтичное растение высотой до 3–4-х и более метров. Прикосновение к нему вызывает сильные ожоги. Этот неприхотливый и быстро растущий вид в СССР после Второй мировой войны предполагали использовать как корм для скота и начали культивировать. Оказалось, что на корм борщевик не пригоден, но в результате этой деятельности он широко расселился по центру европейской части России, а затем стал «продвигаться» на север, став опасным сорняком. http://borshevik.net.

на борьбу с которым уже тратятся немалые силы[20]. Что будет, если не сдерживать борщевик, можно увидеть на севере Норвегии: там заросли этого ядовитого растения, которое даже называют «пальмой из Тромсё», уже достигают 2–3 м.

Опасные метеорологические явления. По опасным метеорологическим явлениям на европейской части России и в стране в целом особо выделялся 2010 год с очень холодной зимой, рекордно жарким летом и очень теплой осенью. В Мурманской области эти эффекты практически не проявились. В 2010 году там был только особо холодный февраль и очень теплый май, но это не значит, что так будет всегда и область будет в стороне от климатических аномалий.

Зимой 2010/2011 года аномально долгий для Мурманска период со снежным покровом держался на месяц дольше «нормы» (средних значений за 1961–1990 годы). Это было связано с необычно ранним выпадением снега.

В 2011 году наблюдались сильные колебания «холода» и «тепла» (под этими терминами климатологи понимают температуру, сильно отличающуюся от средней за 1961–1990 годы, см. выше пояснения к рис. 4.1, стр. 98). Был холодный февраль, теплая весна и июнь, теплый сентябрь, в эти месяцы в Мурманске температуры были близки к рекордным за весь период метеорологических наблюдений. Наибольшие отклонения от средних значений за 1961–1990 годы наблюдались в ноябре — на 5–6 °С выше нормы, и особенно в декабре 2011 года. Тогда по всему северу европейской части России и Западной Сибири температура воздуха превышала норму на 6–10 °С, а в ряде мест — на 12–14 °С (более подробно см. ниже подраздел по Архангельской области).

Прогноз изменения температуры, полученный с помощью моделей глобального изменения климата (см. выше рис. 4.5 и его описание), говорит, что в Мурманской области можно ожидать сильного роста зимних температур (табл. 4.1). К середине XXI века зимы могут стать на 5 °С теплее, чем в конце XX века. Заметим, что это в среднем. Скорее всего, будет чередование обычных (или более холодных зим) и зим на 10 °С (или даже на 15 °С) более теплых, а это уже совершенно иные погодные условия.

---

[20] Слайд-шоу о борщевике в Мурманске: http://foto.mail.ru/list/murmandom/bor. Видео о том, как в августе 2012 г. боролись с борщевиком в Апатитах: http://www.tv21.ru/news/2012/08/24/?newsid=48317

### Таблица 4.1. Прогностическая оценка изменений температуры для Мурманской области

| | В среднем в 2011–2031 гг. от среднего уровня 1980–1999 гг., °С | В среднем в 2041–2060 гг. от среднего уровня 1980–1999 гг., °С |
|---|---|---|
| Зима | +2,0 – +2,3 | +4 – +6 |
| Весна | +1,2 – +1,5 | +2,5 – +3,0 |
| Лето | +1,0 – +1,2 | +2,0 – +2,5 |
| Осень | +1,2 – +1,5 | +2,5 – +3,0 |
| Год | +1,2 – +1,5 | +3,0 – +3,5 |

*Источник:* по данным карт прогноза изменения климата ГГО: http://www.voeikovmgo.ru, раздел «Изменение климата России в XXI веке»

На рис. 4.10 представлены данные о максимальной, средней и минимальной температуре за год на метеостанции Мурманск в 1965–2007 годах — черные кривые. Там же приведен прогноз вероятного изменения данных параметров в период до 2035 года: красная, зеленая и синяя кривые соответственно. Заштрихованные области — диапазоны возможных изменений средних значений, показанных на красной, зеленой и синей кривых, их также называют диапазонами неопределенности прогноза.

Для Мурманска данный прогноз позволяет предположить, что через 25 лет максимально жаркие за год температуры могут существенно увеличиться — с +30 до +36 °С (диапазон от +30 до +42 °С). Температуры, равные +30 — +33 °С, в Мурманске в прошлые десятилетия отмечались несколько раз, но жарче не было. Жара под +35 °С, особенно в условиях типичной для приморского города высокой влажности, — очень тяжелые для северного человека условия, даже если это лишь несколько дней и не ежегодно.

Среднегодовая температура также может существенно вырасти: с нынешних +1,5 °С до +5 °С. Это в целом хорошо совпадает с прогностической оценкой для всей Мурманской области, показанной на карте ГГО (см. рис. 4.5).

Вероятно, для минимальных температур данный прогноз — это, прежде всего, иллюстрация растущей межгодовой разницы. Для Мурманска она и так велика, в отдельные годы были морозы –38 — –39 °С, а в другие годы не было морозов сильнее –22 — –24 °С. Можно ожидать, что эта тенденция усилится. Самые холодные дни в отдельные годы могут очень значительно потеплеть, морозы не будут сильнее –10 — –15 °С. Однако в другие годы они могут достигать –40 °С.

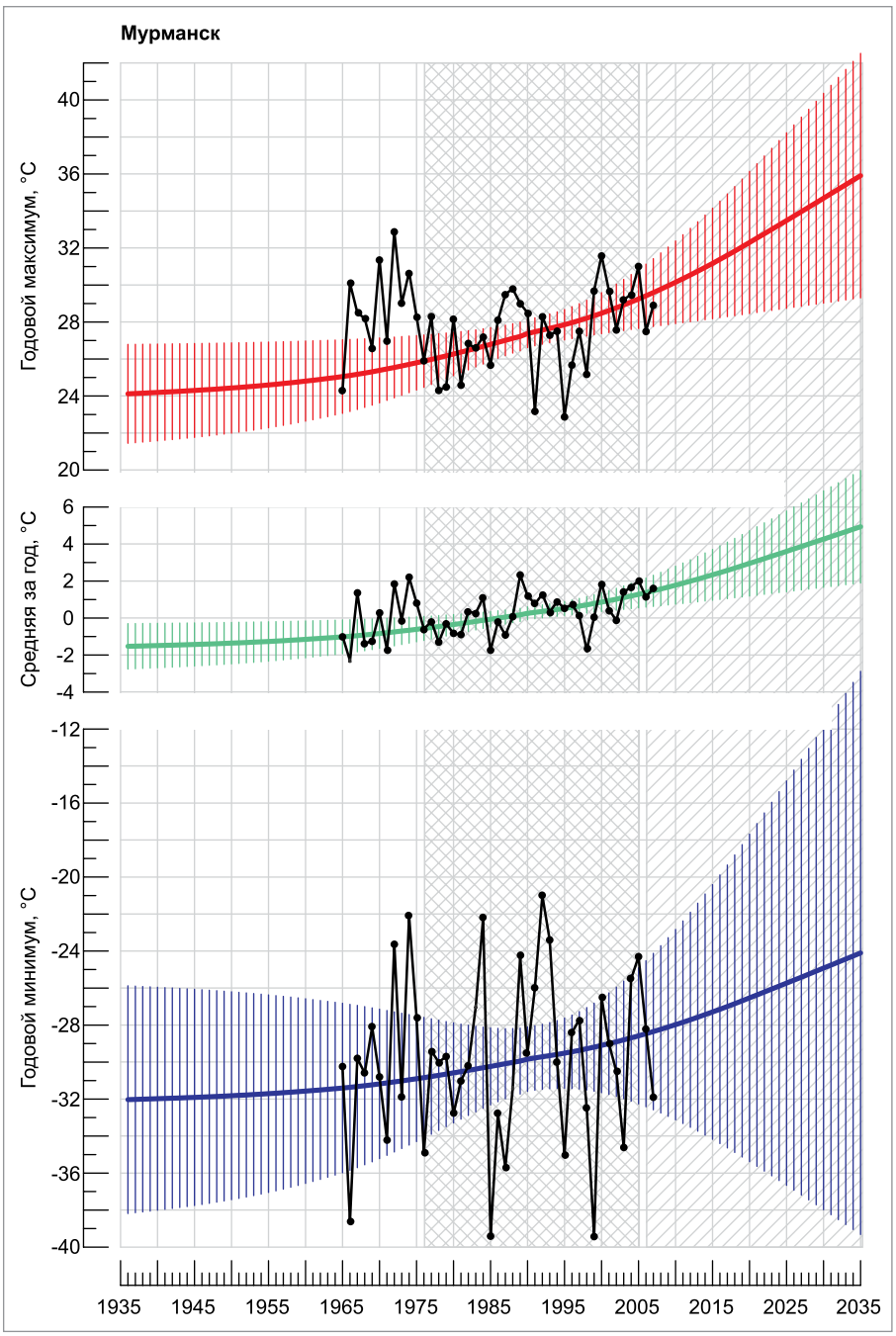



**Рис. 4.10**
**Данные о годовом максимуме (вверху), минимуме (внизу) и среднегодовой температуре (в центре) на ст. Мурманск и их ориентировочный прогноз до 2035 г.**

*Источник:* Г.В. Груза, Э.Я. Ранькова, Институт глобального климата и экологии, более детальное описание прогноза см. выше на стр. 105.

Прогноз изменения количества осадков, полученный с помощью моделей глобального изменения климата (см. выше рис. 4.6 и его описание), говорит о том, что в Мурманской области можно ожидать увеличения осадков, причем больше всего зимой (табл. 4.2). К середине века количество зимних осадков может быть больше примерно на четверть. Это в среднем: какие-то зимы

### Таблица 4.2. Прогностическая оценка изменений осадков для Мурманской области

| | В среднем в 2011–2031 гг. от среднего уровня 1980–1999 гг., % | В среднем в 2041–2060 гг. от среднего уровня 1980–1999 гг., % |
|---|---|---|
| Зима | +5 – +10 | +15 – +30 |
| Весна | 0 – +5 | +10 – +15 |
| Лето | 0 – +10 | +5 – +10 |
| Осень | 0 – +10 | +5 – +15 |
| Год | +5 – +10 | +5 – +15 |

*Источник:* по данным карт прогноза изменения климата ГГО: http://www.voeikovmgo.ru, раздел «Изменение климата России в XXI веке»

останутся обычными, а в какие-то будет в 2 раза больше снега и дождей (!), чем в конце прошлого века.

Сводка вероятных последствий изменений климата и предлагаемых мер для Мурманской области приведена в табл. 4.3. Сначала идут негативные эффекты, их гораздо больше, а потом позитивные. Насколько возможно, социально-экономические и экологические проблемы (первый столбец таблицы) выстроены по степени их выраженности и значимости. Вначале перечислены явления, более четко выраженные и опасные для природы, экономики и жизни людей, а затем менее значительные или слабо прослеживающиеся эффекты. Во втором столбце показано, с какими изменениями климата они могут быть связаны. В таблице собрана информация о последствиях изменения климата только на ближайшие 10–30 лет, а не на более долгосрочную перспективу. Это сделано для того, чтобы выделить вероятные последствия (третий столбец), требующие принятия определенных мер в самом ближайшем будущем (четвертый столбец таблицы).

### Таблица 4.3. Сводка связанных с изменениями климата экологических и социально-экономических явлений, их вероятных последствий и предлагаемых мер для Мурманской области

| Проблема | Влияние изменений климата | Вероятные последствия изменений климата | Предлагаемые меры |
|---|---|---|---|
| **Негативные** | | | |
| Снижение численности гренландского тюленя в Белом море. Гибель животных при прохождении судов (прокладке судовых каналов)[21] | Уменьшение ледовитости Белого моря. Весной отсутствие в традиционных для тюленей районах льдов, подходящих для размножения | **Возможно исчезновение** гренландского тюленя в Белом море | **Изменение маршрутов судов.** В будущем создание полувольных популяций на особо охраняемых природных территориях — **климатических убежищ**[21] |

> > >

[21] Более детально ситуация описана ниже в разделе, посвященном Архангельской области, стр. 121–122.

| Проблема | Влияние изменений климата | Вероятные последствия изменений климата | Предлагаемые меры |
|---|---|---|---|
| Рост числа простудных заболеваний, случаев гриппа, легочных заболеваний, пневмонии, в том числе у детей[22] | Более ветреная погода с большой влажностью воздуха | **Рост заболеваемости,** особенно у детей, иммунитет которых в Арктике ниже, чем в более южных регионах | Разработка и реализация **профилактических программ,** рекомендаций для населения и специалистов в сфере здравоохранения |
| Распространение на север клещей, рост заболеваемости энцефалитом и другими болезнями[23] | В целом более теплая погода в весенне-зимний период, что ведет к увеличению численности клещей и их распространению | **Рост заболеваемости опасными «клещевыми» болезнями,** в частности, энцефалитом | Мониторинг, разработка и реализация **профилактических программ,** рекомендаций для населения и специалистов в сфере здравоохранения |
| Более частое возникновение гололедицы на дорогах, обледенение ЛЭП | Более частые колебания температуры около нулевой отметки (чередования оттепелей и заморозков) | Возникновение **аварийноопасных ситуаций на дорогах,** снижение пропускной способности и больший износ дорог. Проблемы для работы ЛЭП | Мониторинг, **раннее оповещение. Проектирование и строительство** дорог и ЛЭП, рассчитанных на более частое чередование оттепелей и заморозков |
| Сокращение времени использования зимних дорог («зимников») | Повышение температуры воздуха в зимний период, более частые оттепели | **Регулярное таяние «зимников»** в начале и конце зимы, ненадежность «зимников», возникновение аварийных ситуаций | **Изменение графиков** и маршрутов движения транспорта, **строительство** постоянных автодорог, развитие альтернативных видов транспорта |
| Уменьшение долговечности зданий и других объектов инфраструктуры | Повышение температуры воздуха в зимний период, более частые оттепели. Оттепели в районах, где они ранее не наблюдались | **Сокращение долговечности зданий** и других объектов инфраструктуры примерно в два раза | **Строительство новых и реконструкция** существующих зданий и сооружений по новым стандартам (что одновременно много дает для энергосбережения) |
| Проблемы с перегоном оленей (невозможность перехода рек из-за слабого льда) | Более слабый лед на реках. Более позднее установление ледового покрова нужной толщины | Все более частые **проблемы с перегоном оленей.** Невозможность забоя животных в оптимальное для этого время | Изменение графиков перегонов, **создание новых мест забоя животных.** В принципе возможно создание специальных переходов через реки |
| Вселение новых видов животных и растений, в частности, борщевика, нетипичных видов птиц[24] | Повышение температуры воздуха и воды, изменения снежного покрова и другие эффекты изменения климата | **Вытеснение коренных обитателей** Арктики | **Мониторинг** за состоянием экосистем. **Разработка системы** мероприятий по сохранению редких видов. **Меры** по предотвращению распространения новых видов, в частности, борщевика |

> > >

[22] Влияние глобальных климатических изменений на здоровье населения Российской Арктики. Ревич Б.А. и др. М.: Представительство ООН в РФ, 2008, 28 с. http://www.unrussia.ru/sites/default/files/doc/Arctic-ru.pdf

[23] Там же.

[24] По информации из заповедника Пасвик. Конечно, эти данные нельзя однозначно связывать с изменениями климата: вероятно, здесь действует немало различных факторов, где климат — один из них.

| Проблема | Влияние изменений климата | Вероятные последствия изменений климата | Предлагаемые меры |
|---|---|---|---|
| Снижение численности рачков балянусов на эстуарной литорали Кольского полуострова[25] | Периоды с повышенной и пониженной температурой морских вод. Изменение солености вод | **Вселение чужеродных организмов.** Потенциально негативное влияние на рыбные запасы | **Мониторинг** ситуации и состояния рыбных запасов. Учет фактора непостоянства климата |
| Проникновение вредителей, например, колорадского жука, которые уже имеются в более южных регионах[26] | Повышение температуры воздуха в весенне-зимний период, что повышает зимнюю выживаемость вредителей | **Ущерб от вредителей** сельскохозяйственных культур, например, картофеля | **Мониторинг** ситуации, **меры** по уничтожению вредителей и созданию барьеров для их проникновения на север |
| Все больший поток людей, посещающих заповедные арктические территории[27] | Повышение температуры воздуха и вод, более легкая ледовая ситуация в Арктике | Рост **рекреационной нагрузки** на фоне изменения климата может привести к **деградации уязвимых** арктических экосистем | **Мониторинг** состояния экосистем, **ограничение** потока туристов в Арктику, развитие туризма в соответствии со **строгими стандартами** |
| Попадание загрязняющих веществ из отвалов пустой породы («хвостов»)[28] в воду и воздух | Повышение частоты опасных метеорологических явлений | **Загрязнение** воздуха, почвы и поверхностных вод на обширных территориях вокруг отвалов | Переход к полигонам **закрытого или подземного хранения** с хорошими водяными фильтрами |
| **Позитивные** | | | |
| В целом более благоприятные условия для морского судоходства | Уменьшение ледовитости Белого и Баренцева морей, а также Северного морского пути в целом. Больший ежегодный период с открытой водой, свободной ото льда | **Удешевление морских перевозок** в Белом и Баренцевом морях, а также на Северном морском пути в целом | **Учет фактора непостоянства** климата. Даже при длительном отсутствии тяжелых льдов, нужно быть к ним готовым. Обновление и усиление ледокольного флота. **Создание надежной транспортной инфраструктуры** |
| Благоприятные условия для сокращения отопительного сезона и меньшей выработки тепла | Повышение средней температуры воздуха | Продолжение данной тенденции, что не исключает отдельных лет с особо холодной зимой. **Экономия на обогреве** зданий и сооружений | **Внедрение гибких схем** выработки и подачи тепла. **Реконструкция** блочных и панельных **домов** |

> > >

[25] Рачок типичен для местных экосистем, поэтому негативный тренд – индикатор серьезных изменений в экосистеме. Уйти он не может и реагирует первым. См. А.В. Гудимов, В.С. Свитина. Балянусы (Semibalanus balanoides) как биологические индикаторы ранних глобальных изменений среды в Арктике/Глобальные климатические изменения и их влияние на экосистемы арктических и субарктических регионов. Апатиты, 2011. С. 27.

[26] На северо-западе России отмечен факт миграции колорадского картофельного жука в более северные районы и его частичной акклиматизации вследствие мягких зим. Колорадский жук проник в Карелию, встречается в южных районах Архангельской области и Республики Коми. Можно отметить, что характер распространения вредителей, патогенов и сорняков в России отражает глобальную тенденцию их миграции по направлению на север. См. Четвертое Национальное сообщение РФ по РКИК, Росгидромет, 2006. С. 80. www.unfccc.int

[27] В 2000-е годы поток туристов увеличился в 10 раз и достиг примерно 70 тыс. чел. в год.

[28] Например, при малом количестве осадков стоки из отвалов пустой породы, зачастую богатых тяжелыми металлами, не разбавляются водой в достаточной степени и вместе с водой выносятся за пределы полигона в концентрациях, превышающих предельно допустимые. При длительной засухе на хвостохранилищах возникают пылевые бури.

| Проблема | Влияние изменений климата | Вероятные последствия изменений климата | Предлагаемые меры |
|---|---|---|---|
| Потенциально — позитивное влияние на рыбные запасы | Повышение средней температуры воды и воздуха | **Возможен рост рыбных запасов** (большая неопределенность прогнозов) | **Мониторинг** состояния рыбных запасов. Учет фактора непостоянства климата |
| Снижение числа обморожений, травм, сердечно-сосудистых и кожных заболеваний, связанных с низкими температурами | Уменьшение числа дней с особенно низкими температурами | Продолжение тенденции на **уменьшение «холодовых»** заболеваний, что не исключает отдельных лет с особо холодной зимой | **Учет фактора непостоянства** климата. Даже при длительном отсутствии холодных зим, нужно быть к ним готовым |
| Продвижение кустарников и другой растительности на север и вверх по склонам | Повышение температуры воздуха, изменения снежного покрова и другие эффекты изменения климата | Потенциально — увеличение количества **пищевых ресурсов** | **Мониторинг** ситуации и исследование последствий для экосистем |

*Источник:* Оценка макроэкономических последствий изменений климата на территории Российской Федерации на период до 2030 г. и дальнейшую перспективу, под ред. В.М. Катцова и Б.Н. Порфирьева, Росгидромет. М.: Д'АРТ: Главная геофизическая обсерватория, 2011. 252 с. http://www.voeikovmgo.ru/ru/sobyitiya/doklad-otsenka-makroekonomicheskih-posledstviy-izmeneniya-klimata-na-territorii-rossiyskoy-federatsii.html; Оценочный доклад об изменениях климата и их последствиях на территории Российской Федерации, т. 1 и т. 2, Росгидромет, М., 2009. http://climatechange.igce.ru; источники, указанные в сносках к таблице; информация, специально полученная от заповедников, заказников и национальных парков при подготовке данной книги.

Резюме. Таблица 4.3 показывает, что негативных эффектов куда больше, чем позитивных, а имеющиеся возможности требуют немало усилий, чтобы ими воспользоваться. Среди потенциально позитивных эффектов — более слабые льды в арктических морях и лучшие возможности для судоходства. Однако, как показывается во втором тематическом разделе, посвященном Арктике, еще очень рано отказываться от ледокольного флота (рис. 4.11) или снижать требования к судам, которые могут пойти по Северному морскому пути.

**Рис. 4.11**
**Ледокол Вайгач. Говорить об отказе от ледоколов еще очень рано**

Фото: © ФГУП «Атомфлот»

Среди негативных эффектов нет катастрофических, но угрозы достаточно сильны, и отнестись к ним надо серьезно. Это и спасение тюленей в Белом море, и профилактика заболеваний, в том числе энцефалита, и новые подходы к строительству домов и дорог, и недопущение проникновения в область новых растений и животных, вредителей, которые уже имеются в более южных регионах, и т. д.

## Архангельская область

Температура. С 1976 года увеличение среднегодовой температуры в пределах материковой части Архангельской области (без Ненецкого автономного округа (НАО) и арктических островов) составило примерно 1,5 °С. НАО рассматривается ниже в отдельном подразделе, а ситуация на арктических островах обсуждалась ранее во втором тематическом разделе. Такой рост температуры типичен для всей европейской части России (см. рис. 4.2), но в 2,5 раза больше, чем в мире в целом. По сезонам изменение температуры было практически одинаковым[29].

По наблюдениям на метеостанции Архангельск (рис. 4.12) можно видеть, что рост среднегодовой температуры заметен, но он гораздо меньше амплитуды межгодовых колебаний. Линейный тренд за 1976–2010 годы составляет 0,48 °С/10 лет.

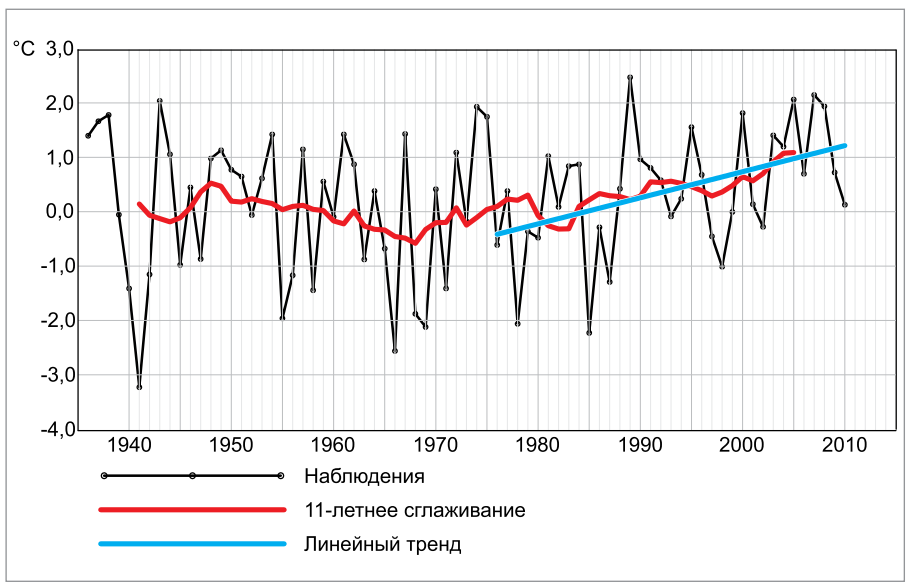



**Рис. 4.12 Отклонение среднегодовой температуры на ст. Архангельск от средней за 1961–1990 гг.**

*Источник:* Г.В. Груза, Э.Я. Ранькова, Институт глобального климата и экологии

[29] Доклад об особенностях климата на территории Российской Федерации за 2011 год. М.: Росгидромет, 2012. www.meteorf.ru

Осадки. Количество выпадающих за год осадков в целом по области с середины 1970-х практически не изменилось (в данном подразделе везде имеется в виду материковая часть области без НАО). Несколько больше осадков стало зимой и весной. Летом количество осадков в среднем по области не изменилось, на юге области их стало немного меньше[30]. Пространственное распределение изменений осадков весьма неоднородно. В частности, в Архангельске отмечается существенный рост количества осадков (рис. 4.13). В 1961–1990 годах среднее количество осадков составляло 46 мм/месяц. За 1976–2010 годы линейный тренд составил 2,0 мм/месяц за 10 лет.

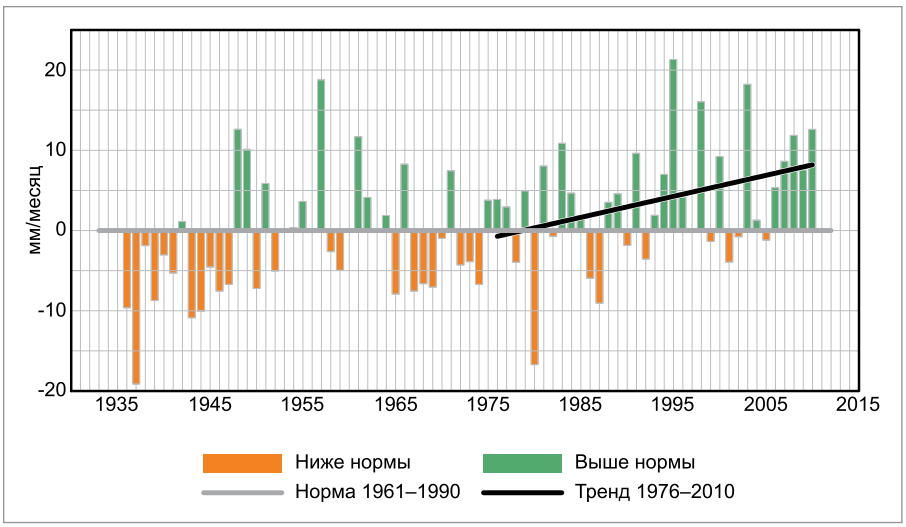



**Рис. 4.13 Отклонение годового количества осадков от нормы — среднего за 1961–1990 гг.**

*Источник:* Г.В. Груза, Э.Я. Ранькова, Институт глобального климата и экологии

Отмечается рост непостоянства — временной неравномерности выпадения осадков. При практически том же общем количестве осадков наблюдается больше сильных дождей и снегопадов. В сочетании с более частыми периодами теплой погоды это создает условия для более резких и высоких паводков и наводнений, ледовых заторов и т.п. Непостоянство может порождать и обратные эффекты. По информации из Кенозерского национального парка, в последние годы наблюдается короткий весенний паводок с последующим падением уровней воды в межень (летний минимум воды в реках) до крайне низких отметок, а также почти полное пересыхание небольших водотоков.

Средняя высота снежного покрова за последние 30–40 лет практически не изменилась, но высота максимального за зиму

[30] Доклад об особенностях климата на территории Российской Федерации за 2011 год. М.: Росгидромет, 2012. www.meteorf.ru

снежного покрова значительно увеличилась. Подобная ситуация — одно из следствий более неравномерного режима выпадения осадков в сочетании с колебаниями температуры и таянием части снежного покрова[31].

Многолетняя мерзлота в рассматриваемой части области «островная», в частности, в районе Мезени. Она детально исследовалась учеными Института экологических проблем Севера РАН[32], отмечающими совместное воздействие на мерзлоту многих факторов, что делает эффекты локальными. Поэтому в зоне многолетней мерзлоты нужно инспектировать состояние грунтов под каждым объектом отдельно[33].

Изменения флоры и фауны. Наглядное свидетельство изменений — проблема выживания гренландского тюленя в Белом море. Он типичный обитатель дрейфующих льдов Белого, Баренцева и западной части Карского моря. Для размножения и линьки тюлени идут в Белое море и в феврале-марте скапливаются во льдах десятками и сотнями тысяч — образуют залежки. Тюлени не могут размножаться на берегу, поскольку там им угрожают волки, собаки и другие хищники. Самки выбирают прочные торосистые льдины и располагаются по их краям ближе к воде[34].

Длительное время гренландский тюлень был объектом морских промыслов поморов, особенно ценились бельки — детеныши в возрасте до 2 недель с белым пушистым мехом (рис. 4.14). В настоящее время промысел запрещен. Бельки питаются молоком с жирностью до 40%, избегают воды и ведут малоподвижный образ жизни. Лед с трещинами и/или с лужами на поверхности для бельков очень опасен: мех у них очень теплый, но не влагостойкий, намокшие животные болеют и гибнут от переохлаждения. Поэтому для бельков гибельно взламывание льда проходящими через залежки судами, которые в условиях меньшей ледовитости

---

[31] Доклад об особенностях климата на территории Российской Федерации за 2011 год. М.: Росгидромет, 2012. www.meteorf.ru

[32] Шварцман Ю.Г., Болотов И.Н., Игловский С.А. Изменения климата и их влияние на окружающую природную среду европейского севера России // Изменение окружающей среды и климата, том VI, Изменения климата: влияние земных и внеземных факторов. М.: ИФА РАН, 2008. С. 80–91.

[33] Основные природные и социально-экономические последствия изменения климата в районах распространения многолетнемерзлых пород: прогноз на основе синтеза наблюдений и моделирования. Под ред. О.А. Анисимова. СПб.: Государственный гидрологический институт. http://www.permafrost.su/publications

[34] Поморская энциклопедия: в 5 т./ гл. ред. Н.П. Лавёров. Архангельск, 2001. Т. II: Природа Архангельского Севера / гл. ред. Н.М. Бызова. Архангельск, Поморский университет, 2007. 603 с.

Белого моря способны легко идти через места размножения животных. При прокладке только одного ледового канала для прохода судов могут гибнуть до тысячи бельков, а общие потери за год достигают десятков тысяч (до ста тысяч), что ставит всю популяцию на грань выживания.

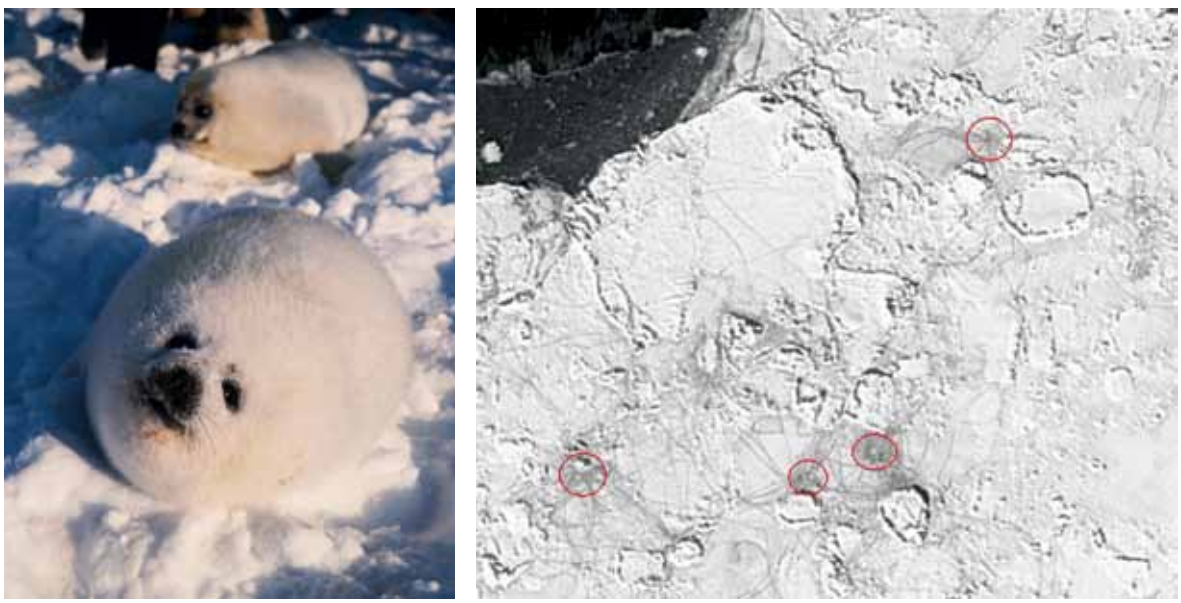


**Рис. 4.14**
**Белек — детеныш гренландского тюленя (слева)**

**Спутниковая карта части Белого моря 22 марта 2012 г. (справа), красными кружочками отмечены лунки — «продыхи» тюленей, вокруг которых сосредоточены животные**

Фото: Игорь Константинов / WWF России
Карта: http://www.scanex.ru/ru/news/News_Preview.asp?id=n173212171
http://elibrary.ru/item.asp?id=17097641

Чтобы предотвратить гибель животных, в конце марта-апреле залежки отслеживаются со спутников. Так, в 2012 году они были обнаружены в северной части моря: на спутниковых снимках хорошо видны лунки — «продыхи» тюленей и следы животных на снегу (см. рис. 4.14). Далее информация передается в штаб ледовых операций архангельского морского порта для организации движения судов в обход залежек[35]. Сейчас от капитанов судов требуется их обходить, и животных гибнет гораздо меньше.

Современное потепление климата и уменьшение ледовитости Белого моря ведет к сокращению скоплений самок гренландского тюленя на дрейфующих льдах во время рождения и выкармливания детенышей (рис. 4.15). Частые оттепели с разрушением припайных льдов способствуют выносу детенышей

[35] http://www.scanex.ru/ru/news/News_Preview.asp?id=n173212171
Согласно распоряжению капитана архангельского морского порта, сбор информации о местах массовых залежек гренландского тюленя проводится для оперативной разработки и передачи на суда рекомендаций для следования во льдах в обход залежек на достаточном расстоянии, насколько это безопасно и практически возможно для судов.

и самок в открытое море с неблагоприятными условиями для выкармливания потомства. Вероятно, в будущем, если льда станет совсем мало, необходимо будет находить и создавать заповедные острова, где бельки смогут подрастать и благополучно дожидаться линьки. На состоянии современной популяции негативно сказываются и последствия чрезмерного вылова таких рыб, как сайка и мойва, которыми питаются тюлени.

Есть и другие, менее явные, свидетельства изменений флоры и фауны, отмеченные ниже в сводной табл. 4.6.

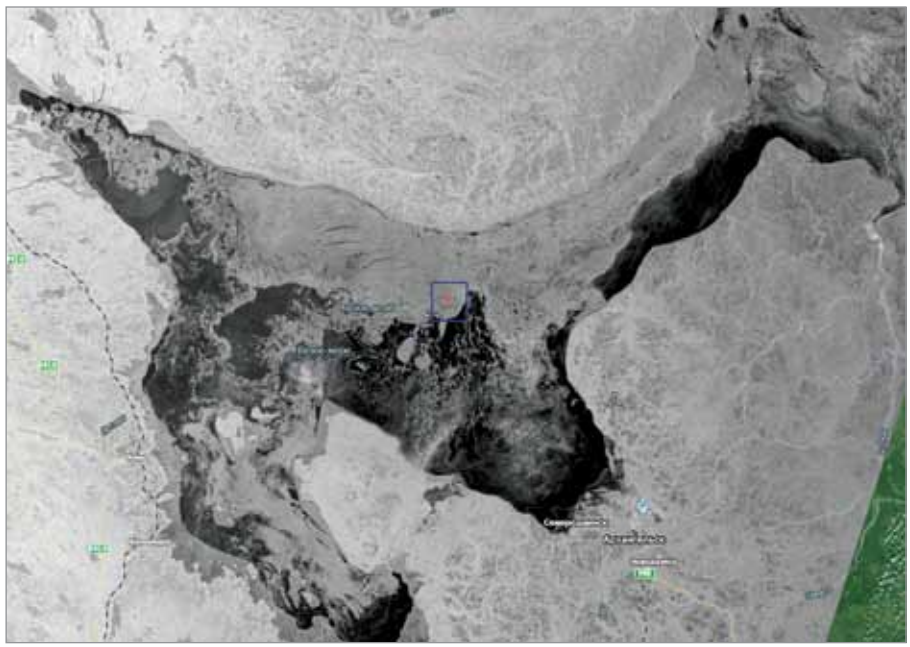


**Рис. 4.15 Спутниковая карта Белого моря, 22 марта 2012 г.** Темный тон — тонкие льды или открытая вода, светлый тон — льды. Синий квадрат — место сосредоточения тюлений

*Источник:* http://www.scanex.ru/ru/news/News_Preview.asp?id=n173212171http://elibrary.ru/item.asp?id=17097641

Опасные метеорологические явления. По опасным явлениям на европейской части России и в стране в целом особо выделялся 2010 год с очень холодной зимой, рекордно жарким летом и очень теплой осенью. В Архангельской области эти эффекты проявились слабее, чем в центре и на юге европейской части страны, но достаточно сильно, причем в виде чередования холодных и жарких периодов.

