ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА ПО ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИИ
И МОНИТОРИНГУ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ
(РОСГИДРОМЕТ)

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

ОБЩЕЕ РЕЗЮМЕ

Москва — 2014

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

Общее резюме

УДК 551.583(470+570) ББК 19.3.4

Научно-координационный комитет по подготовке "Второго оценочного доклада Росгидромета об изменениях климата и их последствиях на территории Российской Федерации":

Руководитель Росгидромета А. В. Фролов (председатель), В. Г. Блинов (заместитель председателя), Г. С. Голицын, В. П. Дымников, Ю. А. Израэль, В. М. Катцов, В. М. Котляков, В. И. Осипов, С. М. Семенов

Головные научные учреждения Росгидромета по подготовке доклада:

Главная геофизическая обсерватория им. А. И. Воейкова (ГГО),

Институт глобального климата и экологии Росгидромета и РАН (ИГКЭ)

"Второй оценочный доклад Росгидромета об изменениях климата и их последствиях на территории Российской Федерации" состоит из **основного тома, Технического резюме и Общего резюме**

Настоящее **Общее резюме** является официальным изданием Федеральной службы по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды (Росгидромет) под общей редакцией Руководителя Росгидромета А. В. Фролова

Материалы для настоящего Общего резюме представили:

В. М. Катцов и *С. М. Семенов*, **научные руководители работ по подготовке доклада, и ведущие авторы доклада:**

Г. В. Алексеев, М. Д. Ананичева, О. А. Анисимов, И. М. Ашик, М. Ю. Бардин, Э. Г. Богданова, О. Н. Булыгина, В. Ю. Георгиевский, Г. В. Груза, А. И. Данилов, Т. Р. Еремина, А. Н. Золотокрылин, И. Л. Кароль, В. М. Катцов, М. Д. Корзухин, А. Г. Костяной, А. Н. Кренке, В. Б. Лобанов, Г. В. Малкова, В. П. Мелешко, А. В. Мещерская, В. Н. Павлова, Т. В. Павлова, Е. Н. Попова, Э. Я. Ранькова, Б. А. Ревич, А. А. Романовская, С. М. Семенов, П. В. Спорышев, В. В. Стадник, Е. И. Хлебникова, А. Л. Шалыгин, Б. Г. Шерстюков, И. М. Школьник, В. В. Ясюкевич

Редакционная группа: *В. В. Ясюкевич, В. А. Говоркова, И. А. Корнева, Т. В. Павлова, Е. Н. Попова*

Картографическая основа представления материалов в основном томе доклада, Техническом резюме и Общем резюме соответствует положению на 1 января 2014 г.

ISBN 978-5-904206-13-0

© Росгидромет, 2014 г.

Содержание

Предисловие 5

Раздел 1. НАБЛЮДАЕМЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ КЛИМАТА 7
- Парниковые газы, аэрозоли и климат 7
- Температура приземного воздуха 8
- Атмосферные осадки 10
- Снежный покров 11
- Облачность и радиационный режим 11
- Атмосферная циркуляция 14
- Экстремальность климата 15
- Климат Арктики 16

Раздел 2. ПРИЧИНЫ НАБЛЮДАЕМЫХ ИЗМЕНЕНИЙ КЛИМАТА 18
- Эволюция научных представлений о причинах изменений климата 18
- Причины наблюдаемых изменений глобального климата 19
- Антропогенная составляющая изменения климата на территории России 19
- Влияние неантропогенных факторов на современный климат 22

Раздел 3. ОЖИДАЕМЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ КЛИМАТА В XXI ВЕКЕ 23
- Новое поколение климатических моделей 23
- Ожидаемые изменения климата на территории Российской Федерации в XXI веке 23

Раздел 4. ВОЗДЕЙСТВИЯ ИЗМЕНЕНИЙ КЛИМАТА НА ПРИРОДНЫЕ СИСТЕМЫ СУШИ 30
- Водные системы суши 30
- Оледенение арктических островов и горное оледенение 31
- Многолетняя мерзлота 31
- Природные экосистемы суши 32
- Углеродный баланс почв: последствия изменения климата 35
- Засухи и опустынивание 36

Раздел 5. ВОЗДЕЙСТВИЯ ИЗМЕНЕНИЙ КЛИМАТА НА МОРСКИЕ ПРИРОДНЫЕ СИСТЕМЫ 38
- Арктические моря России 38
- Балтийское море 38
- Южные моря России 40
- Дальневосточные моря России 42

Раздел 6. ВОЗДЕЙСТВИЯ ИЗМЕНЕНИЙ КЛИМАТА НА ХОЗЯЙСТВЕННЫЕ ОБЪЕКТЫ И ЗДОРОВЬЕ НАСЕЛЕНИЯ. МЕРЫ АДАПТАЦИИ К ЭТИМ ВОЗДЕЙСТВИЯМ 43
- Здоровье населения 43
- Строительство, наземный транспорт, топливно-энергетический комплекс 45
- Возобновляемые источники энергии 47
- Хозяйственные объекты, расположенные на многолетней мерзлоте 48
- Гидроэнергетика и водное хозяйство 50
- Морская деятельность в Арктике 51
- Сельское хозяйство 52
- Лесное хозяйство 54

Заключение 56



Предисловие

Начиная с середины 1970-х годов средняя температура приземного воздуха на территории Российской Федерации повышается со средней скоростью 0.43°С за десятилетие, что более чем в два с половиной раза превышает скорость глобального потепления. Особенно значительные изменения климата наблюдаются в Арктике и субарктической зоне многолетней мерзлоты.

Происходящие изменения климата не могут не вызывать серьезной озабоченности, поскольку их влияние на природные и хозяйственные системы, на население становится все более заметным. На международном уровне широко признается необходимость скорейшего принятия эффективных мер по снижению уровня воздействия экономической деятельности человечества на климатическую систему Земли и по адаптации к климатическим изменениям. Указанные меры являются предметом международных соглашений, прежде всего Рамочной конвенции ООН об изменении климата (РКИК ООН).

Разработка и практическая реализация этих, зачастую дорогостоящих и даже болезненных для национальных экономик, мер должны основываться на результатах объективных научных исследований, скрупулезной и взвешенной информации, тщательного анализа данных наблюдений, полученных с помощью в первую очередь государственных сетей мониторинга климата. С целью регулярной подготовки обобщенных научных докладов о состоянии дел в области исследования климата, ориентированных на широкие слои общественности и политиков, принимающих решения, на международном уровне в 1988 г. была создана Межправительственная группа экспертов по изменению климата (МГЭИК).

МГЭИК опубликовала четыре оценочных доклада, в стадии завершения находится пятый доклад. Как правило, “на плечах” очередного доклада МГЭИК готовятся региональные и национальные оценочные доклады, детализирующие выводы МГЭИК для соответствующих территорий или стран. Российская Федерация также активно участвует в этой деятельности. В 2008 г. Росгидрометом при участии специалистов Российской академии наук и высших учебных заведений был опубликован первый “Оценочный доклад об изменениях климата и их последствиях на территории Российской Федерации”*. Он фактически послужил научной основой Климатической доктрины Российской Федерации, утвержденной Президентом Российской Федерации 17 декабря 2009 г., — политической декларации, задавшей вектор развития нормативно-правовых, экономических и иных инструментов, призванных обеспечить защищенность государства, экономики и общества от неблагоприятных последствий изменения климата и создать предпосылки для эффективного использования потенциала благоприятных последствий изменения климата. Непосредственным и безотлагательным следствием принятия Климатической доктрины стала подготовка комплексного плана ее реализации (2011 г.). На его основе должны быть разработаны более детализированные федеральные, региональные и отраслевые программы и планы действий.

* Оценочный доклад об изменениях климата и их последствиях на территории Российской Федерации. В 2-х томах, М., Росгидромет, 2008, 230+291 с.

Со времени публикации Росгидрометом первого Оценочного доклада прошло шесть лет. За это время существенно обновились и пополнились базы климатических данных, продолжали совершенствоваться сложные физико-математические модели климатической системы Земли, вышло много научных публикаций по проблемам изменения климата. Кроме постепенного усиления проявлений изменения климата (например, неуклонного уменьшения площади арктических льдов), за это время на территории России отмечались и крупные погодно-климатические аномалии, такие как волна жары летом 2010 г. на Европейской части России и наводнение на р. Амур в 2013 г. События такого масштаба требуют "климатического осмысления", поскольку свидетельствуют об увеличении климатических угроз, которые уже в недалеком будущем могут привести к существенному увеличению экономических и людских потерь, если не будут приниматься меры по адаптации отраслей экономики и территорий к изменениям климата.

Климатическая проблематика остается также в центре международной повестки дня. В 2012 г. закончился первый период действия Киотского протокола, и теперь страны стремятся достичь нового глобального юридически обязывающего, более совершенного и справедливого соглашения. Кроме того, под эгидой Всемирной метеорологической организации родилась новая крупномасштабная международная инициатива — Глобальная рамочная основа климатического обслуживания (ГРОКО), ориентированная на информационное обеспечение задач адаптации к происходящим и ожидаемым изменениям климата.

В этих условиях Росгидромет предпринял подготовку "Второго оценочного доклада Росгидромета об изменениях климата и их последствиях на территории Российской Федерации". В авторский коллектив вошли ведущие специалисты научно-исследовательских институтов Росгидромета, Российской академии наук и высших учебных заведений. Пользуясь имеющейся возможностью, хочу искренне поблагодарить всех участников этого коллектива за многолетнюю плодотворную и дружную работу, проходившую в творческой обстановке взаимопонимания и созидания на стыке многих научных дисциплин.

Подобно первому Оценочному докладу, новый доклад Росгидромета основывается на материалах рецензируемых научных периодических и продолжающихся изданий, научных монографий, сборников трудов научных конференций и специальных научных докладов, публикация которых осуществлялась по решению научных редакционных советов и коллегий. В докладе использованы данные государственной наблюдательной сети Росгидромета, а также научных проектов, выполняемых в рамках разных международных и российских программ исследований.

Настоящее Общее резюме "Второго оценочного доклада Росгидромета об изменениях климата и их последствиях на территории Российской Федерации" является официальной публикацией Росгидромета, предназначенной прежде всего для федеральных и региональных органов государственной власти, которые вырабатывают и реализуют политику страны в области климата в соответствии с Климатической доктриной Российской Федерации, в том числе при планировании конкретных мер по развитию отраслей экономики и при подготовке программ устойчивого развития территорий и регионов Российской Федерации. Доклад может быть использован научными учреждениями и учебными заведениями. Он предназначен также для профессиональных аналитиков и практиков, специализирующихся в области климата и смежных проблем, в том числе представляющих бизнес-сообщество и профильные неправительственные организации, а также для широкой научной общественности и всех, кто интересуется проблемами климатических изменений.

Руководитель Росгидромета А. В. Фролов

Раздел 1. НАБЛЮДАЕМЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ КЛИМАТА

Парниковые газы, аэрозоли и климат

Тенденции изменений состава атмосферы, источники эмиссии и эффект основных долгоживущих парниковых газов не претерпели больших изменений после выхода в свет первого "Оценочного доклада об изменениях климата и их последствиях на территории Российской Федерации" (ОД_РФ-1, 2008). В то же время существенно расширились сведения об атмосферных циклах короткоживущих факторов, воздействующих на радиационный режим и на климатические характеристики, прежде всего, аэрозоля в виде так называемого черного углерода, влияние которого на климат практически не было освещено в ОД_РФ-1.

Мировая сеть мониторинга парниковых газов за период после 2007 г. продолжала развиваться и совершенствоваться: увеличилось число станций и используемых на них аналитических систем наблюдений.

Диоксид углерода (CO_2) *за период 2007—2012 гг.* Глобальная среднегодовая концентрация CO_2, по данным шести станций мониторинга США, увеличилась с 382.7 до 392.5 млн$^{-1}$ при существенном увеличении выбросов в Китае и Индии. (В 2013 г. глобальная среднегодовая концентрация CO_2 в атмосфере составила 395.3 млн$^{-1}$.) Эти оценки согласуются с данными российских станций (например, рис. ОР1.1). Антропогенная промышленная глобальная эмиссия CO_2 с 2002 по 2011 г. увеличилась с 8.3 ± 0.7 до 9.4 ± 0.8 млрд. т С/год, а от землепользования еще на 0.9 ± 0.8 млрд. т С/год.

Метан (CH_4). Среднеглобальная концентрация CH_4 в приземном воздухе в 2011 г. составила 1813 млрд$^{-1}$; она увеличивается на 100 млрд$^{-1}$ при переходе от южных полярных широт к северным. Это связано с эмиссией CH_4 из северных болот и мерзлых грунтов и с возможной его эмиссией из газовых гидратов на шельфе. Глобальные естественные источники метана в атмосфере оцениваются в 220—470 млн. т CH_4; к этому надо добавить плохо учитываемые утечки при добыче угля и природного газа.

На значительную роль в изменениях климата в последние годы претендуют аэрозоли — прежде всего поглощающий солнечную радиацию черный углерод. По радиационному воздействию он занимает второе место вслед за CO_2, но оценки выполнены с большой долей неопределенности и погрешностей. Сравнение результатов модельных расчетов с измеренным содержанием черного углерода в воздухе (как в высоких северных, так и в средних и тропических широтах) показало в ряде случаев значительное (в несколько раз) завышение модельных оценок относительно данных измерений.

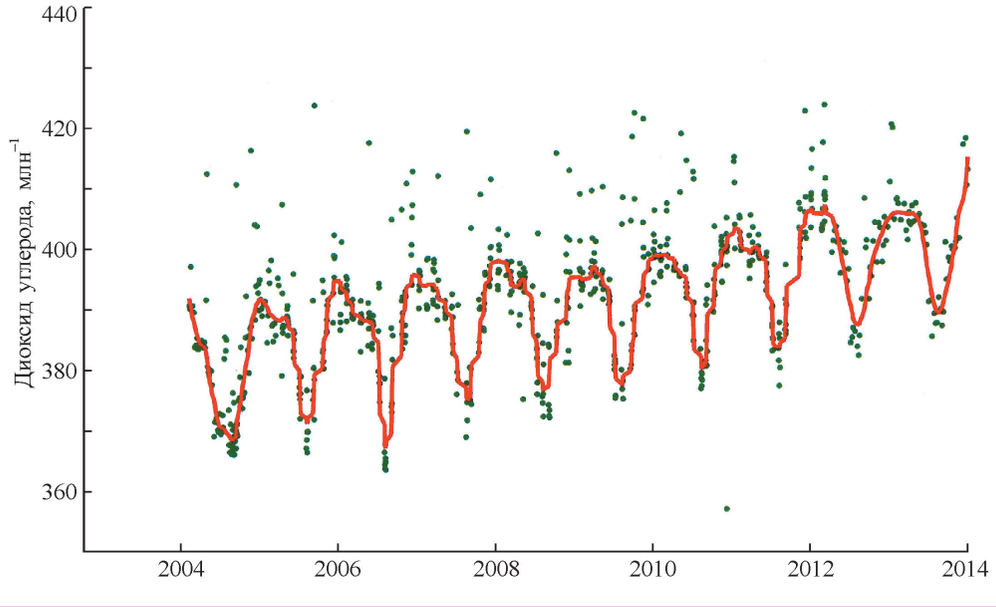


Рис. ОР1.1. Данные еженедельных измерений концентрации CO_2 на станции Новый Порт за период с 2004 по 2013 г. Красным цветом изображен рассчитанный сезонный ход концентрации CO_2.

Температура приземного воздуха

Основной особенностью современных изменений глобального климата является глобальное потепление конца XX в. — начала XXI в. (начиная со второй половины 1970-х годов), а основным индикатором — глобальная, т. е. осредненная по всему земному шару, приповерхностная температура. По данным наблюдений, средняя скорость потепления для земного шара составляет 0.166°C/10 лет за 1976—2012 гг. и 0.075°C/10 лет за 1901—2012 гг. В последнее 10-летие наблюдается определенное замедление (пауза) глобального потепления: глобальная температура колеблется на уровне достигнутых высоких значений. Однако начало XXI в. (в среднем по земному шару) остается самым теплым 12-летием за период инструментальных наблюдений.

Во временном ряде среднегодовых аномалий температуры приземного воздуха, осредненных по территории России (рис. ОР1.2), как и в глобальных временных рядах, период после 1976 г. характеризуется наиболее интенсивным потеплением (табл. ОР1.1, рис. ОР1.3).

Таблица ОР1.1. *Сравнительные оценки средней скорости потепления приземного климата России за 1976—2006 и 1976—2012 гг.*

Сезон	1976—2006 гг.		1976—2012 гг.	
	b	α_0, %	***b***	α_0, %
Год	0.43	0.2	0.43	0.0
Зима	0.35	28.1	0.18	40.4
Весна	0.52	1.4	0.56	0.0
Лето	0.41	0.0	0.44	0.0
Осень	0.43	5.6	0.54	0.1

Примечание. b — коэффициент линейного тренда (°C/10 лет); α_0 — критический уровень значимости. Принято считать оценку тренда статистически значимой, если критический уровень $\alpha_0 \leq 5\%$.

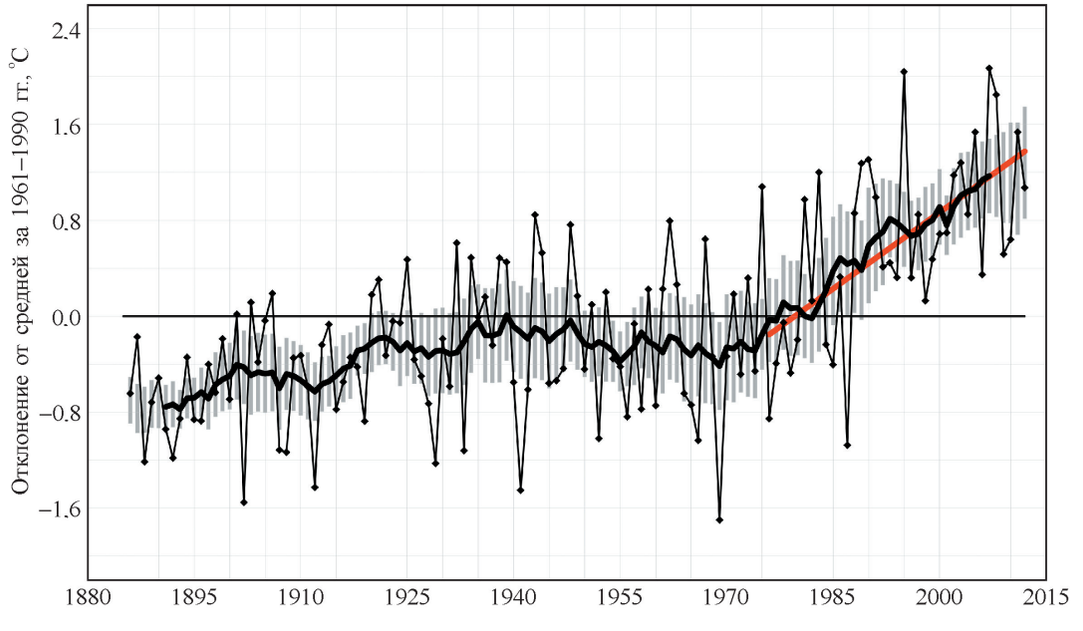


Рис. ОР1.2. Изменения аномалий среднегодовой температуры приземного воздуха, осредненных по территории России, в течение 1886—2012 гг. Аномалии рассчитаны как отклонения от средних за 1961—1990 гг. Жирная кривая показывает сглаженный ход температуры (11-летние скользящие средние). Вертикальными отрезками показан 95%-ный доверительный интервал для 11-летних средних (без учета ошибок пространственного осреднения и нарушений однородности). Красная линия — тренд за 1976—2012 гг.

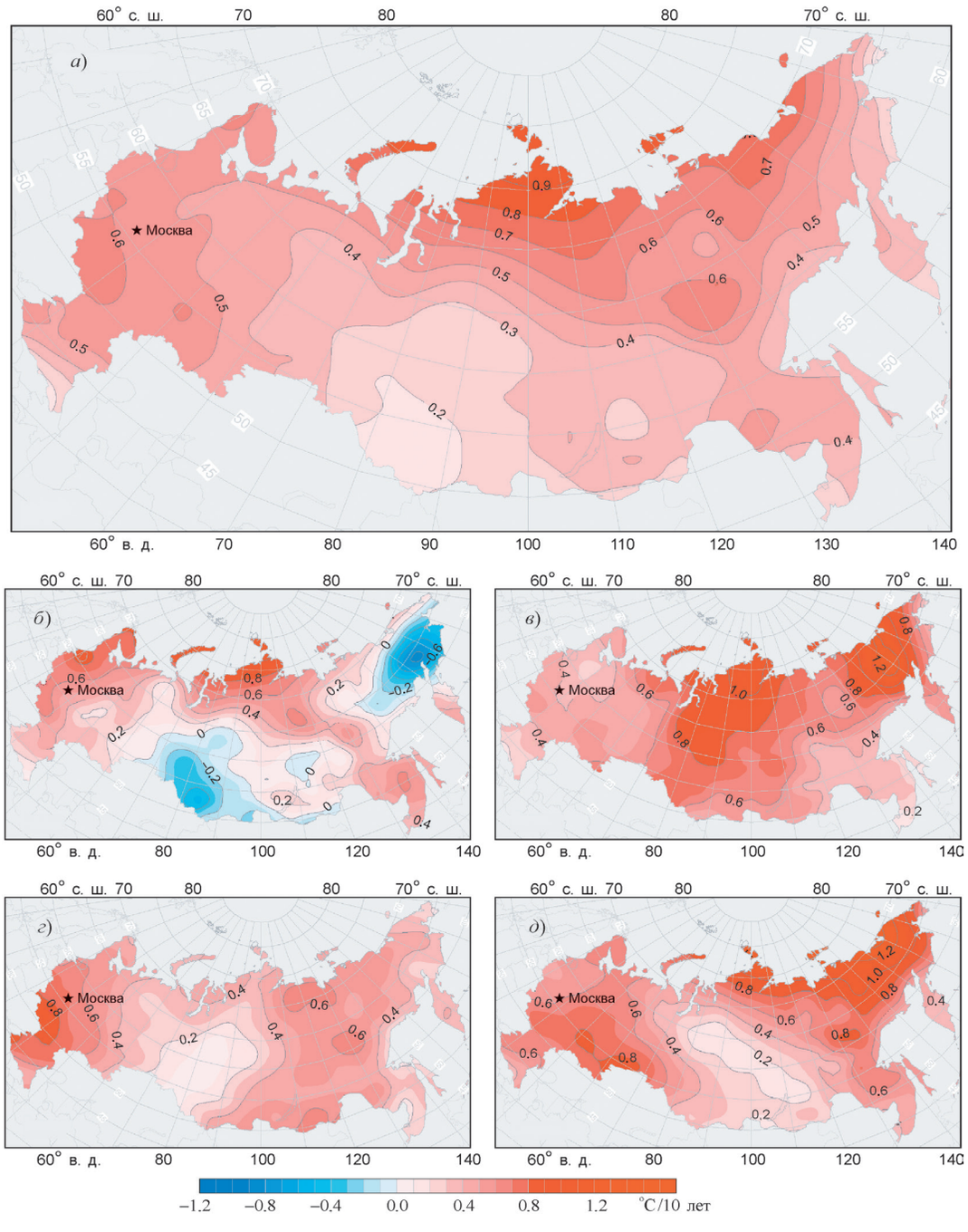


Рис. ОР1.3. Географическое распределение коэффициентов линейного тренда среднегодовой (*а*) и средней сезонной температуры (*б*—*д*) на территории России за 1976—2012 гг.: *б*) зима; *в*) лето; *г*) весна; *д*) осень. Оценки получены по данным наблюдений на сети Росгидромета (данные накоплены за период с 1886 г.; база данных поддерживается ИГКЭ).

По сравнению с оценками ОД_РФ-1 среднегодовая скорость потепления в целом для России не изменилась (0.43°С/10 лет), но стали заметнее межсезонные различия трендов. Во все сезоны, кроме зимнего, скорость потепления несколько увеличилась, а зимой, напротив, заметно уменьшилась (от 0.35 до 0.18°С/10 лет). В результате в целом за год и во все сезоны, кроме зимы, локальные оценки трендов положительны практически на всей российской территории и в целом для России уверенно указывают на продолжающееся потепление (гипотеза об отсутствии потепления отвергается на уровне значимости 0.01%). С другой стороны, для температуры зимних сезонов на юге Западной Сибири уже в течение нескольких лет отмечается некоторая тенденция к похолоданию (до –0.6°С/10 лет), которая

постепенно распространяется на всю Азиатскую часть России (АЧР).

Таким образом, в отличие от глобальной ситуации, изменение климата России в целом (в среднем за год и по территории) следует охарактеризовать как продолжающееся потепление, отметив, что тенденция к замедлению потепления пока по данным наблюдений не прослеживается (по крайней мере, во все сезоны, кроме зимы).

Атмосферные осадки

Тренд годовых сумм осадков за период 1976—2012 гг. на большей части территории России положителен. В среднем по России он составляет 0.8 мм/месяц за 10 лет (рис. ОР1.4). Оценки наблюдаемых изменений осадков на территории России получены на основе двух разных массивов — ИГКЭ и ГГО. Данные, рассчитанные

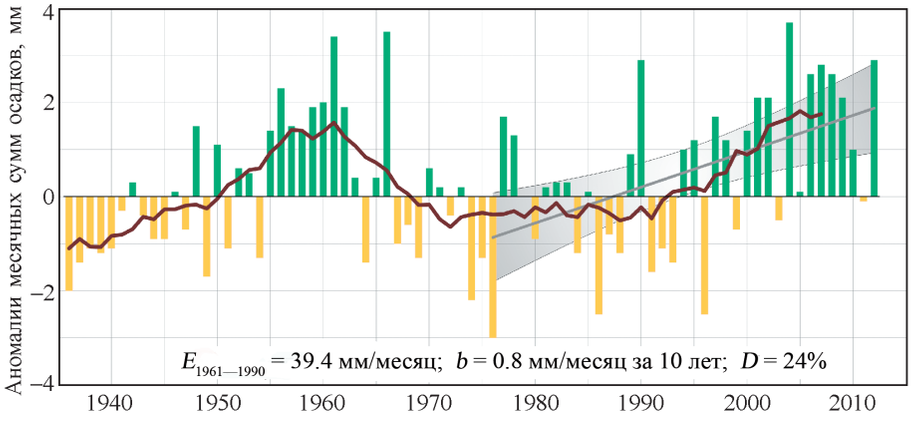


Рис. ОР1.4. Среднегодовые аномалии месячных сумм осадков (мм/месяц), осредненные по территории Российской Федерации, 1936—2012 гг. Оценки получены по массиву ИГКЭ. Аномалии рассчитаны как отклонения от среднего за 1961—1990 гг. ($E_{1961—1990}$). Сглаженная кривая получена 11-летним скользящим осреднением. Линейный тренд и его 95%-ный доверительный интервал оценены по данным за 1976—2012 гг.; b — коэффициент регрессии, D — вклад в суммарную дисперсию.

по массиву ИГКЭ, сохраняют преемственность оценок, представленных в ОД_РФ-1. Массив ГГО получен на основании срочных данных об осадках, скорректированных с учетом влияния всех факторов искажения результатов измерения осадков, в том числе основного — аэродинамического. Различия соответствующих групп оценок и порожденные этими различиями неопределенности картины наблюдаемых изменений осадков остаются предметом дискуссий между специалистами. Изменения регионально осредненных годовых сумм осадков во всех регионах, за исключением Центральной Сибири, отмечаются на фоне интенсивных межгодичных флуктуаций.

Оценки изменений количества осадков чувствительны к учету дополнительных поправок (прежде всего, аэродинамических) к исходным данным измерений. За период с 1976 по 2010 г. оценка тренда годовых сумм осадков с учетом указанных поправок положительна (0.3 мм/месяц за 10 лет). При этом, как и в оценках без учета этих поправок, максимальное сезонное увеличение сумм осадков приходится на весну. Его значение составляет 1.6 мм/месяц за 10 лет. За период 1936—2010 гг. отмечается увеличение годовых сумм осадков практически на всей Европейской части России (ЕЧР), а также в Центральной Сибири (рис. ОР1.5). В Западной и Восточной Сибири, а также в Прибайкалье, Забайкалье, Приамурье и Приморье преобладают площади с отрицательными значениями трендов. Далее на восток увеличение количества годовых осадков наблюдается лишь местами в узкой прибрежной полосе Охотского моря и на Сахалине. Количество твердых осадков уменьшается на большей части территории России. Количество жидких и смешанных осадков увеличивается практически повсеместно, особенно на ЕЧР. Продолжительность выпадения интенсивных осадков в целом по территории России за период 1976—2010 гг. увеличилась.

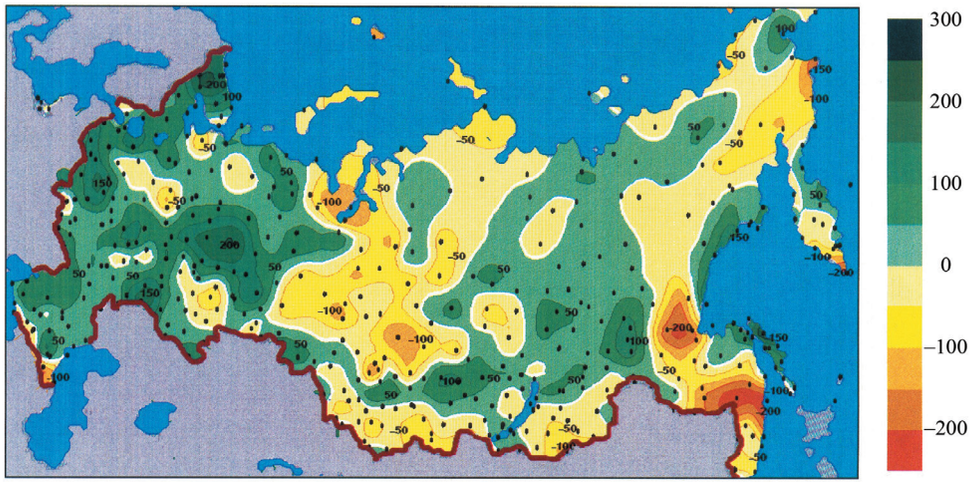


Рис. ОР1.5. Временные изменения годового количества осадков (мм за 75 лет) на территории России за период с 1936 по 2010 г. Оценки получены по массиву ГГО. Точками обозначены станции, по данным которых построена карта.

Снежный покров

Наибольшее число суток со снежным покровом на территории России наблюдается на побережье северных морей (более 250 дней), а наименьшее — на побережье Каспийского моря (около 20 дней). На большей части страны снег лежит более 100 дней в году. Среднемноголетнее максимальное накопление снега за зимний период в России наблюдается на северо-востоке ЕЧР, в Западной Сибири и на Камчатке (более 80 см).

На значительной территории Западной и Восточной Сибири, на побережье Охотского моря и юге Дальнего Востока, в центральных и северо-восточных областях ЕЧР за период 1966—2012 гг. обнаружена тенденция увеличения максимальной за зиму высоты снежного покрова (рис. ОР1.6). В то же время в Забайкалье из-за сокращения количества твердых осадков и значительного повышения температуры весной наблюдается уменьшение максимальной за зимний период высоты снежного покрова. Увеличивается максимальный за зиму запас воды в снеге (по данным маршрутных наблюдений в поле) на севере Восточно-Европейской равнины, в южной части лесной зоны Западной Сибири и на Дальнем Востоке. В Западной Сибири (по данным маршрутных наблюдений в лесу) наблюдается уменьшение максимального за зиму запаса воды в снеге. Уменьшается продолжительность залегания снежного покрова в Западной Сибири, на Таймыре и востоке Якутии. На северо-востоке Сибири в последние годы при резких межгодовых колебаниях преобладают поздние даты установления и ранние даты схода снежного покрова.

На большей части территории России, за исключением степных зон Северного Кавказа и Западной Сибири, а также южной муссонной части Дальнего Востока, наблюдается уменьшение продолжительности существования ледяной корки под снежным покровом и ее максимальной толщины.

В последние четыре десятилетия, по данным спутниковых наблюдений, площадь снежного покрова в переходные сезоны года на территории России уменьшается.

Облачность и радиационный режим

Анализ данных наземных наблюдений за характеристиками облачности показал, что основные тенденции, проявившиеся в конце XX в., нашли свое подтверждение в последующие годы. Сохраняется хорошо выраженная тенденция увеличения частоты появления конвективной облачности и облаков верхнего яруса. Продолжается перераспределение вклада дождевой облачности разных типов, которое проявляется в преимущественном увеличении доли кучево-дождевых облаков. Лишь на Урале и в прибрежных районах Дальнего Востока регистрируется увеличение слоисто-дождевой облачности в 2001—2010 гг. по сравнению с предыдущим десятилетием. Увеличение общей облачности и уменьшение частоты безоблачной погоды отмечаются в основном в весенний и осенний периоды.

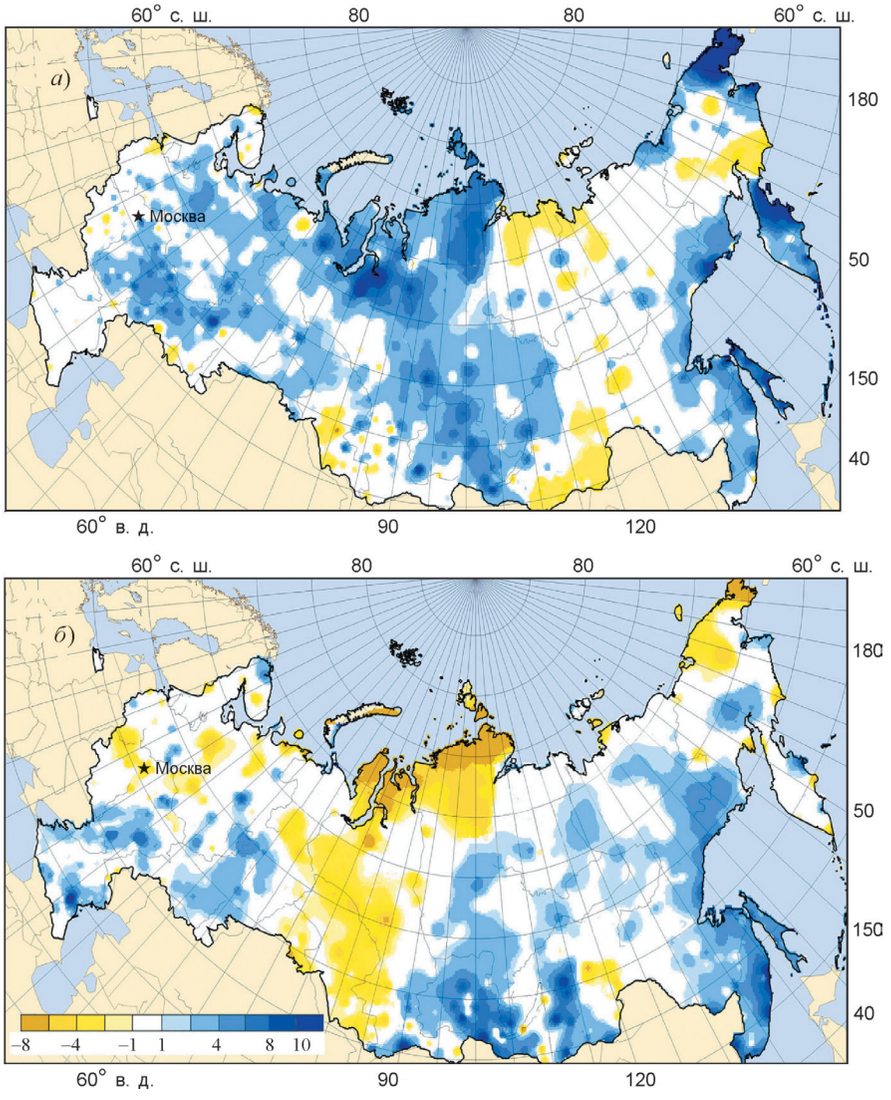


Рис. ОР1.6. Изменения максимальной за зимний период высоты снежного покрова (*а*; см/10 лет) и числа суток со степенью покрытия снегом окрестностей станции более 50% (*б*; сут/10 лет) за 1966—2012 гг.