После холодной, но не рекордной, зимы 2009/2010 года был теплый апрель и рекордно жаркий май 2010 года. Среднемесячная температура мая превышала «норму» (среднюю за 1961–1990 годы) на 5 °С и более. Были побиты рекорды майских температур в Архангельске и Онеге за весь период наблюдений с 1936 года. Затем, между близкими к норме и прохладными июнем и августом, был очень жаркий июль, в Онеге — с рекордными температурами. По-

сле этого осень 2010 года, в отличие от других регионов страны, была нормальной: ни жаркой, ни холодной.

Зима 2010/2011 года началась с холодного декабря, когда температуры опустились на 6–7 °С ниже нормы. Январь соответствовал норме, а февраль был на 6–7 °С холоднее нормы. Следующая аномалия пришлась на июль — было на 4 °С выше нормы. Кроме того, февраль, июнь и июль отличались низким количеством осадков.

Очень большая аномалия была отмечена в декабре 2011 года. Тогда по всему северу европейской части России и Западной Сибири температура воздуха превышала норму на 6–10 °С, в ряде мест — на 12–14 °С (рис. 4.16). На многих метеостанциях декабрь 2011 года оказался самым теплым за весь период наблюдений. В Архангельске среднемесячная температура составила –1,1 °С, что на 9,2 °С выше нормы.

Фактически в декабре 2011 года на севере была «волна» жары, по величине такая же, как в центре европейской части страны в июле-августе 2010 года. Другое дело, что она пришлась на декабрь и не вызвала лесных пожаров. Встает вопрос о том, как часто могут возникать такие аномалии. В самом общем виде можно ориентировочно сказать, что с 1960 года глобальное потепление примерно в 3 раза увеличило вероятность подобных всплесков температуры (более детально см. первый тематический раздел, стр. 48).

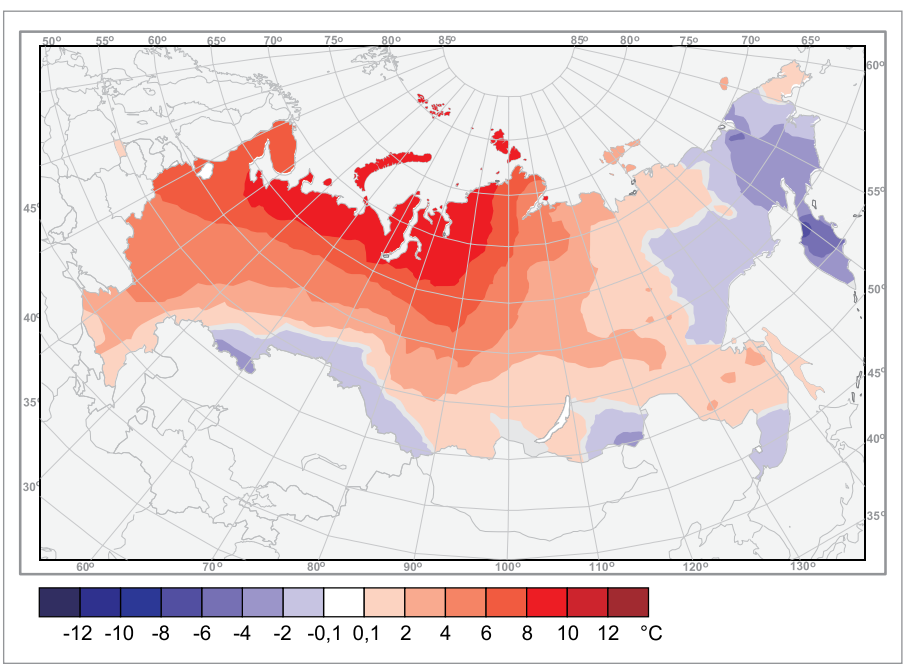



**Рис. 4.16 Аномалии среднемесячной температуры воздуха в декабре 2011 г.**

*Источник:* Доклад об особенностях климата на территории Российской Федерации за 2011 год. М.: Росгидромет, 2012. www.meteorf.ru

Прогноз изменения температуры, полученный с помощью моделей глобального изменения климата (см. выше рис. 4.5 и его описание), говорит, что в Архангельской области можно ожидать сильного роста зимних температур (табл. 4.4). К середине XXI века на севере материковой части области (без НАО) зимы могут стать на 3,5–6 °С теплее, чем в конце XX века. Это в среднем. Скорее всего, будет наблюдаться чередование обычных или даже более холодных зим и зим на 10 °С (или даже на 15 °С) более теплых, то есть совершенно иных, чем те, к которым мы привыкли. Для сравнения: «+10 °С» — это декабрь 2011 года в Архангельске, когда было не минус 10 °С, а почти ноль.

На рис. 4.17 представлены данные о максимальной, средней и минимальной температуре за год на метеостанции Архангельск в 1965–2007 годах — черные кривые. Там же приведен прогноз вероятного изменения данных параметров в период до 2035 года: красная, зеленая и синяя кривые соответственно. Заштрихованные области — диапазоны возможных изменений средних значений, показанных на красной, зеленой и синей кривых, их также называют диапазонами неопределенности прогноза.

Можно ожидать, что максимально высокие за год температуры будут увеличиваться. Диапазон неопределенности данного прогноза велик: от небольшого снижения максимальной температуры до жары под +38 °С. В Архангельске +32 – +33 °С наблюдалось много раз, такие ситуации были очень опасны с точки зрения возникновения лесных пожаров. Жара под +35 °С будет еще более пожароопасным явлением.

Самые холодные дни могут очень сильно потеплеть — на 10 °С (разброс от 0 °С до 20 °С). Будет все равно холодно, ниже –20 °С,

**Таблица 4.4. Прогностическая оценка изменений температуры для Архангельской области (исключая НАО и арктические острова)**

| | В среднем в 2011–2031 гг. от среднего уровня 1980–1999 гг., °С | В среднем в 2041–2060 гг. от среднего уровня 1980–1999 гг., °С |
|---|---|---|
| Зима | +1,5 – +2,0 | +3,5 – +6 |
| Весна | +0,8 – +1,5 | +2 – +3 |
| Лето | +0,5 – +1,2 | +1,5 – +2,5 |
| Осень | +1,0 – +1,6 | +2 – +3 |
| Год | +1,0 – +1,6 | +2 – +3 |

*Источник:* по данным карт прогноза изменения климата ГГО: http://www.voeikovmgo.ru, раздел «Изменение климата России в XXI веке»

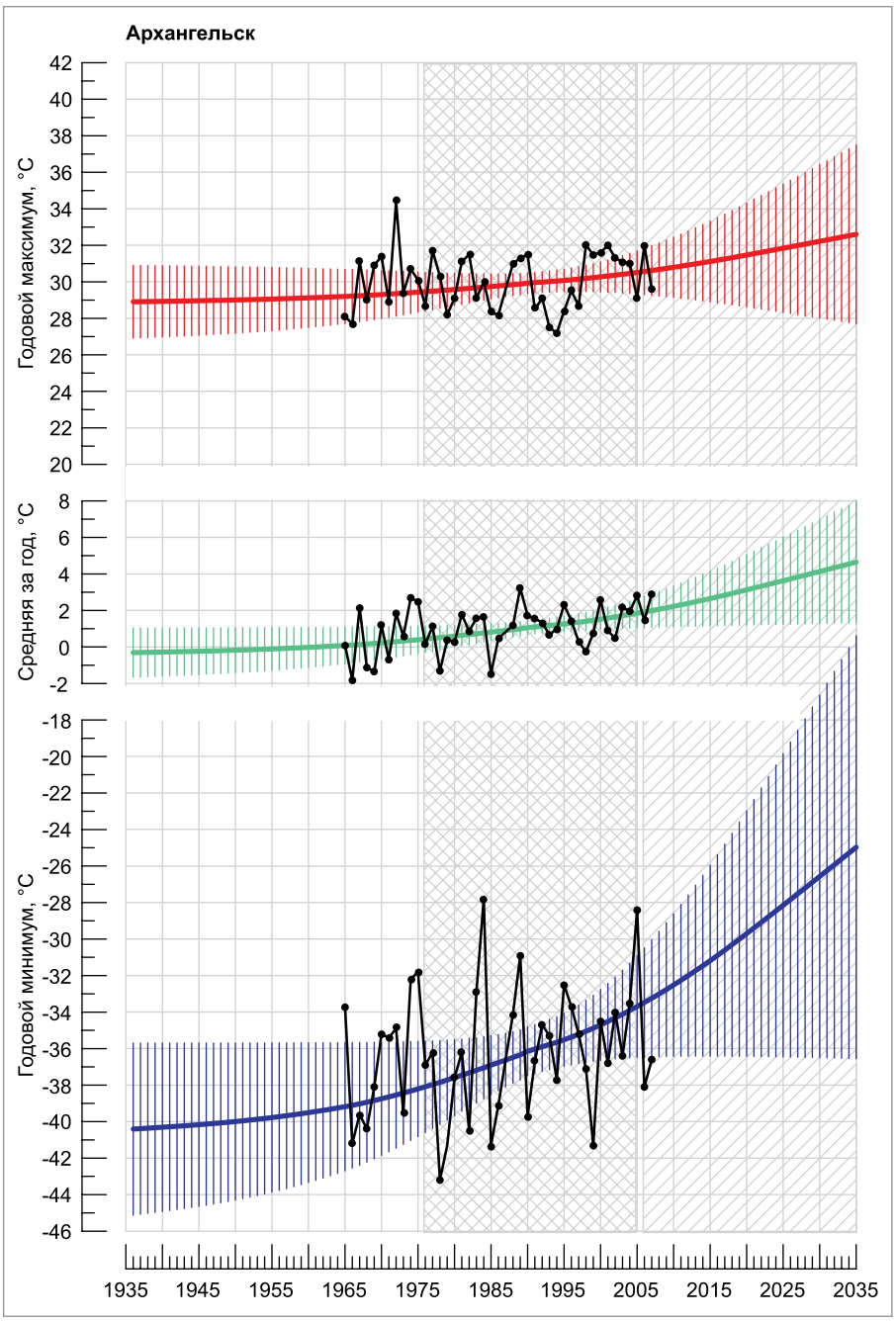



**Рис. 4.17**
**Данные о годовом максимуме (вверху), минимуме (внизу) и среднегодовой температуре (в центре) на ст. Архангельск и их ориентировочный прогноз до 2035 г.**

*Источник:* Г.В. Груза, Э.Я. Ранькова, Институт глобального климата и экологии, более детальное описание прогноза см. выше на стр. 105.

но может возникнуть «иллюзия» более мягких зим, которая, скорее всего, будет регулярно разрушаться особо холодными зимними днями с температурой под –35 °C.

Среднегодовая температура может вырасти с нынешних +2 °C до +5 °C. На первый взгляд, это несущественно, но потепление может выразиться в росте опасных метеорологических явлений,

который в числах пока предсказать невозможно, но он может быть весьма серьезным, и оценка возможного изменения минимальных и максимальных температур — тому иллюстрация.

Прогноз изменения количества осадков, полученный с помощью моделей глобального изменения климата (см. выше рис. 4.6 и его описание), говорит, что на материковой части Архангельской области ожидается их небольшое увеличение (табл. 4.5). Во второй половине XXI века рост осадков может усилиться. Данные по осадкам часто противоречивы, и необходимо более детальное исследование происходящих процессов[36]. Прогноз по ним содержит большую долю неопределенности и правильнее говорить об общей тенденции, чем о конкретных цифрах.

**Таблица 4.5. Прогностическая оценка изменений осадков для Архангельской области (исключая НАО и арктические острова)**

| | В среднем в 2011–2031 гг. от среднего уровня 1980–1999 гг., % | В среднем в 2041–2060 гг. от среднего уровня 1980–1999 гг., % |
|---|---|---|
| Зима | +5 – +10 | +10 – +20 |
| Весна | 0 – +5 | +5 – +15 |
| Лето | 0 – +10 | 0 – +10 |
| Осень | 0 – +10 | +5 – +15 |
| Год | 0 – +10 | +5 – +15 |

*Источник:* по данным карт прогноза изменения климата ГГО: http://www.voeikovmgo.ru, раздел «Изменение климата России в XXI веке»

Сводка вероятных последствий изменений климата и предлагаемых мер для Архангельской области приведена в табл. 4.6. Сначала идут негативные эффекты, их гораздо больше, а потом позитивные. Насколько возможно, социально-экономические и экологические проблемы (первый столбец таблицы) выстроены по степени их выраженности и значимости. Вначале перечислены явления, более четко выраженные и опасные для природы, экономики и жизни людей, а затем менее значительные или слабо прослеживающиеся эффекты. Во втором столбце показано, с какими изменениями климата они могут быть связаны. В таблице собрана информация о последствиях изменения климата только на ближайшие 10–30 лет, а не на более долгосрочную перспективу. Это

[36] См: Шварцман Ю.Г., Болотов И.Н., Игловский С.А. Изменения климата и их влияние на окружающую природную среду европейского севера России // Изменение окружающей среды и климата, том VI, Изменения климата: влияние земных и внеземных факторов. М.: ИФА РАН, 2008. С. 80–91.

сделано для того, чтобы выделить вероятные последствия (третий столбец), требующие принятия определенных мер в самом ближайшем будущем (четвертый столбец таблицы).

### Таблица 4.6. Сводка связанных с изменениями климата экологических и социально-экономических явлений, их вероятных последствий и предлагаемых мер для Архангельской области (исключая НАО и арктические острова)

| Проблема | Влияние изменений климата | Вероятные последствия изменений климата | Предлагаемые меры |
|---|---|---|---|
| **Негативные** | | | |
| Снижение численности гренландского тюленя в Белом море. Гибель животных при прохождении судов (прокладке судовых каналов) | Уменьшение общей ледовитости Белого моря. Весной отсутствие в традиционных для тюленей районах льдов, подходящих для размножения | **Возможно исчезновение** гренландского тюленя в Белом море | **Изменение маршрутов судов.** В будущем создание полувольных популяций на особо охраняемых природных территориях — **климатических убежищ** |
| Рост числа простудных заболеваний, случаев гриппа, легочных заболеваний, пневмонии, в том числе у детей[37] | Более ветреная погода с большей влажностью воздуха | **Рост заболеваемости,** особенно у детей, иммунитет которых в Арктике ниже, чем в более южных регионах | Разработка и реализация **профилактических программ,** рекомендаций для населения и специалистов в сфере здравоохранения |
| Более сильные паводки и ледовые заторы как весной, так и осенью (зажоры) | Резкие колебания температуры воздуха. Увеличение высоты снежного покрова | **Усиление паводков и ледовых заторов** вплоть до катастрофических; разрушение сооружений, дорог и мостов | **Укрепление берегов,** строительство защитных сооружений. **Перенос зданий** и сооружений из зоны высокого риска. **Создание** современной системы **страхования** |
| Усыхание 20–30% деревьев, особенно ели, на площади примерно в 1,5 млн га[38]. Продвижение вредителей древесных пород на север | Повышение температуры воздуха. Весенние оттепели. | **Усиление процессов усыхания деревьев** на больших площадях, прежде всего, ели. Возможно массовое развитие вредителей леса и инфекционных болезней растений | **Мониторинг** ситуации. Профилактика заболеваний. **Усиление работы лесной службы** |

> > >

[37] Влияние глобальных климатических изменений на здоровье населения Российской Арктики. Ревич Б.А. и др. М.: Представительство ООН в РФ, 2008, 28 с. http://www.unrussia.ru/sites/default/files/doc/Arctic-ru.pdf

[38] Вероятно, наиболее сильное воздействие оказывает следующий процесс: весной в периоды с высокой температурой воздуха дерево «просыпается» и начинается транспирация — потеря деревом влаги в виде испарения. Однако почва еще не оттаяла, и породы с поверхностной корневой системой, в частности, ель, начинают страдать от недостатка влаги, так как их корни еще в зимнем, замерзшем состоянии. Каждый такой период весенней «засухи» — это своего рода «толчок», и если их частота велика, начинается усыхание дерева. Усыхание лесов наблюдалось и в прошлом, это циклический процесс, на который теперь может накладываться воздействие изменений климата в виде более частых весенних оттепелей, а также развития вредителей леса и инфекционных заболеваний растений.

| Проблема | Влияние изменений климата | Вероятные последствия изменений климата | Предлагаемые меры |
|---|---|---|---|
| В бассейне реки Северная Двина растет численность карповых рыб. Снижение численности сиговых рыб[39] | Повышение температуры воздуха и речной воды | Дальнейшее с**нижение численности сиговых рыб,** необратимые изменения структуры водных экосистем и экономические потери | **Мониторинг** состояния экосистем и динамики популяций, **разработка мер по сохранению** лососевых видов |
| Более частое возникновение гололедицы на дорогах, обледенение ЛЭП | Более частые колебания температуры около нулевой отметки (чередования оттепелей и заморозков) | Возникновение **аварийноопасных ситуаций на дорогах,** снижение пропускной способности и больший износ дорог Проблемы для работы ЛЭП | Мониторинг, **раннее оповещение. Проектирование и строительство** дорог и ЛЭП, рассчитанных на более частое чередование оттепелей и заморозков |
| Сокращение времени использования зимних дорог («зимников») | Повышение температуры воздуха в зимний период, более частые оттепели | **Регулярное таяние «зимников»** в начале и конце зимы, ненадежность «зимников», возникновение аварийных ситуаций | **Изменение графиков** и маршрутов движения транспорта, **строительство** постоянных автодорог, развитие альтернативных видов транспорта |
| Уменьшение долговечности зданий и других объектов инфраструктуры | Повышение температуры воздуха в зимний период, более частые оттепели. Оттепели в районах, где они ранее не наблюдались | **Сокращение долговечности зданий** и других объектов инфраструктуры примерно в два раза | **Строительство новых и реконструкция** существующих зданий и сооружений по новым стандартам (что одновременно много дает для энергосбережения) |
| Повышение уровня грунтовых вод, подтопление низменных мест | Долгосрочная тенденция на увеличение количества осадков | Возможно **подтопление зданий** и сооружений, низко расположенных исторических центров городов | Заблаговременное **обследование.** Дренажные меры, **укрепление или вывод зданий** из эксплуатации |
| **Позитивные** | | | |
| В целом более благоприятные условия для морского судоходства | Уменьшение ледовитости Белого и Баренцева морей, а также Северного морского пути в целом. Больший ежегодный период с открытой водой, свободной ото льда | **Удешевление морских перевозок** в Белом и Баренцевом морях, а также на Северном морском пути в целом | **Учет фактора непостоянства** климата. Даже при длительном отсутствии тяжелых льдов нужно быть к ним готовым. **Создание надежной транспортной инфраструктуры** |
| В целом более благоприятные условия для сельского хозяйства | Повышение температуры воздуха | **Лучшие возможности для выращивания** картофеля, овощей и фруктов. Летом вероятны жаркие засушливые периоды, прерывающиеся периодами холодной дождливой погоды | **Внедрение новых сортов. Учет непостоянства климата.** Даже при длительном отсутствии сильных заморозков нужно быть к ним готовым |
| Благоприятные условия для сокращения отопительного сезона и меньшей выработки тепла | Повышение температуры воздуха, особенно в зимний период | Продолжение данной тенденции, что не исключает отдельных лет с особо холодной зимой. **Экономия на обогреве** зданий и сооружений | **Внедрение гибких схем** выработки и подачи тепла. **Реконструкция** блочных и панельных **домов** |

> > >

[39] Повышение температуры и развитие растительности создает более благоприятные условия для карповых рыб и приводит к снижению численности более холодолюбивых и требовательных к местам обитания лососевых видов. См. А.П. Новоселов. Изменение рыбной части сообщества р. Северной Двины в меняющихся климатических условиях/Глобальные климатические изменения и их влияние на экосистемы арктических и субарктических регионов. Апатиты, 2011. С. 138–140.

| Проблема | Влияние изменений климата | Вероятные последствия изменений климата | Предлагаемые меры |
|---|---|---|---|
| Снижение числа обморожений, травм, сердечно-сосудистых и кожных заболеваний, связанных с низкими температурами | Уменьшение числа дней с особенно низкими температурами | Продолжение тенденции на **уменьшение «холодовых»** заболеваний, что не исключает отдельных лет с особо холодной зимой | **Учет фактора непостоянства** климата. Даже при отсутствии холодных зим длительное время, нужно быть к ним готовым |
| Продвижение на север лося, кабана, барсука и других животных | Повышение температуры воздуха | Повышение **биологического** разнообразия, увеличение количества **пищевых ресурсов** | **Мониторинг** ситуации и исследование последствий для экосистем, чтобы заранее выявить возможные негативные эффекты |
| Продвижение в Белое море морских животных[40] | Общее уменьшение ледовитости Белого и Баренцева морей | Повышение **биологического разнообразия** | |

*Источник:* Оценка макроэкономических последствий изменений климата на территории Российской Федерации на период до 2030 г. и дальнейшую перспективу, под ред. В.М. Катцова и Б.Н. Порфирьева, Росгидромет. М.: Д'АРТ: Главная геофизическая обсерватория, 2011. 252 с. http://www.voeikovmgo.ru/ru/sobyitiya/doklad-otsenka-makroekonomicheskih-posledstviy-izmeneniya-klimata-na-territorii-rossiyskoy-federatsii.html; Оценочный доклад об изменениях климата и их последствиях на территории Российской Федерации, т. 1 и т. 2, Росгидромет, М., 2009. http://climatechange.igce.ru; источники, указанные в сносках к таблице; информация, специально полученная от заповедников, заказников и национальных парков при подготовке данной книги.

Резюме. Выступая в Архангельске летом 2011 года, руководитель Росгидромета А.В. Фролов[41] так кратко описал будущее: *«Изменение климата может рассматриваться как благо, если вовремя приспособиться. Наши ученые сделали расчеты и оценили изменения климата на территории России на 20–30 лет вперед. В Архангельской области мы будем наблюдать потепление воздуха, и оно будет сопровождаться большим количеством осадков, в основном в зимнее время. Летом будут засушливые периоды, прерывающиеся продолжительными периодами интенсивных осадков. Осадки будут носить непостоянный, «нервозный» характер. Во всем этом есть позитивные и негативные моменты. Главный негатив: потепление будет происходить очень быстро. Надо будет спешно сориентироваться и перестроиться, особенно в сельском хозяйстве. Скажем, для выращивания картофеля условия будут лучше».*

В своем выступлении А.В. Фролов подчеркнул негативные явления: *«Будут более опасными паводки, больше льда и заторов.*

[40] В настоящее время областью проникновения для ластоногих (обыкновенный и атлантический тюлени, морж) и китообразных (финвал, малый и острокрылый полосатик, морская свинья) можно считать все Белое море, включая его внутренние районы, а не только северную часть, примыкающую к Баренцеву морю. О.Н. Светочева. Проникновение редких видов морских млекопитающих в Белое море с 1985 по 2010 гг./Глобальные климатические изменения и их влияние на экосистемы арктических и субарктических регионов. Апатиты, 2011. С. 177–178.

[41] 29–30 июня 2011 г. в г. Архангельске состоялось заседание совместной коллегии Комитета Союзного государства России и Беларуси по гидрометеорологии и мониторингу загрязнения природной среды. Сайт Росгидромета http://www.meteorf.ru (раздел «Новости», 04.07.2011), интервью газете «Правда Севера» http://www.pravdasevera.ru/?id=1051782090

*Поэтому следует укреплять берега, строить защитные сооружения. Можно ожидать, что вместе с теплом придут насекомые-вредители с юга — это большая угроза для архангельских лесов».*

Итог был подведен таким образом: *«Сумма позитивных и негативных факторов будет зависеть от того, насколько общество в целом и, прежде всего, правительство области будут адекватно реагировать на происходящие изменения. Все это надо закладывать в долговременные программы развития региона».*

## Ненецкий АО

Температура. С 1976 года увеличение среднегодовой температуры в Ненецком автономном округе (НАО) составило примерно 1,5 °С. Такой рост температуры типичен для всей европейской части России (см. рис. 4.2), но в 2,5 раза больше, чем в мире в целом. По сезонам изменение температуры было практически одинаковым[42]. Для НАО рассмотрены данные двух метеостанций, так как изменения климатических параметров на побережье Северного Ледовитого океана и в глубине материковой части округа могут быть разными: Хоседа-Хард и Амдерма (расположение станций см. рис. 4.5). По наблюдениям обеих станций (рис. 4.18) рост среднегодовой температуры заметен, но гораздо меньше амплитуды межгодовых колебаний, особенно на ст. Хоседа-Хард.

На прибрежной станции Амдерма линейный тренд за 1976–2010 годы составил 0,50 °С/10 лет, столько же, как и на ст. Архангельск и Мурманск. В 1961–1990 годах средняя температура в Амдерме была –7,0 °С, а в 2000-е годы было три теплых года с температурой около –4,0 °С. На ст. Хоседа-Хард тренд температуры существенно меньше — 0,36 °С/10 лет. Там в 1961–1990 годах средняя температура составляла –5,2 °С, а последние годы были как теплыми (около –2,0 °С), так и не отличающимися от климатической нормы.

Осадки. В целом на территории НАО за последние 35 лет произошло небольшое увеличение количества осадков. Наиболее значителен рост осенних осадков в центральной части округа, где он составил почти 20%[43].

Существенное увеличение годового количества осадков регистрируется на внутриматериковой ст. Хоседа-Хард (рис. 4.19, вни-

[42] Доклад об особенностях климата на территории Российской Федерации за 2011 год. М.: Росгидромет, 2012. www.meteorf.ru

[43] Там же.

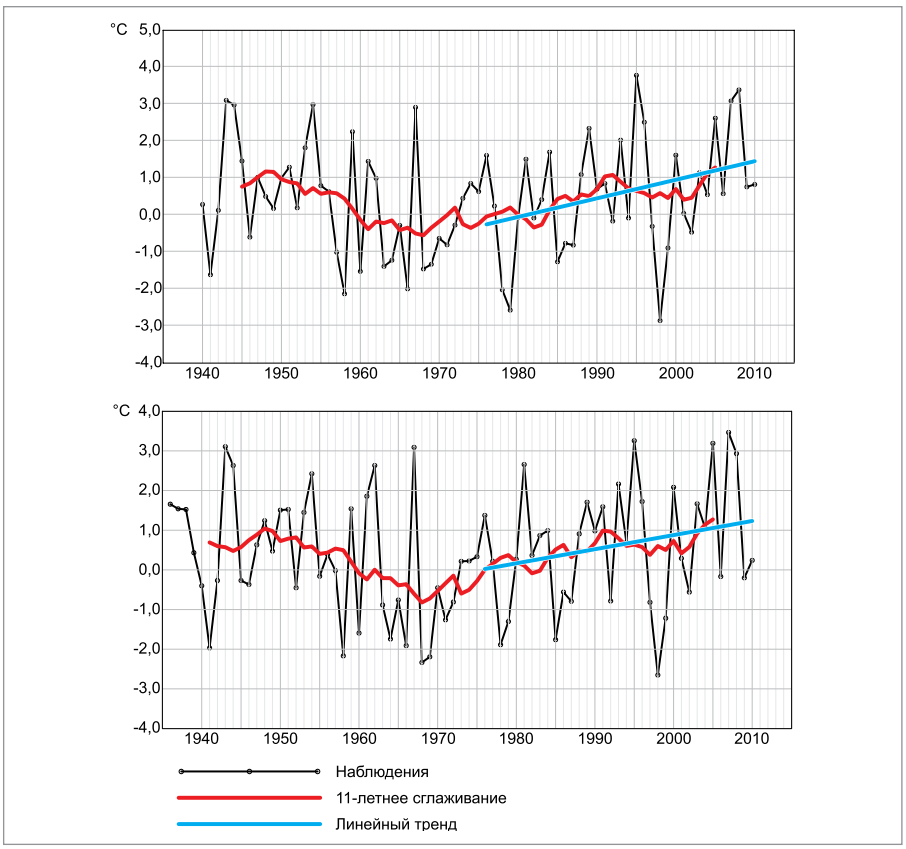



**Рис. 4.18 Отклонение среднегодовых температур на ст. Амдерма (вверху) и Хоседа-Хард (внизу) от средних за 1961–1990 гг.**

*Источник:* Г.В. Груза, Э.Я. Ранькова, Институт глобального климата и экологии

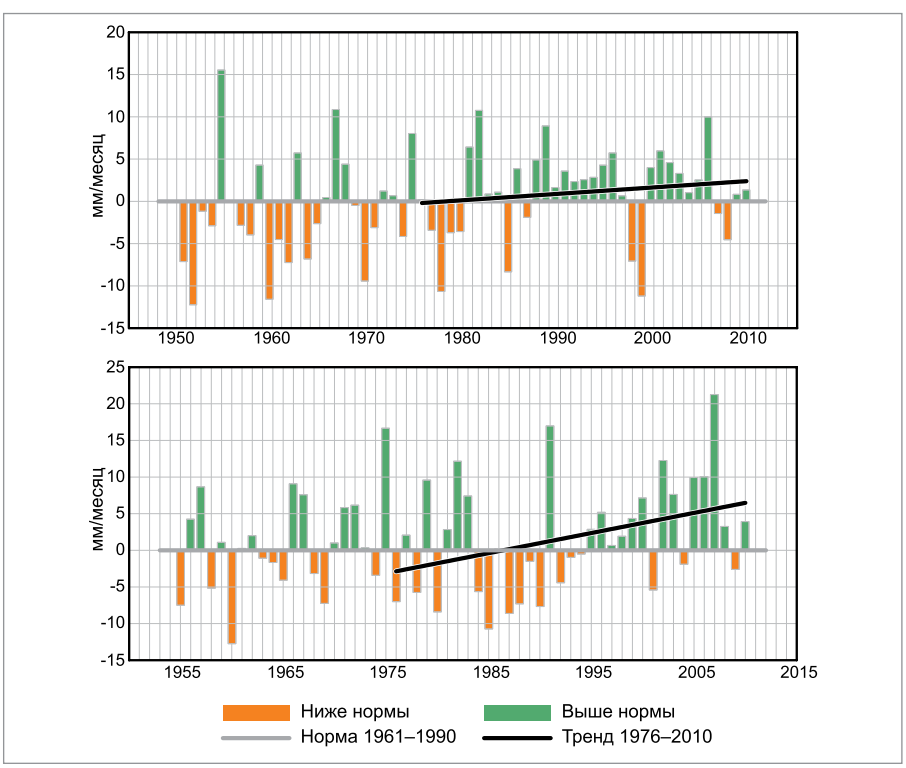



**Рис. 4.19 Отклонение годового количества осадков на ст. Амдерма (вверху) и Хоседа-Хард (внизу) от нормы – среднего за 1961–1990 г.**

*Источник:* Г.В. Груза, Э.Я. Ранькова, Институт глобального климата и экологии

зу). В 1961–1990 годах среднее количество осадков там составляло 37 мм/месяц. За 1976–2010 годы линейный тренд составил 1,3 мм/месяц за 10 лет. На ст. Амдерма в 1961–1990 годах осадков было почти столько же — 34,2 мм/месяц, но линейный тренд за 1976–2010 годы гораздо меньше — 0,8 мм/месяц за 10 лет (рис. 4.19, вверху). В Амдерме среднее увеличение количества осадков намного меньше их межгодовой изменчивости.

Многолетняя мерзлота. В восточной части округа мерзлота сплошная, а в западной частичная, в виде отдельных «островов». В НАО отмечается таяние многолетней мерзлоты под действием повышения температуры, а также большего количества влаги и осадков. Характеристикой изменений мерзлоты служит, в частности, толщина сезонно-талого слоя. В НАО более чем за 10 лет последних наблюдений толщина этого слоя значительно увеличилась, в среднем на 2–4 см в год. В итоге в ряде районов летнее протаивание стало больше на несколько десятков сантиметров. При этом протаивание идет неравномерно. В ряде мест развиваются термокарстовые процессы — образование подземных полостей, воронок и провалов на месте тающих подземных ледяных слоев или «линз», разрушающихся слоев рыхлых пород с содержанием льда, теряющих прочность при оттаивании. Часто это приводит к разрушению зданий и сооружений (см. тематический раздел 2, рис. 2.10 и 2.11)[44].

Изменения флоры и фауны. Во втором тематическом разделе, посвященном Арктике, рассматриваются изменения наземных и морских экосистем, которые происходят и на территории НАО, см. стр. 68–72. Тундра «зеленеет». Становится больше влаги и глубже летнее протаивание многолетней мерзлоты, активнее развивается растительный покров. У оленей возникают проблемы с миграцией, так как им мешает большее протаивание мерзлоты, более раннее вскрытие рек весной или слишком слабый ледовый покров осенью. Возникают трудности у белого медведя и у морских млекопитающих.

Как подчеркивается в арктическом тематическом разделе (см. рис. 2.8, стр. 68), для НАО, вероятно, наиболее существенно совместное негативное влияние хозяйственной деятельности и изменений климата на атлантического моржа, занесенного

[44] Основные природные и социально-экономические последствия изменения климата в районах распространения многолетнемерзлых пород: прогноз на основе синтеза наблюдений и моделирования. Под ред. О.А. Анисимова. СПб.: Государственный гидрологический институт, 2009, 44 с.: http://www.permafrost.su/publications или www.greenpeace.org/russia/ru/press/reports/4607490

в Красную книгу. Сейчас морж устраивает лежбища не только в удаленных районах (Земле Франца-Иосифа, Новой Земле, Малых и Больших Оранских островах), но на территории НАО: о-вах Вайгач, Колгуев и ряде мелких островов в юго-восточной части Баренцева моря. Там ожидается развитие нефте- и газодобычи, а также рост транспортных перевозок при более открытом ото льда Северном морском пути. Несмотря на огромные размеры, моржи очень пугливы: при появлении чего-то необычного среди них возникает паника и давка, что приводит к гибели детенышей и молодых животных. Снижение ледовитости может уменьшить число удобных для моржей лежбищ или вынудит животных сменить лежбища на более близкие к человеку с его шумом и другими факторами беспокойства, не говоря уже о браконьерстве. Нужно очень тщательно отслеживать ситуацию, чтобы выявить негативные эффекты в самом начале и не допустить исчезновения атлантического моржа в южной части Баренцевоморского региона.

Опасные метеорологические явления. Среди опасных метеорологических явлений в НАО на первых местах стоят сильные ветра, сильные морозы и заморозки. По числу опасных явлений на европейской части России и в стране в целом особо выделялся 2010 год с очень холодной зимой, рекордно жарким летом и очень теплой осенью. В НАО в 2010 году зима тоже была очень холодной, особенно в восточной части округа, но при этом «неустойчивой». В январе 2010 года температуры были на 1–2 °С выше нормы (средних за 1961–1990 годы), а в декабре и феврале морозы достигали –45 °С и более. В ряде мест температуры были на 20 °С ниже нормы. На метеостанции Хоседа-Хард был достигнут второй минимум температуры воздуха, когда-либо зарегистрированный в Европе, — –57,0 °С (абсолютный минимум –58,1 °С принадлежит станции Усть-Шугур в Республике Коми и датирован декабрем 1978 года)[45].

В 2011 году наблюдались сильные колебания «холода» и «тепла» (под этими терминами климатологи понимают температуру, сильно отличающуюся от средней за 1961–1990 годы, см. выше пояснения к рис. 4.1 на стр. 98). Выделялись февраль, май и декабрь. В феврале 2011 года в западной и центральной частях округа температура была на 6–7 °С ниже нормы, при этом осадков было очень мало. Весна была теплой, особенно май, когда температуры превышали норму на 5–6 °С, в ряде мест были побиты рекорды

[45] Доклады об особенностях климата на территории Российской Федерации за 2010 и 2011 годы. М.: Росгидромет, 2011и 2012. www.meteorf.ru

майских температур за весь период наблюдений. Лето, наоборот, было холоднее нормы, а осень теплее.

Самое большое потепление было отмечено в декабре 2011 года. Тогда по всему северу европейской части России и Западной Сибири температура воздуха сильно превышала норму, в ряде мест на 12–14 °С, см. рис. 4.16 на стр. 123. На многих станциях декабрь 2011 года оказался самым теплым за весь период наблюдений. Фактически отклонение от нормы (средних значений за 1961–1990 годы) было таким же, как в июле–августе 2010 года в центре европейской части России. Однако эта волна «жары» пришлась на декабрь и не вызвала катастрофических последствий.