С середины 1990-х годов, в условиях отсутствия крупных вулканических извержений, тенденция к уменьшению интегральной мутности атмосферы хорошо проявляется в центре и на юге ЕЧР. На остальной территории изменения этой величины неоднозначны и в основном слабо выражены (рис. ОР1.7). При этом на фоне увеличения общего влагосодержания атмосферы, связанного с повышением температуры воздуха, на большей части территории России отмечается тенденция к уменьшению аэрозольной составляющей мутности атмосферы.

Увеличение поступления солнечной радиации, наблюдаемое по наземным данным во многих регионах земного шара в последнее десятилетие XX в., с разной степенью отчетливости проявилось практически на всей территории России. Изменения, происходящие в начале XXI в., не столь крупномасштабны и однозначны (рис. ОР1.8). На Европейской части России, особенно в центральных и южных районах, сохраняется положительная тенденция, которая наблюдается и на территории зарубежной Европы. На ряде станций значения стабилизировались на определенном уровне, хотя и не достигли максимальных значений, наблюдаемых в 1960-х годах. В некоторых регионах Азиатской части России возобновилась тенденция к уменьшению прямой и суммарной радиации. Наиболее ярко это проявляется в Средней Сибири.

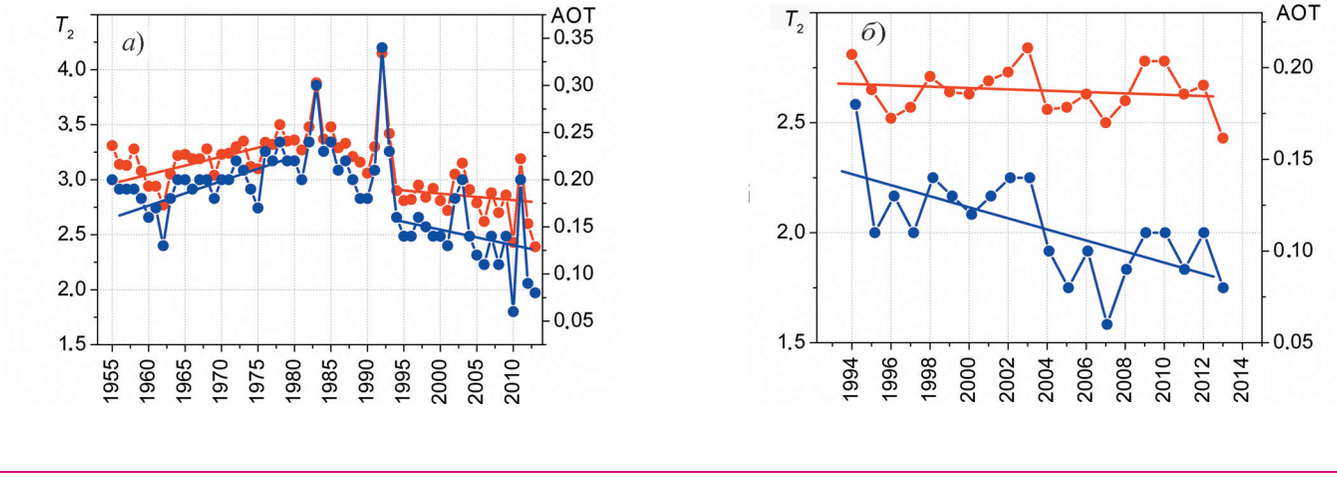


Рис. ОР1.7. Средние годовые значения интегральной мутности атмосферы T_2 (красные линии) и аэрозольной оптической толщины АОТ (синие линии), осредненные по территории ЕЧР (*а*) и Западной Сибири (*б*). Прямые — линейные тренды.

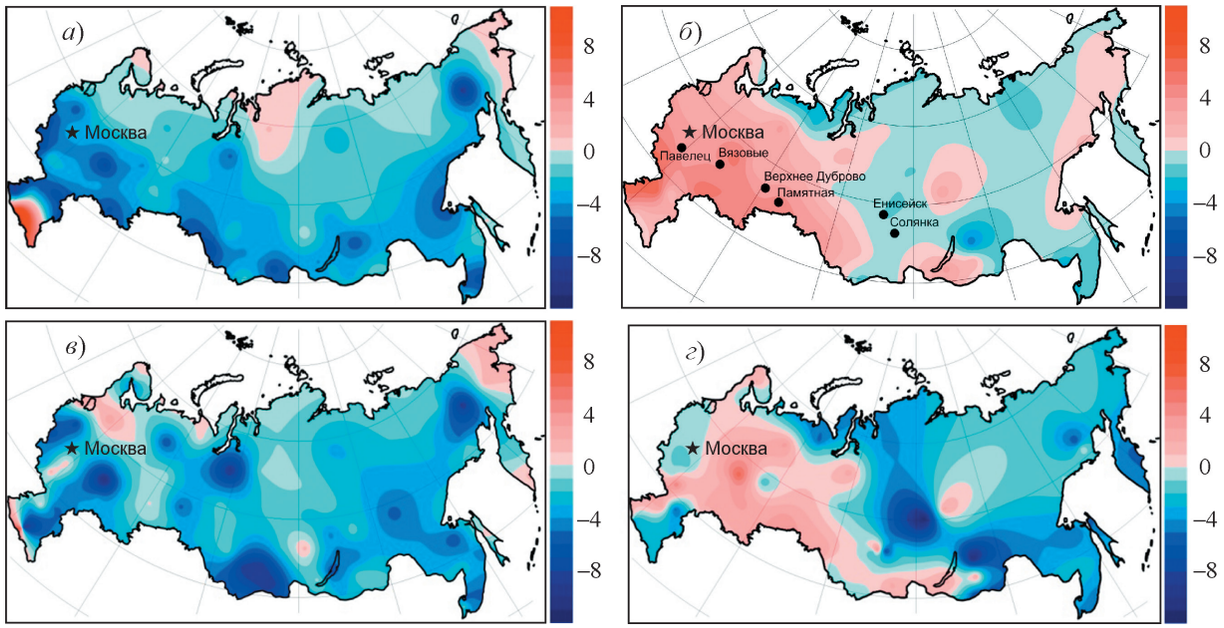


Рис. ОР1.8. Изменение потока (Вт/м^2 за 10 лет) прямой и суммарной радиации (в среднем за год), приходящей к земной поверхности, на разных временных интервалах: *а*) прямая радиация, 1961—1985 гг.; *б*) прямая радиация, 1986—2010 гг.; *в*) суммарная радиация, 1961—1985 гг.; *г*) суммарная радиация, 1986—2010 гг.

Атмосферная циркуляция

Из крупномасштабных циркуляционных систем наибольший интерес для климата России представляют североатлантическое колебание (САК), арктическое колебание (АК) и восточно-атлантическое колебание (ВАК), из которых с аномалиями температуры воздуха на территории России теснее других связан индекс АК.

Циклоны Северного полушария формируются вблизи восточных побережий Азии и Северной Америки, в течение своего развития перемещаются к северо-востоку и заполняются около

Аляскинского залива. Выявлена тесная корреляция между повторяемостью атлантических циклонов и индексом САК. Для внетропических циклонов показано определенное превышение числа летних циклонов над зимними. Время существования циклонов в среднем не более трех дней. Средний радиус циклонов составляет 200—300 км над континентами и более 900 км над океанами. Для зимних сезонов в течение второй половины XX в. в Северной Америке, Северной Атлантике и Западной Европе характерно ослабление циклонической активности и, напротив, усиление антициклоничности. Обнаружено также уменьшение повторяемости циклонов над Черным морем и ее увеличение в Арктике.

Основной тенденцией в изменении *скорости приземного ветра* в течение 1936—2006 гг. было ее уменьшение почти на всей территории России (особенно на ЕЧР, где уменьшение достигало в среднем 0.3—0.6 м/с за 10 лет) при увеличении повторяемости слабого ветра (до 3 м/с) и уменьшении повторяемости более сильного (6—7 м/с и более). Анализ рядов скорости ветра по данным 1457 метеорологических станций России за 1977—2011 гг. показал, что на большей части территории России (особенно на ЕЧР и в Западной Сибири) скорость ветра продолжает уменьшаться, особенно зимой и весной (рис. ОР1.9). Эта тенденция согласуется с уменьшением скорости приземного ветра на всех континентах земного шара. Исключением являются высокие широты обоих полушарий (выше 75°), где, напротив, скорость приземного ветра увеличивается. Увеличивается скорость ветра и над океанами. По данным реанализа обнаружено увеличение числа штормовых ветров в Центральной, Северной и Западной Европе, а также над акваториями Северного и Балтийского морей.

С *блокирующими атмосферными антициклонами* (блокингами) связаны значительные климатические аномалии — экстремальные морозы зимой и засухи летом. Формирование блокирующих ситуаций происходит в основном над Атлантическим океаном и Евразийским континентом, где наблю-

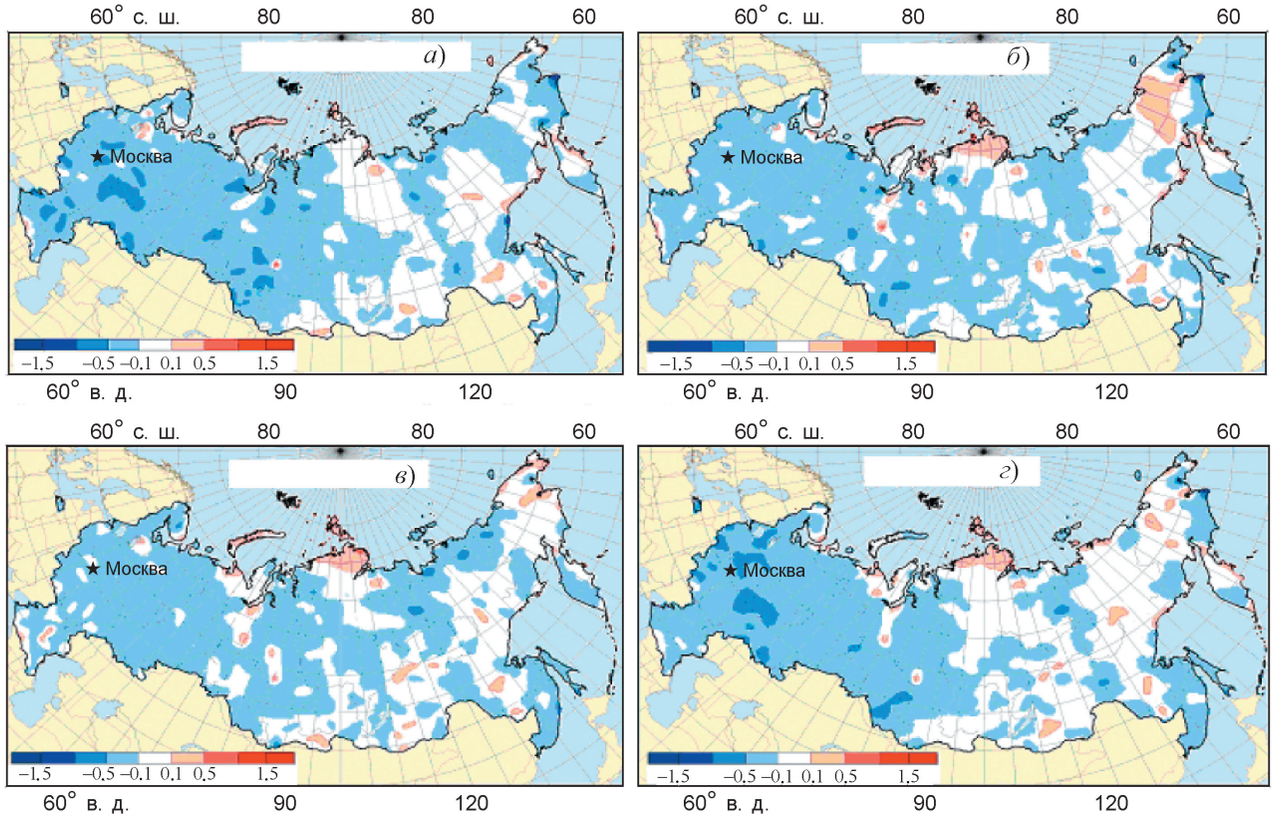


Рис. ОР1.9. Распределение локальных коэффициентов линейного тренда скорости приземного ветра (м/с за 10 лет) на территории России за период 1977—2011 гг. зимой (*а*), весной (*б*), летом (*в*) и осенью (*г*).

дается 73% их общего числа. Продолжительность блокирующих ситуаций составляет до 50—60 суток. Определяющую роль в годовом ходе числа блокингов в Атлантико-Европейском секторе играют зимние блокинги (42%), тогда как в Европейско-Азиатском секторе (Россия) — летние. Показано также, что повторяемость случаев блокирования и их интенсивность больше в периоды Ла-Нинья.

Эпизоды блокирования связаны с меридиональными формами циркуляции, повторяемость которых в последние годы увеличивается, как и повторяемость блокирующих процессов. Вывод об увеличении повторяемости меридиональных форм циркуляции получен также с использованием *визуальных типизаций атмосферных процессов* в Северном полушарии.

Экстремальность климата

Экстремальные явления погоды (наводнения, ураганы, засухи и т. д.) вызывают повышенный интерес из-за негативного и во многих случаях катастрофического характера воздействия на природные и техногенные системы. Вследствие наблюдающегося глобального потепления возможны изменения частоты и (или) интенсивности некоторых экстремальных явлений, причем сравнительно небольшие по величине изменения средних значений могут приводить к значительным изменениям статистики экстремумов. Географически эти изменения могут быть весьма неоднородны вследствие неоднородности изменений атмосферной циркуляции естественного происхождения или связанных с антропогенными изменениями климата. Поэтому важно выделить основные географические особенности временных изменений разных характеристик экстремальности климата. Ниже приведена краткая сводка изменений, наблюдавшихся в статистике экстремальных явлений погоды на территории России в последние десятилетия.

Температура воздуха (рис. ОР1.10). Годовые минимумы и максимумы температуры воздуха увеличиваются на большей части территории России; максимум повышения — на западе ЕЧР. Усиление морозов отмечается в Северо-Кавказском федеральном округе, на юге Западной Сибири и Забайкалья; уменьшение годовых максимумов — на Южном Урале, в Сибири и на Дальнем Востоке. Аналогично изменяются *сезонные экстремумы* (5-й процентиль зимней выборки и 95-й процентиль летней). Во все сезоны преобладает увеличение числа суток с аномально высокой температурой воздуха (наиболее заметное летом на АЧР) и уменьшение числа суток с экстремально низкой ночной температурой воздуха. Суммарное число дней с морозом убывает в целом за год и в пере-

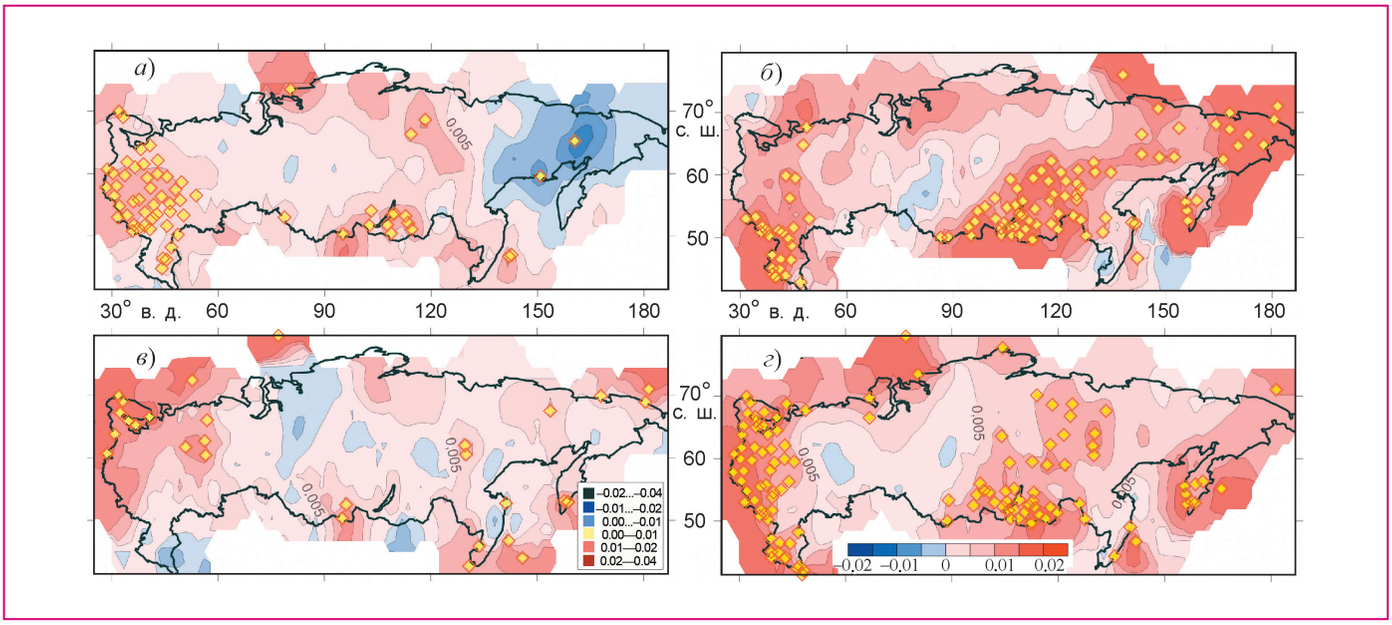


Рис. ОР1.10. Изменения процентилей P_{95} (*а*, *б*) и P_5 (*в*, *г*) нормированной аномалии температуры зимой (*а*, *в*) и летом (*б*, *г*) (линейный тренд за 1976—2009 гг.). Аномалии рассчитаны относительно годового хода за 1976—2009 гг. Шаг изолиний: 0.005 год$^{-1}$. Желтым цветом выделены станции, где тренд значим на уровне 5%.

ходные сезоны почти повсеместно, особенно осенью. Число *волн жары*, их продолжительность и интенсивность в западной части России во все сезоны имеют положительную тенденцию, а аналогичные характеристики *волн холода* — тенденцию к уменьшению.

Осадки. На большей части ЕЧР зимой отмечается увеличение *числа суток с аномально большим количеством* осадков (≥10 мм), а летом — напротив, их уменьшение, причем в основном в восточной половине ЕЧР, на Урале, а также на большей части Северо-Кавказского и Южного федеральных округов. *Число дней без осадков* зимой увеличивается на большей части страны, а в летний сезон — на большей части ЕЧР, на Камчатке и Чукотке.

Засушливые условия. Отмечается увеличение показателей засушливости на большей части земледельческой зоны России. В большинстве регионов увеличивается число дней с экстремально малыми значениями влагосодержания пахотного слоя почвы.

Опасные гидрометеорологические явления. С 1996 по 2012 г. на территории России наблюдалось значительное увеличение числа опасных явлений, в том числе нанесших значительный ущерб экономике и населению (рис. ОР1.11).

Климат Арктики

Присутствие океана и морского льда в центре Арктики влияет на формирование арктического климата и определяет воздействие на глобальный климат. Поэтому изменениям климата в морской Арктике всегда уделяется особое внимание. К морской Арктике здесь отнесены морская часть Арктической зоны России и остальные акватории Северного Ледовитого океана, покрываемые льдом в зимний период.

Изменения температуры воздуха над областью морской Арктики характеризуются быстрым потеплением с конца 1990-х годов с абсолютным рекордом температуры летом 2012 г. (рис. ОР1.12). С другой стороны, исторические (с 1924 г.) и современные (спутниковые с 1979 г.) данные о площади льда свидетельствуют об уменьшении площади льда летом в сибирских арктических морях (Карское, Лаптевых, Восточно-Сибирское моря и часть Чукотского моря до Берингова пролива) и в Арктике в целом, ускорившемся с конца 1990-х годов, что согласуется с повышением температуры воздуха в морской Арктике (рис. ОР1.13).

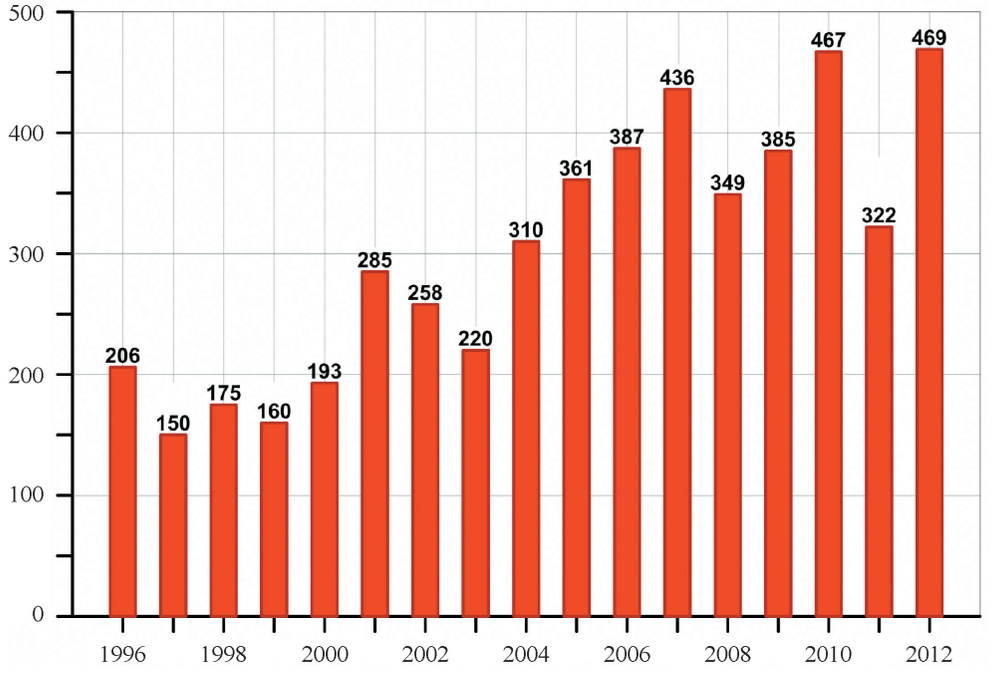


Рис. ОР1.11. Суммарное за год число гидрометеорологических опасных явлений на территории России, нанесших значительный ущерб экономике и населению, 1996—2012 гг.

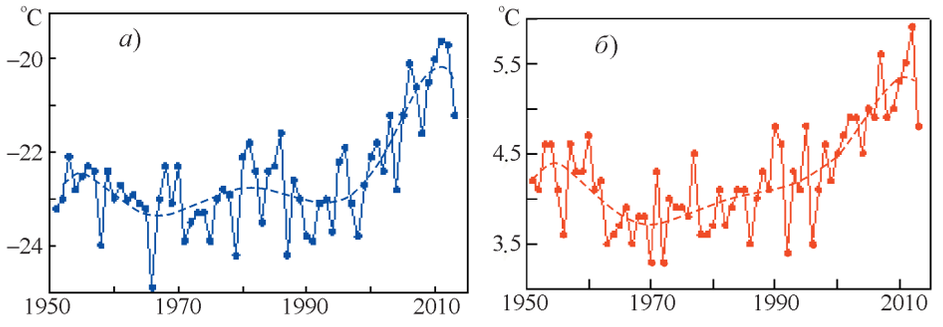


Рис. ОР1.12. Изменение средней температуры воздуха в морской Арктике за 1951—2013 гг.: *а*) зима (декабрь — февраль); *б*) лето (июнь — август). Штриховая линия — аппроксимация ортогональным полиномом шестой степени.

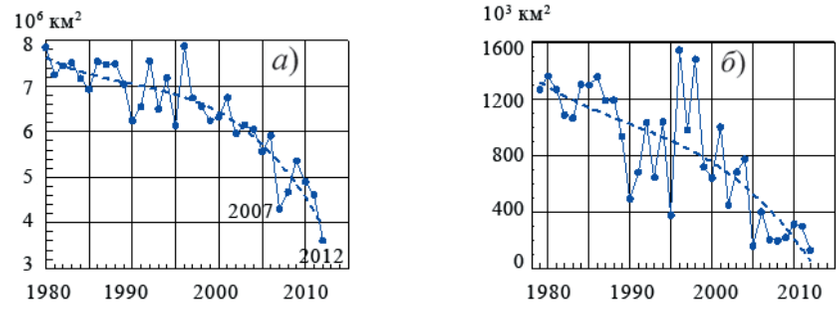


Рис. ОР1.13. Средняя площадь морского льда в сентябре в Арктике (*а*; по данным Национального центра данных о снеге и льде, США, NSIDC) и в сибирских арктических морях (*б*; по данным ААНИИ) в 1980–2012 гг. Штриховая кривая — аппроксимация полиномом третьей степени.

Толщина морского льда в Арктическом бассейне также уменьшилась с 1980-х годов в среднем более чем на 40%, главным образом, вследствие уменьшения количества многолетних льдов. Продолжение согласованных тенденций повышения температуры воздуха и уменьшения площади льда при сохранении наблюдаемых темпов потепления указывает на 2030-е годы как на период, начиная с которого лед в сентябре может исчезать.

Выявленные тенденции согласуются с изменениями атмосферной циркуляции. Для Арктики характерно преобладание антициклона над Арктическим бассейном. В середине 1990-х годов произошла перестройка системы циркуляции, при которой сформировались циклоническая циркуляция над Карским морем и морем Лаптевых и область повышенного давления над Канадским Арктическим архипелагом и Гренландией. Такая циркуляция сопровождается повышением температуры воздуха, усилением таяния льда летом и его выноса за пределы Арктического бассейна.

Раздел 2. ПРИЧИНЫ НАБЛЮДАЕМЫХ ИЗМЕНЕНИЙ КЛИМАТА

Эволюция научных представлений о причинах изменений климата

Как отмечается в ОД_РФ-1, климатическая система Земли, под которой обычно понимают пять взаимодействующих друг с другом компонентов — атмосферу, гидросферу, криосферу, деятельный слой суши и биосферу, — никогда не находится в состоянии равновесия. Она непрерывно меняется, даже в отсутствие изменений во внешних воздействиях. Под последними понимаются естественные и антропогенные факторы, влияющие на климатическую систему извне и вызывающие изменения климата. Определение понятия "климат" обусловлено поставленной задачей. По этой причине определений климата много и они эволюционируют. Например, определение климата А. С. Мониным как "*статистический ансамбль состояний, которые проходит система океан — суша — атмосфера за периоды времени в несколько десятилетий*" может быть дополнено теперь двумя другими компонентами климатической системы — криосферой и биосферой. При этом в математической теории климата бывает удобно рассмотрение указанного ансамбля на промежутке времени, стремящемся к бесконечности. При такой постановке климат не испытывает изменений. Для большого количества задач, решаемых Росгидрометом, подходит определение Г. В. Грузы и Э. Я. Раньковой: "*Климат в узком, но широко распространенном смысле есть обобщение изменений погоды и представляется набором условий погоды в заданной области пространства в заданный интервал времени. Для характеристики климата используется статистическое описание в терминах средних, экстремумов, показателей изменчивости соответствующих величин и повторяемостей явлений за выбранный период времени. Все эти дескриптивные статистики называются климатическими переменными*." Это определение использовано и в ОД_РФ-1. При этом к *естественным* внешним воздействиям относятся колебания орбитальных параметров Земли, вулканическая деятельность, солнечная активность, к *антропогенным* — изменения газового и аэрозольного состава атмосферы в результате хозяйственной деятельности человека, изменения характера землепользования. *Собственная*, т. е. не связанная с внешними воздействиями, изменчивость климатической системы обусловлена нелинейными взаимодействиями между перечисленными ее компонентами, имеющими разные времена отклика на внешние воздействия. Обратные связи разных знаков и нелинейность внутренних взаимодействий, присущих климатической системе Земли, чрезвычайно усложняют ее реакцию на внешние воздействия и, соответственно, выявление изменений климата и установление их причин, не говоря уже о прогнозе изменений климата.

Современное пристальное внимание к проблеме антропогенного изменения климата и активные дискуссии по этой теме могут создать ложное впечатление о ее "молодости". Между тем, теория антропогенного изменения глобального климата имеет, по-видимому, почти двухвековую историю, если вести отсчет от первых гипотез относительно роли парникового эффекта в формировании климатических условий нашей планеты. Идея о механизме парникового эффекта, впервые изложенная Жозефом Фурье (1827 г.), получила развитие в работах Джона Тиндалла и Сванте Аррениуса. В частности, полученная Аррениусом оценка воздействия удвоения концентрации CO_2 в атмосфере на среднюю глобальную температуру (1896 г.) стала первой в исторической последовательности подобных оценок, выполняемых до настоящего времени.

Предположение о потенциальной важности собственно антропогенного фактора для климата Земли было высказано более столетия назад. С тех пор эта теория, пережив длительный период слабого к ней интереса, достигла степени развития, когда стали возможны не только оценки будущих изменений климатической системы, но и проверка прогнозов, сделанных некоторое время тому назад.

К середине 1970-х годов был пройден долгий путь в развитии теории от гипотез и теоретических работ к первым модельным оценкам будущих климатических изменений с использованием пока еще довольно примитивных вычислительных моделей. Однако уже эти модели давали прогнозы глобального потепления в ближайшие десятилетия, оправдавшиеся в дальнейшем. Кроме того, были получены оценки возможных климатических изменений, основанные на эмпирических моделях, базирующихся на данных о прошлых состояниях климатической системы. Следует отметить значительный вклад советских ученых в развитие этого направ-

ления исследований* и особенно его признанного лидера академика М. И. Будыко.

Начало XXI в. отмечено нарастанием усилий ведущих центров моделирования климата по воспроизведению эволюции климатической системы на протяжении XX в. Именно эти эксперименты заложили основу активно развивающегося в настоящее время направления науки о климате — обнаружения и установления причин наблюдаемых изменений климата.

Причины наблюдаемых изменений глобального климата

Выявление причин изменений климата основывается на сравнении наблюдаемых изменений с ожидаемой реакцией на предполагаемые внешние воздействия, полученной с помощью тщательно выверенных климатических моделей. При сравнении используются статистические процедуры, позволяющие объективно установить, согласуются ли количественно изменения, наблюдаемые в климатической системе, с ожидаемыми изменениями, полученными в модельных расчетах. Кроме того, проверяется, не могут ли указанные изменения быть вызваны другими физически возможными механизмами. В частности, проверяется, не являются ли они просто проявлением естественной изменчивости, свойственной климатической системе.

За годы, прошедшие со времени выхода ОД_РФ-1, свидетельства влияния человека на климат стали более весомыми. В настоящее время более полные и продолжительные данные наблюдений и расчеты с новым поколением климатических моделей позволяют обнаруживать антропогенное влияние в наблюдаемых изменениях в большем числе компонентов климатической системы Земли. Пятый оценочный доклад МГЭИК (2013—2014 гг.) констатирует, что с вероятностью более 95% влияние человека было доминирующей причиной потепления, наблюдаемого с середины XX в.

Согласованность наблюдаемых и расчетных изменений во всей климатической системе, включая глобальные и региональные значения температуры, температуру тропосферы и стратосферы, глобальный влагооборот, глобальный баланс энергии, изменения в криосфере и Мировом океане, указывает на то, что наблюдаемые изменения климата вызваны в первую очередь увеличением концентраций атмосферных парниковых газов вследствие хозяйственной деятельности человека. При этом амплитуда и пространственная структура наблюдаемого потепления в разных компонентах хорошо согласуются с ожидаемым по модельным расчетам откликом климатической системы на антропогенные и естественные внешние воздействия (рис. ОР2.1, ОР2.2).

Антропогенная составляющая изменения климата на территории России

Основной вклад в наблюдаемое повышение температуры на территории России во второй половине XX в. — начале XXI в. вносит влияние изменений концентрации парниковых газов. Однако и естественные внешние воздействия значимо проявляются в межгодовых колебаниях температуры. Эти воздействия особенно хорошо различимы летом, когда влияние аэрозолей на поток приходящей на поверхность солнечной радиации достигает годового максимума, а собственная (не связанная с внешними воздействиями) межгодовая изменчивость температуры сравнительно мала.

Изменения температуры, полученные в модельных расчетах с ансамблем современных климатических моделей (CMIP5) с учетом антропогенных и естественных внешних воздействий, достаточно хорошо, в том числе и пространственно, согласуются с данными наблюдений, если при сравнении учитывается естественная изменчивость, присущая климатической системе Земли (рис. ОР2.3). При этом получено существенное расхождение данных наблюдений с результатами расчетов, учитывающих только естественные внешние воздействия.

Во многих регионах земного шара происходят изменения региональных экстремальных значений температуры, в частности, уменьшается число морозных дней, увеличиваются значения максимальной температуры, а значения минимальной температуры становятся выше, увеличивается частота возникновения необычно теплых сезонов, например, таких, которые случаются раз

* В ходе Первой всемирной конференции по климату, организованной Всемирной метеорологической организацией в 1979 г. в Женеве, Е. К. Федоров, выступивший с вводным докладом на этой конференции, в частности отметил: “Изменения климата в будущем неизбежны. Они станут заметными и, может быть, необратимыми в ближайшие несколько десятилетий... В связи с этим очевидно, что необходимо было бы выработать некоторую стратегию, т. е. систему заранее спланированных действий, которые обеспечили бы для человечества избежание негативных последствий возможных изменений климата...”.