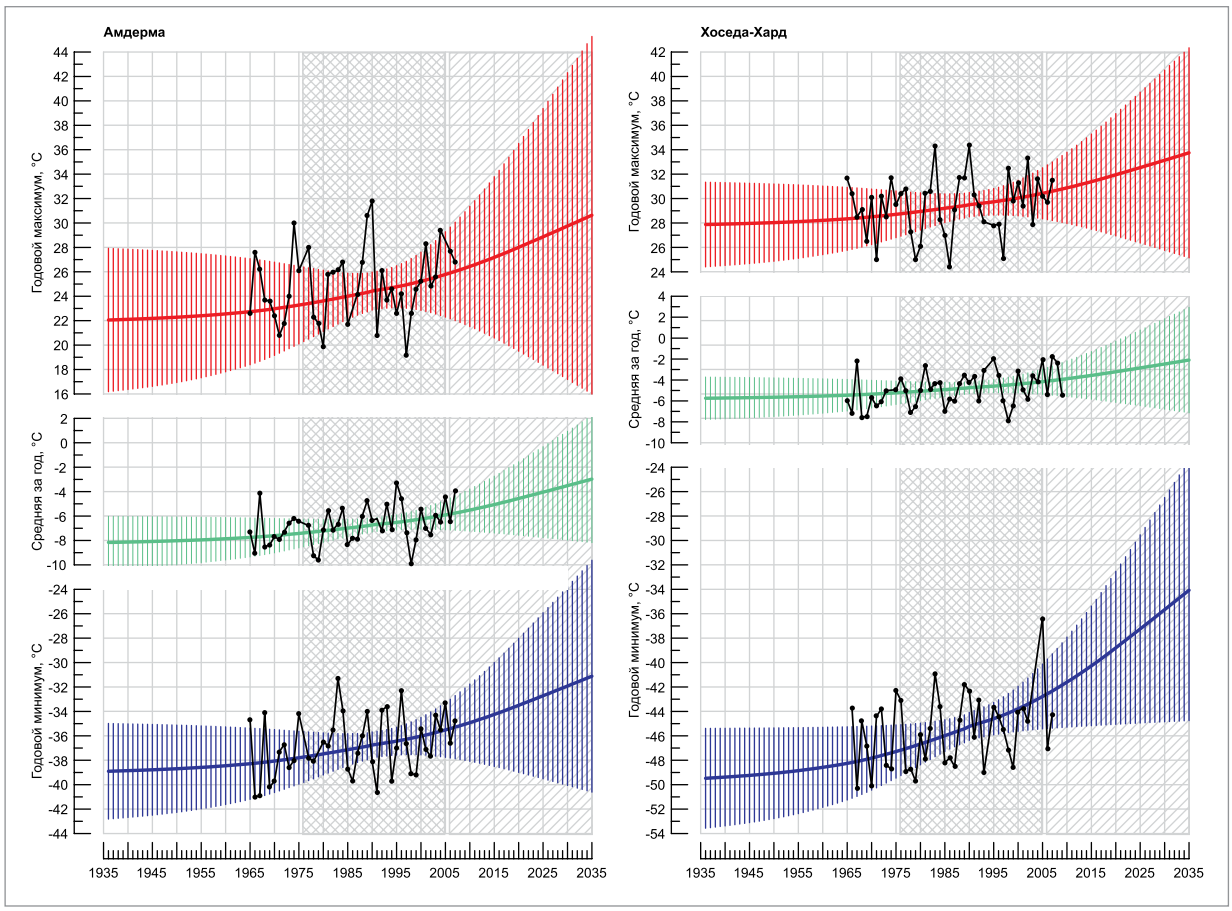
В последние годы в НАО наблюдается «расширение» границ теплого времени года. В частности, в 2010 году намного раньше шло весеннее вскрытие рек: на 9–15 суток ранее, чем в среднем за 1961–1990 годы, а замерзание рек наступило позже на 9–20 дней. В 2011 году ситуация повторилась: в центральной и восточной частях округа вскрытие рек прошло более чем на 2 недели раньше, чем это было в прошлом, а осенью реки опять встали на 10–15 дней позже. Это, конечно, не означает, что так будет каждый год, но тенденция прослеживается

Прогноз изменения температуры, полученный с помощью моделей глобального изменения климата (см. выше рис. 4.5 и его описание), говорит, что в НАО можно ожидать сильного роста зимних температур (табл. 4.7). К середине XXI века зимы могут стать на 5 °С теплее, чем в конце XX века. Заметим, что это в среднем. Скорее всего, будет наблюдаться чередование обычных или более холодных зим и зим на 10 °С более теплых, а это уже совершенно иные погодные условия. Прогнозируется и рост температур в мае–июне, что чревато угрозой более сильных паводков.

### Таблица 4.7. Прогностическая оценка изменений температуры для НАО

| | В среднем в 2011–2031 гг. от среднего уровня 1980–1999 гг., °С | В среднем в 2041–2060 гг. от среднего уровня 1980–1999 гг., °С |
|---|---|---|
| Зима | +1,5 – +2,5 | +4 – +6 |
| Весна | +1,0 – +1,5 | +2 – +3 |
| Лето | +0,7 – +1,2 | +1 – +2,5 |
| Осень | +1,5 – +2,0 | +2 – +5 |
| Год | +1,0 – +2,0 | +2,5 – +3,5 |

*Источник:* по данным карт прогноза изменения климата ГГО: http://www.voeikovmgo.ru, раздел «Изменение климата России в XXI веке»




На рис. 4.20 представлены данные о максимальной, средней и минимальной температуре за год на метеостанциях Хоседа-Хард и Амдерма в 1965–2007 годах — черные кривые. Там же приведен прогноз вероятного изменения данных параметров в период до 2035 года: красная, зеленая и синяя кривые соответственно. Заштрихованные области — диапазоны возможных изменений средних значений, показанных на красной, зеленой и синей кривых, их также называют диапазонами неопределенности прогноза.

**Рис. 4.20**
**Данные о годовом максимуме (вверху), минимуме (внизу) и среднегодовой температуре (в центре) на ст. Амдерма (слева) и Хоседа-Хард (справа) и их ориентировочный прогноз до 2035 г.**

*Источник:* Г.В. Груза, Э.Я. Ранькова, Институт глобального климата и экологии, более детальное описание прогноза см. выше на стр. 105.

Для обеих станций прогноз в целом одинаков. Он позволяет предположить, что через 25 лет максимально жаркие за год температуры увеличатся до +30 — +34 °C. В отдельные годы такие температуры уже были, и подобная жара, конечно, серьезная проблема с точки зрения пожарной опасности. Разброс данного прогноза очень велик: от снижения максимальных температур до их роста вплоть до +40 °C и даже выше.

Самые холодные дни могут потеплеть на 6–10 °C (размах диапазона оценки достигает 20 градусов). Вряд ли это окажет

существенное влияние, ведь в любом случае это будут морозы ниже –20 °С. Скорее может возникнуть иллюзия более мягких зим, но, вероятно, она будет регулярно разрушаться особо холодными зимними периодами с температурой около –40 °С.

Среднегодовая температура может несколько вырасти: с нынешних примерно –5 °С до –3 °С. На первый взгляд, это несущественно, но потепление может выразиться в росте частоты опасных метеорологических явлений. Сейчас его невозможно предсказать, но он может быть весьма серьезным, и ожидаемое изменение минимальных и максимальных температур — тому иллюстрация.

Прогноз изменения количества осадков, полученный с помощью моделей глобального изменения климата (см. выше рис. 4.6 и его описание), говорит о том, что в НАО можно ожидать увеличения осадков, больше всего зимой (табл. 4.8). По аналогии с температурой через 30–50 лет какие-то зимы останутся обычными, а в какие-то будет на 30 или даже 50% больше снега, чем в конце прошлого века.

### Таблица 4.8. Прогностическая оценка изменений осадков для НАО

| | В среднем в 2011–2031 гг. от среднего уровня 1980–1999 гг., % | В среднем в 2041–2060 гг. от среднего уровня 1980–1999 гг., % |
|---|---|---|
| Зима | +5 – +10 | +10 – +20 |
| Весна | 0 – +10 | +10 – +15 |
| Лето | 0 – +10 | 0 – +10 |
| Осень | 0 – +10 | +10 – +15 |
| Год | 0 – +10 | +5 – +15 |

*Источник:* по данным карт прогноза изменения климата ГГО: http://www.voeikovmgo.ru, раздел «Изменение климата России в XXI веке»

Сводка вероятных последствий изменений климата и предлагаемых мер для НАО (с указанием на ряд явлений для арктических островов) приведена в табл. 4.9. Сначала идут негативные эффекты, их гораздо больше, а потом позитивные. Насколько возможно, социально-экономические и экологические проблемы (первый столбец таблицы) выстроены по степени их выраженности и значимости. Вначале перечислены явления, более четко выраженные и опасные для природы, экономики и жизни людей, а затем менее значительные или слабо прослеживающиеся эффекты. Во втором столбце показано, с какими изменениями климата они могут быть связаны. В таблице собрана информация о последствиях изменения

климата только на ближайшие 10–30 лет, а не на более долгосрочную перспективу. Это сделано для того, чтобы выделить вероятные последствия (третий столбец), требующие принятия определенных мер в самом ближайшем будущем (четвертый столбец таблицы).

### Таблица 4.9. Сводка связанных с изменениями климата экологических и социально-экономических явлений, их вероятных последствий и предлагаемых мер для Ненецкого автономного округа

| Проблема | Влияние изменений климата | Вероятные последствия изменений климата | Предлагаемые меры |
|---|---|---|---|
| **Негативные** | | | |
| Разрушение зданий и сооружений из-за неравномерных просадок фундаментов[46] в местах развития термокарстовых процессов (термокарста) | Повышение температуры воздуха и глубины сезонного протаивания почв[47] | **Разрушение зданий и сооружений,** находящихся в местах развития термокарстовых процессов. Через 20–30 лет **вероятно снижение прочности зданий, опор трубопроводов и ЛЭП в два раза**[48] | **Заблаговременное обследование** для выявления термокарста. **Соблюдение правил эксплуатации**[49]. Укрепление зданий. Охлаждение грунтов[50] под существующими сооружениями. **Строительство с большим запасом** прочности |
| Рост числа простудных заболеваний, случаев гриппа, легочных заболеваний, пневмонии, в том числе у детей[51] | Более ветреная погода с большей влажностью воздуха | **Рост заболеваемости,** особенно у детей, иммунитет которых в Арктике ниже, чем в более южных регионах | Разработка и реализация **профилактических программ,** рекомендаций для населения и специалистов в сфере здравоохранения |

> > >

[46] К 2000-м годам число зданий, получивших повреждения из-за неравномерных просадок фундаментов, увеличилось в 1,5–2 раза по сравнению с 1980-ми.

[47] Южная граница многолетней мерзлоты сместилась на север на 30–40 км в Печорской низменности и до 80 км на равнинах Приуралья. Помимо этого возникли многочисленные новые и углубились ранее существовавшие талики (участки без мерзлоты), в том числе и в зоне, где ранее наблюдалось сплошное распространение мерзлоты. Это позволяет говорить о смещении к северу границ зон сплошного и прерывистого распространения мерзлоты на 15–20 км в равнинной тундре и на многие десятки километров в Приуралье и в горах Пай-Хоя. Данные мониторинга указывают также на почти повсеместное повышение температуры многолетней мерзлоты (достигшее 1–1,5 °С в отдельных районах на глубинах 10–15 м) и на активизацию термокарста.

[48] В условиях НАО увеличение среднегодовой температуры на 0,5 °С ведет к 5%-ному ухудшению несущей способности зданий и 10%-ному ослаблению опор трубопроводов и ЛЭП (во всех случаях имеются в виду объекты старой постройки). Рост температуры на 2 °С – 50%-ному ухудшению для зданий и 60%-ному ухудшению для опор трубопроводов и ЛЭП.

[49] Категорическое недопущение протечек воды, которые ранее «сходили с рук», теперь, в сочетании с развитием термокарста, могут вызвать разрушение здания; уборка снега по периметру здания, чтобы свести к минимуму просачивания воды вдоль фундамента; содержание водостоков с крыши в надлежащем состоянии и т. п.

[50] От использования термосифонов и систем вентиляции до систем прямого замораживания, как это уже делается в ЯНАО в г. Надыме.

[51] Влияние глобальных климатических изменений на здоровье населения Российской Арктики. Ревич Б.А. и др. М.: Представительство ООН в РФ, 2008, 28 с. http://www.unrussia.ru/sites/default/files/doc/Arctic-ru.pdf

| Проблема | Влияние изменений климата | Вероятные последствия изменений климата | Предлагаемые меры |
|---|---|---|---|
| Более сильные паводки и ледовые заторы как весной, так и осенью (зажоры) | Резкие колебания температуры воздуха. Увеличение высоты снежного покрова | **Усиление паводков и ледовых заторов** вплоть до катастрофических; разрушение сооружений, дорог и мостов | **Укрепление берегов,** строительство защитных сооружений. **Перенос зданий** и сооружений из зоны высокого риска. **Создание** современной системы **страхования** |
| Появились новые виды птиц, не характерные для данной территории[52]. Отлёт птиц к местам зимовок на 10 дней позже, чем 20–40 лет назад[53] | Повышение температуры воздуха | **Вытеснение арктических птиц** новыми видами, внедряющимися с юга | **Мониторинг** ситуации, чтобы заранее выявить негативные эффекты |
| Проблемы с миграцией оленей, уже наблюдающиеся Таймыре[54] | Повышение температуры воздуха. Более слабый лед на реках. Более раннее и сильное протаивание почв | Рост проблем, вплоть до **гибели оленей** при обходе газопроводов, переходе через реки с тонким льдом и т.п. | Создание **специальных проходов** через газопроводы и прочие препятствия, мешающие миграции оленей |
| Сокращение сезонного срока службы зимних дорог (зимников). Проблемы с движением транспорта, в том числе вездеходного, значительные нарушения растительного покрова[55] | Повышение температуры воздуха и глубины сезонного-талого слоя. Более частые оттепели | Трудности с движением транспорта. **Труднодоступность ряда мест** в начале и конце зимы. Значительные **нарушения растительного покрова** | **Изменение графиков и маршрутов** движения **транспорта.** Организация альтернативных способов сообщения. Строгое **соблюдение правил передвижения** вездеходного транспорта |
| Проблемы выживания атлантического моржа на островах юго-восточной части Баренцева моря | Изменение ледового режима в юго-восточной части Баренцева моря | При совместном негативном воздействии непродуманного хозяйственного освоения и изменений климата возможно **исчезновение атлантического моржа** в данном районе | **Мониторинг** ситуации, чтобы заранее выявить негативные эффекты. Создание особо охраняемых природных территорий. **Особый режим добычи нефти и газа, транспортных перевозок** |
| Проблемы выживания белого медведя на Новой Земле и Земле Франца-Иосифа | Сильное сокращение морских льдов в районе Новой Земли и Земли Франца-Иосифа | **Исчезновение белого медведя** в Баренцевоморском регионе | **Мониторинг** состояния популяции белого медведя, строгие **меры против браконьерства** |
| **Позитивные** | | | |
| Снижение числа обморожений, травм, сердечно-сосудистых и кожных заболеваний, связанных с низкими температурами | Уменьшение числа дней с особенно низкими температурами | Продолжение тенденции к **уменьшению «холодовых»** заболеваний, что не исключает отдельных лет с особо холодной зимой | **Учет фактора непостоянства** климата. Даже при длительном отсутствии холодных зим нужно быть к ним готовым |

> > >

[52] А.А. Евстафьев, Н.П. Селиванова. Распространение арктических видов птиц в таежной зоне Европейского Северо-Востока России/Глобальные климатические изменения и их влияние на экосистемы арктических и субарктических регионов. Апатиты, 2011. С. 58–59.

[53] По информации, полученной из Ненецкого заповедника.

[54] Сочетание климатических (большее протаивание тундры) и хозяйственных факторов (наземные газопроводы, которые олени преодолеть не могут). Если газопровод не имеет специальных П-образных переходов, животные не могут ни перепрыгнуть, ни подлезть под трубами.

[55] Проблемы движения вездеходного транспорта включают и сложности с использованием старой колеи (дороги), в итоге каждый раз прокладывается новая, и тундра повреждается на большой площади.

| Проблема | Влияние изменений климата | Вероятные последствия изменений климата | Предлагаемые меры |
|---|---|---|---|
| Проникновение на север более теплолюбивых видов | Повышение температуры воздуха и морской воды, уменьшение количества льдов | Повышение **биологического** разнообразия, увеличение количества **пищевых ресурсов** | **Мониторинг** ситуации и исследование последствий, чтобы заранее выявить негативные эффекты |
| Более благоприятные условия для растений[56] | Повышение температуры воздуха, увеличение глубины сезонного протаивания почв | **Растительный покров расширяется,** начинает занимать участки, ранее непригодные из-за суровости климата | **Мониторинг** ситуации, чтобы заранее выявить негативные эффекты |

*Источник:* Оценка макроэкономических последствий изменений климата на территории Российской Федерации на период до 2030 г. и дальнейшую перспективу, под ред. В.М. Катцова и Б.Н. Порфирьева, Росгидромет. М.: Д'АРТ: Главная геофизическая обсерватория, 2011. 252 с. http://www.voeikovmgo.ru/ru/sobyitiya/doklad-otsenka-makroekonomicheskih-posledstviy-izmeneniya-klimata-na-territorii-rossiyskoy-federatsii.html; Оценочный доклад об изменениях климата и их последствиях на территории Российской Федерации, т. 1 и т. 2, Росгидромет, М., 2009. http://climatechange.igce.ru; источники, указанные в сносках к таблице; информация, специально полученная от заповедников, заказников и национальных парков при подготовке данной книги.

Резюме. Таблица 4.9 показывает, что негативных эффектов куда больше, чем позитивных. Даже имеющиеся позитивные эффекты, такие как более легкие условия работы на открытом воздухе, требуют осторожности, ведь более неустойчивый климат будет преподносить немало сюрпризов в виде метелей или «волн» сильнейших морозов. В свете этого вероятен рост заболеваемости простудными и легочными заболеваниями, особенно у детей.

Среди негативных эффектов преобладают те, что связаны с таянием многолетней мерзлоты и потерей прочности различных сооружений. Надо серьезно отнестись к угрозе более сильных паводков в условиях большего количества снега и более высоких весенних температур. Возможны серьезные проблемы с вытеснением арктических птиц новыми видами, внедряющимися с юга, а также проблемы с сезонными миграциями оленей. Нужно обратить внимание и на факторы, влияющие на занесенного в Красную книгу атлантического моржа.

## Ямало-Ненецкий автономный округ

Температура. Особенностью Ямало-Ненецкого автономного округа (ЯНАО) является более слабое, чем в других регионах, повышение среднегодовой температуры за последние десятилетия (расчеты проводились на 1976–2011 годы, см. рис. 4.2). В ЯНАО потепление составило 0,8 °С, что немного выше чем во всем мире

[56] На о. Вайгач с 1984 г. зафиксирован сдвиг максимума вегетации с июля–начала августа на вторую половину августа; увеличение общей продолжительности вегетации примерно на две недели; возрастание вегетационного индекса (NDVI) примерно на 15%.

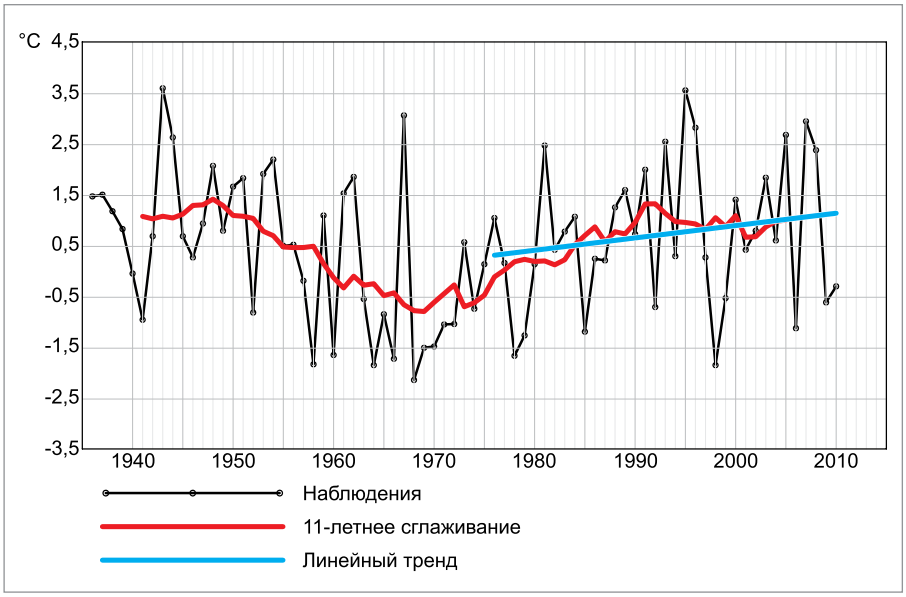



**Рис. 4.21 Отклонение среднегодовых температур на ст. Салехард от средних за 1961–1990 гг.**

*Источник:* Г.В. Груза, Э.Я. Ранькова, Институт глобального климата и экологии

в целом. В других регионах России оно в среднем в 2 раза больше. Особенно отличается от типичной для России ситуация с зимними температурами. По всей стране зима потеплела сильнее всего, а в ЯНАО не изменилась, зато весенние температуры стали выше на 2 °C[57] (рис. 4.2).

По наблюдениям на ст. Салехард (рис. 4.21), имеется очень небольшой рост среднегодовой температуры. Линейный тренд за 1976–2010 годы составил 0,24 °C/10 лет, что в 2 раза меньше, чем на ст. Архангельск, Мурманск и Амдерма. В 1961–1990 годах средняя температура в Салехарде была –6,6 °C. В 2000-е годы она стала чуть выше — примерно –6 °C, но это повышение намного меньше, чем разница между теплыми и холодными годами, составляющая 4 градуса (от –4 до –8 °C).

Осадки. В целом на территории ЯНАО за последние 35 лет количество осадков практически не изменилось. Исключение составляет северо-восточная часть округа, где годовое количество осадков стало больше. По сезонам можно выделить рост весенних осадков[58].

На ст. Салехард существенного роста годового количества осадков не отмечается (рис. 4.22). В 1961–1990 годах оно равнялось 36 мм/месяц. В 1976–2010 годах линейный тренд составил лишь 0,4 мм/месяц за 10 лет.

[57] Доклад об особенностях климата на территории Российской Федерации за 2011 год. М.: Росгидромет, 2012. www.meteorf.ru

[58] Там же.

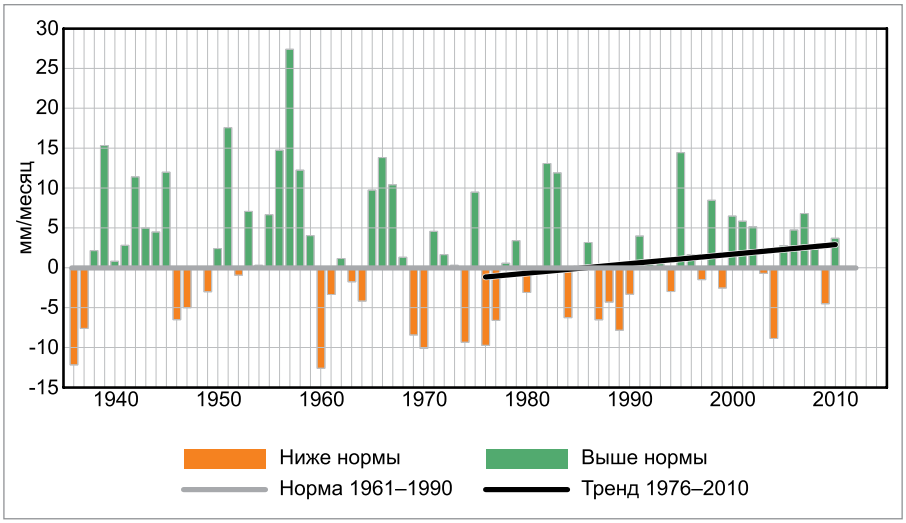



**Рис. 4.22 Отклонение годового количества осадков на ст. Салехард от нормы — среднего за 1961–1990 гг.**

*Источник:* Г.В. Груза, Э.Я. Ранькова, Институт глобального климата и экологии

В Арктике наблюдается общая тенденция уменьшения площади и времени наличия снежного покрова (см. второй тематический раздел). Снежный покров устанавливается позже, так как осенью стало меньше льдов, а при открытой воде воздух прогревается намного сильнее, чем когда море покрыто льдом. Быстрее, чем раньше, в Арктике тает снег и в мае-июне. В ЯНАО с 1976 года также существенно уменьшилось число дней в году со снежным покровом, в ряде мест на 15–20, а на севере Ямала даже сильнее. На Ямале в 2009 и 2010 годах снежный покров устанавливался на 1,5 мес. позже, чем это было в среднем в 1961–1990 годах, но при этом снега за зимний период выпадало больше. В районе Нового Уренгоя в конце марта 2009 года снега было в 2 раза больше, чем в среднем за 1961–1990 годы.

В ЯНАО в последние десятилетия значительно возросла максимальная высота снежного покрова. Тут нет противоречия: осадки выпадают более неравномерно — весной их больше, поэтому снега накапливается больше, но тает он быстрее. В ряде мест в центральной части округа увеличение максимальной толщины снежного покрова составило более 70 см. По данному показателю в России ЯНАО делит первое место с отдельными районами на побережье Тихого океана[59]. Это означает, что в мае-июне, в весеннее половодье, большие территории сильнее затоплены водой, чем в прошлом (см. рис. 4.4).

Многолетняя мерзлота. Особенность ЯНАО — многолетняя мерзлота и ее деградация под действием повышения температуры,

[59] Доклады об особенностях климата на территории Российской Федерации за 2010 и 2011 годы. М.: Росгидромет, 2011и 2012. www.meteorf.ru

а также большего количества влаги и осадков[60]. Характеристикой изменений мерзлоты служит, в частности, толщина сезонно-талого слоя. В Западной Сибири в последние годы толщина этого слоя непостоянна, межгодовые различия достигают 10–15 см, но в целом летнее протаивание увеличивается. В Надыме, где наблюдения ведутся с 1971 года, толщина сезонно-талого слоя в среднем увеличивается примерно на 1 см в год.

При этом протаивание идет неравномерно. В ряде мест развиваются термокарстовые процессы — образование подземных полостей и провалов на месте тающих подземных ледяных слоев или разрушающихся слоев рыхлых пород с содержанием льда. Это часто приводит к разрушению зданий и сооружений (см. тематический раздел 2, рис. 2.10 и 2.11)[61].

Уже есть примеры применения экстренных мер для спасения зданий. В частности, в г. Надыме приходится делать искусственное охлаждение грунта под 5-этажным жилым зданием (рис. 4.23). Здание относительно новое, что говорит о том, что еще несколько лет назад не было понимания проблемы изменения климата, пока не пришлось воочию столкнуться с его негативными последствиями.

**Рис. 4.23 Надым, ул. Топчева, д. 10. Расположенные по периметру здания металлические трубы используют для замораживания грунта в летний период**

Фото: Сергей Решетов

[60] Основные природные и социально-экономические последствия изменения климата в районах распространения многолетнемерзлых пород: прогноз на основе синтеза наблюдений и моделирования. Под ред. О.А. Анисимова. СПб.: Государственный гидрологический институт, 2009, 44 с. http://www.permafrost.su/publications или www.greenpeace.org/russia/ru/press/reports/4607490

[61] Там же.

В северной, прибрежной части округа на деградацию мерзлоты накладывается другой эффект — засоление подземных вод, которые остаются жидкими при отрицательных температурах и просачиваются вглубь вдоль подземных частей сооружений, опор газопроводов и ЛЭП, что приводит к значительному снижению их прочности.

Изменения флоры и фауны. Во втором тематическом разделе, посвященном Арктике, рассматриваются изменения наземных и морских экосистем, которые происходят и на территории ЯНАО, см. стр. 68–72. Тундра становится «зеленее». Там больше влаги и глубже летнее протаивание мерзлоты, активнее развивается растительный покров. У оленей возникают проблемы с миграцией, так как им мешает большее протаивание мерзлоты, более раннее вскрытие рек весной или слишком слабый ледовый покров осенью.

Опасные метеорологические явления. Среди опасных метеорологических явлений в ЯНАО на первых местах стоят сильные ветра, сильные морозы и заморозки. По числу опасных явлений на европейской части России и в стране в целом особо выделялся 2010 год с очень холодной зимой, рекордно жарким летом и очень теплой осенью. В ЯНАО зима 2009/2010 года тоже была очень холодной, но при этом «неустойчивой»: в январе температуры превысили норму (средние показатели за 1961–1990 годы) на 1–2 °С, а в декабре и феврале морозы были сильнее –45 °С. Тогда в ряде мест температуры упали на 11 °С ниже нормы. К тому же в феврале 2010 года почти не выпадал снег, что тоже редкое явление. Лето 2010 года тоже выдалось холодным, особенно июль, когда были побиты рекорды самых низких для этого месяца температур. В то же время октябрь 2010 года был очень теплым, почти на 5 °С выше нормы[62].

2011 год на севере Западной Сибири был очень теплым, на Ямале на 4–5 °С выше нормы. Однако зафиксированы еще более сильные колебания «холода» и «тепла» отдельных месяцев (под этими терминами климатологи понимают температуру, сильно отличающуюся от средней за 1961–1990 годы, см. выше пояснения к рис. 4.1). В северной части округа все весенние месяцы были аномально теплыми, особенно март и апрель, когда температуры на 8 °С превышали норму. Апрель отличился и большим количеством осадков, которых в ряде мест было

[62] Доклады об особенностях климата на территории Российской Федерации за 2010 и 2011 годы. М.: Росгидромет, 2011и 2012. www.meteorf.ru

на 60% больше, чем в среднем за 1961–1900 годы. Жарким стал и июнь. В центре «очага жары», в районе Обской губы, аномалии достигали +8,4 °С. На десяти метеостанциях температуры июня 2011 года оказались рекордными. После этого июль и август были холодными. Зато осень стала теплее нормы на 3–5 °С, особенно в междуречье Оби и Енисея, где в октябре было на 6,5 °С теплее нормы.

Самое большое потепление отмечено в декабре 2011 года. Тогда по всему северу европейской части России и Западной Сибири температура воздуха сильно превышала норму, в ряде мест на 12–14 °С. На многих станциях декабрь 2011 года оказался самым теплым за весь период наблюдений, см. рис 4.16 на стр. 123.

Прогноз изменения температуры, полученный с помощью моделей глобального изменения климата (см. выше рис. 4.5 и его описание), говорит, что в ЯНАО можно ожидать сильного роста зимних температур (табл. 4.10). К середине XXI века зимы могут стать на 5 °С теплее, чем в конце XX века. Заметим, что это в среднем. Скорее всего, будет наблюдаться чередование обычных или даже более холодных зим и зим на 10 °С более теплых, а это уже иные погодные условия. Прогнозируется и значительный рост температур в мае–июне, что чревато угрозой быстрого таяния увеличивающегося количества снега (рост осадков зимой и осенью) и более сильных паводков.

На рис. 4.24 представлены данные о максимальной, средней и минимальной температуре за год на метеостанции Салехард в 1965–2007 годах — черные кривые. Там же приведен прогноз вероятного изменения данных параметров в период до 2035 года: красная, зеленая и синяя кривые соответственно. Заштрихованные области — диапазоны возможных изменений средних значе-

### Таблица 4.10. Прогностическая оценка изменений температуры для ЯНАО

| | В среднем в 2011–2031 гг. от среднего уровня 1980–1999 гг., °С | В среднем в 2041–2060 гг. от среднего уровня 1980–1999 гг., °С |
|---|---|---|
| Зима | +1,5 – +2,5 | +3 – +6 |
| Весна | +1,0 – +1,5 | +2 – +3 |
| Лето | +0,5 – +1,0 | +1 – +2,5 |
| Осень | +1,5 – +2,5 | +2,5 – +5 |
| Год | +1,0 – +1,5 | +3 – +4 |

*Источник:* по данным карт прогноза изменения климата ГГО: http://www.voeikovmgo.ru, раздел «Изменение климата России в XXI веке»

ний, показанных на красной, зеленой и синей кривых, их также называют диапазонами неопределенности прогноза.

Можно ожидать, что максимально высокие за год температуры существенно возрастут, с нынешних +28 – +30 °С до +35 °С. Диапазон неопределенности данного прогноза велик: от небольшого снижения максимальной температуры до жары под +40 °С. Самые

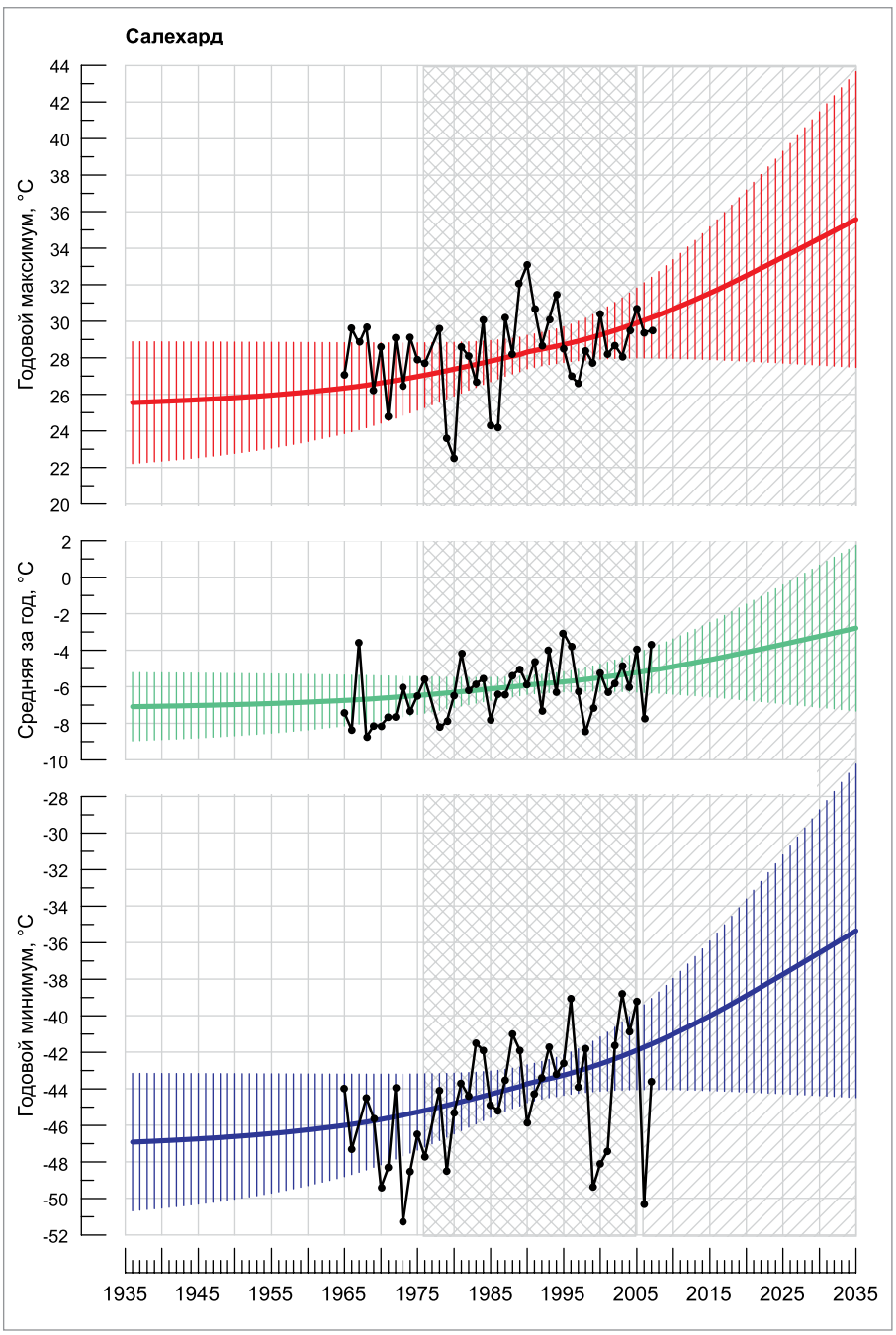



**Рис. 4.24**
**Данные о годовом максимуме (вверху), минимуме (внизу) и среднегодовой температуре (в центре) на ст. Салехард и их ориентировочный прогноз до 2035 г.**

*Источник:* Г.В. Груза, Э.Я. Ранькова, Институт глобального климата и экологии, более детальное описание прогноза см. выше на стр. 105.