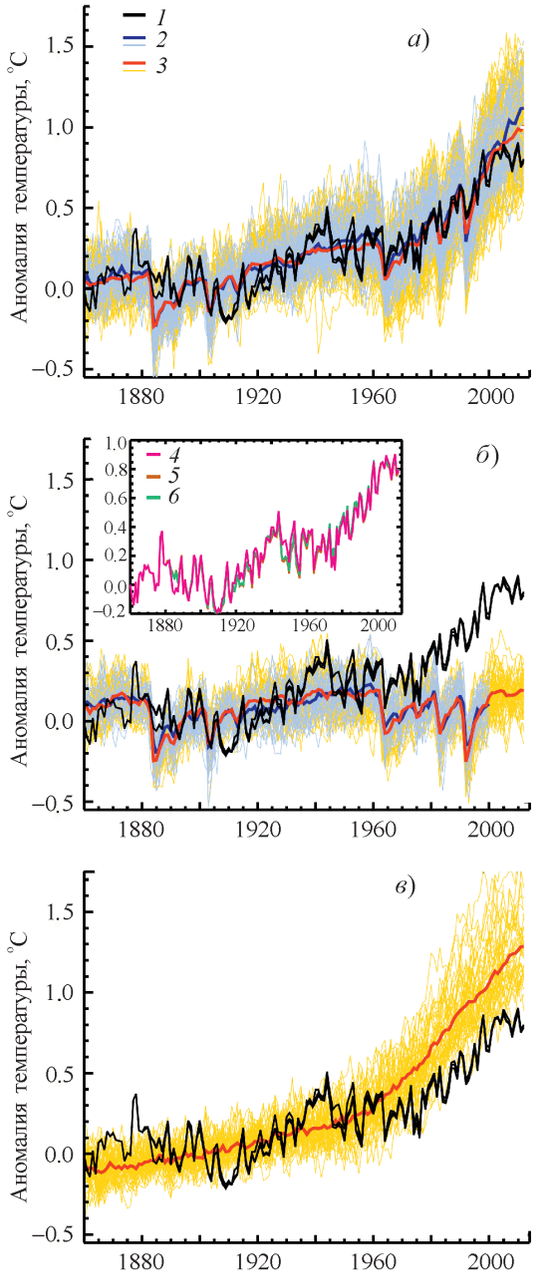


Рис. ОР2.1. Оценки средней глобальной приземной температуры по данным архивов наблюдений (*1*) и модельным расчетам по ансамблям CMIP3 (*2*) и CMIP5 (*3*) при учете антропогенных и естественных внешних воздействий (*а*), только естественных воздействий (*б*) и только влияния увеличения концентрации парниковых газов (*в*). Жирные линии — средние по модельным ансамблям CMIP5 и CMIP3. Модельные расчеты по ансамблю CMIP3 на рисунке *в* не представлены. Данные наблюдений и результаты модельных расчетов географически осреднены в соответствии с имеющимися данными наблюдений по архиву HadCRUT4 (поскольку пространственное покрытие у этого архива наименьшее) и приведены в виде аномалий температуры по отношению к периоду 1880—1919 гг., хотя первоначально данные о температуре в каждой ячейке сетки были получены как аномалии по отношению к периоду 1961—1990 гг. На врезке на рисунке *б* показаны оценки по данным разных архивов наблюдений: HadCRUT4 (*4*), GISTEMP (*5*); MLOST (*6*). Рисунок — из Пятого оценочного доклада МГЭИК.

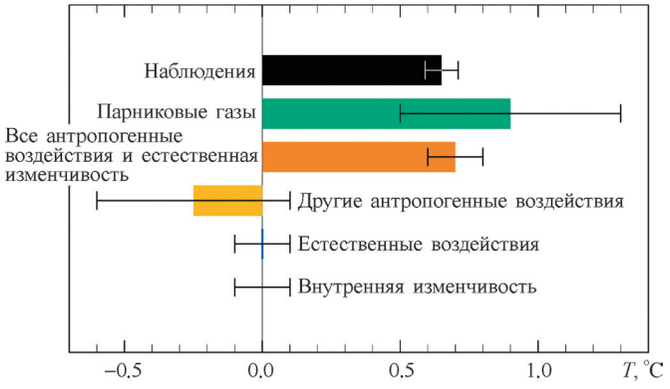


Рис. ОР2.2. Вероятностные границы (горизонтальные интервалы) и средние значения (цветные прямоугольники) оценок установленного вклада разных факторов в линейный тренд наблюдавшегося потепления в 1951—2010 гг. Величина тренда по данным архива HadCRUT4 показана черным цветом вместе с 5—95%-ным доверительным интервалом, учитывающим неопределенности в этом архиве. Рисунок — из Пятого оценочного доклада МГЭИК.

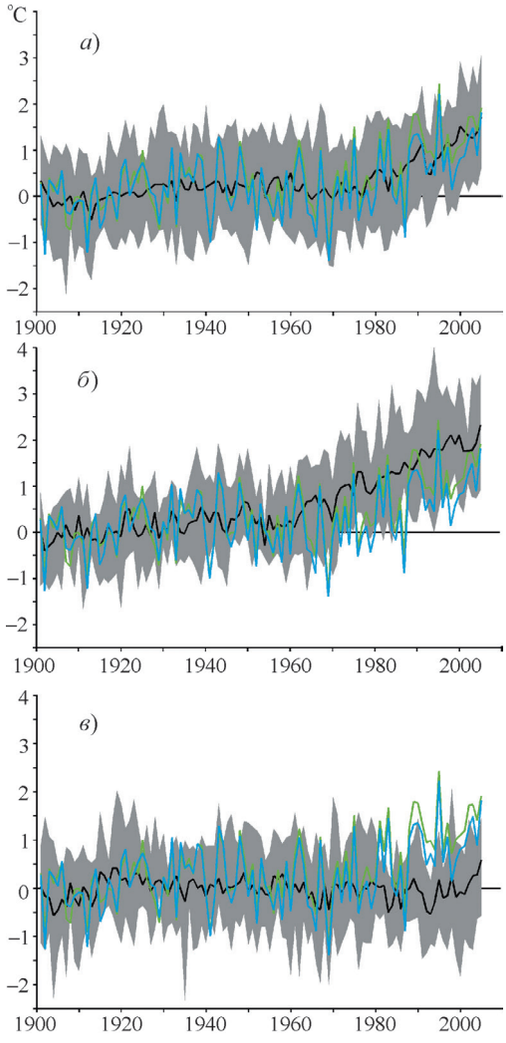


Рис. ОР2.3. Аномалии среднегодовой температуры приземного воздуха на территории России по данным наблюдений (зеленая и синяя кривые) и в среднем по ансамблям расчетов с моделями CMIP5 (черная кривая) с учетом влияния всех внешних воздействий, как естественных, так и антропогенных (*а*); только изменений концентрации основных парниковых газов (*б*); только естественных внешних воздействий (*в*). Аномалии рассчитаны по отношению к базовому периоду 1901—1930 гг. Серым цветом выделен диапазон разброса оценок по модельным ансамблям.

в десятилетие. Методами оптимального обнаружения для региона Северная Азия, охватывающего значительную часть территории России, выявлено антропогенное влияние в изменениях сезонных и суточных экстремальных значений температуры, которые в целом согласуются с наблюдаемым глобальным потеплением.

Анализ экстремальных явлений погоды, в частности, жаркого лета на ЕЧР в 2010 г., показал, что хотя такие условия в основном генерируются внутренней изменчивостью, общее потепление, вызванное антропогенным воздействием, значительно увеличивает вероятность их возникновения.

Влияние неантропогенных факторов на современный климат

Изменения климата происходят в результате собственных колебаний климатической системы и внешних воздействий естественного и антропогенного происхождения. В числе внешних естественных воздействий (на временных масштабах до столетий) в первую очередь обычно рассматриваются изменения потока солнечной радиации и вулканическая активность.

Воздействие солнечной радиации на климатическую систему Земли с середины XVIII в. по настоящее время изменилось на 0.05 Вт/м^2 и составило 2% по отношению к антропогенному радиационному воздействию 2.29 Вт/м^2.

В прошлом самое значительное уменьшение приходящего к Земле потока солнечной радиации происходило в период Минимума Маундера (вторая половина XVII в.) и продолжалось около 50 лет. Уменьшение активности Солнца вызвало похолодание, с которым связывают так называемый Малый ледниковый период. Чтобы оценить, насколько такое уменьшение активности Солнца может повлиять на антропогенное потепление, было выполнено исследование с моделью климата, в которой поток солнечной радиации уменьшался на 0.25% по сравнению с современной величиной. Такое уменьшение было наиболее вероятным в период Минимума Маундера. Результаты расчетов показали, что если аналогичный минимум солнечной радиации возникнет в середине XXI в., это может замедлить глобальное антропогенное потепление и уменьшит повышение приземной глобальной температуры воздуха на 0.24—0.26°С. Однако при увеличении потока солнечной радиации до первоначальной величины потепление восстановится и будет таким же, как при исходном сценарии.

При крупных извержениях вулканов в атмосферу выбрасывается большое количество сульфатного аэрозоля, который может оказывать значительное влияние на климат на временных масштабах от года до нескольких лет. В XX в. извержения вулканов Агунг, Эль-Чичон и Пинатубо оказали наиболее заметное влияние на колебания глобальной температуры воздуха. Более того, азиатский и африканский летние муссоны некоторое время были слабее после извержения Пинатубо в 1991 г. Реакция влагооборота атмосферы на крупные извержения вулканов происходит очень быстро, и связанные с этим негативные последствия могут проявляться около года.

Океан оказывает сильное влияние на атмосферу и ее изменения. В последние десятилетия общее теплосодержание океана непрерывно увеличивалось. Влияние океана наиболее заметно проявляется в высоких и умеренных широтах Северного полушария на масштабах от сезона до десятилетий. Сложность прогноза естественных колебаний температуры океана связана с недостаточной изученностью процессов в океане. Далека от решения задача удовлетворительного описания процессов в экваториальных и тропических областях океана, где формируются явление Эль-Ниньо, 60—70-летние колебания в Северной Атлантике и тихоокеанская десятилетняя осцилляция.

В настоящее время в научной литературе активно обсуждается наблюдаемая в последние полтора десятилетия “приостановка” глобального потепления: наблюдаемый тренд средней глобальной температуры оказался меньшим, чем средний тренд, полученный в моделях CMIP3, использованных в Четвертом оценочном докладе МГЭИК. Результаты исследований свидетельствуют, что тренды в данных наблюдений за короткие периоды (десятилетия) могут быть в большей степени обусловлены собственной изменчивостью климатической системы, в значительной мере определяемой естественными колебаниями океана, чем внешним воздействием. Это же свойственно и модельным расчетам.

Согласно Пятому оценочному докладу МГЭИК, наблюдаемое в 1998—2012 гг. уменьшение тренда повышения приземной температуры по сравнению с периодом 1951—2012 гг. приблизительно в равной мере обусловлено уменьшением радиационного воздействия и охлаждением атмосферы в результате естественной внутренней изменчивости, включая возможное перераспределение тепла в океане.

Раздел 3. ОЖИДАЕМЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ КЛИМАТА В XXI ВЕКЕ

Новое поколение климатических моделей

В период подготовки Пятого оценочного доклада МГЭИК (2008—2014 гг.) международным научным сообществом был организован очередной проект по анализу расчетов климата с помощью глобальных климатических моделей. Основу этого проекта, получившего название CMIP5 (Coupled Model Intercomparison Project, Phase 5: Проект взаимосравнения объединенных моделей (атмосферы и океана), пятая фаза), составили расчеты климата XX в. при заданных в соответствии с данными наблюдений концентрациях парниковых газов и аэрозолей, а также сценарные расчеты климата XXI в. для новой группы сценариев антропогенного воздействия на климатическую систему Земли — так называемые RCP (Representative concentration pathways: репрезентативные траектории концентраций). Всего в проекте приняло участие более пяти десятков моделей, разработанных в разных исследовательских центрах мира.

Наиболее высокую успешность воспроизведения средних климатических характеристик при сравнении с данными наблюдений, как правило, показывает результат осреднения по ансамблю моделей. Это связано с тем, что систематические ошибки, присущие каждой модели в отдельности, часто являются случайными по отношению к ансамблю моделей и при осреднении по ансамблю взаимно компенсируются.

Для использования в настоящем Оценочном докладе был сформирован ансамбль (АН_31) из 31 модели CMIP5, что, примерно, в полтора раза больше, чем число моделей CMIP3 (третья фаза проекта CMIP), использовавшихся в ОД_РФ-1. Несмотря на значительный разброс результатов расчетов климата с помощью отдельных моделей CMIP5, удовлетворительное согласие средних по ансамблю расчетов основных характеристик приземного климата на территории России с данными наблюдений (рис. ОР3.1−ОР3.3) позволяет считать этот ансамбль пригодным для оценок будущих изменений климата на территории России. Сравнение моделей разных поколений указывает на постепенное улучшение воспроизведения моделями ряда характеристик приземного климата на территории России.

Ожидаемые изменения климата на территории Российской Федерации в XXI веке

В новой системе сценариев антропогенного воздействия на глобальную климатическую систему RCP индекс сценария характеризует величину антропогенного радиационного воздействия, достигаемого в 2100 г., а именно: 2.6, 4.5, 6.0 и 8.5 Вт/м^2 в RCP2.6, RCP4.5, RCP6.0 и RCP8.5 соответственно.

Согласно Пятому оценочному докладу МГЭИК, в XXI в. средняя глобальная температура будет повышаться при всех сценариях радиационного воздействия. Для различных сценариев антропогенного воздействия наиболее вероятные оценки увеличения глобальной температуры в 2081—2100 гг. по отношению к 1986—2005 гг. для 5—95% общего числа моделей будут составлять: 0.2—1.8°C (RCP2.6), 1.0—2.6°C (RCP4.5), 1.3—3.2°C (RCP6.0), 2.6—4.8°C (RCP8.5). Различия в количестве осадков, выпадающих во влажных и засушливых регионах, а также в течение влажного и сухого сезонов, будут увеличиваться, хотя могут быть исключения в ряде регионов. Высока вероятность того, что в течение XXI в. меридиональная циркуляция над Атлантикой будет ослабевать, однако ее резкие изменения или остановка крайне маловероятны. Уровень Мирового океана в период с 2081 по 2100 г. по сравнению с концом XX в., вероятно, повысится в диапазонах от 0.26—0.55 м (RCP2.6) до 0.45—0.82 м (RCP8.5), а закисление океана будет продолжаться.

Изменения средней сезонной температуры на территории России в XXI в. (рис. ОР3.4) согласуются с оценками, полученными для российских регионов в рамках ОД_РФ-1. Повышение температуры зимой на территориях всех федеральных округов Российской Федерации, кроме Северо-Кавказского и Южного, будет заметно превышать ее повышение в летний сезон (рис. ОР3.5). Россия остается регионом мира, где потепление климата в течение XXI в. будет существенно превышать среднее глобальное потепление. Абсолютный годовой максимум температуры как показатель экстремальности летней температуры воздуха может заметно увеличиться, в первую очередь, на юге ЕЧР. В то же время следует

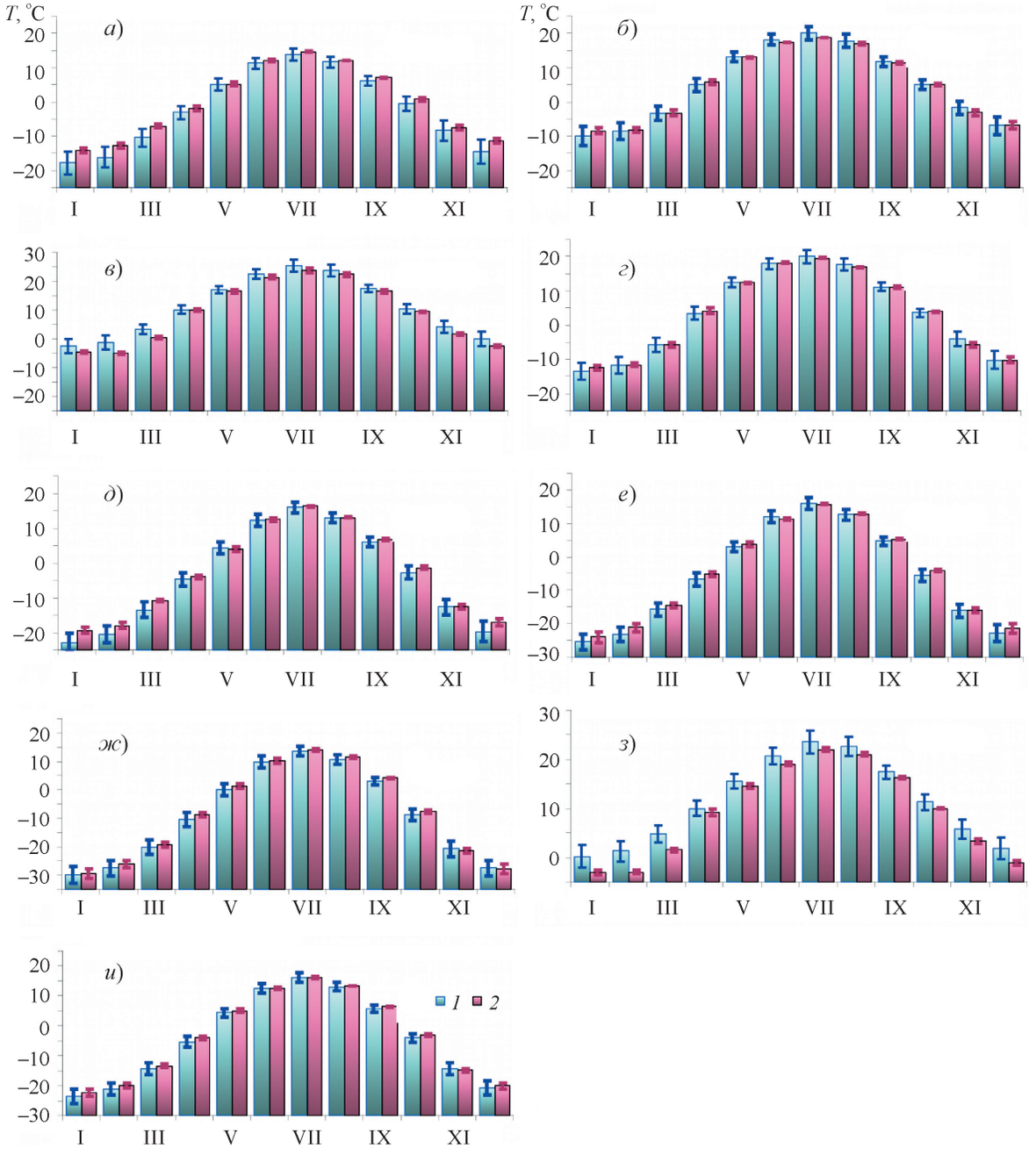


Рис. ОР3.1. Годовой ход температуры приземного воздуха за период 1981—2000 гг., рассчитанный по ансамблю из 31 модели CMIP5 (*1*) и полученный осреднением данных наблюдений (*2*) по федеральным округам: Северо-Западному (*а*), Центральному (*б*), Южному (*в*), Приволжскому (*г*), Уральскому (*д*), Сибирскому (*е*), Дальневосточному (*ж*), Северо-Кавказскому (*з*) и по России в целом (*и*). Помимо средних показаны стандартные отклонения, характеризующие разброс ±σ между моделями, а также между данными наблюдений (реанализа). Большинство моделей успешно воспроизводит годовой ход температуры приземного воздуха в среднем для территорий федеральных округов. В большинстве случаев среднемесячные значения температуры по данным наблюдений (и, зачастую, разброс между данными наблюдений (реанализа)) оказываются в пределах одного стандартного отклонения от среднего по модельному ансамблю. Межмодельный разброс заметно превышает среднюю ошибку по ансамблю.