холодные дни могут потеплеть на 6 °С (диапазон неопределенности от 0 до 15 °С). Вряд ли это окажет существенное влияние, ведь в любом случае это будут морозы сильнее –30 °С. Среднегодовая температура может увеличиться с нынешних –6 °С до –3 °С. На первый взгляд, это несущественно, но потепление может выразиться в росте опасных метеорологических явлений. Величину этого роста сейчас предсказать невозможно, но он может быть весьма серьезным.

Прогноз изменения количества осадков, полученный с помощью моделей глобального изменения климата (см. выше рис. 4.6 и его описание), говорит, что в ЯНАО изменения осадков прогнозируются только в сторону увеличения (табл. 4.11). Больше всего вероятен рост осадков зимой и осенью. По аналогии с температурой какие-то зимы останутся обычными, а в какие-то годы снега будет на треть больше, чем в конце прошлого века.

Сводка вероятных последствий изменений климата и предлагаемых мер для ЯНАО приведена в табл. 4.12. Сначала идут негативные эффекты, их гораздо больше, а потом позитивные. Насколько возможно, социально-экономические и экологические проблемы (первый столбец таблицы) выстроены по степени их выраженности и значимости. Вначале перечислены явления, более четко выраженные и опасные для природы, экономики и жизни людей, а затем менее значительные или слабо прослеживающиеся эффекты. Во втором столбце показано, с какими изменениями климата они могут быть связаны. В таблице собрана информация о последствиях изменения климата только на ближайшие 10–30 лет, а не на более долгосрочную перспективу. Это сделано для того, чтобы выделить вероятные последствия (третий столбец), требующие принятия определенных мер в самом ближайшем будущем (четвертый столбец таблицы).

### Таблица 4.11. Прогностическая оценка изменений осадков для ЯНАО

| | В среднем в 2011–2031 гг. от среднего уровня 1980–1999 гг., % | В среднем в 2041–2060 гг. от среднего уровня 1980–1999 гг., % |
|---|---|---|
| Зима | +5 – +10 | +10 – +20 |
| Весна | +5 – +10 | +10 – +15 |
| Лето | 0 – +10 | +5 – +10 |
| Осень | +5 – +10 | +10 – +20 |
| Год | +5 – +10 | +10 – +15 |

*Источник:* по данным карт прогноза изменения климата ГГО: http://www.voeikovmgo.ru, раздел «Изменение климата России в XXI веке»

## Таблица 4.12. Сводка связанных с изменениями климата экологических и социально-экономических явлений, их вероятных последствий и предлагаемых мер для ЯНАО

| Проблема | Влияние изменений климата | Вероятные последствия изменений климата | Предлагаемые меры |
|---|---|---|---|
| **Негативные** | | | |
| Разрушение зданий и сооружений из-за неравномерных просадок фундаментов[63] в местах развития термокарстовых процессов (термокарста) | Повышение температуры воздуха и глубины сезонного протаивания почв[64] | **Разрушение зданий и сооружений,** находящихся в местах развития термокарстовых процессов. Через 20–30 лет вероятно **снижение прочности зданий, опор трубопроводов и ЛЭП в два раза**[65] | **Заблаговременное обследование** для выявления термокарста. **Соблюдение правил** эксплуатации[66]. Укрепление зданий. **Строительство с большим запасом** прочности. Искусственное охлаждение грунтов[67] под существующими сооружениями, включая газопроводы |
| Рост числа простудных заболеваний, случаев гриппа, легочных заболеваний, пневмонии, в том числе у детей[68] | Более ветреная погода с большей влажностью воздуха | **Рост заболеваемости,** особенно у детей, иммунитет которых в Арктике ниже, чем в более южных регионах | Разработка и реализация **профилактических программ,** рекомендаций для населения и специалистов в сфере здравоохранения |
| Сильные и длительные наводнения в период весеннего половодья. Затопление больших территорий слоем воды до метра и более | Увеличение количества снега. Повышение температуры воздуха | Более частые **катастрофические наводнения,** разрушение сооружений, дорог, мостов. **Повышение стоимости добычи нефти и газа** | **Укрепление берегов,** строительство защитных сооружений. **Перенос зданий** и сооружений из зон высокого риска. **Перестройка нефтегазовой инфраструктуры** для работы в условиях сильных наводнений |

> > >

[63] К 2000-м годам число зданий, получивших повреждения из-за неравномерных просадок фундаментов, увеличилось в 1,5–2 раза по сравнению с 1980-ми.

[64] Южная граница многолетней мерзлоты сместилась на север на 30–40 км в Печорской низменности и до 80 км на равнинах Приуралья. Помимо этого возникли многочисленные новые и углубились ранее существовавшие талики (участки без мерзлоты), в том числе и в зоне, где ранее наблюдалось сплошное распространение мерзлоты. Это позволяет говорить о смещении к северу границ зон сплошного и прерывистого распространения мерзлоты на 15–20 км в равнинной тундре и на многие десятки километров в Приуралье и в горах Пай-Хоя. Данные мониторинга указывают также на почти повсеместное повышение температуры многолетней мерзлоты (достигшее 1–1,5 °С в отдельных районах на глубинах 10–15 м) и на активизацию термокарста.

[65] В условиях ЯНАО увеличение среднегодовой температуры на 0,5° С ведет к 5%-ному ухудшению несущей способности зданий и 10%-ному ослаблению опор трубопроводов и ЛЭП (во всех случаях имеются в виду объекты старой постройки). Рост температуры на 2 °С — к 50%-ному ухудшению для зданий и 60%-ному ухудшению для опор трубопроводов и ЛЭП.

[66] Категорическое недопущение протечек воды, которые ранее «сходили с рук». Теперь, в сочетании с развитием термокарста, они могут вызвать разрушение здания. Уборка снега по периметру здания, чтобы свести к минимуму просачивания воды вдоль фундамента. Содержание водостоков с крыши в надлежащем состоянии и т. п.

[67] От использования термосифонов и систем вентиляции до прямого замораживания грунта, как это уже делается в г. Надыме.

[68] Влияние глобальных климатических изменений на здоровье населения Российской Арктики. Ревич Б.А. и др. М.: Представительство ООН в РФ, 2008, 28 с. http://www.unrussia.ru/sites/default/files/doc/Arctic-ru.pdf

| Проблема | Влияние изменений климата | Вероятные последствия изменений климата | Предлагаемые меры |
|---|---|---|---|
| Воздействие подземных соленых вод с отрицательной температурой на опоры трубопроводов и скважины на морском побережье Ямала | Повышение температуры воздуха и глубины сезонного протаивания почв | Распространение соленых вод вдоль **скважин и опор** вплоть до их **деформации и обрушения** | **Обеспечение безопасной эксплуатации** буровых установок и трубопроводов, усиление тепло- и антикоррозионной изоляции |
| Большая скорость протаивания мерзлоты в песчаных грунтах | Повышение температуры воздуха и глубины сезонного протаивания почв | **Трудности в добыче и транспортировке нефти и газа** от месторождений[69] | **Строительство с большим запасом** прочности. **Искусственное охлаждение** грунтов. Меры по **предотвращению загрязнения** окружающей среды нефтепродуктами |
| Деградация и сокращение уральских ледников | Повышение температуры воздуха | **Деградация ледников** и изменение ландшафтов | **Мониторинг** ситуации, чтобы заранее выявить негативные эффекты |
| Возможные проблемы с миграцией оленей, которые уже наблюдаются на Таймыре[70] | Повышение температуры воздуха, более раннее и сильное протаивание почв. Более слабый лед на реках | Рост проблем, вплоть до **гибели оленей** при обходе препятствий, переходе через реки с тонким льдом и т.п. | Создание **специальных проходов** через газопроводы и прочие препятствия, мешающие миграции |
| Сокращение сезонного срока службы зимних дорог (зимников). Проблемы с движением транспорта, в том числе вездеходного, значительные нарушения растительного покрова[71] | Повышение температуры воздуха и глубины сезонного-талого слоя. Более частые оттепели | Трудности с движением транспорта. **Труднодоступность ряда мест** в начале и конце зимы. Значительные **нарушения растительного покрова** | **Изменение графиков и маршрутов** движения **транспорта.** Организация альтернативных способов сообщения. Строгое **соблюдение правил передвижения** вездеходного транспорта |
| **Позитивные** | | | |
| Снижение числа обморожений, травм, сердечно-сосудистых и кожных заболеваний, связанных с низкими температурами | Уменьшение числа дней с особенно низкими температурами | **Уменьшение числа «холодовых»** заболеваний, что не исключает их рост в отдельных годы с особо холодной зимой | **Учет фактора непостоянства** климата. Даже при длительном отсутствии холодных зим нужно быть к ним готовым |
| Проникновение на север более теплолюбивых видов | Повышение температуры воздуха и морской воды, уменьшение количества льдов | Повышение **биологического** разнообразия, увеличение количества пищевых ресурсов | **Мониторинг** ситуации и исследование последствий, чтобы заранее выявить негативные эффекты |

> > >

[69] В Западной Сибири ежегодно происходит около 35 тыс. аварий на нефте- и газопроводах, около 21% из них вызваны механическими воздействиями и деформациями. Вблизи Уренгоя был отмечен подъем секции трубопровода на 1,5 м в течение одного года. На поддержание работоспособности трубопроводов и ликвидацию их деформаций, связанных с изменениями вечной мерзлоты, ежегодно тратится до 55 млрд рублей. Основные природные и социально-экономические последствия изменения климата в районах распространения многолетнемерзлых пород: прогноз на основе синтеза наблюдений и моделирования. Под ред. О.А. Анисимова. СПб.: Государственный гидрологический институт, 2009, 44 с. http://www.permafrost.su/publications

[70] Имеется сочетание климатических (большее протаивание тундры, более слабый лед на реках) и хозяйственных факторов (наземные газопроводы, которые олени преодолеть не могут). Если газопровод не имеет специальных П-образных переходов, животные не могут ни перепрыгнуть, ни подлезть под трубами.

[71] Проблемы движения вездеходного транспорта включают и сложности с использованием старой колеи (дороги), в итоге каждый раз прокладывается новая и тундра повреждается на большой площади.

| Проблема | Влияние изменений климата | Вероятные последствия изменений климата | Предлагаемые меры |
|---|---|---|---|
| Более благоприятные условия для растений | Повышение температуры воздуха, увеличение глубины сезонного протаивания почв | **Растительный покров расширяется,** начинает занимать участки, ранее непригодные из-за суровости климата | **Мониторинг** ситуации, чтобы заранее выявить негативные эффекты |

*Источник:* Оценка макроэкономических последствий изменений климата на территории Российской Федерации на период до 2030 г. и дальнейшую перспективу, под ред. В.М. Катцова и Б.Н. Порфирьева, Росгидромет. М.: Д'АРТ: Главная геофизическая обсерватория, 2011. 252 с. http://www.voeikovmgo.ru/ru/sobyitiya/doklad-otsenka-makroekonomicheskih-posledstviy-izmeneniya-klimata-na-territorii-rossiyskoy-federatsii.html; Оценочный доклад об изменениях климата и их последствия на территории Российской Федерации, т. 1 и т. 2, Росгидромет, М., 2009. http://climatechange.igce.ru; источники, указанные в сносках к таблице; информация, специально полученная от заповедников, заказников и национальных парков при подготовке данной книги.

Резюме. Как и в других арктических регионах, в ЯНАО негативных явлений гораздо больше, чем позитивных. Более неустойчивый климат наряду с ростом средних температур будет преподносить немало сюрпризов в виде метелей или «волн» сильнейших морозов.

Среди негативных явлений преобладают связанные с таянием мерзлоты и потерей прочности различных сооружений. К этому добавляется большее количество снега и более частые случаи сильнейшего весеннего половодья, когда большие территории покрыты слоем воды до метра и более. Новое строительство, обслуживание и капитальный ремонт существующих сооружений, в том числе и газопроводов, должны вестись с большим запасом прочности, с предварительным детальным исследованием почвогрунтов и с учетом худших вариантов прогнозируемых изменений. Могут быть большие сложности на путях миграции оленей, что потребует специальных мер.

ТЕМА 5

# СБЕРЕЖЕНИЕ ТЕПЛА В ЗДАНИЯХ

# Что можно сделать для снижения влияния человека на климат?

В первом тематическом разделе было показано, что резкий рост концентрации $CO_2$ в атмосфере является главной климатической особенностью последних десятилетий. При этом его основной причиной являются выбросы углекислого газа от сжигания ископаемого топлива — угля, газа и нефтепродуктов (более подробно источники поступления парниковых газов в атмосферу рассмотрены в приложении 1). Выше также было рассмотрено, какие климатические изменения уже происходят и что вероятно ожидать в ближайшие десятилетия. Негативных эффектов немало и гораздо больше, чем позитивных. Поэтому снижение выбросов $CO_2$ считается важнейшей мерой по уменьшению антропогенного воздействия на климатическую систему, что подчеркивается в Климатической доктрине России и Комплексном плане ее реализации[1]. В этих документах говорится, что недостаточно одних действий по адаптации к изменениям климата (в частности, тех, которые описаны в предыдущем тематическом разделе).

В России почти все антропогенные выбросы $CO_2$ происходят при сжигании угля, газа и нефтепродуктов в энергетике, транспорте, промышленности и жилищно-коммунальном хозяйстве. Очень много топлива тратится на выработку тепла. Поэтому его сбережение вносит важнейший вклад в решение сразу трех проблем.

Во-первых, экономической — топливо становится все дороже и платить за тепло и электроэнергию приходится все больше — как промышленным предприятиям, так и школам и отдельным гражданам.

---

[1] Климатическая доктрина РФ. 2009. Распоряжение Президента РФ от 17.12.2009 № 861-рп «О Климатической доктрине Российской Федерации». http://www.kremlin.ru/news/6365 или http://президент.рф/acts/6365. См. также: http://www.climatechange.ru/files/Climate_Doctrine.doc Комплексный план реализации Климатической доктрины Российской Федерации на период до 2020 года. Распоряжение Правительства РФ от 25 апреля 2011 г. № 730-р «Об утверждении комплексного плана реализации Климатической доктрины РФ на период до 2020 г.». http://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/2074495/ см. также http://www.climatechange.ru/files/Climate_Doctrine_Action_Pl.

Во-вторых, технологической — наша страна очень отстала от развитых стран по уровню энергоэффективности экономики (более подробно см. приложение 1). Об этом сейчас очень много говорится, и усилия требуются не только от крупных предприятий и администраций городов и поселков, но и от населения. Ведь энергоэффективность — это не только более современная выработка тепла и электроэнергии, но и их меньшие потери. Экономисты подсчитали, что в нашей стране затраты на экономию 1 кВт·ч электроэнергии, например, за счет более современного освещения, в 3 раза меньше, чем затраты на добычу, доставку и сжигание топлива, требующегося для выработки этого 1 кВт·ч. Для развития экономики России гораздо эффективнее сберегать энергию, а не добывать все больше угля и газа[2].

В-третьих, климатической — именно в сбережении тепла и электроэнергии заключается возможность каждого из нас поучаствовать в снижении воздействия человека на климат. Конечно, есть и другие возможности, например, использование возобновляемых источников энергии (ВИЭ)[3], работа которых не приводит к выбросам $CO_2$. Рядовые граждане, школы и другие организации тоже могут внести свой вклад в использование ВИЭ. Однако пока в нашей стране эти возможности гораздо меньше, чем эффект от экономии тепла и электроэнергии.

Именно поэтому экономии тепла и электроэнергии посвящены два заключительных тематических раздела данной книги. Они подготовлены с использованием материалов, предоставленных Ольгой Сеновой («Друзья Балтики», Российский социально-экологический союз) и Марией Смирновой (АРМО «Этас»), включая и наработки, полученные в рамках программы ШПИРЭ.

Заметим, что в нашей стране в целом в жилых домах расход тепла на отопление и горячее водоснабжение — главный вид потребления энергии, а значит и выбросов $CO_2$. На втором месте

---

[2] Энергоэффективность в России: скрытый резерв. ЦЭНЭФ, Всемирный банк, IFC, Москва, 2008, с. 51. http://www.ifc.org/ifcext/rsefp.nsf/AttachmentsByTitle/FINAL_EE_report_rus.pdf/$FILE/FINAL_EE_report_rus.pdf. См. также: Энергоэффективная Россия. Пути снижения энергоемкости выбросов парниковых газов. McKinsey & Company, 2009. http://energosber.info/upload/pdf/CO2_Russia_RUS_final.pdf

[3] К ВИЭ относят энергию ветра, солнца, морских приливов, подземного геотермального тепла, гидроэнергетику. Использование биомассы в качестве топлива, например, древесины, древесных или сельскохозяйственных отходов, тоже относится к ВИЭ, так как $CO_2$, который выбрасывается при их сжигании, был в прошлые годы или десятилетия поглощен из атмосферы в процессе фотосинтеза и роста растений. Тут образуется как бы замкнутый круговорот $CO_2$. Заметим, что использование торфа к ВИЭ не относится, поскольку процессы его образования занимают тысячи лет – возобновление происходит несоизмеримо медленнее, чем использование.

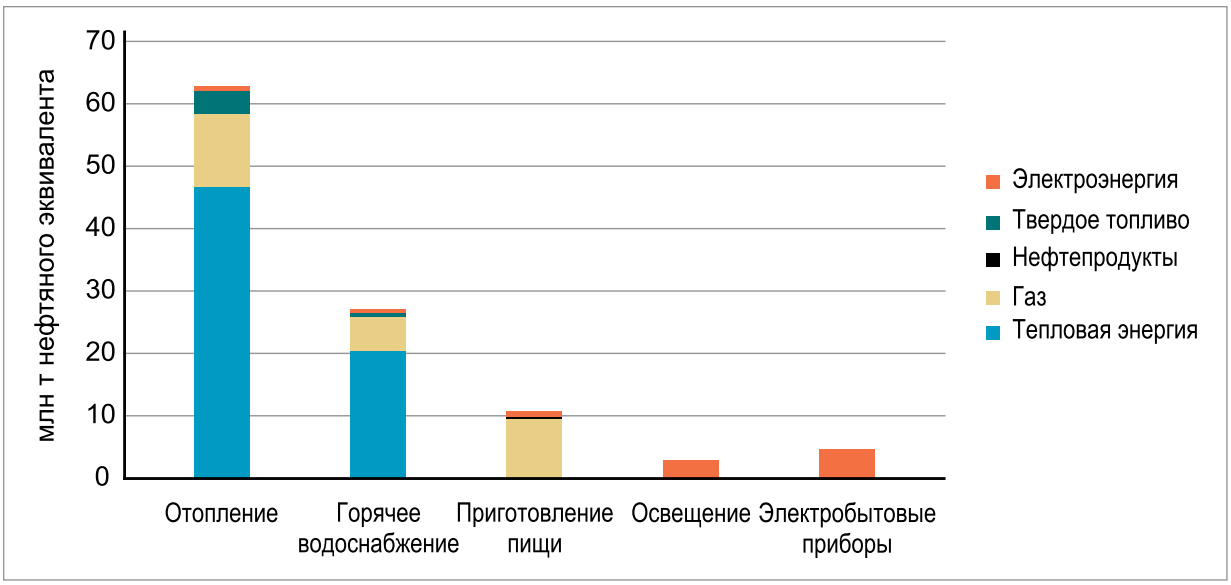



**Рис. 5.1 Потребление энергии в жилом секторе России**

*Источник:* Энергоэффективность в России: скрытый резерв. ЦЭНЭФ, WB, IFC, Москва, 2008, стр. 51 http://www.ifc.org/ifcext/rsefp.nsf/AttachmentsByTitle/FINAL_EE_report_rus.pdf/$FILE/FINAL_EE_report_rus.pdf

идет использование газа (на отопление, приготовление пищи и подогрев воды) и на третьем расход электроэнергии (рис. 5.1).

Расчеты показали, что в России даже самые простые меры по сбережению тепла в жилых домах (без их капитального ремонта) могут дать снижение выбросов на 70 млн т $CO_2$ в год[4], что больше, чем все выбросы парниковых газов в Швеции (более подробная информация о выбросах парниковых газов в мире и России дана в приложении 1). Заметим, что более сложные меры, которые реализуются при капитальном ремонте, дают столько же — по всей стране примерно 70 млн т ежегодного снижения выбросов $CO_2$. Получается, что малые и большие меры равновелики, и нести ответственность за сбережение тепла должны как строительные и обслуживающие дома организации, так и граждане[5].

Ниже сначала будет показано, как тепло в прямом смысле утекает из зданий, затем будут рассмотрены простейшие способы его сохранения, после чего будет дана краткая информация о «пассивных» домах — образцах идеальной теплоизоляции и сбережения тепла.

[4] Энергоэффективность в России: скрытый резерв. ЦЭНЭФ, Всемирный банк, IFC, Москва, 2008, с. 51. http://www.ifc.org/ifcext/rsefp.nsf/AttachmentsByTitle/FINAL_EE_report_rus.pdf/$FILE/FINAL_EE_report_rus.pdf. См. также: Энергоэффективная Россия. Пути снижения энергоемкости выбросов парниковых газов. McKinsey & Company, 2009. http://energosber.info/upload/pdf/CO2_Russia_RUS_final.pdf

[5] Там же.

# Источники потерь тепла в жилых зданиях

На теплопотери влияют два фактора: 1) разница температур в помещении и на улице — чем она больше, тем больше теплопотери, и 2) теплоизоляционные свойства ограждающих конструкций (стен, перекрытий, окон). Основные потери тепловой энергии зданий приходятся на стены, крышу, окна и полы. Значительная часть тепла покидает помещения через системы вентиляции.

Скрытые дефекты зданий, в результате которых тепло начинает «убегать» из дома, могут возникать и из-за некачественно выполненных строительных работ, и из-за ошибок в проектировании, и из-за старения конструкций дома и теплоизолирующих материалов.

Для того чтобы увидеть, насколько хорошо сохраняют тепло стены, перекрытия, окна домов, и определить, где происходят утечки тепла, используют тепловизоры — приборы, позволяющие оценить распределение температуры на любой поверхности, например, стене жилого дома. Именно это — температура поверхности здания — его стен, окон, стыков между панелями и т.п. приводится на рисунках 5.2–5.9. Распределение температуры отображается на дисплее как цветовое поле, где определенной температуре соответствует определенный цвет[6]. Рядом с изображением всегда приводят шкалу, показывающую соответствие цвета на рисунке и температуры в градусах Цельсия, — чем темнее цвет, тем ниже температура (шкала отдель-

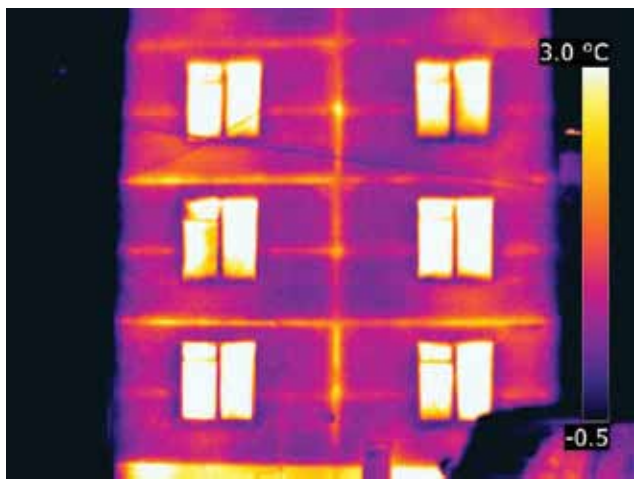



**Рис. 5.2 Пятиэтажный дом серии ГИ постройки 1960-х годов «светится» от теплопотерь межпанельных стыков.** Решением (если речь не идет о сносе или капитальном ремонте) может быть только качественный ремонт фасада с применением современных материалов

[6] *Источник рис. 5.2–5.6:* Урбан Ф. Как мы отапливаем улицы // Бюллетень недвижимости, 18 января 2012. http://www.bn.ru/articles/2012/01/18/89218.html

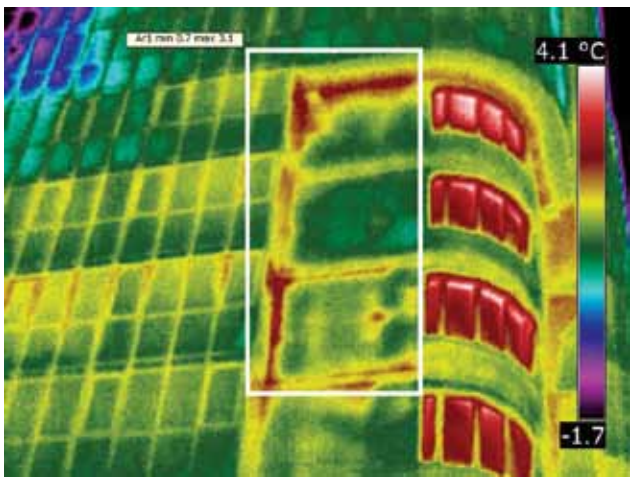



**Рис. 5.3 Продуваемый ветром угол кирпичного дома в Санкт-Петербурге.** Видны теплопотери в остеклении лоджий (ярко-красные «зубы» в правой части снимка), а также по швам перекрытий — во фрагменте, выделенном белой рамкой (слева вверху от фрагмента на белой полоске показаны минимальные и максимальные температуры в его пределах)

но приводится на каждом из рисунков 5.2–5.9). Если на поверхности здания есть яркие пятна или полосы, это говорит о более высокой температуре данных участков, которые в прямом смысле слова греются самим зданием — теплом, выходящим из внутренних помещений — комнат, чердаков, подвалов, лестничных клеток и т. п., в «ярких» местах теплоизоляция гораздо хуже, чем в «темных».

Межпанельные стыки. В любом панельном доме самое слабое место с точки зрения потерь тепла — стыки панелей наружного стенового ограждения (рис. 5.2–5.4).

Окна. В большинстве случаев тепло из квартир уходит через окна, см. рис. 5.1–5.6. От старости, кривых рам, плохой герметизации или в результате некачественной установки могут возникнуть щели. Плохо отрегулированный механизм открывания-закрыва-

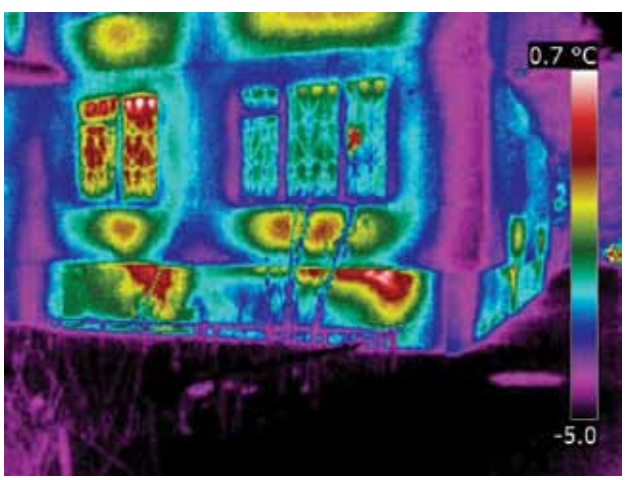



**Рис. 5.4 Серьезные дефекты в утеплении цокольного уровня дома 507-й серии («хрущевских» пятиэтажек)** — ярко-красные пятна внизу изображения. Выше видны радиаторы, расположенные под окнами (зоны утечек тепла — прогрев радиаторами отопления)

**Рис. 5.5 Оконные дефекты в «сталинском» доме в Санкт-Петербурге** (на углу Варшавской ул. и Ленинского пр.). Тепловизорная диагностика показывает как дефекты в установке окон — яркие полосы, так и проблемы, связанные с некачественными окнами, — во фрагменте, выделенном белой рамкой (слева вверху от фрагмента на белой полоске показаны минимальные и максимальные температуры в его пределах)

ния окна, отсутствие обещанного производителем аргонового заполнения[7] или металлического напыления (так называемые i- или k-стекла[8]) также может привести к утечке тепла. Металлическое

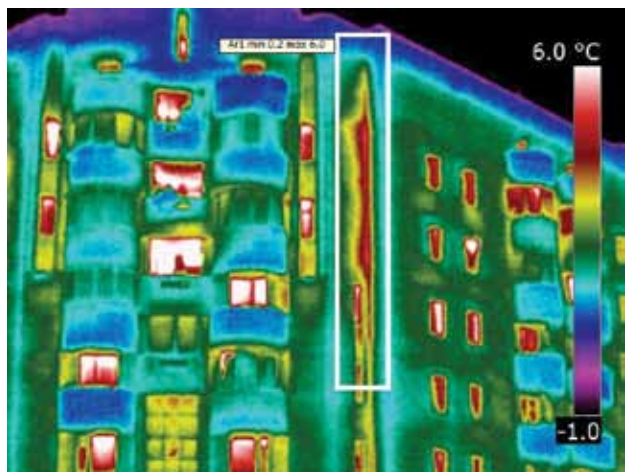



**Рис. 5.6 Кирпичный дом — некоторые окна не выдерживают никакой критики,** также видны потери тепла по месту сопряжения плоскостей стен во фрагменте, выделенном белой рамкой (слева вверху от фрагмента на белой полоске показаны минимальные и максимальные температуры в его пределах)

[7] Заполнение пространства между стеклами инертным газом аргоном немного снижает теплопередачу. Аргон примерно в 1,5 раза тяжелее воздуха, и его теплопроводность тоже примерно в 1,5 раза ниже. Кроме того, заполнение более тяжелым газом снижает конвекцию внутри стеклопакета, что также хорошо для его теплоизолирующих свойств. Заполнение аргоном в принципе повышает звукоизолирующие свойства и снижает светопропускание, но это очень малые эффекты.

[8] В i-стеклах на внутреннюю сторону внешнего стекла нанесено металлическое напыление (оно легко повреждается, поэтому всегда должно быть внутри стеклопакета). Есть еще k-стекла, где металлические частицы внедрены в само стекло, а не на его поверхность. По сохранению тепла это менее совершенный вариант, однако он пригоден там, где есть контакт с окружающей средой или комнатным воздухом, например при использовании рам с одним стеклом.

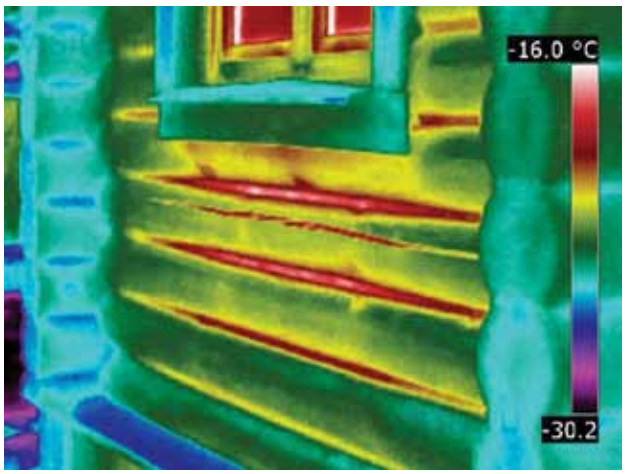



**Рис. 5.7**
**Деревянный сруб: потери тепла между бревнами и через старые окна**

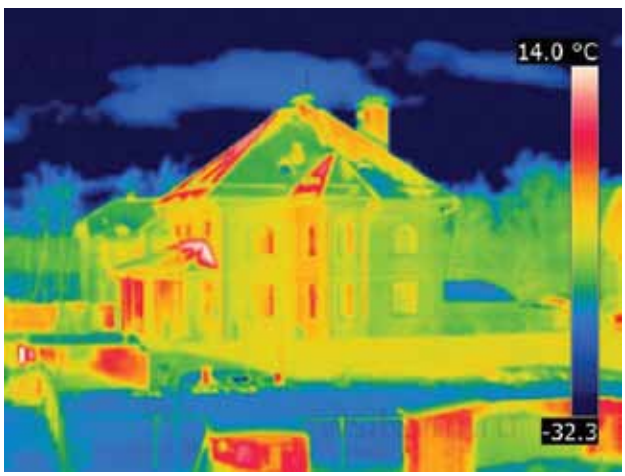



**Рис. 5.8**
**Потери тепла в «современном» коттедже**

напыление[9] отражает исходящее из комнаты инфракрасное излучение назад. В результате однокамерный стеклопакет с i-стеклом при внешней температуре –20 °C, а комнатной температуре +20 °C, будет держать температуру обращенной в комнату поверхности внутреннего стекла, равную +13 – +15 °C[10], в то время как такой же пакет без напыления даст только +5 – +7 °C. Такое повышение температуры еще и снижает вертикальную конвекцию вдоль плоскости стекла, и в морозы становится комфортно сидеть

[9] Наличие напыления можно проверить. Если в комнате рядом со стеклом зажечь свечку, то отражение будет двоиться. Дальний язычок пламени (отражение от внешнего стекла с напылением) будет чуть красновато-фиолетовым, а ближний (отражение от внутреннего стекла) — более желтоватым.

[10] k-стекло даст +10 – +12 °C.

в комнате даже рядом с окном. Кроме того, напыление в летнее время несколько снижает поток солнечного света.

Также очень серьезной проблемой является потеря тепла через стыки стеклопакета или из-за плохого утепления всего окна по периметру.

В сельских домах и коттеджах с помощью тепловизоров тоже можно четко увидеть потери тепла (рис. 5.7 и 5.8)[11]. Для владельца собственного дома каждая оставленная открытой форточка, щель в стене или «мостик» холода в виде куска арматуры, соединяющего внутренние помещения с открытым воздухом, оборачиваются лишними кубометрами дров или газа.

В многоквартирных домах все сложнее. При отсутствии индивидуальных приборов учета тепла в квартирах жильцы таких домов по-прежнему вынуждены оплачивать открытые окна соседей и лестничных клеток. Если в квартире холодно, то мы начинаем нагревать помещения различными приборами, как правило, электрическими. При таком нагреве за месяц можно легко потратить 300 и более кВт·ч, что оборачивается большими счетами. Гораздо лучше сохранить, чем расплачиваться.

## Как сохранить тепло?

Как мы видели на тепловизорных изображениях, основные потери тепла происходят через некачественные стыки между панелями, через окна, щели под подоконниками и т. п. Конечно, утеплять многоквартирный дом — задача обслуживающих организаций, но предотвратить немалые потери тепла в квартире может и каждая семья[12].

Замена или утепление окон. Современные пластиковые (или деревянные) оконные конструкции прекрасно защищают от холода, за ними легко ухаживать, они просты в эксплуатации (Совет 1). Увы, ваши счета за тепло останутся прежними, ведь у нас пока нет индивидуальных счетчиков тепла. Однако если раньше в особо холодные дни вам приходилось подтапливать с помощью электронагревателей, то теперь это будет не нужно и счета за электричество станут существенно меньше. Если вы подсчитываете

---

[11] *Источник изображений:* Центр альтернативной энергетики, http://auditenergy.ru/thermo.html

[12] Примеры конкретных действий по сбережению тепла, выполненных школьниками в Архангельской области, можно найти в приложении 4.

семейный бюджет и думаете, во что обойдутся новые окна, учтите данную экономию. За год это будет немного, но за 20 и более лет службы окон они могут окупиться с «запасом».

При установке пластиковых окон помните, что щели между оконной рамой и стеной, а также под подоконником необходимо тщательно закрыть, как правило, специальной монтажной пеной (Совет 2). Нужно тщательно восстановить внешние откосы, причем так, чтобы пена была изолирована от влаги и солнечных лучей. Иначе со временем герметизация нарушается, образуются «мостики холода». Откосы внутри квартиры можно утеплить с помощью «сэндвич-панелей» (панель с внутренней прослойкой теплоизолирующего материала), не забывая герметизировать их стыки со стенами и с окнами.

**Совет 1:** Если есть возможность, поменяйте окна на современные пластиковые или деревянные стеклопакеты.

**Совет 2:** Если вы меняете окна, то главное внимание обращайте на стыки между отдельными стеклопакетами, а также на герметизацию щелей между окнами и стенами, потолком и подоконником.

**Совет 3:** Если окна не меняются на современные, то их надо утеплить: как минимум заложить щели поролоном, а затем заклеить малярным скотчем.

**Совет 4:** Шторы должны быть плотными и полностью закрывать окно. Желательно, чтобы шторы закрывали всю стену от пола до потолка. В холодные дни можно приподнять их нижний край, чтобы шторы не закрывали батареи отопления.

Если поменять окна невозможно, то займитесь их утеплением. Пройдите вдоль рам с зажженной свечой или тонким перышком. Отклонение пламени свечи укажет вам на сквозные отверстия, через которые уходит тепло. Если холод в помещение проникает через щели, образовавшиеся между стеклом и рамой, то их необходимо зашпаклевать. Лучше это сделать осенью, поскольку шпаклевка не выносит резких перепадов температуры. Наносят ее на сухие рамы.

Заклеивайте окна на зиму (Совет 3). Во избежание порчи краски на рамах лучше заклеивать заложенные поролоном (или другим утеплителем) щели малярным скотчем. После удаления весной он не будет оставлять следов. К достоинствам современных утеплителей можно отнести надежную теплоизоляцию окон

и возможность многократного открывания-закрывания окон с наклеенными уплотнителями.

Если в помещении трудно сохранять тепло, то отнеситесь серьезно и к выбору штор. Они должны быть плотными, от пола до потолка. По возможности не закрывайте ими батареи центрального отопления, чтобы они не задерживали тепло (Совет 4).

Сохранению тепла в квартире также поможет утепление балкона (лоджии): герметичное остекление и утепление всех его стен, пола и потолка.

Утепление входной двери. Входная дверь может быть серьезным источником потери тепла. Если дверь пропускает холод, то идеальный вариант — заменить ее на новую, не пропускающую холод и шум (Совет 5).

К сожалению, часто замена входной двери на металлическую приводит к нарушению герметизации и щелям между коробкой и стенами. Если вы меняете дверь — внимательно отнеситесь к установке. Помните, что если собственно двери незначительно отличаются между собой, то качество их установки — очень важный фактор как в снижении потерь тепла, так и в изоляции вашей квартиры от шума (Совет 6).

**Совет 5:** Если есть возможность, поменяйте дверь на современную, не пропускающую холод и шум.

**Совет 6:** Если вы меняете дверь, то главное внимание обращайте на герметизацию щелей между дверной коробкой и стенами.

**Совет 7:** Если дверь не меняется на современную, то ее надо утеплить, обить теплоизолирующим материалом, особое внимание уделите щели под дверью.

Если дверь поменять невозможно, то ее утепление можно осуществить своими силами — обив дверь тонким пенопластом, ватином или другим теплоизолирующим материалом, а затем кожзаменителем. Отдельное внимание уделяют щели под дверью. Чтобы избавиться от нее, можно наклеить на дверь снизу специальную щетку, установить порог или сделать его выше (Совет 7).

Утепление стен и полов. Если в квартире холодно, то важно утеплить и стены. Более эффективно внешнее утепление наружных стен, выходящих на улицу. Наиболее подходящий способ — использование «мокрого» фасада. К стене крепится теплоизоли-

рующий материал (на основе минеральной ваты), затем кладется сетка и отштукатуривается.

Утепление квартиры изнутри обычно менее результативно из-за того, что стыки стен с межэтажными перекрытиями образуют дополнительные «мостики холода», которые сложно утеплить и герметизировать без образования внутри квартиры влаги — конденсата (последствием которого может стать появление грибка и плесени). Однако если нет других возможностей, то, конечно, утепляют помещение изнутри, для чего чаще всего применяют обшивку гипсокартоном (Совет 8).

Еще один способ сохранения тепла — правильная расстановка мебели. Вдоль самых холодных стен должны быть установлены шкафы — тогда они будут служить дополнительным препятствием для проникновения холода от стен внутрь помещения. Здесь же заметим, что мебель в помещении не должна препятствовать циркуляции теплого воздуха, поэтому не ставьте ничего рядом с батареей, внутрь ее должен свободно поступать воздух (Совет 9).

**Совет 8:** Если окна и двери утеплены, но все равно холодно, то можно утеплить стены, например, обшив их гипсокартоном.

**Совет 9:** Нужно правильно расставлять мебель: вдоль самых холодных стен можно поставить шкафы, а батареи отопления ни в коем случае не загораживать.

**Совет 10:** Хорошей и недорогой теплоизоляцией пола будет линолеум на войлочной основе, но его надо положить не приклеивая.

Утеплить пол в уже построенном доме сложно, однако иногда это необходимо. Самый простой и доступный вариант — положить линолеум на войлочной основе. Однако ни в коем случае не надо приклеивать его к полу, иначе слипшийся войлок потеряет теплоизоляционные свойства (Совет 10). Также под любое из напольных покрытий можно укладывать специальный утеплитель.

Замена и правильный уход за радиаторами отопления. Наиболее очевидный способ улучшить качество отопления помещения — заменить старые радиаторы на современные. Если вы решились на замену, учитывайте, что работы нужно проводить до начала отопительного сезона, ведь с его наступлением сантехники могут просто отказать в услуге. Планируя приобрести новые радиаторы, выбирайте такие, которые оснащены регулировкой

мощности. Для возможности регулировать работу батареи нужно, чтобы меньшее поступление воды в ваш радиатор не перекрывало весь стояк отопления — вертикальную трубу, идущую через все этажи здания (каждая батарея должна иметь индивидуальное подключение к стояку, если этого нет, то параллельно каждой батарее делаются вертикальные перемычки), см. Совет 11.

Если это невозможно, можно заставить старые батареи работать с большей отдачей. Для этого необходимо снять с них старую краску, ошкурить и выкрасить в темный цвет — гладкая и темная поверхность отдает на 5–10% тепла больше. Также можно взять лист фанеры, покрасить серебристой краской или оклеить фольгой, а затем поместить за батарею. Можно покрасить или оклеить фольгой и саму стену за батареей. Такой теплоотражающий экран направит тепло в квартиру, и вы не будете впустую обогревать стены (Совет 12).

**Совет 11:** Если есть возможность, поменяйте батареи отопления на современные, причем с регулятором мощности. Если нужно, сделайте перемычки, чтобы вода могла идти по всему зданию независимо от вашего регулятора.

**Совет 12:** Эффективность работы батареи увеличится, если между стеной и батареей будет серебристая поверхность: можно покрасить стену или оклеить ее фольгой, можно поставить серебристый лист.

Батареи надо регулярно протирать от пыли, поскольку она препятствует теплоотдаче. Напомним, что шторы и мебель не должны препятствовать оттоку тепла от радиатора в помещение.

Необходимо также следить за сохранением тепла в подъезде: окна на лестничных площадках должны быть застеклены и закрыты, парадная дверь также должна плотно закрываться, лучше, если входных дверей несколько.

Заметим здесь же, что нахождение в прохладном помещении более полезно для здоровья, чем в жарком. Если вам холодно, то прежде чем включать обогреватель, подумайте: может, стоит надеть что-то теплое. Это в разумных пределах даже полезней и к тому же позволит сэкономить электроэнергию.

# «Пассивные» дома

«Пассивным» называют дом, который имеет очень хорошие теплоизоляционные свойства и почти не требует отопления. Очень небольшое отопление нужно только при внешней температуре воздуха ниже нуля. Такие дома строят во многих странах мира, прежде всего, в Европе. В «пассивном» доме потери тепла в разы меньше, чем в обычном, даже самом современном. Есть примеры домов, которые не требуют отопления даже при сильно отрицательных температурах, но, конечно, они гораздо дороже.

Проект одного из первых «пассивных» домов был разработан Институтом пассивного дома в Дармштадте[13], Германия. При строительстве «пассивных» домов применяют самые передовые конструкции и материалы, а также используют новейшее оборудование. Такие дома самые совершенные по уровню комфорта, энергозатратам и внутреннему климату в помещении. «Пассивные» дома автоматически поддерживают комфортную температуру и влажность.

Популярность таких домов растет еще и потому, что в прессе появились многочисленные отзывы о пользе «пассивных» домов для людей, страдающих от аллергии. Свою роль сыграло и снижение стоимости строительства пассивных домов почти до уровня стоимости обычных домов, что стало возможным с ростом масштабов их строительства и благодаря совершенствованию технологий, инженерного оборудования и строительства.

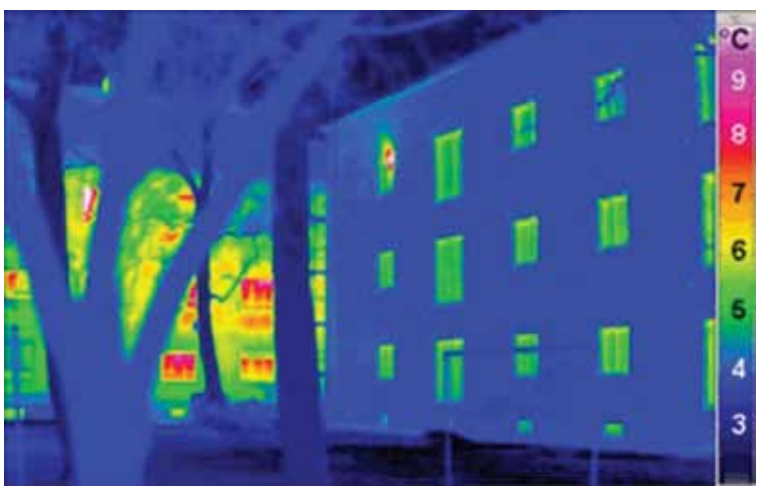



**Рис. 5.9 Тепловизорная съемка «пассивного» дома (справа) и обычного дома (слева)**

*Источник:* http://konstryktorov.net/alternativnaya-energiya/chto-takoe-passivnyiy-dom

[13] http://konstryktorov.net/alternativnaya-energiya/chto-takoe-passivnyiy-dom/

Важной составляющей «пассивного» дома является уровень герметичности внешних конструкций и их усиленная теплоизоляция. Также используется эффект сохранения выделяемого в доме тепла. По максимуму применяются имеющиеся у дома возобновляемые источники энергии, как правило, солнечная энергия и геотермальная энергия земли (под землей температура всегда постоянна и в северных странах зимой гораздо выше температуры воздуха). Используется приточно-вытяжная вентиляция с очисткой впускаемого воздуха и рекуперацией тепла, применяются энергоэффективные архитектурно-планировочные решения (правильная ориентация по сторонам света и розе ветров, энергетически правильное расположение входных дверей и др.). Большинство окон «пассивного» дома обращены на юг, что дает значительный приток света и энергии даже в северных широтах.

Немаловажен и выбор энергоэффективной формы строения. При одинаковом объеме внутренних помещений меньше всего отдавать тепло будет здание в виде шара. Конечно, такая форма неудобна для строительства, но, как правило, «пассивные» дома стараются к ней приблизиться. Они часто имеют форму куба или лежащей на боку половинки цилиндра. Дом в виде вертикально стоящей тонкой «пластины» будет менее энергоэффективен.

Такому дому не страшны неожиданные перебои с источниками внешнего отопления. При температуре за окном –15 °С «пассивный» дом остывает всего на 1 °С за сутки. Такого эффективного теплосбережения удается добиться, например, благодаря аккумулирующим тепло массивным несущим стенам, совершенным плитам пола первого этажа и межэтажных перекрытий.

В Москве построено несколько экспериментальных зданий с использованием отдельных технологий, освоение которых важно для последующего строительства «пассивных» домов. Пока эти дома, конечно, очень далеки от «пассивных», но определенная экономия тепла в них достигается.

В Томске уже построен близкий к «пассивному» коттедж общей площадью 87 м$^2$. Он состоит из керамзитобетонных панелей, которые отлично сохраняют тепло и при этом очень недороги. Для снижения затрат на эксплуатацию применены современные энергосберегающие технологии, в частности, установлен тепловой насос для отопления при помощи геотермального тепла. По предварительной оценке, снижение энергопотребления такого дома составит более 70%.

Демонстрационный вариант «пассивного» дома построен недалеко от Санкт-Петербурга. Там же начато строительство первого поселка «пассивных» домов. Строительство демонстрационного «пассивного» дома идет и в Нижнем Новгороде.

Строительство «пассивных» домов тесно сопряжено с разработкой и строительством так называемых «интеллектуальных» домов с автоматическим выполнением массы хозяйственных функций, включая и внутренний климат помещений — поддержание заданной температуры и влажности помещений. Вероятно, эти дома и могут называться домами будущего, пока же элементы «интеллектуальных» домов служат демонстрационным объектом и наглядным учебным пособием.

ТЕМА 6

# СБЕРЕЖЕНИЕ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ: ЭТО МОЖЕТ СДЕЛАТЬ КАЖДЫЙ

# Потребление и возможности экономии электроэнергии

В среднем каждый житель России дома тратит примерно 2 кВт·ч электроэнергии в день. Самый экономный житель укладывается в 1 кВт·ч в день, а расточительному надо 3 и более кВт·ч в день[1]. В пересчете на год разница между экономными и расточительными около 700 кВт·ч на человека. В зависимости от региона и времени потребления энергии (если счетчик двух- или трехрежимный, то ночью электричество обходится гораздо дешевле) экономный выигрывает у расточительного примерно 2 тыс. руб. в год, или 6 тыс. на семью из 3 человек.

В больших семьях часто легче тратить на человека меньше электроэнергии (например, один и тот же холодильник используется на всех), с другой стороны, в них, как правило, больше детей, на которых тратится больше электроэнергии (например, при стирке). Поэтому в среднем расход на человека можно рассматривать как типичный показатель, не сильно зависящий от размера семьи. Фактически важным отличием, на которое вы не можете повлиять, является только наличие газа и газовой плиты, электроплита — самый мощный электроприбор в вашей квартире, и расходует она немало электричества. Однако, как показывается ниже, и для нее есть способы более экономного расхода энергии.

Вы сами можете подсчитать, сколько кВт·ч расходует ваша семья в месяц и в среднем за день, а потом сравнить со средним по России. Так вы увидите, кем можете себя считать, экономным или расточительным.

Рассмотрим, из чего состоит домашний годовой «бюджет» электроэнергии среднего жителя нашей страны (рис 6.1).

Освещение: средний житель тратит 160 кВт·ч, расточительный — 240 кВт·ч, а экономный — только 40 кВт·ч. Большая экономия достигается за счет энергосберегающих люминесцентных

[1] Основой для расчетов данного раздела явилось исследование «Энергоэффективность в России: скрытый резерв». ЦЭНЭФ, Всемирный банк, IFC, Москва, 2008, 164 с. http://www.ifc.org/ifcext/rsefp.nsf/AttachmentsByTitle/FINAL_EE_report_rus.pdf/$FILE/FINAL_EE_report_rus.pdf

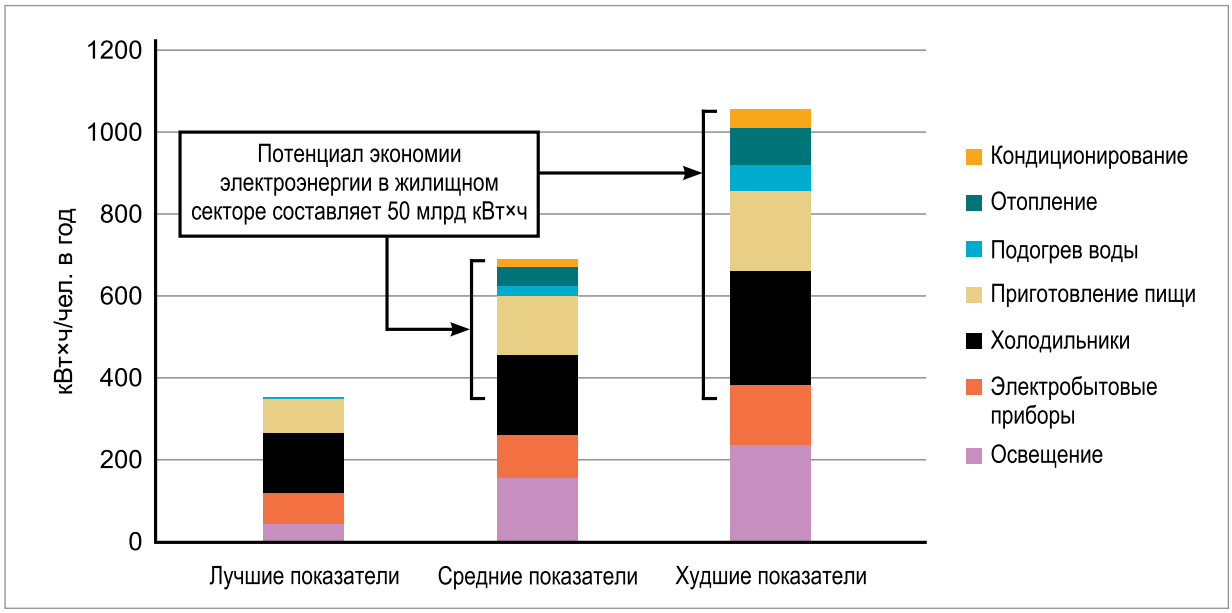



**Рис. 6.1 Лучшие, средние и худшие показатели расхода электроэнергии на бытовые цели. Потенциал экономии электроэнергии**

*Источник:* Энергоэффективность в России: скрытый резерв. ЦЭНЭФ, Всемирный банк, IFC, Москва, 2008, стр. 54. http://www.ifc.org/ifcext/rsefp.nsf/AttachmentsByTitle/FINAL_EE_report_rus.pdf/$FILE/FINAL_EE_report_rus.pdf

ламп, а сейчас — и все большего использования светодиодов. Статистика показывает, каких кардинальных успехов достигают экономные граждане. Переход на новые лампы приводит к тому, что на освещение они тратят лишь чуть более 10% всей электроэнергии. Разница между экономным и расточительным пользователем — 6 раз (Совет 1). При этом не менее 20% экономии дает более рачительное отношение к освещению — выключение неиспользуемого света (Совет 2). Ваша потребность в освещении также зависит от стен и мебели (Совет 3).

Максимальную экономию дают светодиодные источники света — они потребляют в 2 раза меньше электроэнергии, чем люминесцентные лампы при той же светоотдаче. Важно, что они имеют долгий срок службы, работают беззвучно, не нагреваются, гораздо более устойчивы к ударам и не нуждаются в специальной утилизации, как люминесцентные, содержащие ртуть. Заметим, что ртути

**Совет 1:** Вы можете сами подсчитать расход энергии на освещение: умножьте мощность каждой лампы на число минут или часов, когда она горит. Сравните себя с экономным потребителем.

**Совет 2:** Переход на новые лампы, а тем более на светодиоды, позволит кардинально сократить расход электроэнергии на освещение, но все же не забывайте выключать свет, даже светодиодный!

**Совет 3:** Помните, что светлые стены и мебель в квартире делают ее светлее, поскольку лучше отражают дневной или электрический свет.

в люминесцентных лампах очень мало, гораздо меньше, чем в медицинском градуснике. Да и сами лампы — это не что-то совершенно новое, они широко использовались еще в 1970–1980-е годы, но тогда это были только длинные белые «трубочки», требующие специального подключения. Сейчас их научились делать компактными и вставляющимися в обычный патрон. Поэтому бояться их из-за наличия ртути не нужно, но простейшие меры безопасности надо соблюдать (Совет 4), а отработавшие лампы не выбрасывать с обычным мусором, а, насколько возможно, относить в пункты приема (Совет 5).

**Совет 4:** Люминесцентные лампы редко разбиваются вдребезги. Как правило, появляется лишь трещина, тогда лампу надо положить в полиэтиленовый пакет без дыр и хорошо его завязать. Однако если лампа все же разбилась на части, то самое главное — избежать вдыхания паров ртути. Нужно немедленно открыть окна и хорошо проветрить помещение в течение нескольких минут. Только потом можно собрать осколки. Ни в коем случае нельзя бросаться собирать их сразу, тем более наклоняясь непосредственно к месту «трагедии».

**Совет 5:** Найдите в Интернете (например, можно использовать официальный сайт Гринпис России) и/или в вашей эксплуатирующей дома организации (ДЭЗ и т.п.) адреса пунктов приема отработанных энергосберегающих ламп.

Современные лампы на светодиодах уже имеют различный спектр излучения, в том числе и близкий к солнечному свету, причем работают они без мерцания, что позволяет исключить усталость глаз при работе. Пока стоимость светодиодных ламп достаточно высока, но с развитием технологий и ростом объемов производства цена будет снижаться. Вероятно, за ними наше будущее, когда на освещение будет тратиться лишь очень малая доля электроэнергии.

Электробытовые приборы. Средний житель тратит 100 кВт·ч, расточительный — 120 кВт·ч, а экономный — 80 кВт·ч. Здесь разница гораздо меньше, чем в освещении. Имеются в виду все бытовые электроприборы, кроме плиты и холодильника, о них стоит говорить отдельно. Статистика показывает, что современные электроприборы не только более удобны в эксплуатации, но и более экономичны, поэтому их предпочитает большая часть населения.

Однако сбережение энергии достигается не только за счет более энергоэффективных приборов — стиральных машин, телевизоров, фенов, утюгов, но и за счет стиля их использования. Особенно это

касается стиральной машины, ведь она сама нагревает воду, а это очень энергоемкий процесс. В большинстве случаев достаточно стирки при 30 °С в течение получаса (во всех современных стиральных машинах для этого есть соответствующий режим работы). Более того, современные стиральные порошки содержат ферменты, обеспечивающие качественную стирку даже при столь низкой температуре. Такая стирка требует почти в 10 раз меньше энергии, чем полтора часа стирки при температуре 90 °С (Совет 6). Также старайтесь использовать полную загрузку машины, это значительно сократит как удельный расход электроэнергии, так и расход воды (удельный — на стирку 1 кг вещей), см. Совет 7.

Можно экономить и на более мелких приборах, например на электрочайнике. Если каждый раз кипятить полный чайник, то на это уйдет в 2–4 раза больше электроэнергии, чем если кипятить только половину или четверть — тот объем кипятка, который вы сейчас собираетесь использовать (Совет 8).

Более того, можно экономить и на выключенной технике. Сейчас в наиболее развитых странах, например в Швейцарии, на важное место по расходу энергии выходит работа многочисленной электронной техники в ждущем режиме (stand by), когда прибор (чаще всего видеомагнитофон) после выключения долгое время остается подключенным к сети, но не работает. Казалось бы, пустяк, но если приборов много, то это уже значительно (Совет 9). Сейчас ждущий режим обычно потребляет несколько ватт в час. Несколько приборов могут дать 10 кВт·ч или 0,24 кВт·ч в сутки. Если человек живет один, то это уже четверть его суточного

**Совет 6:** Используйте экономный режим работы стиральной машины: стирку в течение 30–40 мин. при температуре 30 °С.

**Совет 7:** Стирайте по мере накопления достаточно большого количества вещей, чтобы загрузка машины была, насколько возможно, полной.

**Совет 8:** Включая электрочайник, задумайтесь, сколько вам нужно воды. В большинстве случаев достаточно 0,5–0,7 л.

**Совет 9:** Если вы редко пользуетесь магнитофоном или телевизором, выключите их кнопкой выключения, а не просто с пульта дистанционного управления (в этом случае будет включен режим stand by): экономия будет небольшая, но ведь и расход совершенно не имеет смысла.

**Совет 10:** Если у вас внешний модем для выхода в Интернет (не встроенный в компьютер), то не забывайте его выключать.

расхода электроэнергии в экономном режиме жизни. Компьютер обычно выключают кнопкой, но и тут может быть хитрость. Посмотрите, как у вас подсоединен модем для выхода в Интернет. Он может быть запитан отдельно и не выключаться при выключении компьютера. Этот «тихий пожиратель» электричества может расходовать 10–30 Вт, а старые образцы — даже до 60 Вт (Совет 10).

Холодильник. По среднегодовому расходу это самый энергоемкий прибор в вашей квартире, и от его качества и стиля использования ваш расход электроэнергии зависит очень сильно. Средний житель тратит в год на холодильник 200 кВт·ч, расточительный — 300 кВт·ч, а экономный — 150 кВт·ч.

Если сравнить современный холодильник с его предшественником 20–30-летней давности (того же объема и потребительских характеристик), то разница в энергопотреблении может составлять 3 и даже 5 раз, особенно когда через старые уплотнители, потерявшие эластичность, в холодильник проникает теплый воздух. Для энергоэкономной семьи из 1–2 человек покупка нового холодильника может в полтора раза снизить счета за электричество (Совет 11). Большинство новых бытовых холодильников вполне современны по энергопотреблению и отвечают классам «А» (номинальное энергопотребление — 300 кВт·ч в год) или «В» (номинальное энергопотребление — 365 кВт·ч в год).

Кроме того, имеет значение и то, как вы используете холодильник. Чем меньше вы его открываете, тем лучше, вы вполне можете экономно расходовать холод вашего холодильника (Совет 12). Также не надо поддерживать в холодильнике излишне холодную температуру. Ее можно изменять регулятором, обычно для типичных условий эксплуатации достаточно поставить регулятор

**Совет 11:** Если вас не устраивают счета за электричество, прежде всего, посмотрите, какой у вас холодильник!

**Совет 12:** Не используйте холодильник как выставку еды: нужно заранее знать, что вы хотите оттуда взять, тогда дверца будет открыта короткое время, и теплый воздух из комнаты будет минимально попадать в холодильник.

**Совет 13:** Держите регулятор холодильника в положении, близком к минимуму, — на делении 1–2 из 5 (или на 2–4 из 10, в зависимости от шкалы конкретного регулятора).

**Совет 14:** Холодильник не должен стоять рядом с плитой или непосредственно у радиатора отопления.

в положение, близкое к минимуму (Совет 13). Чем меньше при этом разница температур между воздухом в комнате и в холодильнике, тем меньше теплообмен и тем меньше расход энергии. Из этого следует, что не надо ставить холодильник в более жарких местах вашей кухни, например рядом с плитой (Совет 14). Ну и конечно, нельзя ставить в холодильник теплую еду: для этого лучше подойдет балкон или столик на кухне.

Электроплита. Это самый мощный электроприбор в вашей квартире: при всех включенных конфорках и духовке она может потреблять до 20 кВт, что в 10 раз больше мощного электрочайника или утюга. Но электрический чайник отключается при закипании воды, а оставить включенным утюг мы боимся. А вот оставить плиту включенной на время телефонного разговора с подругой — пожалуйста (Совет 15). Средний житель тратит в год на электроплиту 150 кВт·ч, расточительный — 200 кВт·ч, а экономный — 90 кВт·ч. Это среднестатистические данные для всех жителей, тогда как примерно половина домов в нашей стране имеет газовые плиты. Поэтому если взять только владельцев электроплит, то указанные выше числа надо умножить примерно на 2.

В любом случае расход энергии во время приготовления пищи экономным жителем отличается от расточительного в 2 раза. Прежде всего, дело в типе плиты. Обычные плиты с конфорками-«блинчиками» имеют две проблемы: медленно разогреваются (и потом долго остывают и нагревают кухню) и, главное, «блинчики» очень быстро становятся выпуклыми. Исправить их невозможно, только заменять на новые. Еще можно посоветовать, особенно если вы готовите немного, использовать только одну и ту же самую лучшую и ровную конфорку — готовить блюда не одновременно, а одно за другим (Совет 16).

**Совет 15:** Выключайте электроплиту, если у вас по тем или иным причинам возникла пауза в нагревании пищи и плита вам не нужна.

**Совет 16:** Если у вас плита с круглыми «блинчиками», то следите за их состоянием, старайтесь использовать только ровные «блинчики», дающие хороший контакт с посудой.

**Совет 17:** При выборе плиты рассмотрите возможность приобретения электроплиты с плоской керамической панелью.

**Совет 18:** Используйте только кастрюли и сковородки с плоским дном, особенно на плите с плоской керамической панелью.

Новые плиты с керамическими панелями — идеально ровные, поэтому передача тепла к кастрюле или сковородке на них идет несоизмеримо быстрее (Совет 17). Их нагревательные элементы быстро нагреваются и так же быстро остывают. Собственно панель стоит недорого, а покупать ее в комплекте с плитой дорогих марок совершенно не обязательно. Панель может быть встроена и в обычный кухонный столик, а духовка может быть куплена отдельно, причем любая, ведь большинство из нас пользуется ею гораздо реже, чем конфорками.

О том, что для электроплиты нужна посуда с плоским дном, вероятно, знают все. При варке на обычной плите с неровными «блинчиками» это не столь важно, а неровное дно кастрюли при варке на керамической может свести на нет все ее преимущества (Совет 18).

Отопление, подогрев воды, кондиционеры. В эту категорию входят электронагреватели воздуха и воды, которые используются, когда в квартире холодно, есть перебои с горячей водой и т. п. Средний житель России тратит в год 30 кВт·ч, расточительный — 90 кВт·ч, а экономный не тратит практически ничего. Получается, что у экономных жителей окна и двери уже утеплены и нагревать помещение электричеством им не надо. Остальным же желательно обратиться к советам, которые даны в предыдущем тематическом разделе, посвященном сбережению тепла.

Кондиционеры у нас ставят все чаще, но если отдельно не рассматривать южные регионы страны, то используются они обычно очень немного дней в году, и в масштабе страны их, вероятно, рассматривать рано (см. рис. 6.1).

Надо признать, что если у человека нет моральных стимулов беречь энергию (так же как и не бросать мусор где попало или не лить воду без надобности), то экономическими соображениями его пока сложно побудить к экономии электричества. Но дайте время: тарифы растут и могут стать «европейскими», а доходы наши вряд ли значительно увеличатся. Тогда будет куда больше стимулов экономить энергию.

Пока же больше всего для вашего бюджета даст постановка двух- или трехдиапазонных счетчиков («день-ночь» или «пик-полупик-ночь») и максимальное использование ночного тарифа, который может быть в 3–5 раз меньше, чем пиковый. На общий расход электроэнергии и «ваши» выбросы $CO_2$ это практически не повлияет (более оптимальный режим работы электростанций

даст некоторую экономию топлива, но относительно небольшую), однако платить вы будете меньше. Во многих странах стало нормой запускать стиральную машину по ночам. Использовать электрические нагреватели, если это нужно, тоже гораздо выгоднее ночью.

## Маркировка энергоэффективности

Европейская маркировка энергоэффективности (European energy label) была разработана Европейской комиссией и стала обязательной для бытовых электроприборов и ламп, продаваемых в странах ЕС, еще в 1995 г. Цель этикетки — дать потребителям возможность сравнить энергоэффективность, а также некоторые другие потребительские свойства аналогичных товаров одного или нескольких производителей (рис. 6.2). Наиболее энергоэффективны товары, имеющие класс энергоэффективности «A» (либо даже выше — «A+», «A++», «A+++»), наименее — имеющие маркировку класса «G».

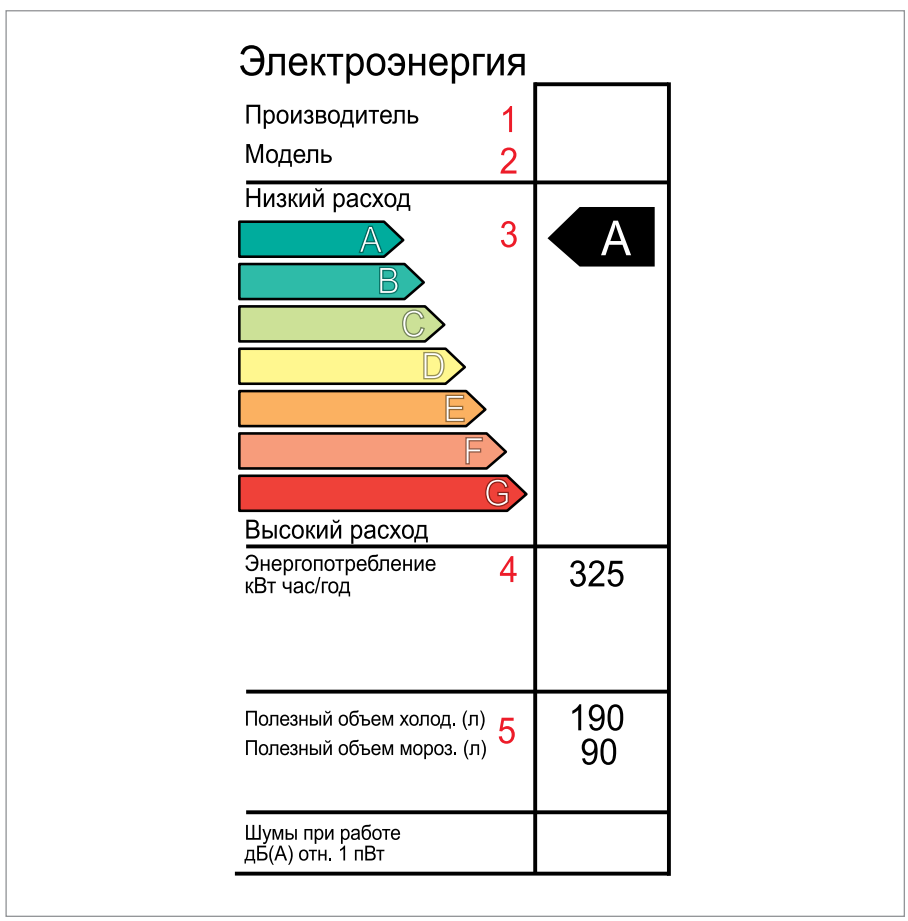
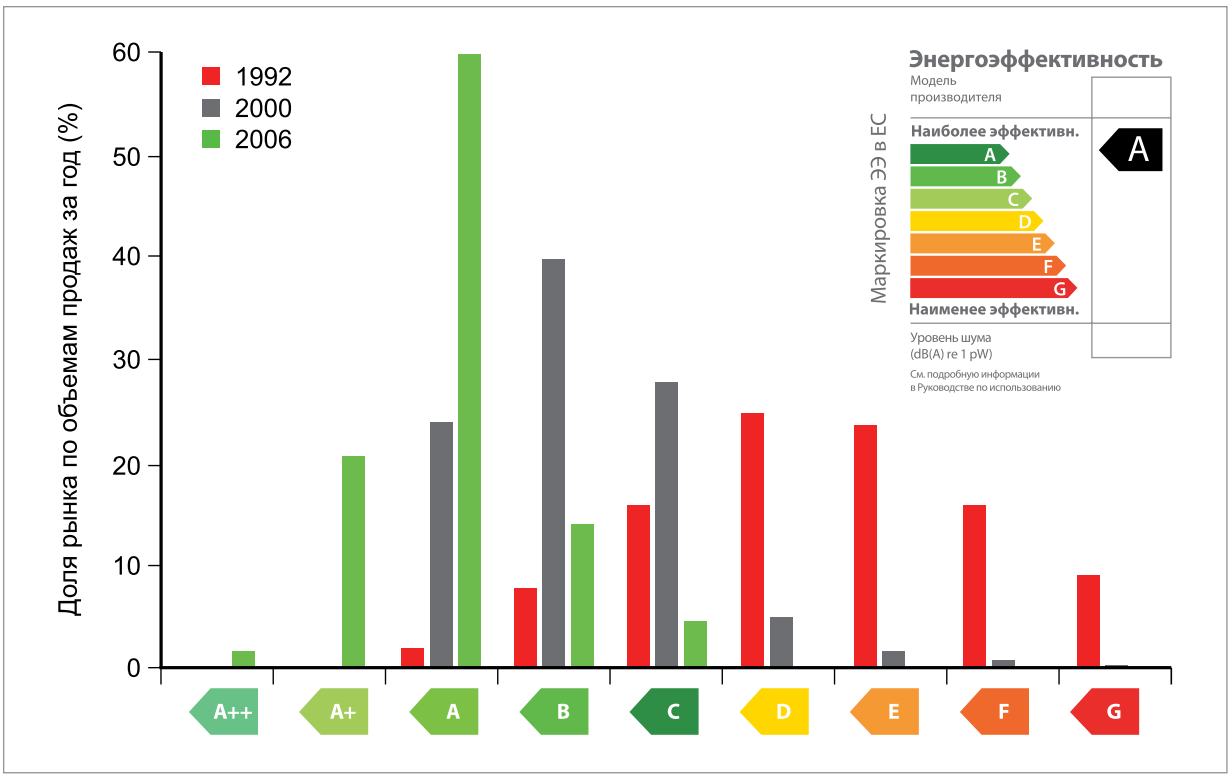



**Рис. 6.2 Образец этикетки стандарта ЕС 1995 года.** Энергетическая наклейка холодильника:
*1* — изготовитель или торговая марка;
*2* — модель;
*3* — класс энергопотребления от A++ до G;
*4* — величина энергопотребления, кВт·ч/год;
*5* — полезный объем холодильной и морозильной камер




В ряде исследований, посвященных оценке эффективности введения такой маркировки, отмечается, что этикетка узнаваема и понимаема потребителями. В частности, на территории ЕС треть покупок холодильников осуществляется с учетом информации на знаке. Отмечается, что большее влияние знак оказывает на жителей северных стран Европы, которые исторически более озабочены проблемой сохранения энергии. С введением знака средние показатели продаж энергоэффективных бытовых приборов в ЕС выросли на 29% (рис. 6.3)[2].

В США знак энергоэффективности «Energy Star» был разработан Агентством по охране окружающей среды в 1992 году (рис. 6.4). Стандарт, при выполнении условий которого давалось право на использование маркировки, сначала был предназначен для мониторов компьютеров с низким энергопотреблением. Сегодня более 98% компьютеров имеют эту маркировку. Сейчас она присваивается также 35 другим типам товаров: от приборов до строений (например, в США более 100 тыс. семей живут в домах, имеющих этот знак).