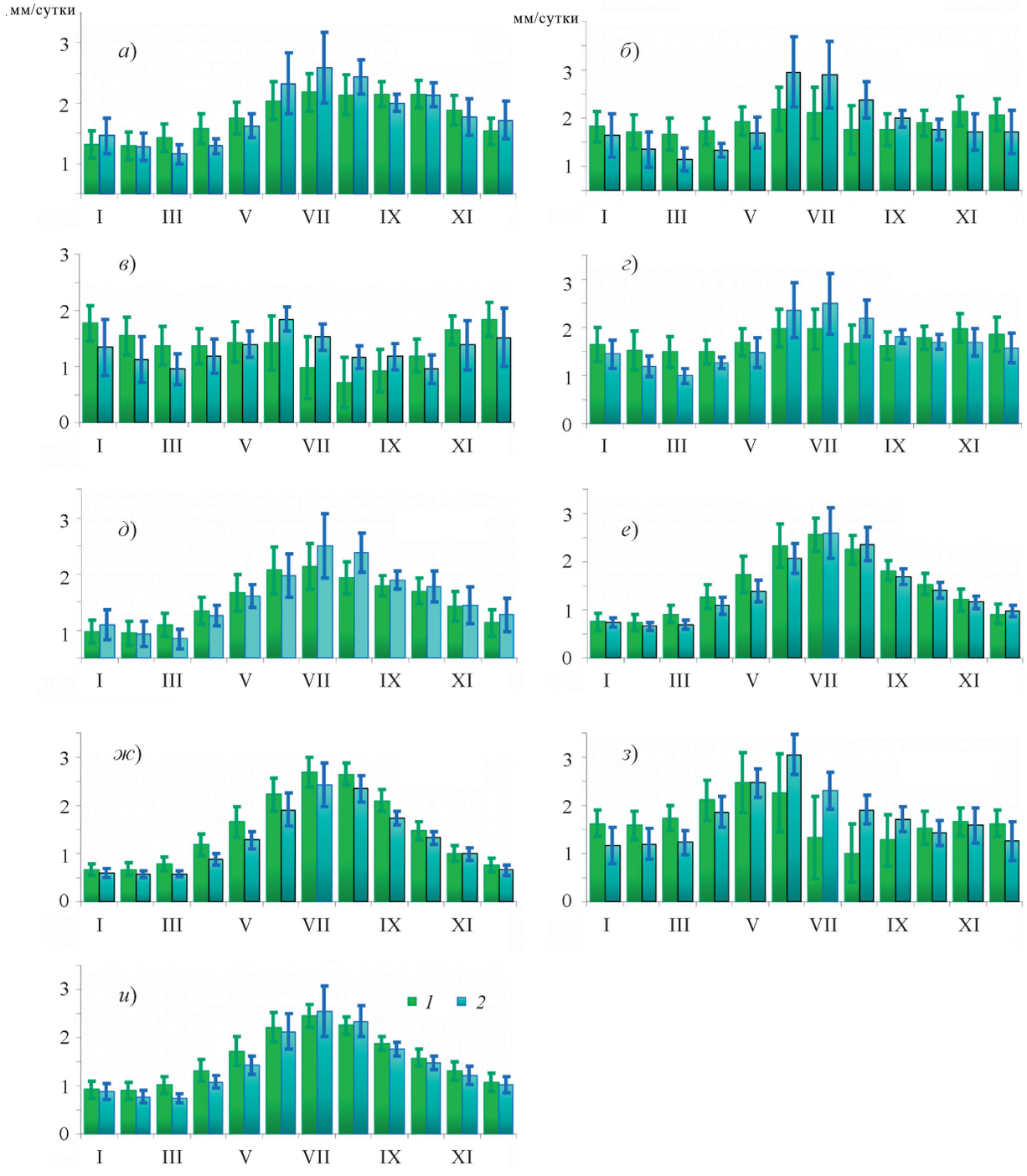


Рис. ОР3.2. Годовой ход осадков за период 1981—2000 гг., рассчитанный по ансамблю из 31 модели CMIP5 (*1*) и полученный осреднением данных наблюдений (реанализа) (*2*) по федеральным округам: Северо-Западному (*а*), Центральному (*б*), Южному (*в*), Приволжскому (*г*), Уральскому (*д*), Сибирскому (*е*), Дальневосточному (*ж*), Северо-Кавказскому (*з*) и по России в целом (*и*). Помимо средних показаны стандартные отклонения, характеризующие разброс ±σ между моделями, а также между данными наблюдений (реанализа). Годовой ход осадков для территорий федеральных округов, рассчитанных по моделям CMIP5, в целом удовлетворительно согласуется с данными наблюдений (реанализа) из разных источников.

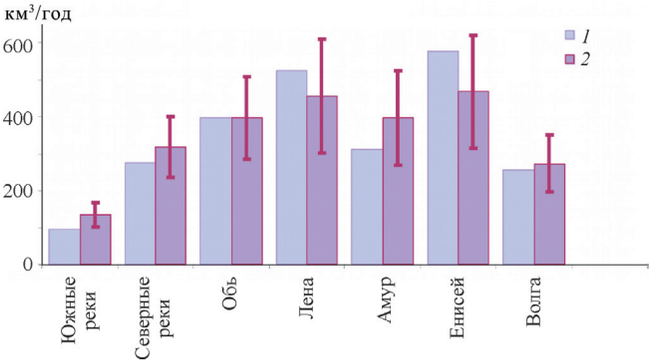


Рис. ОР3.3. Средние значения годового стока рек на крупных водосборах, полученные по данным наблюдений (*1*) и рассчитанные по ансамблю из 26 моделей CMIP5 (*2*) за 1981—2000 гг. Для модельных данных помимо средних приведены стандартные отклонения, характеризующие межмодельный разброс ±σ.

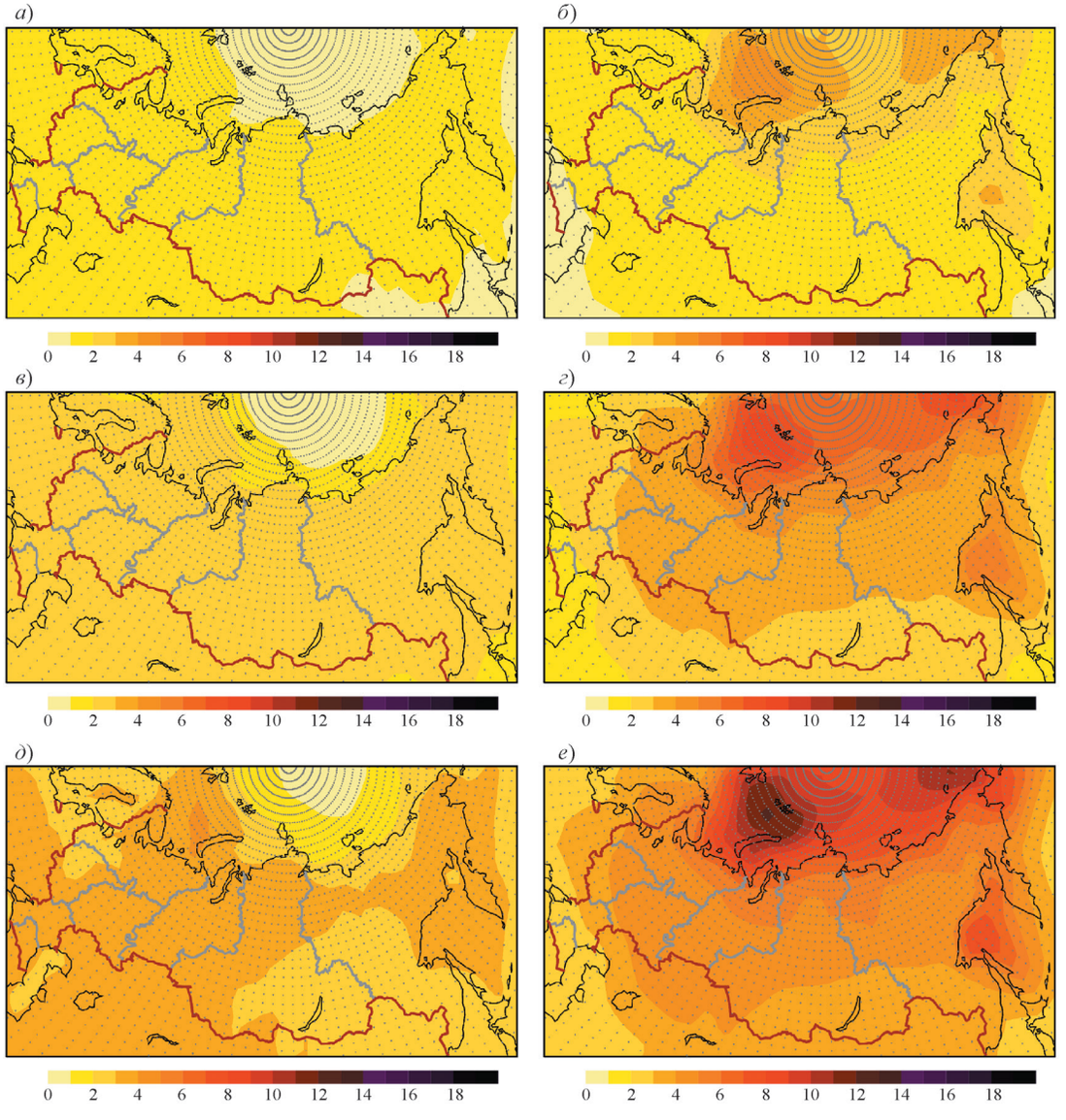


Рис. ОР3.4. Изменения средней сезонной температуры приземного воздуха (°С) в периоды 2011—2030 (*а*, *б*), 2041—2060 (*в*, *г*) и 2080—2099 гг. (*д*, *е*) по отношению к концу XX в. летом (*а*, *в*, *д*) и зимой (*б*, *г*, *е*) по оценкам ансамбля из 31 модели CMIP5 для сценария RCP4.5. Точками показаны регионы, где отношение среднего по ансамблю изменения температуры и межмодельного разброса превышает 1.

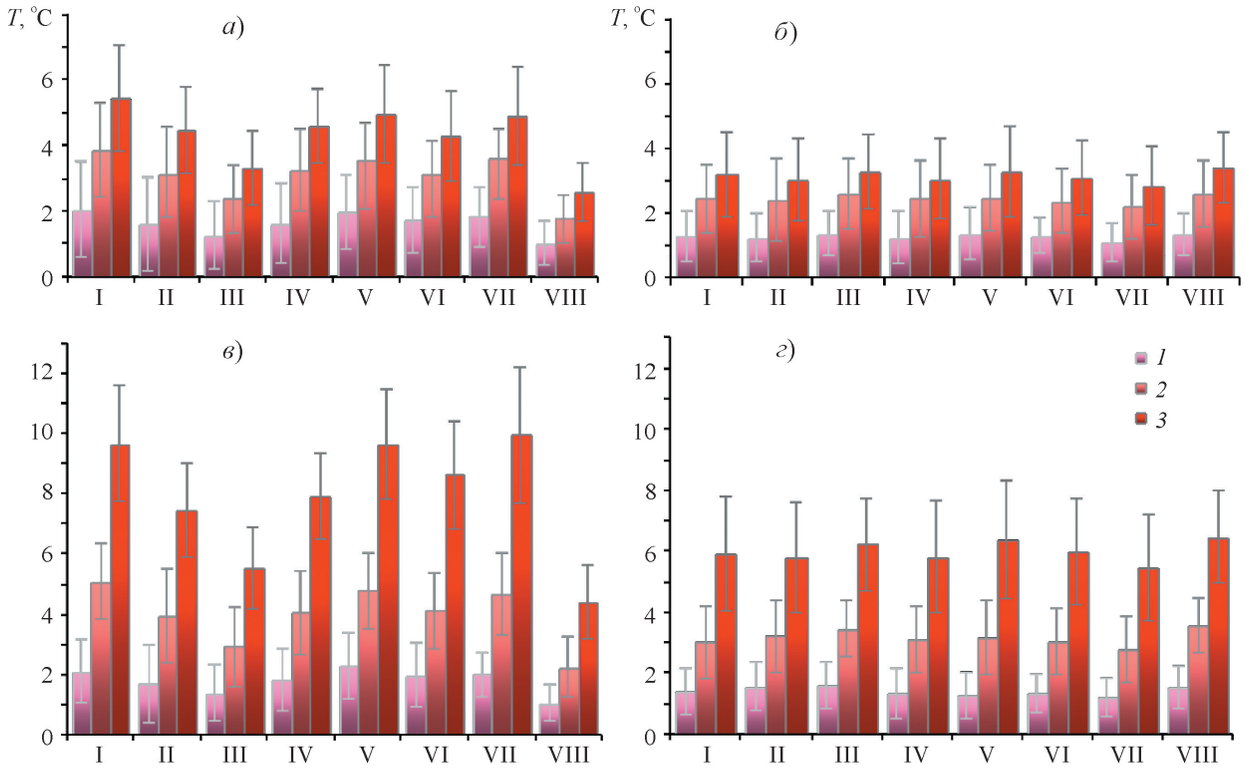


Рис. ОР3.5. Изменения средней температуры (°С) приземного воздуха в январе (*а*, *в*) и июле (*б*, *г*) в периоды 2011—2030 (*1*), 2041—2060 (*2*) и 2080—2099 гг. (*3*) по отношению к концу XX в. на территории федеральных округов Северо-Западного (I), Центрального (II), Южного (III), Приволжского (IV), Уральского (V), Сибирского (VI), Дальневосточного (VII) и Северо-Кавказского (VIII) по оценкам ансамбля из 31 модели CMIP5 для сценариев RCP4.5 (*а*, *б*) и RCP8.5 (*в*, *г*). Серыми вертикальными отрезками показан диапазон неопределенности, в границах которого лежит 90% модельных оценок.

ожидать заметного смягчения температурного режима в холодное время года, в основном из-за повышения наиболее низкой температуры воздуха на севере ЕЧР, а в конце XXI в. — и на ее юге, где зимы станут бесснежными.

В течение всего XXI в. для всех сценариев отмечается устойчивая тенденция увеличения количества осадков в зимний период на всей территории России (рис. ОР3.6). В летний период увеличение средних за сезон сумм осадков ожидается на большей части территории России, за исключением южных регионов, где к концу этого века ожидается уменьшение осадков до 25% по сравнению с концом XX в. Изменения осадков будут заметно различаться для разных федеральных округов зимой по величине, а летом как по величине, так и по знаку (рис. ОР3.7).

На водосборах Лены и Енисея, а также рек Чукотки ожидается значимое увеличение стока.