**Рис. 6.3 Влияние маркировки и стандартов энергоэффективности на рынок холодильников и морозильников в ЕС**

*Источник:* United Nations Development Programme (2011a). Policy and Financial Instruments for Low-Emission Climate-Resilient Development. New York.

[2] Sammer K., Wüstenhagen R. The Influence of Eco-Labeling on Consumer Behavior – Results of a Discrete Choice Analysis. Business Strategy & the Environment. Sept., 2005.

**Рис. 6.4**
**Знак «Energy Star»**

В 2002 году с помощью программы «Energy Star», покупая более энергоэффективную технику, американцы сократили выбросы $CO_2$, эквивалентные выбросам 14 млн автомобилей. При этом экономия на электроэнергии составила 7 млрд долл.

Последняя версия стандарта «Energy Star», вступившая в силу 20 июля 2007 года, обязывает компьютеры иметь «спящий режим», переход в который осуществляется после получаса бездействия (кроме интернет-серверов, работающих круглосуточно), а также требует использования высокоэффективных блоков питания.

В 2010 году сокращение выбросов $CO_2$ было равно объему выбросов уже 38 млн автомобилей, а экономия составила 20 млрд долл[3]. Согласно исследованию Natural Marketing Institute в США 66% потребителей заявили, что наличие знака влияет на решение о покупке, и только 12% сказали, что не придают знаку никакого значения[4].

Согласно федеральному закону № 261-ФЗ от 23.11.09 «Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации» все бытовые энергопотребляющие устройства с 1 января 2011 года должны содержать информацию о классе их энергетической эффективности в технической документации, прилагаемой к товарам, в их маркировке и на этикетках.

---

[3] Energy Star, Annual Report 2010, www.energystar.gov

[4] Green Labels Positively Impact Purchase Behavior, 20 мая 2008, http://www.environmentalleader.com/2008/05/20/green-labels-positively-impact-purchase-behavior (10.10.2011).

# Как наша экономия электроэнергии проявляется в тоннах $CO_2$?

Выработка 1 кВт·ч в мире в целом связана с выбросами примерно 800 г $CO_2$, но она сильно зависит от источников энергии в конкретной стране и даже в конкретном регионе. Во многих случаях для центральной части европейской территории России это только 300 г $CO_2$, так как там много электроэнергии дают ГЭС и АЭС, а уголь почти не используется. Практически нулевой выброс дают такие возобновляемые источники энергии, как солнце, ветер, геотермальная энергия, использование современного древесного биотоплива или биогаза (для биотоплива ноль обусловлен тем, что выбрасываемый при сжигании $CO_2$ ранее был поглощен из атмосферы при росте дерева или иного растения или животного). Увы, пока этих источников в России очень мало.

При использовании газа выброс $CO_2$ меньше, а угля — значительно больше (см. табл. П1.2 на стр. 185); на современных станциях комбинированного цикла выработки тепла и электроэнергии — меньше, на старых — больше. Однако это только прямая экономия топлива и снижение выбросов. Снижение спроса на 1 кВт·ч благоприятно скажется на всей энергетической отрасли, так как будут уменьшаться затраты на разведку, добычу, транспортировку угля или газа, также сократятся потери произведенной энергии в ЛЭП и т. п. В результате экономия 1 кВт·ч косвенно экономит 3–5 кВт·ч.

Говоря о северных и восточных регионах России, где используется много угля, а транспортировка топлива требует много энергии, экономию 1 кВт·ч можно пересчитать в снижение выбросов примерно на 3 кг $CO_2$. Тогда семейную годовую экономию трех человек, перешедших из худших в лучшие потребители электроэнергии, можно оценить в 6,3 т $CO_2$ в год.

# ПРИЛОЖЕНИЯ

# ПРИЛОЖЕНИЕ 1

# Справочная информация об антропогенных выбросах парниковых газов

## Предисловие

В данном приложении приводится вспомогательная информация о выбросах парниковых газов, которая может использоваться при изучении первого, третьего, пятого и шестого тематических разделов. В первом разделе приведены данные об общем росте концентраций $CO_2$, $CH_4$ и $N_2O$ в атмосфере (рис. 1.10, стр. 37), а также рассмотрен глобальный баланс $CO_2$ (рис. 1.11). Ниже в приложении дается более подробная информация об антропогенных источниках данных выбросов с разбивкой по секторам мировой экономики, видам деятельности человека и отдельным странам, включая Россию. Показано, насколько важны энергетика и, соответственно, экономия тепла и электроэнергии, рассмотренные в пятом и шестом разделах. Дается информация и о вкладе в глобальные выбросы лесного хозяйства и землепользования, которая может служить дополнительным справочным материалом при изучении третьей темы — «Лес и климат». Естественные источники парниковых газов здесь не рассматриваются, для $CO_2$ они приведены выше (см. рис. 1.11), а для $CH_4$ и $N_2O$ изменения естественных источников сейчас имеют очень небольшое влияние на климатическую систему Земли[1].

## Антропогенные выбросы парниковых газов в мире в целом

Расчет суммарного парникового эффекта от разных газов. Газы, которые вызывают парниковый эффект — водяной пар, углекислый газ ($CO_2$), метан ($CH_4$), оксид азота (I) — $N_2O$ (другое название — закись азота), различные фторсодержащие соединения, синтезированные человеком, например, $SF_6$, — по-разному разогревают

[1] Изменения естественных источников $CH_4$ и $N_2O$ (болота, водные экосистемы, океан, животные и др.) очень невелики. За последние 10 тыс. лет для этих двух газов изменения составили 25 и 3%, что гораздо меньше резкого роста от деятельности человека за последние 250 лет, когда концентрация $CH_4$ возросла в 2,5 раза, а $N_2O$ на 20%. См. Оценочный доклад об изменениях климата и их последствиях на территории Российской Федерации, т. 1, Росгидромет, М., 2009. http://climate2008.igce.ru, с. 91.

атмосферу[2]. К примеру, 1 т метана приводит к такому же прогреву, как 21 т $CO_2$. Для различных газов имеются коэффициенты пересчета, с помощью которых принято переводить все антропогенные выбросы парниковых газов в единицы $CO_2$-эквивалента (1 т метана засчитывается как 21 т $CO_2$-эквивалента и т.д.[3]).

Водяной пар, который вносит основной вклад в парниковый эффект Земли, коэффициента пересчета не имеет, так как его содержание в атмосфере от человека практически не зависит. По имеющимся оценкам, хозяйственная деятельность, преимущественно в сельском и лесном хозяйстве, дает менее 1% от естественного поступления водяного пара в атмосферу от поверхности земли. Поэтому ученые считают эффект от воздействия человека на содержание водяного пара в атмосфере гораздо меньшим, чем эффект от антропогенных выбросов других парниковых газов. В расчеты суммарного воздействия человека на парниковый эффект Земли водяной пар не включается[4].

В табл. П1.1 приведены коэффициенты пересчета для газов, которые оказывают наибольший антропогенный эффект ($CO_2$, $CH_4$ и $N_2O$), и для некоторых газов, синтезированных человеком и сейчас наиболее широко используемых. Это HFC-134a (применяется в стационарных и автомобильных кондиционерах) и $SF_6$ (другое название — элегаз), используемый в электротехнике и промышленности. Также в атмосферу попадает много $CF_4$ и $C_2F_6$, которые образуются в процессе выплавки алюминия. Полный список газов очень велик и постоянно дополняется, так как человек для тех или иных целей синтезирует все новые газы[5].

---

[2] Ученые рассчитывают вклады разных газов в общий парниковый эффект в единицах радиационного воздействия — прогрева атмосферы в Вт/м$^2$, более подробно см. раздел «Радиационное воздействие парниковых газов на климат». Оценочный доклад об изменениях климата и их последствиях на территории Российской Федерации, т. 1, с. 93–99, Росгидромет, М., 2009. http://climate2008.igce.ru.

[3] Разные газы находятся в атмосфере разное время: $CO_2$ примерно 100 лет, $CH_4$ 10–15 лет, а $SF_6$ 3200 лет. Попавшая в атмосферу тонна $CO_2$ за столетие будет поглощена океаном или наземными экосистемами, а тонна $SF_6$ будет там находиться более 3 тыс. лет. Поэтому действие газов зависит от того, за какой промежуток времени мы рассчитываем суммарный эффект. Если это 20 лет, то 1 т $CH_4$ = 67 т $CO_2$, а если 500 лет, то 1 т $CH_4$ = 7 т $CO_2$. Более того, знания о процессах в атмосфере постепенно совершенствуются и коэффициенты пересчета немного корректируются. Для расчета суммарного воздействия сейчас принято использовать, коэффициенты для среднего эффекта за 100 лет, приведенные в: Climate Change 1995, The Science of Climate Change: Summary for Policymakers and Technical Summary of the Working Group I Report, page 22, http://unfccc.int/ghg_data/items/3825.php

[4] Оценочный доклад об изменениях климата и их последствиях на территории Российской Федерации, т. 1, Росгидромет, М., 2009. http://climate2008.igce.ru, с. 93.

[5] Там же, с. 97.

### Таблица П1.1. Коэффициенты пересчета парникового эффекта, вызываемого различными газами, в единицы $CO_2$-эквивалента

| Парниковый газ | Время нахождения в атмосфере, лет | Коэффициент (т газа / т $CO_2$) при расчете парникового эффекта за 100 лет |
|---|---|---|
| $CO_2$ | Примерно 100 | 1 |
| $CH_4$ | 9–15 | 21 |
| $N_2O$ | 120 | 310 |
| HFC-134a | 15 | 1300 |
| $SF_6$ | 3200 | 23 900 |
| $CF_4$ | 50 000 | 6500 |
| $C_2F_6$ | 10 000 | 9200 |

*Источник:* Climate Change 1995, The Science of Climate Change: Summary for Policymakers and Technical Summary of the Working Group I Report, page 22, http://unfccc.int/ghg_data/items/3825.php

Их выбросы в атмосферу очень малы, но зато эффект от тонны таких газов, как правило, в тысячи раз больше, чем от тонны $CO_2$, да и в атмосфере они находятся многие тысячи лет, так как очень медленно разлагаются на другие соединения и крайне мало поглощаются океаном.

Выбросы парниковых газов от разных видов деятельности человека. На рис. П1.1 показано суммарное воздействие всех парниковых газов антропогенного происхождения, пересчитанное в $CO_2$-эквивалент и разбитое на главные источники — виды деятельности человечества.

Основным источником выбросов является сжигание топлива: угля, газа, нефтепродуктов и торфа[6]. Больше всего выбросов в энергетике (красное «основание» графика на рис. П1.1; на 2010 год это 29% всех выбросов). Затем идет промышленность (желтая полоса — 18%) и транспорт (темно-желтая полоса — 13%). Весьма значим, особенно в нашей стране, вклад различных утечек метана[7] и сжигания газа в факелах на нефтепромыслах (оранжевая полоска — 8%). К этому добавляется сжигание топлива

[6] Выбросы $CO_2$ от сжигания древесины, сельскохозяйственных отходов и т.п. сюда не относят, так как это количество $CO_2$ ранее было поглощено из атмосферы в процессе роста растений (тем самым образуется замкнутый круговорот, не ведущий к росту концентрации $CO_2$ в атмосфере).

[7] В основном это утечки при добыче и транспортировке газа, а также из угольных шахт. С помощью более современных газовых и угольных технологий они могут быть ликвидированы. Сжигание попутного нефтяного газа в факелах также может быть сведено к минимуму, составляющему 2–5%, а 95–98% газа может использоваться как топливо или сырье для химической промышленности.

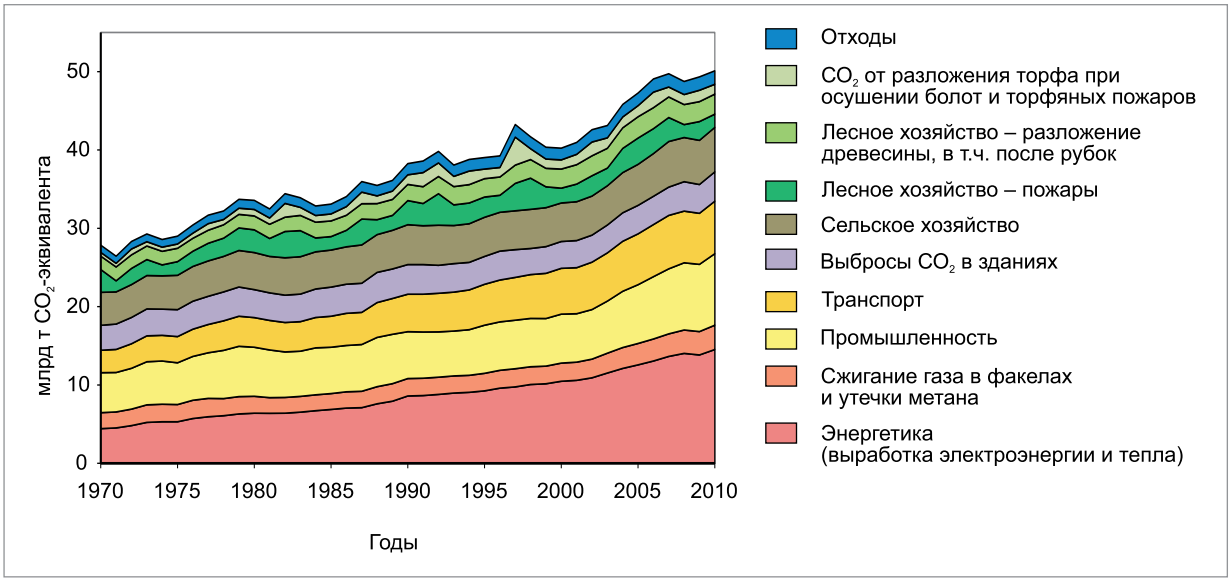



**Рис. П1.1. Антропогенные выбросы парниковых газов от различных видов деятельности человека (в пересчете на $CO_2$-эквивалент)**

*Источник:* The Emission Gap Report, UNEP, December 2010, 52 pp. http://www.unep.org/publications/ebooks/emissionsgapreport

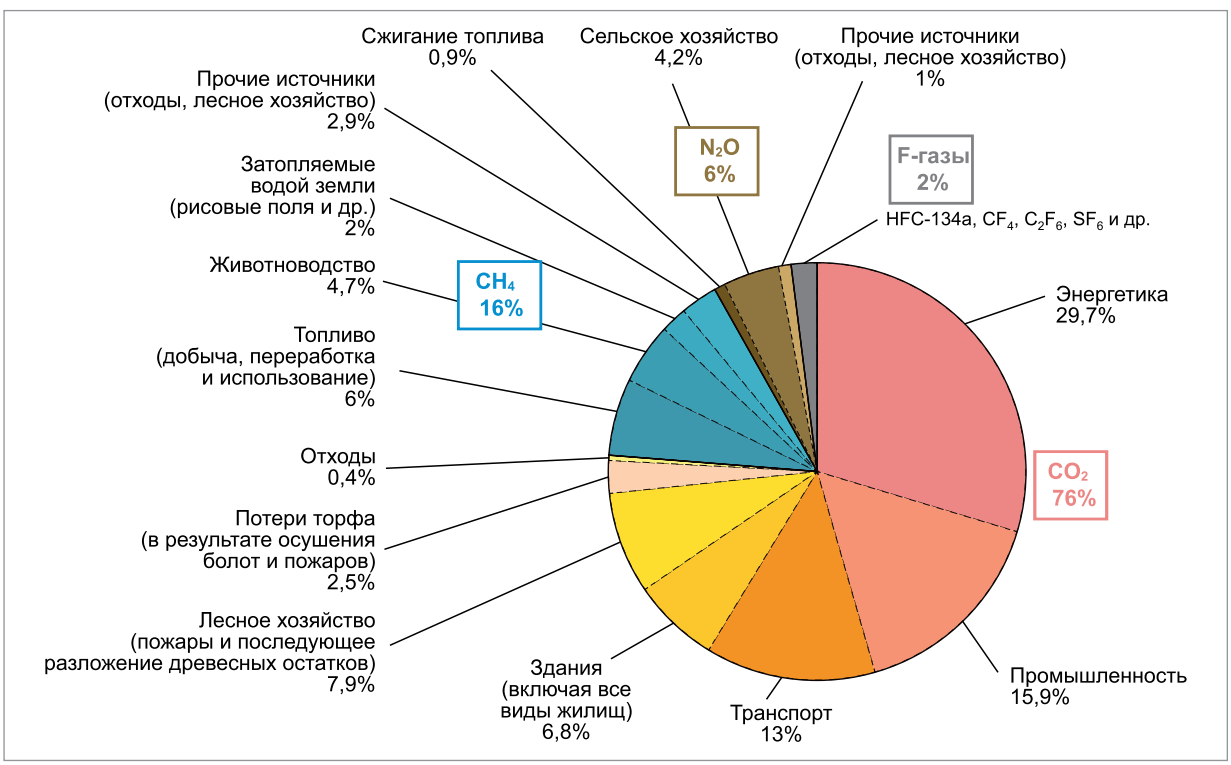



**Рис. П1.2. Антропогенные выбросы различных парниковых газов в 2010 году (в пересчете на $CO_2$-эквивалент)**

*Источник:* The Emission Gap Report, UNEP, December 2010, 52 pp. http://www.unep.org/publications/ebooks/emissionsgapreport

непосредственно в зданиях, как правило, для обогрева и приготовления пищи[8] (сиреневая полоса — 8%).

На эту энергетическую «основу» выбросов накладываются выбросы в сельском хозяйстве (в том числе и в результате сжигания отходов, травяных палов и т.п. — коричневая полоса — 11%), лесном хозяйстве — результат рубок и лесных пожаров (зеленые полосы, 5% и 3%), а также при осушении торфяных болот (серо-зеленая полоса — 3%). Венчает картину наше обращение с отходами (синяя полоса — 4%).

Показанные на рис. П1.1 общемировые выбросы можно разделить по отдельным газам: $CO_2$, $CH_4$, $N_2O$, фторсодержащие F-газы, причем тоже с подразделением на отдельные виды нашей деятельности (рис. П1.2). «Львиная» доля принадлежит $CO_2$ — 76%, на втором месте $CH_4$ — 16%, затем $N_2O$ и F-газы — 6% и 2%.

Распределение антропогенных выбросов по странам очень неравномерно. Далеко впереди Китай, за которым следуют США (рис. П1.3). Затем с большим отрывом Бразилия (там очень ве-

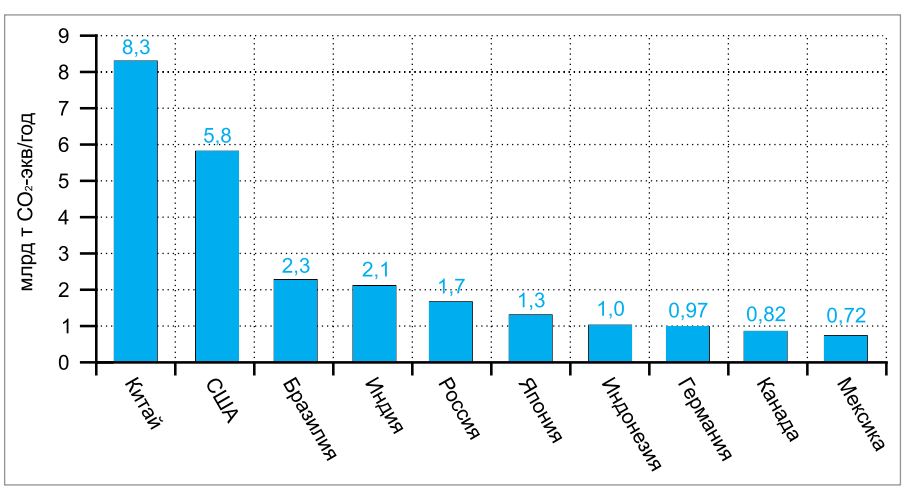



**Рис. П1.3. Десять стран с крупнейшими антропогенными выбросами парниковых газов в атмосферу** (учитывая и поглощение, и эмиссию $CO_2$ в лесном хозяйстве). Ориентировочная оценка по состоянию на середину 2000-х годов

*Источник:* база данных WRI http://cait.wri.org/ ($CO_2$ в экономике стран – 2007 г., для выбросов других газов, кроме $CO_2$. использованы оценки на 2005 г.); по тропическим лесам — оценка на 2000–2005 гг. из Baseline Map of Carbon Emissions from Deforestation in Tropical Regions Nancy L. Harris,* Sandra Brown, Stephen C. Hagen, Sassan S. Saatchi, Silvia Petrova, William Salas, Matthew C. Hansen, Peter V. Potapov, Alexander Lotsch. 22 June 2012, Science 336, 1573 (2012) DOI: 10.1126/science.1217962 www.sciencemag.org/cgi/content/full/336/6088/1573/DC1; данные по России: Национальный доклад РФ о кадастре антропогенных выбросов из источников и абсорбции поглотителями парниковых газов, не регулируемых Монреальским протоколом за 1990–2010 гг. М., 2012. www.unfccc.int.

[8] Сюда также входит обогрев жилищ и приготовление пищи с использованием дров, кизяка и т.п. почти двумя миллиардами беднейшего населения планеты.

лики выбросы из-за вырубки лесов), Индия и Россия (где, наоборот, леса поглощают немало $CO_2$), за которой следует Япония. В целом 10 крупнейших стран дают примерно половину общемировых выбросов парниковых газов, обусловленных деятельностью человека.

В представленных на рис. П1.3 суммарных антропогенных выбросах различных стран можно отдельно рассмотреть две крупные части: 1) $CO_2$ от сжигания ископаемого топлива во всех секторах экономики и 2) выбросы и поглощение $CO_2$ от деятельности в лесном хозяйстве[9].

Выбросы $CO_2$ от сжигания топлива — не только главная составляющая всех антропогенных выбросов парниковых газов, но и их наиболее точно известная часть. Во всех странах сжигание топлива — предмет строгой статистической отчетности. При этом выбросы $CO_2$ при сжигании угля, газа, нефтепродуктов и торфа зависят, прежде всего, от количества использованного топлива. Энергетическая эффективность сжигания топлива очень важна для энергетики и транспорта, но на выбросы $CO_2$ влияет слабо. Главное именно то, сколько топлива было сожжено.

Здесь мы не рассматриваем энергетику стран, это выходило бы далеко за рамки данной книги. Однако в качестве справочной информации для пятого и шестого тематических разделов полезно привести коэффициенты пересчета — данные о том, сколько $CO_2$ поступает в атмосферу при сжигании тонны того или иного топлива (табл. П1.2).

Данные о выбросах $CO_2$ от сжигания ископаемого топлива в мире в целом и в крупнейших странах приведены на рис. П1.4[10]. С середины 2000-х годов главный рост выбросов $CO_2$ идет в крупнейших развивающихся странах, особенно в Китае (темно-бордовая полоса), а также в Индии, Бразилии, ЮАР, Индонезии (бордовая полоса). В развитых странах выбросы либо стабильны, либо

---

[9] Здесь имеется в виду не общее поглощение и эмиссия $CO_2$ лесами (эти процессы описаны в тематическом разделе «Лес и климат», см. рис. 3.12), а только их часть, обусловленная ведением лесного хозяйства, — антропогенная составляющая. В нее входят выбросы $CO_2$ от пожаров и рубок (включая и нарушения почвенного покрова, и разложение древесных остатков в течение многих лет после пожара или рубки); поглощение $CO_2$ в результате посадки лесов и роста лесов на вырубках (естественного лесовосстановления, которое было инициировано рубками).

[10] Следуя принятой в мире практике, к выбросам $CO_2$ от сжигания топлива добавлены выбросы $CO_2$, образующиеся в технологических процессах производства цемента. Это очень небольшая добавка, не превышающая нескольких процентов от выбросов $CO_2$ при сжигании топлива.

## Таблица П1.2. Коэффициенты для расчета выбросов $CO_2$ при сжигании ископаемого топлива

| Топливо | Выбросы $CO_2$ |
|---|---|
| Природный газ | 1,85 т $CO_2$/(тыс. $м^3$) |
| Каменный уголь | 2,7–2,8 т $CO_2$/т, в зависимости от марки угля |
| Торф | ~1,5 т $CO_2$/т, одна тонна торфа дает в ~2 раза меньше энергии, чем тонна угля |
| Топочный мазут | 3,1 т $CO_2$/т |
| Автомобильный бензин | 3,0 т $CO_2$/т или 2,1–2,3 кг $CO_2$/л в зависимости от температуры топлива |
| Дизельное топливо | 3,15 т $CO_2$/т или 2,6–2,8 кг $CO_2$/л в зависимости от температуры топлива и его марки (летнее более плотное, а зимнее менее плотное) |
| Авиационный керосин | 3,1 т $CO_2$/т |
| Древесное топливо и сельскохозяйственные отходы | Выбросы $CO_2$ считают равными нулю, так как $CO_2$, поступивший в воздух при горении, ранее был поглощен из атмосферы в процессе роста растений (образуется замкнутый круговорот, не ведущий к росту концентрации $CO_2$ в атмосфере) |

*Источник:* Национальный доклад РФ о кадастре антропогенных выбросов из источников и абсорбции поглотителями парниковых газов, не регулируемых Монреальским протоколом за 1990–2010 гг. М., 2012. www.unfccc.int

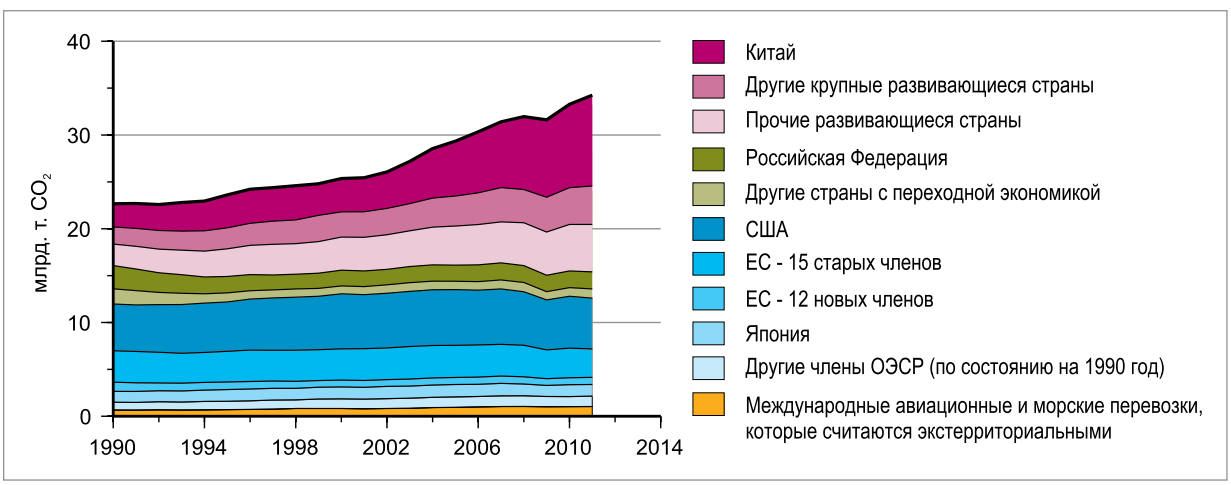



**Рис. П1.4 Выбросы $CO_2$ от сжигания ископаемых видов топлива, а также производства цемента**

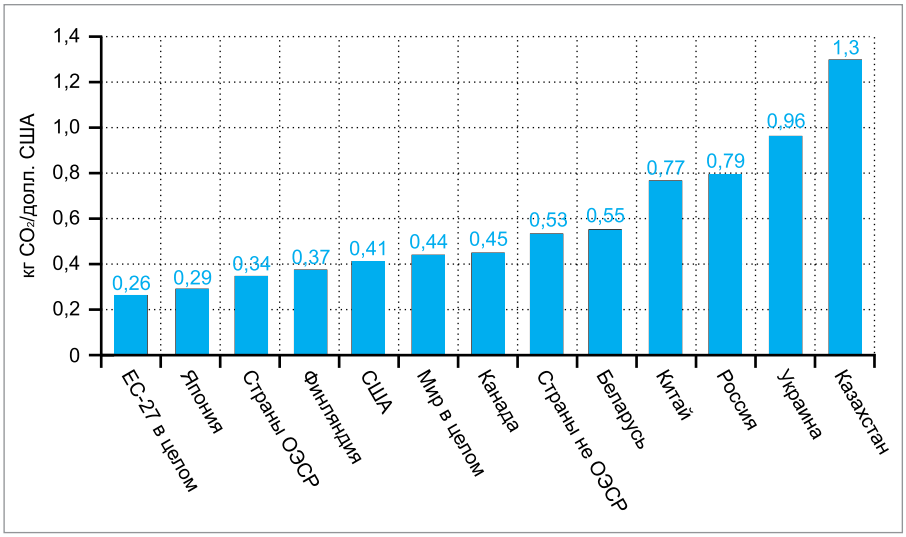
*Источник:* Trends in global $CO_2$ emissions, 2012 report, EC Joint Research Center, PBL Netherlands. http://edgar.jrc.ec.europa.eu/CO2REPORT2012.pdf

немного идут вниз. Там новые энергоэффективные технологии и товары внедряются быстрее, чем идет расширение объемов производства и потребления. Заметим, что свой вклад в снижение выбросов в развитых странах вносит и перемещение многих производств в Китай и другие развивающиеся страны.

Показательным параметром, характеризующим энергетику и экономику стран, принято считать удельную «углеродоемкость» экономики — все выбросы $CO_2$ от сжигания ископаемого топлива, деленные на общий объем произведенной продукции, товаров и услуг (рис. П1.5). За общий объем принимают валовый

**Рис. П1.5 Удельная углеродоемкость экономики различных стран в 2010 г.**

*Источник:* $CO_2$ Highlights 2012. $CO_2$ Emissions from Fuel Combustion (2012 Edition), IEA, Paris. www.iea.org




внутренний продукт страны (ВВП)[11], выраженный в долларах США с учетом поправки на разную покупательную способность 1 доллара в разных странах[12].

По показателю удельной углеродоемкости (фактически по энергоэффективности экономики в целом) развивающиеся страны сильно отстают от развитых. Отстает от них и Россия. Конечно, для ряда стран сказываются и более холодный климат, и большая средняя протяженность транспортных потоков. Не случайно Финляндия на 25% отстает от среднего показателя по Европейскому союзу, а Канаду на 10% опередил ее южный сосед — США. Имеет значение и структура экономики страны, наличие энергоемких отраслей, таких, например, как металлургия и производство цемента. Однако отставание России от ведущих стран слишком велико, гораздо больше действия отмеченных выше объективных обстоятельств.

Антропогенные выбросы (или поглощение) $CO_2$ в лесном хозяйстве наблюдаются в основном в наиболее «лесных» странах (табл. П1.3). В большинстве развитых стран, а также в России и странах Восточной Европы в лесном хозяйстве поглощение $CO_2$ превышает выбросы, там имеется нетто-поглощение. По это-

[11] ВВП — экономический показатель, отражающий рыночную стоимость всех товаров и услуг, произведенных за год во всех отраслях экономики на территории данного государства для потребления, экспорта или накопления.

[12] Данная поправка при расчете ВВП носит название «паритет покупательной способности» (ППС). Она показывает, насколько в той или иной стране на 1 доллар США можно купить больше (или меньше) товаров и услуг, чем в США. Если за один и тот же принятый в мире набор товаров и услуг («потребительскую корзину») в стране X нужно заплатить в 1,5 раза меньше долларов, чем в США, то ППС страны X равен 1,5, а ее ВВП, выраженный в долларах, должен быть умножен на 1,5.

### Таблица П1.3. Страны с крупнейшими антропогенными выбросами/поглощением $CO_2$ в лесном хозяйстве и при землепользовании (ориентировочная оценка)

| Нетто-эмиссия в развивающихся странах (оценка на 2000–2005 гг., сделанная в 2012 г.) и в Канаде (2010 г.) | Млн т $CO_2$ | Нетто-поглощение, 2010 г. | Млн т $CO_2$ |
|---|---|---|---|
| Бразилия | 1250 | США | 1050 |
| Индонезия | 390 | Россия | 650 |
| Малайзия | 150 | Япония | 75 |
| Мьянма | 105 | Польша | 45 |
| Конго | 85 | Украина | 40 |
| Канада | 70 | Беларусь | 30 |
| Индия | 65 | Швеция | 30 |
| Таиланд | 60 | Испания | 30 |

*Источник:* Данные по тропическим лесам. Baseline Map of Carbon Emissions from Deforestation in Tropical Regions Nancy L. Harris, Sandra Brown, Stephen C. Hagen, Sassan S. Saatchi, Silvia Petrova, William Salas, Matthew C. Hansen, Peter V. Potapov, Alexander Lotsch. 22 June 2012, Science 336, 1573 (2012) DOI: 10.1126/science.1217962 www.sciencemag.org/cgi/content/full/336/6088/1573/DC1; Данные по развитым странам, России, другим странам СНГ: Национальные доклады о кадастре источников и поглотителей парниковых газов, РКИК ООН, www.unfccc.int

му показателю первые места занимают США и Россия, где леса и почвы — очень серьезный поглотитель $CO_2$ из атмосферы (см. посвященный России следующий подраздел данного приложения). Исключение представляет собой Канада, где сейчас сложилось неблагоприятное соотношение старых и молодых лесов[13].

В развивающихся странах, как правило, иная ситуация. В Бразилии, Индонезии и других странах леса очень быстро и сильно вырубаются, а их восстановление идет гораздо медленнее. Поэтому там в лесном хозяйстве поглощение $CO_2$ меньше выбросов и имеется нетто-эмиссия.

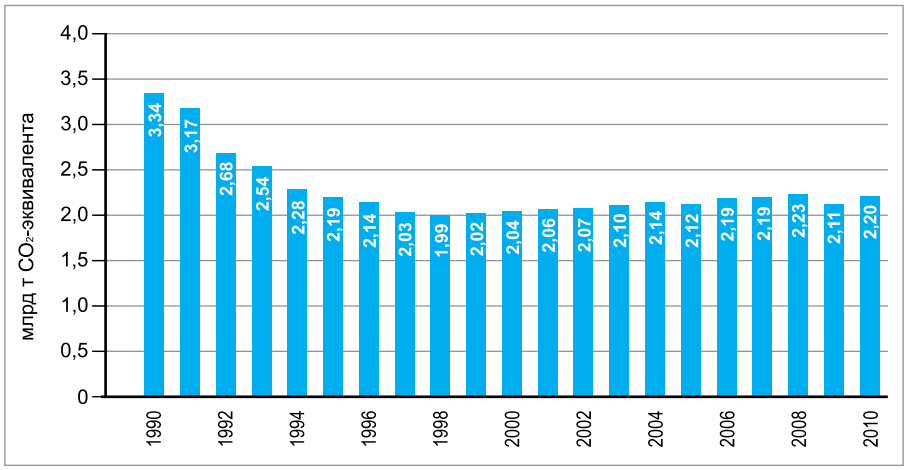
## Антропогенные выбросы парниковых газов в России

Выбросы $CO_2$ и других парниковых газов в энергетике, промышленности, транспорте и ЖКХ России сильно упали в 1990-е годы, что было связано как со структурной перестройкой эконо-

[13] Как подчеркивалось в тематическом разделе «Лес и климат», молодой лес больше поглощает $CO_2$, чем выделяет, а старый, особенно захламленный валежником, — наоборот. Поэтому если самые массовые рубки прошли 30–50 лет назад (как в России), то сейчас на их месте много молодых лесов и идет сильное поглощение $CO_2$. Если же рубки велись 80–120 лет назад, то сейчас образовалось много старых лесов и эмиссия $CO_2$ превышает поглощение. В этом случае исправить ситуацию помогает современное ведение лесного хозяйства, которое включает своевременные и тщательные рубки ухода в сочетании с последующим полным использованием сухостоя и валежника в качестве топлива, заменяющего уголь или газ.

**Рис. П1.6 Выбросы парниковых газов в экономике России (без учета нетто-поглощения в лесном хозяйстве)**

*Источник:* Национальный доклад РФ о кадастре источников и поглотителей парниковых газов. 2012, www.unfccc.int




мики (переход от тяжелой промышленности к сфере услуг), так и с общим экономическим спадом. С 1999 года в экономике нашей страны наблюдается медленный рост выбросов $CO_2$ и других парниковых газов (исключение составляет кризисный 2009-й год), рис. П1.6.

В 2000-х годах в нашей стране рост выбросов $CO_2$ был намного (в несколько раз) меньше роста экономики в целом. С 1999 по 2006 год ВВП России увеличился в 6 раз, а с 2006 по 2012 год — еще примерно в 2 раза, в то время как выбросы $CO_2$ и других парниковых газов с 1999 года увеличились лишь на 10%. Это говорит о наличии положительной тенденции — улучшении ситуации с энергосбережением и энергоэффективностью. Однако благополучным положение дел назвать сложно.

Как отмечалось выше, при рассмотрении выбросов $CO_2$ в мире в целом и в различных странах, хорошим показателем энергоэффективности экономики является ее углеродоемкость (см. рис. П1.5. и его описание). По сравнению с 1990-ми годами этот показатель в России стал гораздо лучше (рис. П1.7). Экономический рост 2000–2007 годов сопровождался уверенным снижением данного параметра. Во время кризиса — в 2009–2010 годах углеродоемкость увеличилась — энергоэффективность нашей экономики в целом стала хуже. Далее, в 2011 году, углеродоемкость не улучшилась, она осталась на прежнем уровне. Это показатель того, что меры по энергосбережению и повышению энергоэффективности сейчас в должных масштабах не проводятся, их недостаточно.

Чтобы понять пути снижения выбросов $CO_2$ и других парниковых газов, важно знать их источники. В нашей стране на базе статистических данных (расход всех видов топлива, производство

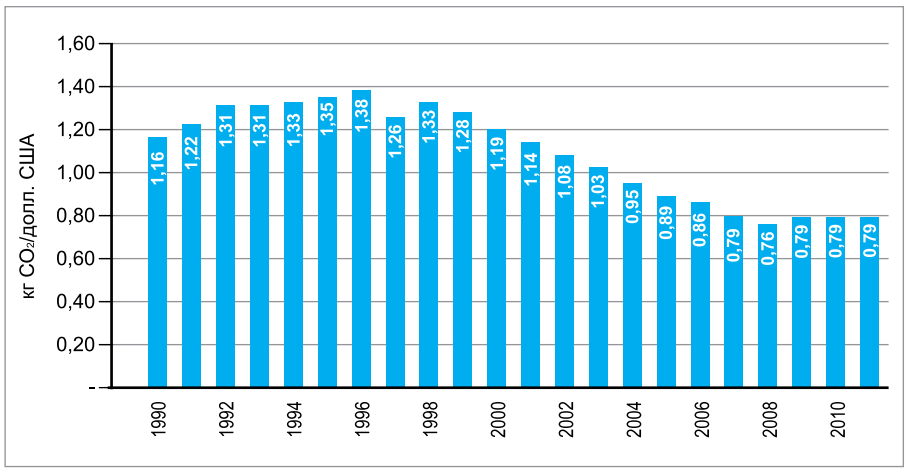



**Рис. П1.7 Удельная углеродоемкость российской экономики:** выбросы $CO_2$ от сжигания ископаемого топлива, деленные на объем ВВП, выраженный в долларах США и с поправкой на паритет покупательной способности

*Источник:* $CO_2$ Highlights 2012. $CO_2$ Emissions from Fuel Combustion (2012 Edition), IEA, Paris. www.iea.org (1990–2010 гг.). 2011 г. — оценка по статистическим данным о росте ВВП и оценке выбросов из Trends in global $CO_2$ emissions, 2012 report, EC Joint Research Center, PBL Netherlands. http://edgar.jrc.ec.europa.eu/CO2REPORT2012.pdf

различных видов продукции, образование и захоронение отходов и т.п.) ежегодно делается подсчет выбросов и составляется соответствующий национальный доклад[14], последние данные из которого приведены на рис. П1.8.

Наиболее мощным источником являются электростанции, они дают в 4–5 раз больше выбросов $CO_2$, чем каждый из трех других крупных источников: промышленность и ее энергетические объекты, дорожный транспорт, сжигание топлива в мелких котельных и индивидуальных домах. В такой ситуации именно энергосбережение и энергоэффективность становятся главными мерами снижения выбросов.

Другим крупнейшим источником являются утечки метана в огромной газотранспортной системе страны, немаловажны и выбросы в сельском хозяйстве и при обращении с отходами.

«Противостоит» выбросам нетто-поглощение $CO_2$ в лесном хозяйстве — синяя полоска внизу рис. П1.8, которая «компенсирует» около 30% всех выбросов. Заметим, что в 1990 году этого не было. Тогда лесное хозяйство России оценивалось как небольшой нетто- источник $CO_2$[15]. Причины возникновения данного нетто-поглощения (превышения поглощения над выбросами, см. выше описание табл. П1.3) в лесном хозяйстве России понятны. В 1990-х годах рубки лесов резко сократились и далее остались примерно на том же уровне, пожаров стало больше, но их влияние на потоки $CO_2$ не столь велико (см. рис. 3.14).

[14] Национальный доклад РФ о кадастре источников и поглотителей парниковых газов. 2012, www.unfccc.int

[15] Там же. См. также пояснение — сноску 9 на стр. 184.

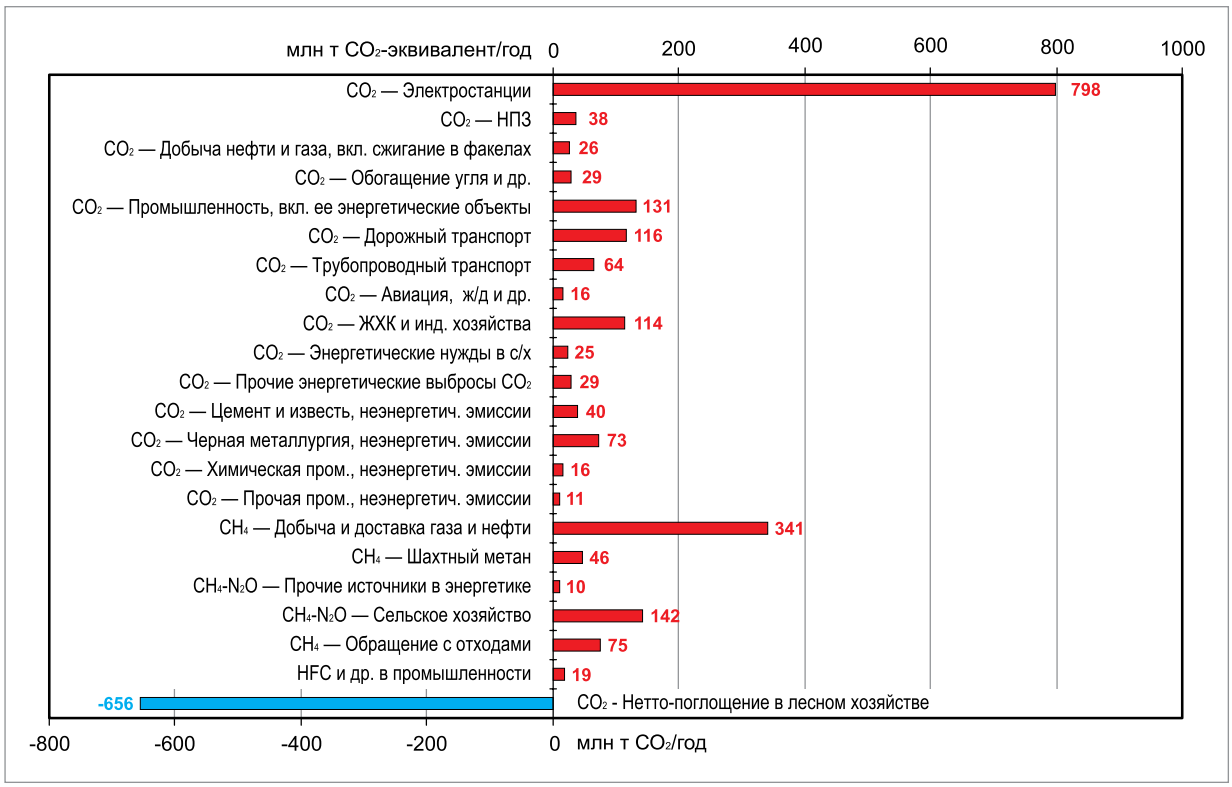



**Рис. П1.8 Российские выбросы парниковых газов от различных источников и их нетто-поглощение в лесном хозяйстве в 2009 г.**

*Источник:* Национальный доклад РФ о кадастре источников и поглотителей парниковых газов. 2011 г., www.unfccc.int

Очень большое значение имеет возрастной состав лесов. Как было показано в тематическом разделе «Лес и климат», сильным нетто-поглотителем $CO_2$ являются только молодые и быстро растущие леса. У нас же после обширных рубок 1960-х — 1980-х годов и последующего зарастания лесом рубок, гарей и заброшенных сельскохозяйственных земель образовалось много молодых лесов. Соответственно «образовалось» и сильное нетто-поглощение $CO_2$ из атмосферы. Так как данное явление — последствия деятельности человека, то, согласно международным правилам, данное нетто-поглощение считают результатом ведения лесного хозяйства, пусть даже полученным непреднамеренно. Однако наши леса постепенно будут стареть, и через несколько десятилетий баланс «эмиссия-поглощение» будет приближаться к нулю (см. тематический раздел «Лес и климат»).

Чтобы изменить ситуацию и на долгий срок сохранить леса как нетто-поглотитель $CO_2$, нам нужно иначе вести лесное хозяйство. Нужен очень строгий контроль за рубками, особенно так называемых защитных лесов, которые «охраняют» реки и озера, поля, города и места отдыха. Нужны очень тщательные рубки ухода, причем изымаемые деревья, сухостой и валежник должны не гнить или сжигаться на месте, а использоваться в качестве топлива, за-

меняя уголь или газ. Нужны более активные противопожарные меры и защита лесов от вредителей.

Заключение: пути снижения выбросов парниковых газов. Анализу путей снижения выбросов и действию конкретных мер по энергосбережению и энергоэффективности посвящен целый ряд детальных исследований[16]. Имеются и весьма проработанные прогнозы на 2030, 2035 и даже на 2050 годы[17]. В целом они постепенно находят все более полное отражение в государственных планах[18], но реализация планов часто отстает от намеченной.

Общий вывод таков: постепенно становясь развитой страной, Россия также начнет снижение (точнее, сначала торможение роста, а затем снижение) выбросов[19]. Наиважнейшим фактором стабилизации являются меры по энергоэффективности и энергосбережению в жилых и нежилых зданиях. Уже одно это останавливает рост выбросов[20]. Дальнейшее развитие энергоэффективных технологий в энергетике, промышленности и транспорте, широкое развитие возобновляемых источников энергии (ВИЭ) способны дальше и дальше снижать уровень выбросов.

Как говорилось в первом тематическом разделе, ученые уже дали примерный ответ об относительно безопасном уровне выбросов и необходимых действиях: к середине XXI века глобальные выбросы парниковых газов надо снизить в 2 раза от уровня 1990 года. Руководители крупнейших стран Европейского союза,

---

[16] Энергоэффективность в России: скрытый резерв. ЦЭНЭФ, Всемирный банк, IFC, М., 2008, 164 с. http://www.ifc.org/ifcext/rsefp.nsf/AttachmentsByTitle/FINAL_EE_report_rus.pdf/$FILE/FINAL_EE_report_rus.pdf
Энергоэффективная Россия. Пути снижения энергоемкости выбросов парниковых газов. McKinsey & Company, 2009, http://energosber.info/upload/pdf/CO2_Russia_RUS_final.pdf

[17] Прогноз развития энергетики мира и России до 2035 г. ИНЭИ, РЭА, М., 2012, 196 с. http://www.eriras.ru/data/94/rus;
Outlook for Russian Energy, IEA WEO11 Part B, http://www.worldenergyoutlook.org
Башмаков И.А. Низкоуглеродная Россия: 2050 год. М., Изд. ЦЭНЭФ, 2009.
Мировая энергетика – 2050 (Белая книга) / Под ред. Бушуева В.В. (ГУ ИЭС), Каламанова В.А. (МЦУЭР). М.: ИЦ «Энергия», 2011. 360 с. http://www.energystrategy.ru/editions/white_book2.htm

[18] Государственная программа Российской Федерации «Энергосбережение и повышение энергетической эффективности на период до 2020 года». Распоряжение Правительства Российской Федерации от 27 декабря 2010 г. № 2446-р http://www.rg.ru/2011/01/25/energosberejenie-site-dok.html

[19] Прогноз долгосрочного социально-экономического развития Российской Федерации на период до 2030 года. Минэкономразвития России. М., 2013 www.economy.gov.ru

[20] Kokorin Alexey, Inna Gritsevich and Dmitry Gordeev. Russian energy future 2050 and GHG levels. 17 November 2011. Yale Center for Environmental Law and Policy. https://yaleenvirocenter.webex.com/mw0307l/mywebex/default.do?siteurl=yaleenvirocenter

США, Японии и Канады уже заявили о намерении к 2050 году снизить свои выбросы в 2 или даже в 4 раза[21].

На переговорах в ООН идет активное обсуждение путей снижения глобальных антропогенных выбросов парниковых газов. Для этого все страны мира объединили свои усилия в Рамочной конвенции ООН об изменении климата — РКИК ООН. Важным этапом ее работы было заключение и выполнение первого периода обязательств Киотского протокола, который регламентировал выбросы развитых стран в 2008–2012 годах (кроме США, которые в данном протоколе не участвуют). Теперь нужны усилия всех стран, см. рис. П1.4, а не только развитых. Поэтому сейчас в РКИК ООН готовится новое глобальное соглашение по проблеме изменения климата. Планируется, что оно вступит в силу с 2020 года[22].

Обсуждается даже возможность полного перехода мировой энергетики на ВИЭ. Расчеты показывают, что потенциала ВИЭ для этого достаточно[23]. Будет ли это экономически выгодно? Исходя из сегодняшних представлений о выгоде, вероятно, нет. Но исходя из будущих представлений — скорее всего, да! Ведь в будущем, вероятно, придется выбирать из двух зол меньшее: тратиться на снижение выбросов (возможно, даже в ущерб экономике) или тратить еще больше средств на борьбу с чрезвычайными ситуациями, вызванными климатическими изменениями. Пока такой альтернативы, выраженной в рублях или долларах, не просчитано. Однако негативные эффекты уже прослеживаются достаточно явно (см. тематический раздел 4, посвященный региональным изменениям климата).

---

[21] “Responsible leadership for a sustainable future” G8 Declaration, Italy, 2009, para 65 http://www.g8italia2009.it/static/G8_Allegato/G8_Declaration_08_07_09_final%2c0.pdf.

[22] Информацию о РКИК ООН и Киотском протоколе см. на сайте www.unfccc.int , а также на климатической странице сайта Всемирного фонда дикой природы www.wwf.ru/climate

[23] “The Energy Report. 100% Renewable Energy by 2050”. WWF, Ecofys, OMA. 2011, 256 pp. http://wwf.panda.org/what_we_do/footprint/climate_carbon_energy/energy_solutions/renewable_energy/sustainable_energy_report/ ; Energy revolution. Perspectives for establishment of a system of energy security of Russia”. “Russia energy [r]evolution”. Greenpeace International, EREC. 2009, 44 pp. http://www.energyblueprint.info/822.0.html

# ПРИЛОЖЕНИЕ 2

## Углеродный и экологический «след» человечества

В первом тематическом разделе было показано, насколько велик антропогенный рост концентрации $CO_2$ в атмосфере, а в пятом и шестом разделах говорилось о путях его снижения, доступных для каждого. Источники выбросов $CO_2$ и других парниковых газов были приведены в справочном приложении 1. Однако выбросы $CO_2$ — далеко не единственное влияние человека на окружающую среду и климат планеты. Нужно знать, каково негативное влияние человека в целом. Поэтому эксперты разработали методики расчета и соответствующие сводные параметры. В средствах массовой информации, в выступлениях ученых, экологов и политиков нередко встречаются термины «углеродный след» и «экологический след». Это довольно сложные понятия, для пояснения которых было подготовлено данное справочное приложение.

## «Углеродный след»

«Углеродный след» (Carbon Footprint) — совокупность выбросов всех парниковых газов, произведенных человеком, организацией, мероприятием, продуктом, городом, государством *прямо или косвенно*.

Для удобства подсчета и восприятия все парниковые газы пересчитывают в эквивалент $CO_2$, то есть рассчитывают, какое количество $CO_2$ (в тоннах) дает такой же парниковый эффект, который производит определенное количество тонн того или иного газа (коэффициенты пересчета даны в приложении 1, см. табл. П1.2 на стр. 185). Поэтому часто углеродный след указывают в тоннах эквивалент-$CO_2$ (или $CO_2$-экв.). Собственно $CO_2$ составляет около 75% от всех антропогенных выбросов парниковых газов (исключая главный на Земле парниковый газ — водяной пар, концентрация которого в атмосфере не имеет тенденции к изменениям), более детально см. выше справочное приложение 1.

Углеродный след состоит из двух составляющих — прямых и косвенных выбросов.

*Прямые выбросы* — это количество $CO_2$ или других парниковых газов, которое выбрасывается в атмосферу непосредственно

на территории того или иного производства или домашнего хозяйства, главным образом, при сжигании ископаемого топлива – угля, газа, нефтепродуктов.

Прямой углеродный след производства – это сколько парниковых газов было выброшено именно в процессе деятельности завода или фабрики. Обычно в него включают и так называемые *энергетические косвенные выбросы* — потребленное предприятием тепло и электроэнергию, хотя они выработаны за его пределами.

Ваш прямой углеродный след зависит от того, сколько и каких вы совершаете поездок на автомобиле, полетов на самолете (он потребляет чень много топлива), сколько газа или угля для обогрева вашего дома сожгли на ТЭЦ (или вы сами, если у вас индивидуальное отопление), сколько электричества вы израсходовали (более подробно см. тематические разделы 5 и 6). Как было показано выше, много зависит от того, как и какие вы используете электрические приборы.

*Другие косвенные* выбросы — количество $CO_2$ или других парниковых газов, выброшенное в атмосферу в процессе производства и транспортировки продукции, которую вы покупаете, и предоставления услуг, которые вы используете. Вы тоже можете влиять на эти выбросы. В данном случае речь идет о потребительском выборе тех или иных товаров. Производство и доставка одного товара может дать один объем выбросов, а другого, даже аналогичного, — гораздо больший или меньший объем. Если вы выберете товар с меньшими косвенными выбросами (как правило, произведенный в вашей местности, ведь транспортировка сопряжена с большими затратами топлива), то ваш личный вклад в косвенные выбросы и весь углеродный след человечества будет меньше.

Углеродный след — наиболее значимая в наши дни и стремительно растущая составляющая общего воздействия человека на природу. Оно рассчитывается с помощью всеобъемлющей системы оценки использования человеком ресурсов окружающей среды, называемой «экологический след» (Ecological Footprint).

Заметим, что в мире в целом величины антропогенных выбросов других парниковых газов, кроме $CO_2$, известны гораздо хуже и менее точно, чем выбросов $CO_2$ при сжигании угля, газа и нефтепродуктов. Кроме того, относительно небольшая часть антропогенных выбросов $CO_2$, связанная с лесными пожарами, разложением торфа и отходов, тоже известна гораздо менее точно, чем

выбросы при сжигании ископаемого топлива в энергетике, промышленности, транспорте, ЖКХ и других отраслях экономики (см. приложение 1). Поэтому очень часто для расчета углеродного следа используют только эту наиболее точно известную составляющую выбросов $CO_2$. Ориентировочно она составляет 2/3 всего углеродного следа человечества (см. рис П1.2). В приводимых ниже расчетах «экологического следа» (рис. П2.1) пока учтен только этот компонент. Вероятно, в последующие годы, по мере поступления более детальных данных, будут учтены и антропогенные выбросы других парниковых газов.

## «Экологический след»

«Экологический след» выражает потребление человечеством продукции и услуг экосистем через площадь биологически продуктивных территорий и акваторий, которая необходима для воспроизводства возобновляемых ресурсов, потребляемых человеком, и поглощения антропогенных выбросов $CO_2$. Он представляет собой инструмент, позволяющий сопоставлять потребности человечества в ресурсах биосферы и способность биосферы к их воспроизводству, которая определяется понятием «биоемкость». Единицей измерения как биоемкости, так и «экологического следа» служит «глобальный гектар» (гга)[1] — условная единица, представляющая собой среднемировую биологическую продуктивность 1 га. Поскольку мировая торговля носит глобальный характер, «экологический след» отдельного человека или страны может включать участки территории или акватории во всем мире.

При расчете «экологического следа» учитывается три вида площадей — необходимых человеку территорий нашей планеты.

Во-первых, площадь территорий и акваторий, необходимых для производства возобновляемых ресурсов, используемых человеком (сюда относят пастбища, леса, пашни и рыбопромысловые зоны).

Во-вторых, площадь территорий, занятых инфраструктурой (включает транспортную инфраструктуру, жилую застройку, промышленные сооружения и водохранилища ГЭС и др.).

---

[1] Глобальный гектар (гга) — мера площади биологически продуктивной территории или акватории, необходимой для производства всех ресурсов, потребляемых отдельным человеком, группой населения или видом деятельности, а также поглощения образующихся отходов с учетом преобладающих технологий и методов природопользования. Global Footprint Network 2012. Glossary. Global Footprint Network, Oakland, USA. http://www.footprintnetwork.org/en/index.php/GFN/page/glossary/, 12th December 2011.

В-третьих, делается расчет площади территории суши, необходимой для компенсации производимых человеком выбросов парниковых газов (в настоящее время учитываются только выбросы $CO_2$ от сжигания ископаемого топлива). При этом делается три шага. На первом шаге из данных выбросов $CO_2$ (в млрд т/год) вычитается часть, которая поглощается Мировым океаном, — примерно треть[2]. Далее вычисляется средняя способность лесов мира поглощать $CO_2$ (в т/га). На третьем шаге количество $CO_2$, оставшееся после частичного поглощения океаном, делится на среднюю поглощающую способность — получается значение параметра углеродного следа в млрд га. Чтобы подчеркнуть, что это не обычные, а особым образом рассчитанные гектары, добавляется слово «глобальный» — гга.

Таким образом, углеродный след представляет собой оценку площади лесов со среднемировыми характеристиками, необходимой для поглощения той части выбросов $CO_2$ от сжигания ископаемого топлива, которая не была поглощена океанами.

В 2008 году экологический след человечества достиг 18,2 млрд гга, или 2,7 гга на душу населения, и превысил биоемкость Земли (12 млрд гга, или 1,8 гга на душу населения) на 50%. Это означает, что нашей планете понадобилось бы полтора года, чтобы воспроизвести природные ресурсы, потребленные человечеством в 2008 году, и поглотить весь $CO_2$, выброшенный в том году. Иными словами, в 2008 году человечество для своей деятельности использовало эквивалент полутора планет Земля. С 1966 по 2008 год общий экологический след человечества удвоился. Это связано, главным образом, с увеличением углеродного следа (см. рис. П2.1). Заметим, что в данном случае он был рассчитан только исходя из выбросов $CO_2$ при сжигании ископаемого топлива. Если учесть все антропогенные выбросы парниковых газов, то углеродный след будет еще больше: есть примерные оценки, говорящие, что тогда углеродный след вырастет в 1,5 раза.

«Экологический след» России составляет 4,4 гга на душу населения, а биоемкость (способность биосферы нашей страны к воспроизводству) — 6,4 гга[3]. То есть, в нашей стране нет

---

[2] Доля выбросов, поглощаемая океанами, относительно стабильна; в 1961–2008 гг. она изменялась в диапазоне от 28 до 35%. CDIAC 2011. Global CO2 Emissions from Fossil-Fuel Burning, Cement Manufacture, and Gas Flaring: 1751-2008. Carbon Dioxide Information Analysis Center, Oak Ridge National Laboratory, Tennessee, USA. http://cdiac.ornl.gov/ftp/ndp030/global.1751_2008.ems, downloaded on: June 10, 2011.

[3] Живая планета 2012. Биоразнообразие, биоемкость и ответственные решения. Доклад. WWF International, 2012. http://www.wwf.ru/resources/publ/book/584

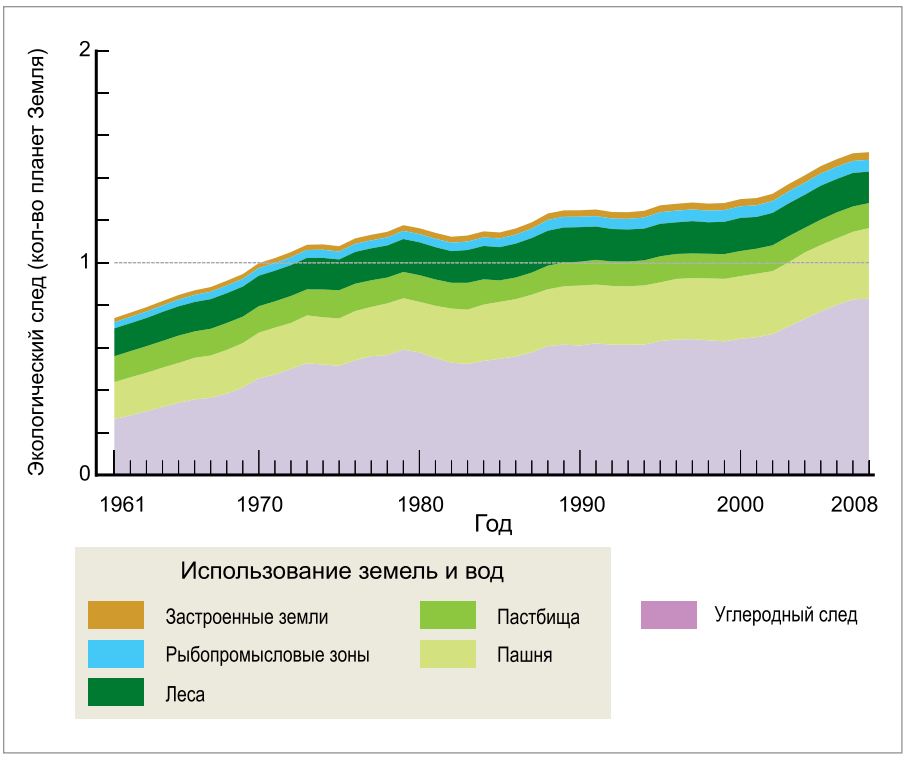



**Рис. П2.1 Динамика глобальных составляющих экологического следа, 1961–2008 гг.**

*Источник:* Живая планета 2012. Биоразнообразие, биоемкость и ответственные решения. Доклад. WWF International, 2012. http://www.wwf.ru/resources/publ/book/584

экологического дефицита, природных ресурсов пока достаточно для обеспечения страны. Но к этим цифрам нужно относиться очень осторожно. Во-первых, они основаны на данных 2007 года (последних обработанных детальных данных на момент, когда готовился цитируемый доклад), а ситуация может меняться быстро и в худшую сторону. Во-вторых, в отношении России подобные расчеты напоминают «среднюю температуру по больнице», поскольку плотность населения значительно отличается между регионами.

Только в Московском регионе (столица и область) проживает около 17,3 млн чел., что составляет 12,2% населения России (общая численность россиян на 1 января 2010 года — около 142 млн чел.). А в 11 городах-миллионниках — 18% населения[4]. Нетрудно предположить, что в этих регионах экологический след населения гораздо выше, чем в других регионах. Если речь идет об экологическом следе производства, то также надо быть осторожными, поскольку производства в нашей стране размещены неравномерно.

[4] По данным Федеральной службы государственной статистики. http://www.gks.ru

# Пример углеродного следа ряда товаров и услуг

Для примера приведем данные по углеродному следу ряда товаров и услуг, рассчитанные специалистами США[5].

SMS сообщение — 0,014 г $CO_2$-экв.

E-mail-сообщение — 4 г $CO_2$-экв. или 50 г $CO_2$-экв., если в письме есть достаточно объемное приложение.

Использование мобильного телефона — 1250 кг $CO_2$-экв. в год, если говорить по 1 часу в день.

Яблоко в месте произрастания — 0 г $CO_2$-экв., если яблоко привезено из своего сада — в среднем 10 г $CO_2$-экв. Яблоко местного производства в сезон сбора яблок (яблоко не хранилось в специальных условиях, что тоже требует затрат энергии) — 80 г $CO_2$-экв. В среднем яблоко, съеденное человеком, — 150 г $CO_2$-экв.

Пол-литровая бутылка с водой — 110 г $CO_2$-экв. в случае с местной водой (произведенной в вашем регионе), 160 г $CO_2$-экв. — в среднем.

Мороженое — 500 г $CO_2$-экв.

Мусор, 1 кг — 700 г $CO_2$-экв., а если это алюминиевые банки — 9 кг $CO_2$-экв на кг.

Джинсы — 6 кг $CO_2$-экв.

Новый автомобиль (Ford Taurus) — 17 т $CO_2$-экв.

Деятельность университета — 72 000 т $CO_2$-экв. в год.

О том, как вы можете уменьшить свой личный «экологический след», можно прочесть, например, на сайте Всемирного фонда дикой природы (WWF) http://www.wwf.ru/resources/footprint/tips

[5] Berners-Lee M. How Bad Are Bananas?: The Carbon Footprint of Everything. Greystone Books, 2011. http://www.amazon.co.uk/How-Bad-Are-Bananas-everything/dp/1846688914

# ПРИЛОЖЕНИЕ 3

# Пример школьной работы по наблюдению за последствиями ледяного дождя

## Предисловие

Ледяной дождь — редкое явление, которое иногда воспринимается как ранее невиданное. При сильно отрицательной температуре воздуха (–5 – –20 °С) из атмосферы выпадают шарики размером 1–3 мм — ледяные сферы, внутри заполненные водой с температурой около 0 °С. При столкновении, например, с ветками деревьев они разрушаются, вода облепляет ветки и тут же замерзает, образуя толстую ледяную корку. От тяжести льда ветки и даже стволы деревьев гнутся и ломаются. Именно ледяной дождь был приведен выше в тематическом разделе «Лес и климат» как пример неблагоприятных для растительности погодных условий (см. фото на рис. 3.8, стр. 84). Земля и все поверхности также покрываются льдом — наблюдается сильнейший гололед.

Для ледяного дождя требуются специфические атмосферные условия, когда большие массы теплого и влажного воздуха сверху натекают на приземный слой холодного воздуха толщиной в 1–3 км с сильно отрицательной температурой. Дождь образуется на большой высоте (в слое теплого воздуха), затем, проходя через холодный воздух, капельки покрываются льдом, но в льдинки превратиться не успевают. Поэтому они не скатываются с веток деревьев, а облепляют их в виде слоя замерзающей воды и льда. Такая ситуация возникает при резких перепадах погоды, характерных для неустойчивого климата с большой вариабельностью (см. рис. 1.17 и 1.18).

В ряде мест ледяные дожди — довольно частое явление, например, в провинции Квебек на юго-востоке Канады. В России это редкое явление, но в последние годы оно наблюдается чаще. В конце декабря 2010 года сильный ледяной дождь прошел в Москве, что привело к массовой гибели деревьев. Отмечались ледяные дожди в Поволжье, в Псковской и Ленинградской областях. Сейчас вероятно их появление и в более северных регионах европейской части России, так как там в зимнее время чаще наблюдается приход с юга теплого и влажного воздуха.

Возможно выпадение дождя и в других регионах России, в том числе и на Дальнем Востоке.

При возникновении данного явления школьникам можно предложить провести собственные наблюдения за его последствиями для различных пород деревьев, в качестве примера взяв работу, выполненную в г. Димитровграде Ульяновской области.

# Школьная работа

## Влияние аномальных погодных условий зимы 2010/2011 года на природные экосистемы г. Димитровграда

*Выполнена учеником 11 класса средней школы № 9 г. Димитровграда Александром Нехожиным (научный руководитель — Т. Г. Капкова).*

2010 год преподнес средней полосе России прощальный сюрприз: не успев отдохнуть от катастрофических пожаров минувшего лета, в декабре ряд регионов европейской части России оказался в ледяном плену.

Сочетание атмосферных условий вызвало редкое для России погодное явление: ледяной дождь и мощный слой льда на земле и всех остальных поверхностях, включая деревья, транспорт, провода. В нашей области это случилось 5–8 декабря.

В Ульяновской области больше всего от данных погодных аномалий пострадали Новомалыклинский (порвано более 20 км электрических сетей), Мелекесский, Старомайнский, Чердаклинский районы, город Димитровград. В области из-за обрывов обледеневших проводов были отключены от электроснабжения 78 населенных пунктов. Половина жителей Димитровграда остались на несколько дней без воды и электричества. В городе решался вопрос о возможном введении режима чрезвычайной ситуации!

Цель работы: изучить влияние данных аномальных погодных условий на городские и пригородные экосистемы г. Димитровграда.

Методика исследований: оценка санитарного состояния растительности, оценка внешнего вида деревьев и их повреждений.

Район исследований: нами исследованы Первомайский и Западный районы города Димитровграда. Обследованы территории вблизи р. Б. Черемшан и р. Мелекесска в черте города.

Экономический ущерб (на примере линий электропередач): по данным Димитровградского производственного отделения филиала ОАО «МРСК Волги — Ульяновские распределительные сети» на ликвидацию последствий ледяного дождя для линий электропередач было потрачено 70 936 200 рублей. Для сравнения: в другие годы (в обычном режиме) на устранение последствий неблагоприятных погодных явлений обычно уходит 15 000 000 рублей. Заменено опор линий электропередачи — 1978 шт. (в обычном режиме — порядка 400). То есть затраты увеличились почти в 5 раз.

Исследование растительности: в результате ледяного дождя 5 декабря все поверхности, в том числе стволы и ветви деревьев, покрылись толстым слоем льда, местами достигавшим 3–4 см.

Обследование проводилось вдоль основных улиц города. Результаты рассчитывались по среднему состоянию групп деревьев в количестве от 10 до 30 штук. На обследованных нами территориях санитарное состояние древесных насаждений было очень плохое. В районе реки Мелекесска 70% деревьев были с обломанными верхушками. В районе городского пляжа 85% деревьев ивы были сломаны. В районе Соцгорода на обследуемой площадке 65% деревьев были повреждены. Основные повреждения — сломанные боковые и верхушечные ветви.

По результатам исследования мы пришли к выводу, что больше всего повреждены сосны, березы и ивы. За ними по количеству поврежденных следует тополь. Меньше повреждений у клена, ясеня и дуба. Еще меньше пострадали липы, рябина, яблони, вязы (рис. П3.1).

Почки деревьев на несколько дней оказались под слоем льда. Продолжительное оледенение приводит к ослаблению и даже гибели почек, которые задыхаются под толстым слоем льда. Выжившие после продолжительного обледенения почки не смогут противостоять даже сравнительно небольшим морозам и в дальнейшем погибают.

Толстый слой льда на земле, который держится несколько дней, приводит к вымерзанию и отмиранию вегетативных и генеративных почек травянистых растений. Это отрицательно скажется на возобновлении вегетации весной.

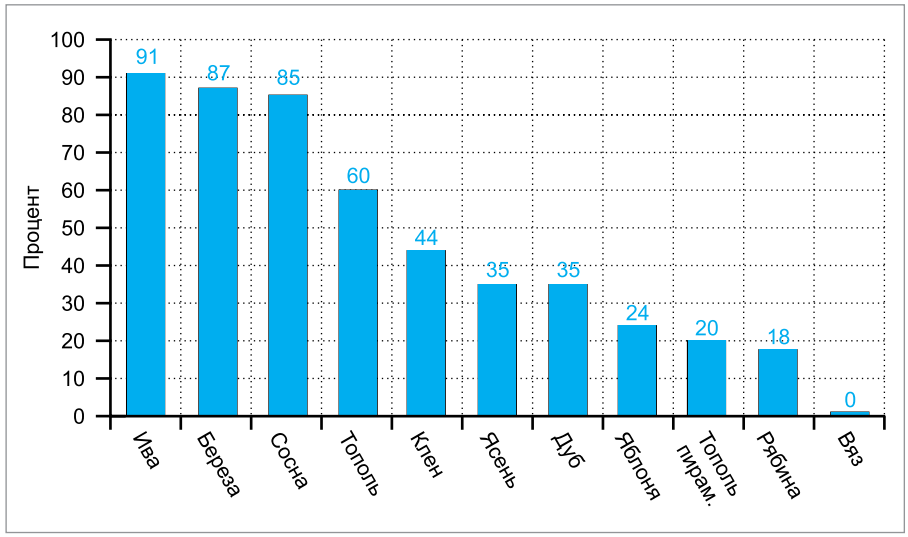



**Рис. П3.1 Повреждение пород деревьев от оледенения.** Процент поврежденных от всех обследованных

Влияние на птиц и других животных. Ледяной дождь, превратившийся в толстую ледяную корку на всех поверхностях, стал настоящей катастрофой для зимующих птиц. Из-подо льда они не могут добыть себе пищу, поэтому, если не подкармливать птиц, то они не переживут эти дни. Все возможные источники пищи: зерна, семена ясеня, клена, злаков; ягоды рябины, калины, ранеток — оказались под толстым слоем льда. Даже стволы деревьев были покрыты льдом, что лишает птиц не только пищи, но и убежищ. В этом случае крайне необходима срочная подкормка птиц. Заметим, что подкормка также нужна и при менее катастрофических условиях, в частности, в гололедицу, после снегопада с липким снегом и в сильные морозы.