Площади, занятые приповерхностной многолетней мерзлотой, по сценариям RCP4.5 и RCP8.5

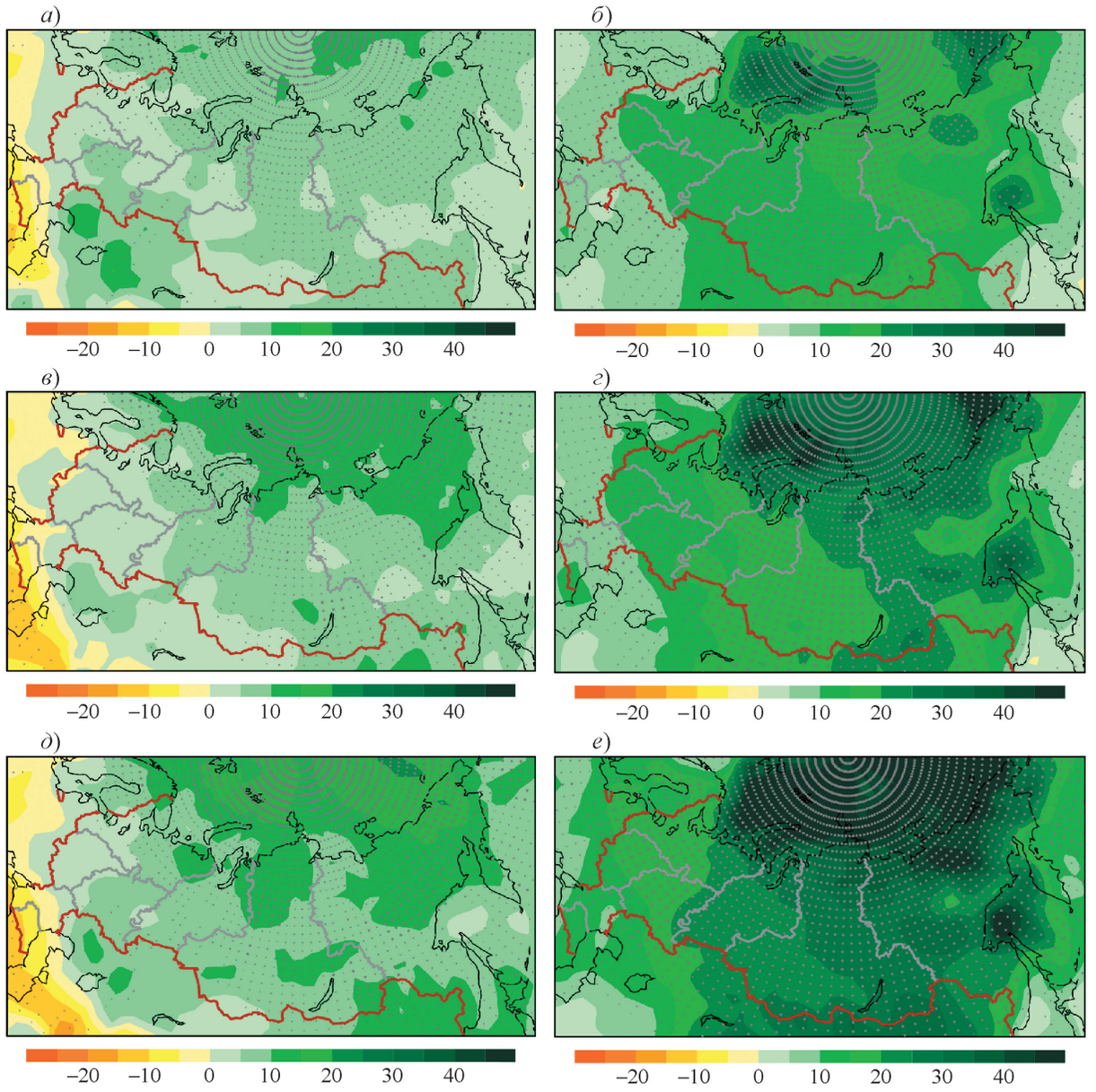


Рис. ОР3.6. Изменения средних сезонных сумм осадков в периоды 2011—2030 (*а*, *б*), 2041—2060 (*в*, *г*) и 2080—2099 гг. (*д*, *е*) по отношению к концу XX в. летом (*а*, *в*, *д*) и зимой (*б*, *г*, *е*) по оценкам ансамбля из 31 модели CMIP5 для сценария RCP4.5. Мелкими точками показаны регионы, где более 66% моделей дают одинаковый знак изменений, крупными — районы, в которых ансамблевые оценки согласуются по знаку в 90% моделей.

сократятся соответственно на 20 ± 7 и $25 \pm 8\%$ к середине XXI в. и на 31 ± 12 и $56 \pm 18\%$ к его концу.

Модельные оценки однозначно указывают на уменьшение площади морского льда в российской Арктике и прилегающих к ней районах Северного Ледовитого океана (рис. ОР3.8) на протяжении XXI в. и позволяют говорить о возможности исчезновения там многолетнего льда уже в первой половине этого века.

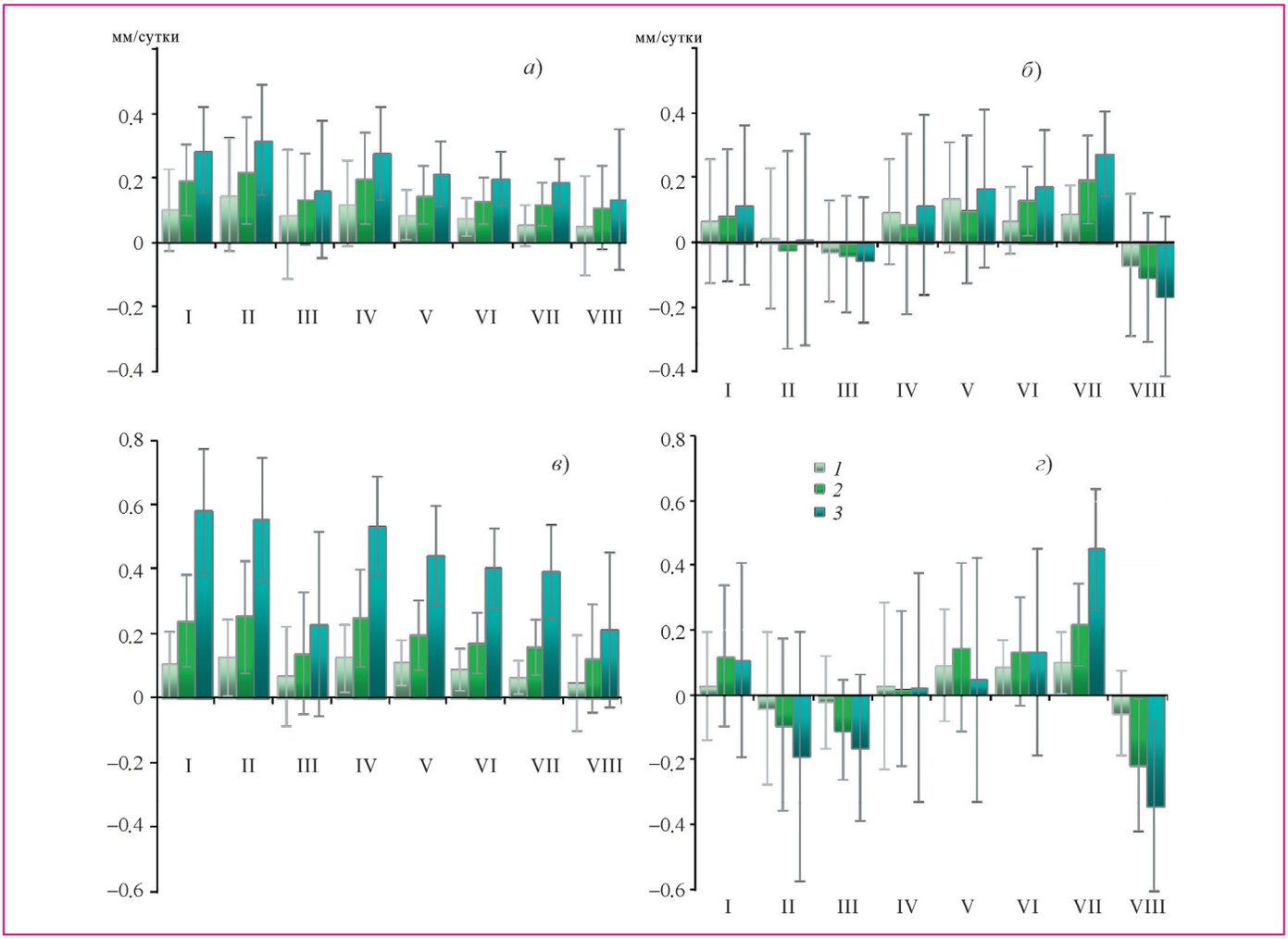


Рис. ОР3.7. Изменения средних суточных сумм осадков (мм/сут) в январе (*а*, *в*) и июле (*б*, *г*) в периоды 2011—2030 (*1*), 2041—2060 (*2*) и 2080—2099 гг. (*3*) по отношению к концу XX в. на территории федеральных округов Северо-Западного (I), Центрального (II), Южного (III), Приволжского (IV), Уральского (V), Сибирского (VI), Дальневосточного (VII) и Северо-Кавказского (VIII) по оценкам ансамбля из 31 модели CMIP5 для сценариев RCP4.5 (*а*, *б*) и RCP8.5 (*в*, *г*). Серыми вертикальными отрезками показан диапазон неопределенности, в границах которого лежит 90% модельных оценок.

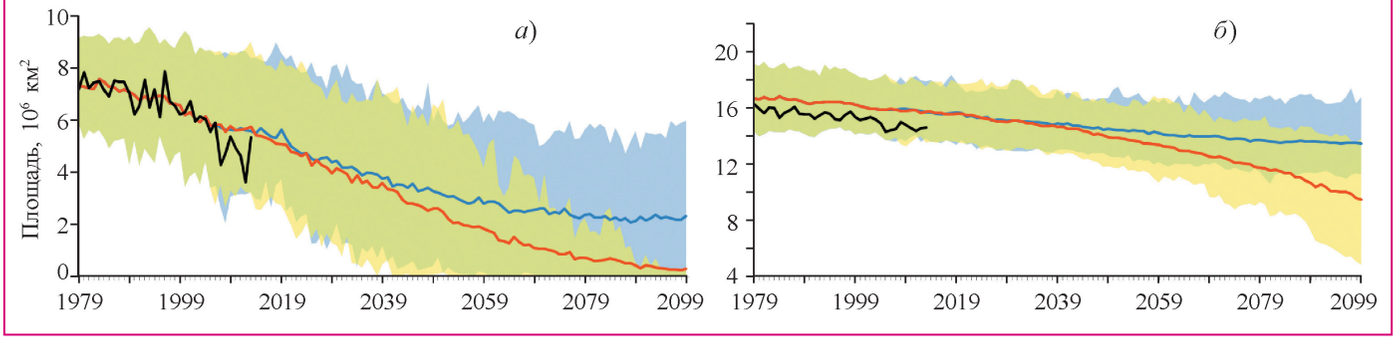


Рис. ОР3.8. Эволюция площади морского льда в период 1979—2099 гг. в Арктике в сентябре (*а*) и феврале (*б*) по данным 30 моделей CMIP5 для сценариев RCP4.5 и RCP8.5 (голубая и красная сплошные линии соответственно), а также межмодельный разброс в пределах 10-й и 90-й процентилей (голубая и желтая штриховка соответственно). Для периода 1979—2005 гг. в каждом ансамбле сценарному расчету предшествует ретроспективный расчет. Для периода 1979—2013 гг. приводится площадь льда по данным наблюдений NSIDC (National Snow and Ice Data Center: Национальный центр данных о снеге и льде, США) (черная кривая).

Раздел 4. ВОЗДЕЙСТВИЯ ИЗМЕНЕНИЙ КЛИМАТА НА ПРИРОДНЫЕ СИСТЕМЫ СУШИ

Водные системы суши

На территории России сток рек в решающей степени зависит от климата на водосборе, в первую очередь от разности количества осадков и испарения. Доминирующей тенденцией изменения годового стока рек России (т. е. ежегодно возобновляемых водных ресурсов) является его увеличение. В 1981—2012 гг. по отношению к среднему уровню за период 1936—1980 гг. оно составило в среднем 204 км^3/год, или 4.8% (рис. ОР4.1). При этом увеличение речного стока было характерно для всех федеральных округов России. Наибольшее его увеличение произошло на крупнейших реках бассейна Северного Ледовитого океана.

Существенной особенностью современных изменений водного режима рек России является значительное увеличение водности в меженные периоды, особенно зимой. Также увеличилась межгодовая изменчивость стока, в результате чего наблюдаются как аномально многоводные, так и аномально маловодные годы и сезоны.

Современные изменения максимального стока рек в России определяются условиями его формирования. Для значительной части ЕЧР, где максимальные расходы формируются в период весеннего половодья, в последние десятилетия произошло существенное его уменьшение. В регионах, где максимальные расходы формируются дождевыми паводками (Черноморское побережье Кавказа, бассейны Кубани и Амура), в конце прошлого — начале нынешнего столетия отмечались катастрофические наводнения, не наблюдавшиеся ранее. Во время экстремального наводнения 2013 г., произошедшего в результате выпадения продолжавшихся около двух месяцев интенсивных дождей на Дальнем Востоке России и на северо-востоке Китая, максимальные расходы воды на участке Среднего и Нижнего Амура длиной более 1000 км превысили исторические максимумы за более чем столетний период гидрологических наблюдений (рис. ОР4.2).

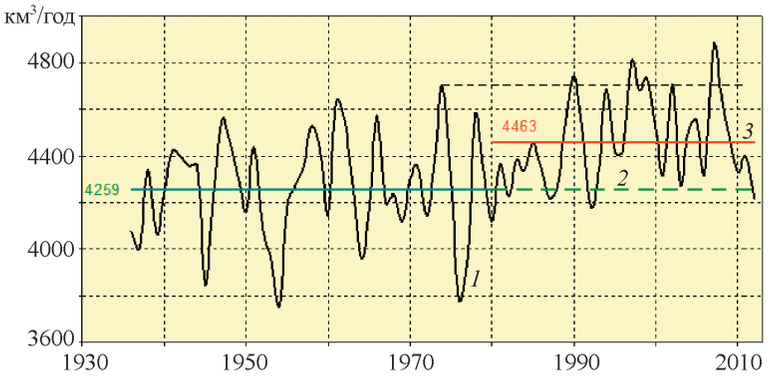


Рис. ОР4.1. Долговременные изменения суммарного годового стока рек Российской Федерации (*1*). Показаны нормы за 1936—1980 гг. (*2*) и 1981—2012 гг. (*3*).

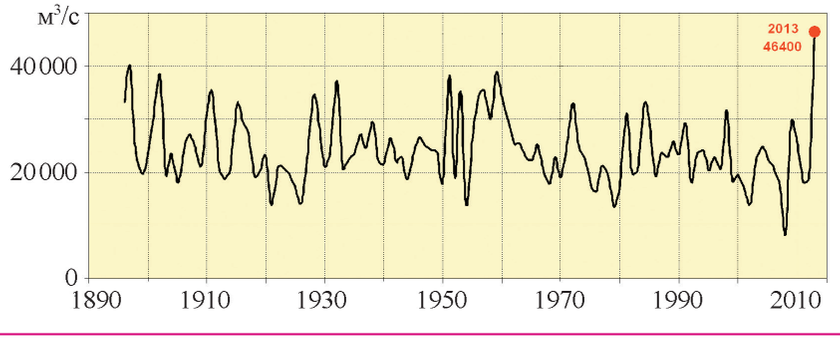


Рис. ОР4.2. Долговременные изменения максимальных расходов воды р. Амур у г. Хабаровск.

В ближайшие десятилетия нет оснований ожидать каких-либо значительных изменений годового стока основных рек России в результате изменения климата. Для большей части территории страны наиболее вероятно незначительное (в пределах 5%) увеличение годового стока, что находится в пределах его естественной изменчивости.

Как показывают модельные расчеты, проведенные в рамках современных представлений о будущем климате в XXI в., водный режим рек России в ближайшие два десятилетия по своим основным параметрам будет близким к наблюдавшемуся в последние 30—35 лет. Ожидаемое повышение температуры воздуха зимой позволяет полагать, что наблюдающийся увеличенный зимний сток рек сохранится и в ближайшие два-три десятилетия. При этом относительная доля весеннего стока в годовом стоке будет уменьшаться.

Оледенение арктических островов и горное оледенение

Все ледниковые системы России испытали сокращение вследствие потепления климата по сравнению с состоянием в 1950—1960 гг.

За последние 50 лет площадь оледенения арктических островов России уменьшилась более чем на 720 км^2, а его объем — примерно на 250 км^3, или на 1.5%. В XXI в. сокращение оледенения ускорилось. Наряду с этим уменьшилась протяженность ледяных берегов. Увеличился расход льда на айсберги, а также в среднем их размер. Это повысило риски для добычи нефти и газа на шельфе и для арктического судоходства.

Судя по результатам модельных сценарных расчетов, такие тенденции сохранятся примерно до 2060 г. Впоследствии, из-за сокращения длины берегов, продуцирующих айсберги, количество айсбергов начнет уменьшаться.

На материке в российской субарктике устойчивее всего уменьшается оледенение в ее западной и центральной частях, находящихся под влиянием атлантических воздушных масс. Ледники Кольского полуострова и Ямала исчезли еще до составления Каталога ледников СССР в 1950—1960 гг. К настоящему времени растаяли также ледники гор Путорана. Ледники Полярного Урала и Таймыра (горы Бырранга) после 1960-х годов уже потеряли четверть своей площади, в первую очередь своих долинных частей. При ожидаемом в XXI в. изменении климата они исчезнут к середине века.

На северо-востоке России, в горах Сунтар-Хаята, Черского и на Меныпильгынском хребте, по данным космических снимков, в 2008—2012 гг. было более 600 ледников общей площадью около 370 км^2. Эти ледники заметно отступили с 1960-х годов. С конца XX в. оледенение хребта Черского сократилось на ~30%, ледники гор Сунтар-Хаята — на ~20%.

Площадь ледников Корякского нагорья на Камчатке, точные пределы распространения которых не совсем ясны, оценена по данным космических снимков в 373 км^2 (237 ледников). Основная часть оледенения Камчатки приходится на Срединный хребет. Ледники там спускаются в обе стороны от хребта. Их площадь уменьшилась с 348 до 290 км^2 за 1950—2012 гг. Пример уменьшения площади ледника на Срединном хребте дан на рис. ОР4.3.

Оледенение гор на юге ЕЧР и Сибири уменьшилось еще существеннее — по сравнению с состоянием на середину XX в. примерно на 40% на Кавказе, на 20% на Алтае и не менее чем на 30% в Саянах.

При ожидаемом в XXI в. изменении климата в условиях существующих сценариев (результаты расчета будущего климата с использованием климатических моделей семейства CMIP5) те же тенденции сохранятся в течение XXI в. Одним из последствий будет уменьшение ледникового стока, который в конце XX в. составлял 1.9 км^3 в год для российской части Кавказа и 1.4 км^3 в год для российской части Алтая. Скорость уменьшения площади ледников Северного Кавказа до конца XXI в. составит 5—8 км^2 в год, в связи с чем ожидается сокращение общей площади с настоящих 765 км^2 до примерно 210 км^2 (при изменении климата в условиях умеренного сценария RCP4.5 антропогенного воздействия на климатическую систему). Уменьшение ледникового стока может повлечь за собой ухудшение качества воды рек, имеющих существенное ледниковое и снеговое питание из снега высокогорья. Талая ледниковая вода является стабилизатором стока рек в теплое время года, сток которых без этой добавки может существенно уменьшиться в этот период.