На животных в лесу наличие толстого ледяного наста тоже оказывает большое влияние. Особенно для мелких млекопитающих, таких как мышевидные грызуны, насекомоядные. Случаи гибели мелких зверьков, мигрирующих по ледяной корке или плотной ветровой доске, нередко принимают массовый характер.

Для крупных животных особенности структуры снежного покрова далеко не безразличны. Легко ломающаяся ледяная корка мешает хищнику бесшумно подкрадываться к осторожной жертве, режет ноги, затрудняет передвижение и заставляет менять места охоты.

Выводы: в результате наших исследований мы пришли к выводу, что аномальные климатические условия серьезно повлияли на природные экосистемы города Димитровграда, пригородные леса Мелекесского лесничества (см. также данные, полученные от лесничеств, рис. П3.2).

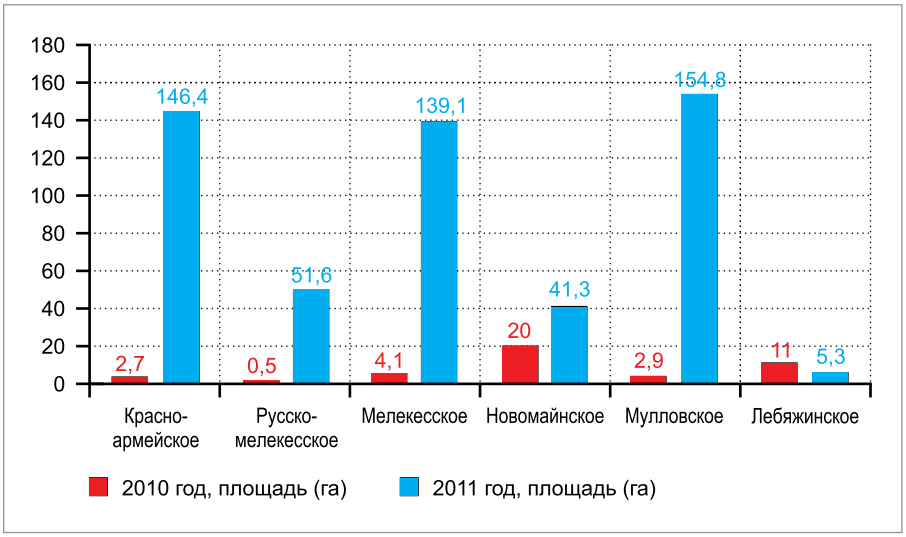



**Рис. П3.2 Сравнение объемов санитарно-оздоровительных мероприятий по лесничествам в 2010 и 2011 гг.**

- Экологическое состояние природных экосистем существенно изменилось в худшую сторону.
- Санитарное состояние древесной растительности на территории города и на участках Мелекесского лесничества расценивается как неудовлетворительное. Деревья относятся в основном к 4–5 классу по шкале оценки санитарного состояния (используется 5-бальная шкала, где 1 — лучшее, а 5 — наихудшее состояние). К 3–4 классу по эстетической оценке.
- Наиболее пострадали насаждения Мулловского, Красноармейского и Мелекесского лесничества.
- Наиболее уязвимыми оказались насаждения сосны, березы, ивы. Процент повреждения этих пород деревьев на некоторых участках достигает 70–90%.
- Нанесен большой ущерб экономике города. Объем работ по восстановлению линий электропередач, замене опор был почти в 5 раз больше, чем в обычные годы.
- Объем проведенных лесхозами санитарно-оздоровительных мероприятий превышает объемы подобных мероприятий в прошлые годы в десятки раз.
- На последующие 2 года специалисты прогнозируют массовое заражение поврежденных деревьев стволовыми вредителями и грибковыми заболеваниями. В ближайшие годы вероятна массовая гибель наиболее поврежденных деревьев.

- Велика опасность возникновения лесных пожаров из-за захламленности леса сломанными деревьями.
- Нанесен большой ущерб местным популяциям зверей и птиц (как обследованного нами Мелекесского лесничества, так и других лесничеств, где сильно пострадали древесные насаждения).

Наши предложения

1. Продолжить изучение природных экосистем города Димитровграда и лесных участков Мелекесского лесничества.
2. Организовать постоянный мониторинг территорий, пострадавших от ледяного дождя.
3. Продолжить санитарно-оздоровительные мероприятия с целью очистки лесов от большого числа поваленных деревьев и веток, наличие которых способствует развитию вредителей леса.
4. Провести специальные лесотехнические мероприятия (опрыскивание деревьев, пострадавших от ледяного дождя, специальными препаратами и другие меры), направленные на защиту леса от стволовых вредителей и грибковых заболеваний.
5. Провести более детальные исследования влияния ледяного дождя на популяции лесных зверей и птиц.

# ПРИЛОЖЕНИЕ 4

# Примеры работ школьников по сохранению тепла и электроэнергии

## Предисловие

В пятом и шестом тематических разделах рассмотрены возможности экономии тепла и электроэнергии, доступные каждому, в том числе и школьникам. Сформулированы и 30 практических советов по способам экономии. Ниже приводятся школьные работы, которые могут быть взяты в качестве примера для самостоятельных практических работ в рамках факультативного курса «Климат и энергосбережение» для учащихся 10–11-х классов. Его примерная программа приводится в приложении 5. Однако многие работы могут выполняться и более младшими школьниками.

Данные примеры были взяты из опыта Школьного проекта по использованию ресурсов и энергии (ШПИРЭ) в Архангельской области. В рамках этого проекта с 2005 года в работы по экономии тепла и электроэнергии были вовлечены более 800 школьников. Приводимые ниже материалы были любезно предоставлены Марией Смирновой.

## Школьные работы

Ребята из школ № 34 и 87 г. Архангельска устроили выставку стенгазет, где опубликовали результаты своих достижений, а ученики школы № 4 г. Онеги провели информационную акцию о необходимости энергосбережения в своем городе. Школьники понимают, что если каждый ученик и его семья, соседи, одноклассники научатся экономить электроэнергию и сохранять тепло, то смогут существенно ослабить негативное воздействие на климат и сэкономить семейный или школьный бюджет.

В 2007 году в школе № 1 г. Новодвинска был проведен полный комплекс работ по утеплению здания и модернизации отопительной системы. Ученик этой школы Александр Чернов вместе со своим руководителем Л. Р. Зориной рассчитали, что если установить теплоотражающие экраны за батареями, установить автоматический тепловой пункт, а также сбалансировать систему отопления

и утеплить окна, то можно сэкономить около 30% используемой тепловой энергии. При затратах в 2,1 млн рублей окупаемость составит всего 5 лет, так как каждый год будет экономиться до 415 000 кВт·ч энергии (расчет сделан по тарифам 2007 года, при росте тарифов срок окупаемости сокращается).

В ноябре 2011 года ученики 8–11-х классов школы № 4 г. Онеги (руководитель С. М. Некрасова) провели акцию «Плюс 1 градус». За неделю они смогли утеплить окна всех кабинетов своей школы.

Ученик 4-го класса городской гимназии № 3 г. Архангельска Кирилл Скачков (руководитель О. М. Суханова) для того чтобы снизить расход топлива и уменьшить негативное воздействие на климат, советует взрослым на короткие расстояния ходить пешком или пользоваться общественным транспортом. Если же ездить на автомобиле — то на более высокой передаче; перед тем, как отправиться в путь, выбрать наиболее оптимальный маршрут, чтобы не приходилось останавливаться на светофорах и круговом движении. Кирилл вместе с дедом выяснил, что при движении в «пробках» расход топлива возрастает вдвое по сравнению с расходом на свободных улицах. А для того чтобы его дед и отец не забывали об экологической манере движения, он нарисовал наклейки и разместил их в салоне автомобиля.

Ученик школы № 1 г. Вельска Дмитрий Чернаков (руководитель И. Н. Оносова) с помощью прибора SLELECTRIC доказал, что электроприборы, включенные в сеть и работающие в «ждущем режиме», все равно потребляют электрическую энергию. Он подсчитал, что его школа могла бы сэкономить в год 936 рублей, если бы приборы выключались из розетки, когда ими не пользуются. На сэкономленные деньги Дмитрий советует приобрести девять энергосберегающих ламп, тогда экономия электроэнергии в последующих месяцах увеличилась бы еще на 47 рублей.

Ученица Мезенской средней школы Анна Высотина написала стихи о том, как каждый из нас может сберечь энергию.

Если ты тайком от мамы

Холодильник посещал,

То его закрой плотнее,

Чтобы холод не пропал.

***

Воет стужа? Дует ветер?

Снег стучится к вам в окно?

Чтобы не был он помехой,

Ты закрой скорей его!

***

Чтобы зря не утепляться,

Сам ты можешь догадаться:

Нужно двери закрывать –

Холод в дом не запускать.

# ПРИЛОЖЕНИЕ 5

# Программа факультативного курса «Климат и энергосбережение» для учащихся 10–11-х классов общеобразовательных учреждений

## Пояснительная записка

Растущая цена энергетических ресурсов и вероятные негативные последствия изменений климата вынуждают нас пересмотреть отношение к производству и потреблению энергии. Бережное отношение к окружающей среде и природным ресурсам признано одним из ключевых принципов образования в области экологии и устойчивого развития. Приоритетным становится не степень осведомленности учащихся об экологической проблематике, а способность к реальным действиям по сохранению качества окружающей среды. Важно формирование ответственности за дальнейшую судьбу своего города, региона, страны и планеты в целом.

Актуальность факультативного курса «Климат и энергосбережение» продиктована объективными требованиями времени и изменениями, происходящими сейчас во всем мире. Во всех странах активно используются запасы ископаемого топлива — нефти, газа, угля. Однако они добываются все дальше и сложнее и становятся все дороже. Постоянно наблюдаемый рост цен на энергоносители предполагает не только развитие и более широкое использование возобновляемых источников энергии (таких как солнце, ветер, геотермальная и гидроэнергия, энергия биомассы), но, прежде всего, экономное отношение к традиционным энергетическим ресурсам.

В декабре 2009 года Президент Российской Федерации Д. А. Медведев подписал «Климатическую доктрину Российской Федерации». Одна из задач, поставленных в Доктрине, — просвещение в области изменения климата, мер адаптации, а также энергоэффективности и энергосбережения. Подчеркивается, что проблема изменения климата требует внимания со стороны не только государственных служб, но и населения в целом. Именно поэтому в нашей стране активно ведется вовлечение всех гра-

ждан — школьников, студентов, взрослых — в государственные программы энергоэффективности и энергосбережения, призванные не только снизить коммунальные расходы, но и внести вклад в решение проблемы изменения климата. В свою очередь, государственные органы в лице Росгидромета предпринимают немалые усилия по пропаганде знаний в области изменения климата, а подготовленные ими доклады и бюллетени легли в основу данной книги.

В книге имеется список литературы и интернет-источников, которыми можно воспользоваться и педагогу, и учащимися. Для удобства пользования список разделен на 2 части. В первой части приведено около 10 главных источников. Все они на русском языке и с интернет-доступом, включая и базовые материалы Росгидромета. Во второй части собрано более 30 дополнительных источников, некоторые из них на английском языке.

Программа факультативного курса «Климат и энергосбережение» создает условия для более полного понимания учащимися актуальности и социальной значимости проблемы изменения климата и энергосбережения, а также призывает к доступным действиям — как по уменьшению влияния каждого человека, семьи, школы на климатическую систему (снижение выбросов парниковых газов через энергосбережение), так и по адаптации к нынешним и ожидаемым в ближайшие годы изменениям, как позитивным, так и негативным, которых, к сожалению, гораздо больше. Программа подготовлена Е. В. Смирновой (Экобюро GREENS).

Программа позволяет реализовать образовательные, воспитательные и развивающие задачи таких дисциплин, как география, экология, физика, химия, биология, основы безопасности жизнедеятельности (ОБЖ) и валеология (общая теория здоровья, претендующая на интегральный подход к физическому, нравственному и духовному здоровью человека).

Теоретические вопросы, рассматриваемые в курсе, выходят за рамки обязательного содержания и базируются на знаниях и умениях, полученных учащимися при изучении физики, химии, географии, экологии и биологии в основной школе. В процессе изучения курса происходит формирование научного миропонимания, расширение кругозора учащихся в области естественных наук, понимание и объяснение явлений, происходящих в повседневной жизни, с научной точки зрения. Факультативный курс «Климат и энергосбережение» предусматривает интеграцию следующих предметов: географии, физики, химии, биологии и экологии.

**Цель факультативного курса «Климат и энергосбережение»** — изучение особенностей климатической системы, ее изменений в наше время, понимание роли человека в изменении климата и формирование готовности к конкретным действиям.

**Задачи факультативного курса «Климат и энергосбережение»:**

1. Образовательные:
   - освоить важнейшие термины и понятийный аппарат, касающийся глобального изменения климата;
   - показать необходимость системного подхода к решению проблемы изменения климата;
   - расширить познания о глобальных и региональных климатических изменениях и проблемах, прогнозах на будущее, ожидаемых негативных и позитивных эффектах в вашем регионе;
   - способствовать формированию ключевых компетенций учащихся в области энергосбережения.
2. Развивающие:
   - способствовать развитию умений грамотно работать с информацией, формулировать выводы и на их основе выявлять проблемы и находить пути их решения;
   - содействовать активному участию в мероприятиях по сбережению тепла и электроэнергии в домашнем хозяйстве, в школе, в вашем городе или поселке;
   - развивать практические умения и навыки по сохранению тепловой и электроэнергии в квартирах, частных домах, школе.
3. Воспитательные:
   - воспитывать гражданскую ответственность за состояние окружающей среды, климата и природных ресурсов;
   - воспитывать активную гражданскую позицию в решении вопросов энергосбережения;
   - показать возможность и необходимость личного участия каждого в решении проблем, связанных с энергосбережением и сокращением личного влияния на климат.

**Ожидаемые результаты:**

- повышение уровня знаний в области изменения климата. Знание и понимание естественных и антропогенных факторов, влияющих на изменение климата, вероятного развития событий в будущем;

- знание и понимание роли влияния климата на леса и роли лесов в формировании климата;
- знание об основных тенденциях изменения климата в вашем регионе, прогнозах на будущее и ожидающихся эффектах, понимание путей адаптации к негативным эффектам и возможностей использования позитивных эффектов;
- понимание связи между сбережением энергии и уменьшением изменений климата;
- знание основных путей повышения эффективности использования тепловой и электрической энергии у себя дома;
- готовность к конкретным действиям по сбережению тепла и электроэнергии;
- повышение положительной мотивации к изучению физики, химии, географии, экологии и биологии.

## Методы преподавания. Формы контроля достижений учащихся

Методы преподавания определяются целями и задачами курса, направленного на формирование способностей учащихся и основных компетентностей в предмете. Основные методические принципы связаны с формами организации деятельности, в которую будут погружаться учащиеся. Это словесный, наглядный, практический методы, проблемно-поисковый и исследовательский методы.

В области предметной компетенции учащиеся овладевают естественно-научными понятиями, изучают связи между различными природными и антропогенными явлениями, постигают важность понимания проблем научного поиска. Это способствует самореализации учащегося и помогает в выборе профессии.

В области коммуникативной компетенции учащиеся овладевают формами проблемной коммуникации (умение воспринимать точку зрения собеседника, аргументированно излагать свою точку зрения, давать оценку событий, происходящих в обществе и природной среде).

**Способы оценивания достижений учащихся**

Промежуточный контроль достижений учащихся осуществляется через наблюдение активности на занятии, анализ результатов

выполнения задания, беседы с учащимися. Итоговый зачет можно выставлять по результатам представления итогового проекта (финальная оценка «зачет/незачет»).

**Тематическое планирование курса**

Данная программа предлагается для учащихся 10–11-х классов, рассчитана на 34 учебных часа (1 час в неделю).

Программа включает в себя шесть тем: «Изменение климата на планете», «Что меняется в Арктике и насколько это серьезно?», «Лес и климат», «Региональные изменения климата и их вероятные последствия», «Сбережение тепла в зданиях», «Сбережение электроэнергии: это может сделать каждый». Пониманию материала данного курса учащимися помогут предшествующие знания (входные компетенции) в области физики, химии, географии, биологии, экологии, ОБЖ.

**Методическое обеспечение программы**

Для эффективного усвоения программного материала факультативного курса «Климат и энергосбережение» рекомендуется использовать учебники, видеозаписи, мультимедийные материалы, разработки игр, экскурсии, знакомящие учащихся с организацией работы по охране окружающей среды и энергосбережению — как среди населения, так и в организациях и на промышленных предприятиях.

Важной формой овладения материалом должна стать самостоятельная работа учащихся по подготовке итоговой работы — разработке и представлению рекомендаций по уменьшению потребления электроэнергии или сокращению потерь тепла в своей квартире (дома) на основании домашнего энергоаудита — рассмотрения возможностей уменьшения потерь электроэнергии и тепла.

## Содержание занятий

**Введение (1 час)**

Содержание и задачи курса. Понятия «климат», «климатическая система», «энергосбережение», табл. П5.1.

**Тема 1. Изменение климата на планете (5 часов)**

Изменение климата Земли в прошлом, в последние 500 и 60 млн лет. Последние миллионы лет: радиационный баланс Земли. Парниковый эффект. Сотни тысяч лет: ледниковые перио-

ды и изменение орбиты Земли. Последнее тысячелетие: вулканы, Солнце и океанские циклы. Главная климатическая особенность последних десятилетий. Круговорот $CO_2$. Рост температуры в мире и в России. Разбалансировка климата. Проблема роста числа опасных гидрометеорологических явлений. Прогнозы и последствия изменения климата.

**Тема 2. Изменение климата в Арктике (3 часа)**

Атмосфера Арктики. Рост температуры приземного слоя воздуха в Арктике. Состояние льдов и океанских вод. Площадь арктических льдов. Объем арктических льдов. Северный морской путь. Морские экосистемы. Условия жизни белых медведей, моржей, китов, тюленей. Наземные экосистемы. Удлинение вегетационного периода. Рост береговой эрозии. Гидрологический режим и криосфера. Изменение стока рек. Таяние и разрушение ледников. Таяние многолетней мерзлоты.

**Тема 3. Лес и климат (3 часа)**

Лесные ритмы Европы в прошлом. Климатическая история и изменения растительного покрова плейстоцена и голоцена. Растительный покров Европы 20 тыс. лет назад, 13 тыс. лет назад, 12 тыс. лет назад, 11 тыс. лет назад, 8 тыс. лет назад, 5 тыс. лет назад.

Климатическое воздействие на леса. Причины гибели лесов в России. Изменения площадей лесов России. Прогноз на будущее. Воздействие леса на климат. Углеродный цикл (поглощение и эмиссия $CO_2$). «Зеленые легкие» планеты. Бюджет углерода. Тенденции будущих изменений.

**Тема 4. Региональные изменения климата и их вероятные последствия (9 часов)**

Изменения климата на севере европейской части России и Западной Сибири, температура, осадки, снежный покров. Опасные метеорологические явления. Прогноз изменения температуры. Прогноз изменения количества осадков. Понятие о прогнозах числа и силы опасных метеорологических явлений, социально-экономических и экологических последствий изменений климата.

Особенности изменения климата, прогнозы на будущее и предлагаемые меры в конкретном регионе (Мурманская область, Архангельская область и Ненецкий автономный округ, Ямало-Ненецкий автономный округ).

Изменения температуры и осадков за последние десятилетия. Изменения многолетней мерзлоты, морских вод. Основные черты изменения флоры и фауны. Опасные метеорологические явления последних лет. Прогноз изменения температуры и количества осадков. Сводка связанных с изменениями климата экологических и социально-экономических явлений, их вероятных последствий и предлагаемых мер для вашего региона. Негативные явления, позитивные явления, резюме. Желательны занятия с рассмотрением соседних регионов.

**Тема 5. Сбережение тепла в зданиях (4 часа)**

Потребление энергии в жилом секторе России. Возможность снижения выбросов парниковых газов. Источники потерь тепла. Как сохранить тепло. Советы по сбережению тепла. «Пассивные» дома.

**Тема 6. Сбережение электроэнергии (9 часов)**

Бюджет электроэнергии среднего жителя России. Потенциал экономии электроэнергии. Экономия на освещении. Экономия и энергоэффективность бытовых приборов. Советы по сбережению энергии. Маркировка энергоэффективности. Экономия электроэнергии и изменение климата.

Практическая работа (выполнение итогового проекта). Проведение энергоаудита у себя в квартире (доме) — анализ потребления электроэнергии и представление рекомендаций по его снижению.

**Таблица П5.1**
**Тематическое планирование факультатива «Климат и энергосбережение»**

| № п/п | Тема | Всего часов | Теоретических | Практических |
|---|---|---|---|---|
| | **Введение** | **1** | **1** | |
| | Содержание и задачи курса. Понятия «климат, «климатическая система», «энергосбережение» | 1 | 1 | |
| **1** | **Изменение климата на планете** | **5** | **4** | **1** |
| 1.1 | Изменение климата Земли в прошлом. Временная шкала изменений климата. Последние миллионы лет: радиационный баланс Земли. Парниковый эффект. Сотни тысяч лет: ледниковые периоды и изменение орбиты Земли. Последнее тысячелетие: вулканы, Солнце и океанские циклы | 2 | 2 | |
| 1.2 | Главная климатическая особенность последних десятилетий. Круговорот углерода. Роль океана в климатической системе | 1 | 1 | |
| 1.3 | Рост температуры в мире и в России. Разбалансировка климата. Проблема роста числа опасных гидрометеорологических явлений. Прогнозы и последствия изменения климата | 2 | 1 | 1 |

>>>

| № п/п | Тема | Всего часов | Теоретических | Практических |
|---|---|---|---|---|
| **2** | **Изменение климата в Арктике** | **3** | **3** | |
| 2.1 | Атмосфера Арктики. Рост температуры приземного слоя воздуха | 1 | 1 | |
| 2.2 | Состояние льдов и океанских вод. Площадь арктических льдов. Объем арктических льдов. Северный морской путь | 1 | 1 | |
| 2.4 | Морские экосистемы. Условия жизни белых медведей, моржей, китов, тюленей. Наземные экосистемы. Удлинение вегетационного периода. Рост береговой эрозии. Гидрологический режим и криосфера. Изменение стока рек. Таяние и разрушение ледников. Таяние многолетней мерзлоты | 1 | 1 | |
| **3** | **Лес и климат** | **3** | **3** | |
| 3.1 | Лесные ритмы Европы в прошлом. Климатическая история и изменения растительного покрова плейстоцена и голоцена. Растительный покров Европы 20 тыс. лет назад, 13 тыс. лет назад, 12 тыс. лет назад, 11 тыс. лет назад, 8 тыс. лет назад, 5 тыс. лет назад | 1 | 1 | |
| 3.2 | Климатическое воздействие на леса. Причины гибели лесов в России. Изменения площадей лесов России. Прогноз на будущее | 1 | 1 | |
| 3.3 | Воздействие леса на климат. Углеродный цикл (поглощение и эмиссия $CO_2$). «Зеленые легкие» планеты. Бюджет углерода. Тенденции будущих изменений | 1 | 1 | |
| **4** | **Региональные изменения климата и их вероятные последствия** | **9** | **5** | **4** |
| 4.1 | Изменения климата на севере европейской части России и Западной Сибири, температура, осадки, снежный покров. Опасные метеорологические явления. Прогноз изменения температуры и осадков | 2 | 1 | 1 |
| 4.2 | Изменения климата в вашем регионе за последние десятилетия. Многолетняя мерзлота, морские воды, флора и фауна. Опасные явления последних лет. Прогноз изменения температуры и количества осадков. Данные и прогнозы для соседних регионов | 3 | 2 | 1 |
| 4.3 | Сводка связанных с изменениями климата экологических и социально-экономических явлений, их вероятных последствий и предлагаемых мер для вашего региона, соседних регионов. Негативные явления, позитивные явления, резюме | 4 | 2 | 2 |
| **5** | **Сбережение тепла в зданиях** | **4** | **4** | |
| 5.1 | Потребление энергии в жилом секторе России. Возможности снижения выбросов парниковых газов | 1 | 1 | |
| 5.2 | Источники потерь тепла | 1 | 1 | |
| 5.3 | Как сохранить тепло. Советы по сбережению тепла. «Пассивные» дома | 2 | 2 | |
| **6** | **Сбережение электроэнергии** | **9** | **1** | **8** |
| 6.1 | Бюджет электроэнергии среднего жителя России. Потенциал экономии электроэнергии | 1 | 1 | |
| 6.2 | Экономия на освещении. Бытовые приборы | 2 | | 2 |
| 6.3 | Маркировка энергоэффективности. Экономия электроэнергии и изменение климата | 1 | | 1 |
| 6.4 | Практическая работа (выполнение итогового проекта). Проведение энергоаудита у себя в квартире (доме) — анализ потребления электроэнергии и представление рекомендаций по его снижению | 5 | | 5 |

# ЛИТЕРАТУРА И ИНТЕРНЕТ-ИСТОЧНИКИ

## Основные источники


Главная геофизическая обсерватория им. А. И. Воейкова. Широкий спектр вопросов, связанных с изменением климата. Интерактивная прогностическая карта изменений климата в России. http://www.voeikovmgo.ru/ru/izmenenie-klimata-rossii-v-xxi-veke (на сайте ГГО http://www.voeikovmgo.ru можно выбрать справа вверху раздел «Изменение климата России в XXI веке»).

Глобальные изменения климата, специальный сайт Росгидромета. Обширная подборка докладов и материалов по изменению климата. Ежемесячный бюллетень «Изменение климата». www.global-climate-change.ru

Доклад об особенностях климата на территории Российской Федерации за 2011 год. — М.: Росгидромет, 2012 (доклады выходят ежегодно). www.meteorf.ru или http://climatechange.igce.ru

Изменение климата, Ежемесячный электронный бюллетень, М. Росгидромет. www.meteorf.ru или www.global-climate-change.ru

Изменение климата: 100 вопросов и ответов / А. О. Кокорин — М.: WWF России, 2010. — 120 С. http://www.wwf.ru/resources/publ/book/434

Институт глобального климата и экологии (ИГКЭ) Росгидромета и РАН, специальный сайт, посвященный вопросам изменения климата. Мониторинг климата, доклады, прогнозы, часто задаваемые вопросы и пр. http://climatechange.igce.ru

Климатическая доктрина РФ. 2009. Распоряжение Президента РФ от 17.12.2009 № 861-рп «О Климатической доктрине Российской Федерации». http://президент.рф/acts/6365. См. также http://www.climatechange.ru/files/Climate_Doctrine.doc

Оценка макроэкономических последствий изменений климата на территории Российской Федерации на период до 2030 г. и дальнейшую перспективу, под ред. В. М. Катцова и Б. Н. Порфирьева. — Росгидромет. — М.: Д'АРТ: Главная геофизическая обсерватория, 2011. — 252 С. Авторы: В. М. Катцов, Н. В. Кобышева, В. П. Мелешко, Б. Н. Порфирьев, Б. А. Ревич, О. Д. Сиротенко, В. В. Стадник, Е. И. Хлебникова, С. С. Чичерин, А. Л. Шалыгин. Доклад является совместным вкладом ученых и специалистов научно-исследовательских учреждений Росгидромета (Главной геофизической обсерватории им. А. И. Воейкова (головной исполнитель), Арктического и антарктического научно-исследовательского института, Всероссийского научно-исследовательского института гидрометеорологической информации — Мирового центра данных, Всероссийского научно-исследовательского института сельскохозяйственной метеорологии, Гидрометцентра России, Государственного гидрологического института) и РАН (Института народно-хозяйственного прогнозирования РАН и Института леса им. В. Н. Сукачева СО РАН) в научное обоснование национальной стратегии Российской Федерации в отношении изменения климата. http://www.voeikovmgo.ru/ru/sobyitiya/doklad-otsenka-makroekonomicheskih-posledstviy-izmeneniya-klimata-na-territorii-rossiyskoy-federatsii.html

Оценочный доклад об изменениях климата и их последствиях на территории Российской Федерации, т. 1 и т. 2. — Росгидромет, М., 2009. http://climate2008.igce.ru

Оценочный отчет. Основные природные и социально-экономические последствия изменения климата в районах распространения многолетнемерзлых пород: прогноз на основе синтеза наблюдений и моделирования. Под ред. О. А. Анисимова. СПб.: Государственный гидрологический институт, 2009. — 44 с. http://www.permafrost.su/publications

Федеральная служба России по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды, прогноз погоды, информация о погодных явлениях, новости и пр. www.meteorf.ru

## Дополнительные источники

Арктический и антарктический научно-исследовательский институт Росгидромета. Данные по Арктике, состояние льдов (раздел «Оперативные данные», Обзорные ледовые карты) и др. www.aari.nw.ru

Атлас биологического разнообразия морей и побережий Российской Арктики. — М.: WWF России, 2011. — 64 с. http://www.wwf.ru/resources/publ/book/500

Влияние глобальных климатических изменений на здоровье населения Российской Арктики. Ревич Б. А. и др. — М.: Представительство ООН в РФ, 2008. — 28 с. http://www.unrussia.ru/sites/default/files/doc/Arctic-ru.pdf

Всемирный фонд дикой природы (WWF). Работа бригад «Медвежий патруль». http://www.wwf.ru/resources/features/story/47

Всемирная метеорологическая организация www.wmo.ch. Широкий спектр материалов и данных об изменениях климата, новости, прогнозы, ссылки на последние публикации. Заявление ВМО о состоянии глобального климата в 2011 г. на русском языке. http://www.wmo.int/pages/prog/wcp/wcdmp/documents/1085_ru.pdf

Государственная программа Российской Федерации «Энергосбережение и повышение энергетической эффективности на период до 2020 года». Распоряжение Правительства Российской Федерации от 27 декабря 2010 г. № 2446-р. http://www.rg.ru/2011/01/25/energosberejenie-site-dok.html

Живая планета 2012. Биоразнообразие, биоемкость и ответственные решения. Доклад. WWF International, 2012. http://www.wwf.ru/resources/publ/book/584

Замолодчиков Д. Г. Леса и климат — вчера, сегодня, завтра // Живой лес. 2011. № 3. С. 16–22. http://givoyles.ru/index.php?option=com_content&task=view&id=115&Itemid=

Замолодчиков Д. Г. Оценка климатогенных изменений разнообразия древесных пород по данным учетов лесного фонда // Успехи современной биологии. 2011. Т. 131. № 4. С. 382–392. http://elibrary.ru/item.asp?id=16824433

Замолодчиков Д.Г. Динамика углеродного баланса лесов России и ее вклад в изменение атмосферной концентрации углекислого газа // Бюллетень «Использование и охрана природных ресурсов в России». 2012. № 5. С. 31–38. http://www.priroda.ru/lib/detail.php?ID=10706

Замолодчиков Д. Г., Грабовский В. И., Краев Г. Н. Динамика бюджета углерода лесов России за два последних десятилетия // Лесоведение. 2011. № 6. С. 16–28. http://elibrary.ru/item.asp?id=17097641

Комплексный план реализации Климатической доктрины Российской Федерации на период до 2020 года. Распоряжение Правительства РФ от 25 апреля 2011 г. № 730-р «Об утверждении комплексного плана реализации Климатической доктрины РФ на период до 2020 г.». http://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/2074495/. См. также http://www.climatechange.ru/files/Climate_Doctrine_Action_Pl.

Краев Г. Н., Замолодчиков Д. Г. Наблюдаемые воздействия современных климатических изменений на леса России // Экология. 2013.

Методы оценки последствий изменений климата для физических и биологических систем. С. М. Семенов (ред.). — М.: Росгидромет, 2012. — 512 с. http://www.igce.ru/category/knigi

Минэнерго, специальный сайт про энергосбережение. «Калькуляторы экономии», советы про выбор оборудования и многое другое. http://www.energosber.info

Мохов И. И., Елисеев А. В. Моделирование глобальных климатических изменений в XX–XXIII веках при новых сценариях антропогенных воздействий RCP. Доклады Академии наук. 2012. Т. 443. № 6. http://strf.ru/material.aspx?CatalogId=21731&d_no=47344

Национальный доклад РФ о кадастре источников и поглотителей парниковых газов. 2012 г. www.unfccc.int. См. также http://www.global-climate-change.ru/index.php/ru/oficial-documents/kadastr-report

Образовательно-информационный сайт по использованию солнечной и ветровой энергии, биотоплива и других возобновляемых источников энергии, также освещаются вопросы энергосбережения и экологии. www.energy-fresh.ru

Образовательно-информационный сайт по проблеме изменения климата на русском языке. www.climatechange.ru

Поморская энциклопедия: в 5 т./ гл. ред. Н. П. Лавёров. — Архангельск, 2001. Т. II: Природа Архангельского Севера / гл. ред. Н. М. Бызова. — Архангельск. Поморский университет, 2007. — 603 с.

Прогноз развития энергетики мира и России до 2035 г. — ИНЭИ, РЭА, М., 2012. — 196 с. http://www.eriras.ru/data/94/rus

Энергоэффективность в России: скрытый резерв. — ЦЭНЭФ, Всемирный банк, IFC, М., 2008. — С. 51 http://www.ifc.org/ifcext/rsefp.nsf/AttachmentsByTitle/FINAL_EE_report_rus.pdf/$FILE/FINAL_EE_report_rus.pdf

Энергоэффективность зданий на Северо-Западе России. Интеллектуальные здания, стандарты, финансирование, законодательство, лучшие практики в повышении энергоэффективности многоквартирных домов и др. http://undp-eeb.ru/index.php?option=com_content&view=article&id=26&Itemid=37&lang=ru

Energy revolution. Perspectives for establishment of a system of energy security of Russia. Russia energy [r] evolution. — Greenpeace International, EREC. 2009. — 44 pp. http://www.energyblueprint.info/822.0.html

Hansen, J.E., and Mki. Sato, 2011: Paleoclimate implications for human-made climate change. In Climate Change: Inferences from Paleoclimate and Regional Aspects. Berger, André; Mesinger, Fedor; Sijacki, Djordje (Eds.) — Springer, 2012. — 270 pp. http://www.springer.com/environment/global+change+-+climate+change/book/978–3–7091–0972–4

International Energy Agency. Прогнозы развития энергетики Информация по вопросам эффективного использования энергии, возобновляемой энергетики и др. www.iea.org

IPCC — Intergovernmental Panel on Climate Change. Межправительственная группа экспертов по изменению климата (МГЭИК). Официальные доклады, вопросы идентификации изменений климата и их причин, прогнозы, оценка влияния на окружающую среду. Четвертый оценочный доклад IPCC 4AR, vol. 1, Climate Change 2007. The Physical Science Basis. На русском языке см. Изменение климата, 2007 г. Физическая научная основа. www.ipcc.ch.

Richter-Menge, J., M. O. Jeffries and J. E. Overland, Eds., 2011: Arctic Report Card 2011. http://www.arctic.noaa.gov/reportcard

Special report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, Managing the risks of extreme events and disasters to advance climate change adaptation, 2012. — 582 pp. www.ipcc.ch

The Emission Gap Report, UNEP, December 2010. — 52 pp. Имеется Техническое резюме на русском языке: Доклад о разрыве в уровне выбросов. http://www.unep.org/publications/ebooks/emissionsgapreport

The Energy Report. 100% Renewable Energy by 2050. WWF, Ecofys, OMA. 2011. — 256 pp. http://wwf.panda.org/what_we_do/footprint/climate_carbon_energy/energy_solutions/renewable_energy/sustainable_energy_report/

United Nations Environment Programme (UNEP). Образовательные материалы по изменению климата и влиянию на экосистемы. Библиотека публикаций. www.unep.org. Доклад ЮНЕП и Всемирной метеорологической организации по «черному углероду» (саже) и тропосферному озону. http://www.unep.org/ccac/

United Nations Framework Convention on climate change. Рамочная конвенция ООН об изменении климата и Киотский протокол. Архив документов и решений, новости, данные о выбросах парниковых газов, официальные государственные доклады. www.unfccc.int

US EPA. Report to Congress on Black Carbon, March 2012. — 338 pp. http://www.epa.gov/blackcarbon

www.realclimate.org Climate Science from Climate Scientists. Дискуссионный форум ученых-климатологов. Поддерживается американскими учеными, активно работающими по проблеме изменения климата. Даются оперативные ответы на любые вопросы, включая самые экзотические теории изменения климата. Дискуссия охватывает любые научные вопросы изменения климата, но не затрагивает политические и экономические аспекты.

**Миссия WWF**
Остановить деградацию естественной среды планеты для достижения гармонии человека и природы.

www.wwf.ru

**Всемирный фонд дикой природы (WWF):**
109240 Москва, а/я 3, ул. Николоямская, д. 19, стр. 3; тел: +7 (495) 727 09 39; факс: +7 (495) 727 09 38
russia@wwf.ru