Многолетняя мерзлота

Современное повышение температуры многолетнемерзлых пород (ММП) примерно в 1.5 раза меньше, чем температуры приземного воздуха. Причем наибольшие изменения происходят в низкотемпературных ММП, а при температуре

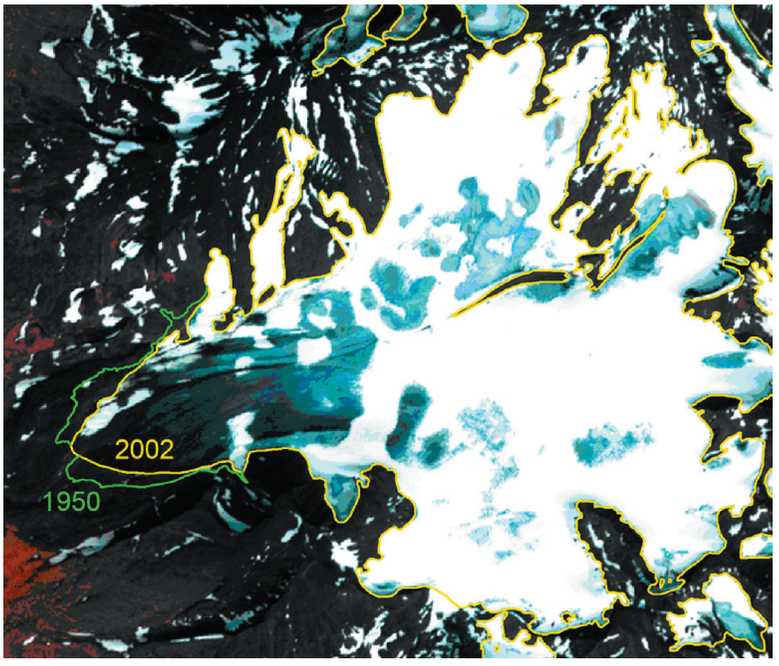


Рис. ОР4.3. Сокращение за 1950—2002 гг. площади одного из крупнейших ледников Срединного хребта — ледника Слюнина.

пород 0...−1°С процесс деградации существенно замедляется. Повышение температуры пород и образование таликов в основном происходят при потеплении в приповерхностном слое атмосферы, сопровождаемом увеличением толщины снежного покрова. При уменьшении количества осадков в зимний период наблюдается стабильное состояние многолетней мерзлоты.

За период систематических наблюдений (примерно с середины 1990-х годов) на площадках мониторинга отмечается увеличение средней глубины сезонного протаивания ММП на 1—2 см в Западной Сибири и Якутии и на 2—6 см на ЕЧР. Причем повышение температуры воздуха и увеличение глубины сезонного протаивания ММП не происходят строго синхронно. Значительное влияние оказывает внутригодовая изменчивость температуры воздуха и количества осадков.

Не наблюдается также однозначной зависимости активизации криогенных процессов от величины изменения температуры. Такие процессы, как термоабразия берегов и криогенное оползание, развиваются циклически в зависимости от сочетания целого ряда климатических факторов. Отмечается активизация этих процессов на участках развития залежеобразующих льдов. Динамика термокарста обусловлена соотношением количества атмосферных осадков и величины испарения. Изменение гидрологических условий, снегонакопления и растительности даже при потеплении климата может способствовать новообразованию мерзлоты и криогенному пучению.

Моделирование эволюции мерзлоты при потеплении климата показывает, что в среднем область протаявшей с поверхности мерзлоты будет постепенно увеличиваться, а температура ММП — повышаться (рис. ОР4.4).

Согласно модельным расчетам, к середине XXI в. мерзлота протает на большей части севера Европейской части России. В Западной Сибири граница распространения островов ММП с поверхности будет проходить по Северному полярному кругу. К концу XXI в. практически на 50% площади современной криолитозоны многолетнемерзлые породы полностью оттают с поверхности, и верхняя граница мерзлых толщ опустится на некоторую глубину.

Потепление не скажется на распространении реликтовой мерзлоты на севере Европейской части России и на юге Западной Сибири.

Природные экосистемы суши

За последние десятилетия изменения в состоянии растительности в мире наблюдались на всех уровнях ее организации. На 5—10% увели-

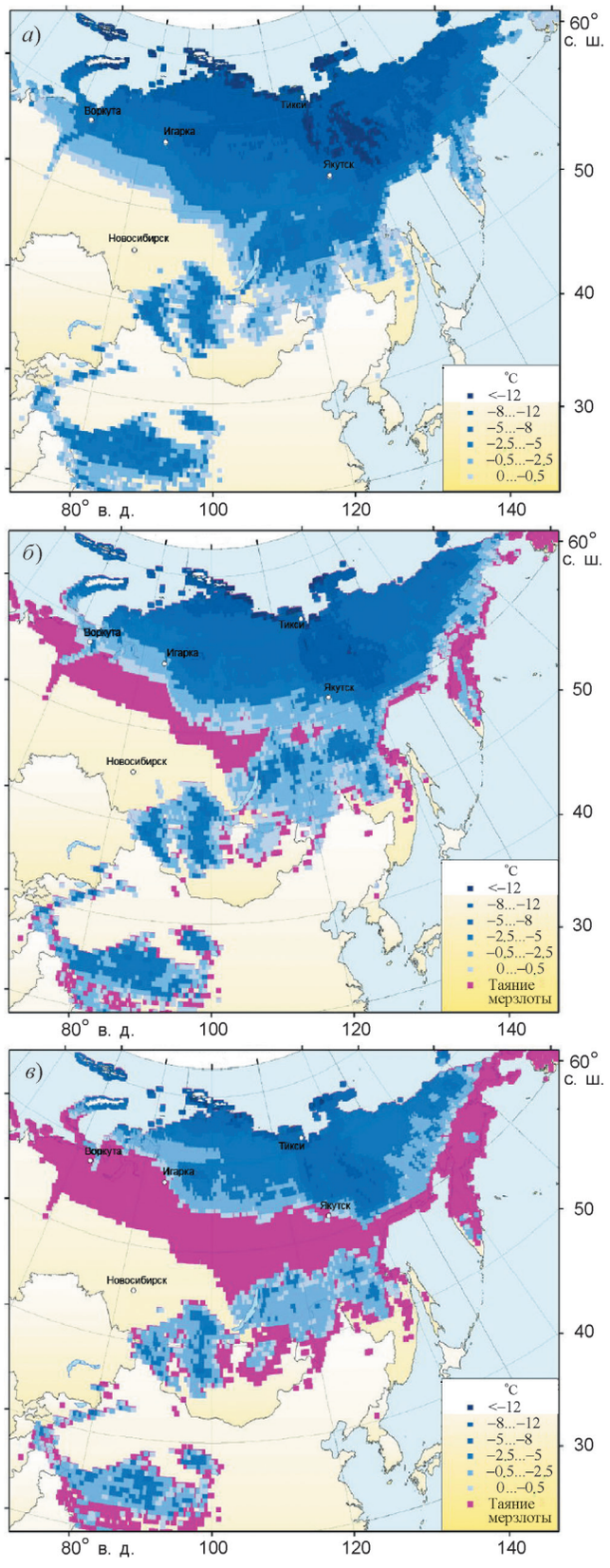


Рис. ОР4.4. Среднегодовая температура пород в нижней части слоя сезонного протаивания (промерзания) в Северной Евразии для трех временных интервалов: 1990—2000 (*а*), 2040—2050 (*б*) и 2090—2100 гг. (*в*). Области распространения оттаявшей с поверхности мерзлоты показаны розовым цветом.

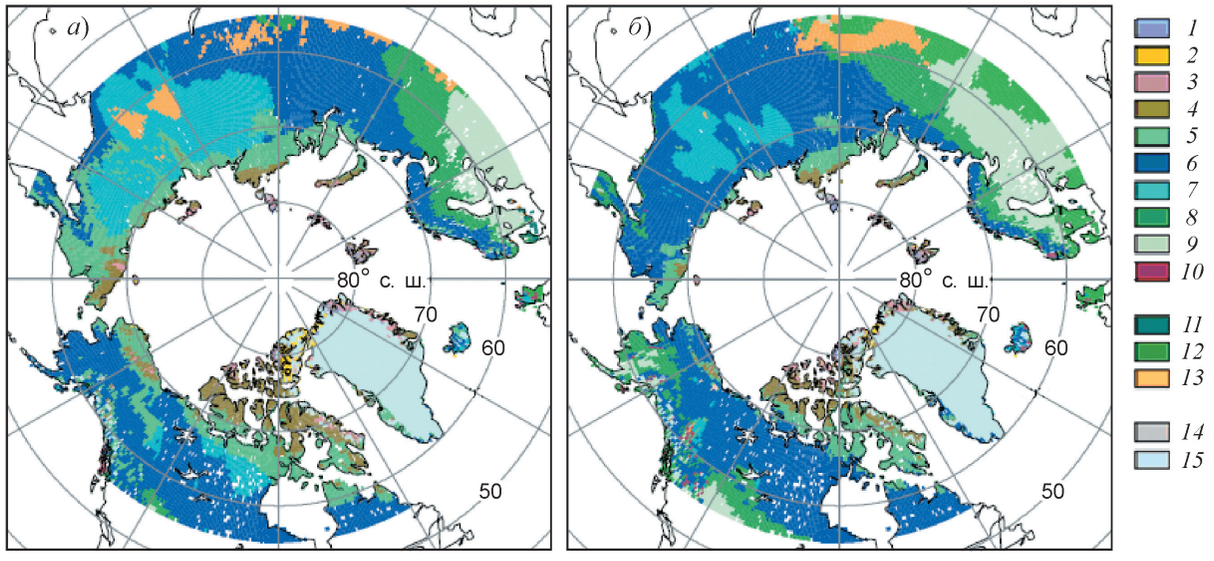


Рис. ОР4.5. Распределение растительности севернее 55° с. ш.: *а*) современное, согласно базе данных CAVM/GLC2000; *б*) рассчитанное по модели BIOME4 при глобальном потеплении на 2°С. *1*) бесплодные земли; *2*) граминоидная тундра; *3*) тундра со стелящимися карликовыми кустарниками; *4*) тундра с прямостоящими карликовыми кустарниками; *5*) кустарниковая тундра; *6*) вечнозеленая бореальная тайга; *7*) листопадная тайга; *8*) вечнозеленая средняя тайга; *9*) смешанный бореальный лес; *10*) смешанный лиственный лес; *11*) вечнозеленый лиственный лес; *12*) листопадный широколиственный лес; *13*) травы и ксерофильные кустарники; *14*) голая земля; *15*) лед; из (Bala, Caldeira, Mirin, et al., 2005).

чилась глобальная относительная скорость фотосинтеза в результате увеличения содержания CO_2 в атмосфере. Зарегистрировано удлинение вегетационного периода в среднем на 0.029 сут в год для Северного полушария и на 0.04 сут в год для Евразии. Первичная продуктивность растений в 1982—2000 гг. в Северной Евразии увеличивалась со скоростью 1.17% в год. Ожидаемые изменения в расположении биомов (рис. ОР4.5), в основном, сводятся к следующему:

— значительно сократятся площадь тундры (на 42%) и ареал лиственницы; для последнего останется заметная центральная часть, остальное займут, в основном, еловые леса;

— на ЕЧР и в Скандинавии смешанный лес распространится на большие области севернее 60° с. ш.; на юге Восточной Сибири появится степь, в некоторых местах до 60° с. ш.

Регионально наблюдалась экспансия древесной растительности в горные тундры и отмечалось продвижение темнохвойной тайги на территории, занимаемые лиственничниками на равнине.

Аридизация климата на юге Восточной Сибири привела к продвижению степей на север и к соответствующей миграции степных видов млекопитающих. В Арктике наблюдалось уменьшение ареала белого медведя, а на побережье Чукотского моря — повышенная смертность тихоокеанского моржа.

За последние 20—30 лет частота пожаров в сибирской тайге, в Эвенкии, Хабаровском крае и на крайнем северо-востоке России увеличилась на 30—50%. С 1973 по 2010 г. в лесах вдвое увеличилась площадь очагов размножения вредных насекомых и болезней.

В Алтае-Саянском регионе существует угроза исчезновения ряда высокогорных видов растений и лишайников, сокращения ареала алтайского горного барана и численности сибирского северного оленя.

Ожидается дальнейшее ухудшение условий обитания для белого медведя во всей арктической зоне России (рис. ОР4.6).

В лесах России ожидаются эскалация пожарных режимов и увеличение пространственных масштабов и темпов размножения насекомых-вредителей, что усилит процесс повреждения и гибели лесов.

Болотные экосистемы, несомненно, также подвержены влиянию изменения климата, однако имеющейся информации недостаточно, чтобы сделать определенные заключения о возможных направлениях и скорости их изменения. Необходимы даль-

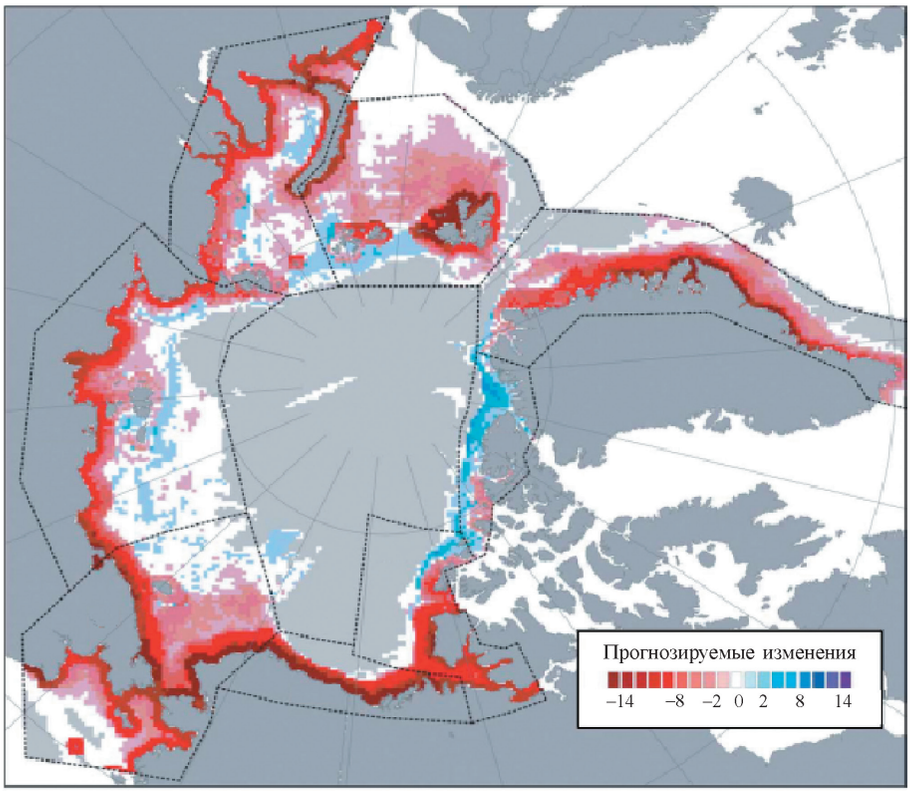


Рис. ОР4.6. Изменения в местообитании белого медведя, ожидаемые в 2041—2050 гг., по отношению к состоянию на 2001 г. Градациями цвета показано число месяцев за 2041—2050 гг., на которое уменьшилась (красный) или увеличилась (синий) длительность условий, оптимальных для белого медведя; из (Durner, Douglas, Nielson, et al., 2009).

нейшие наблюдения и исследования в рамках соответствующих программ с учетом природного разнообразия, разных географических условий (включая различия в изменениях климата) и разного характера антропогенных воздействий.

Углеродный баланс почв: последствия изменения климата

В долгосрочной перспективе при изменении климата на большей части территории России будут складываться условия для увеличения эмиссии CO_2 почвами и сокращения запасов почвенного углерода. Основная причина — интенсификация в среднем процесса гетеротрофного дыхания почв. К 2020 г. эмиссия CO_2 почвами России увеличится по сравнению с базовым периодом 1981—2000 гг. в среднем на 6%, а к 2050 г. — на 17% (рис. ОР4.7). При этом будут наблюдаться как зоны интенсивного увеличения (тундра и северная тайга), так и небольшие районы с уменьшением эмиссии CO_2.

Эмиссия CO_2 почвами лесных экосистем может увеличиться примерно на 15%. С учетом увеличения объемов рубок и интенсивности лесных пожаров следует ожидать, что общий бюджет углерода лесных экосистем будет уменьшаться.

Необходима разработка стратегии и комплексной программы адаптации лесов России к изменениям глобального климата, включающая систему генетических, лесоводственных, институциональных, социальных и прочих мероприятий.

В XXI в. в почвах пахотных земель ЕЧР при неизменном землепользовании следует ожидать уменьшения запасов углерода. Возможные потери за 70 лет могут составить от 9 до 12% общего запаса углерода в слое 0—20 см.

Адаптационные меры (специализация производства при смене севооборотов и размещении культур, изменение сроков посева и уборки, изменение объемов внесения удобрений, внедрение комплекса мер по созданию достаточной кормовой базы и др.) позволят снизить потери углерода почвами пахотных земель на 30—45%.

В течение XXI в. современный уровень аккумуляции углерода почвами залежных земель России (74 ± 22 Мт С/год) может в целом умень-

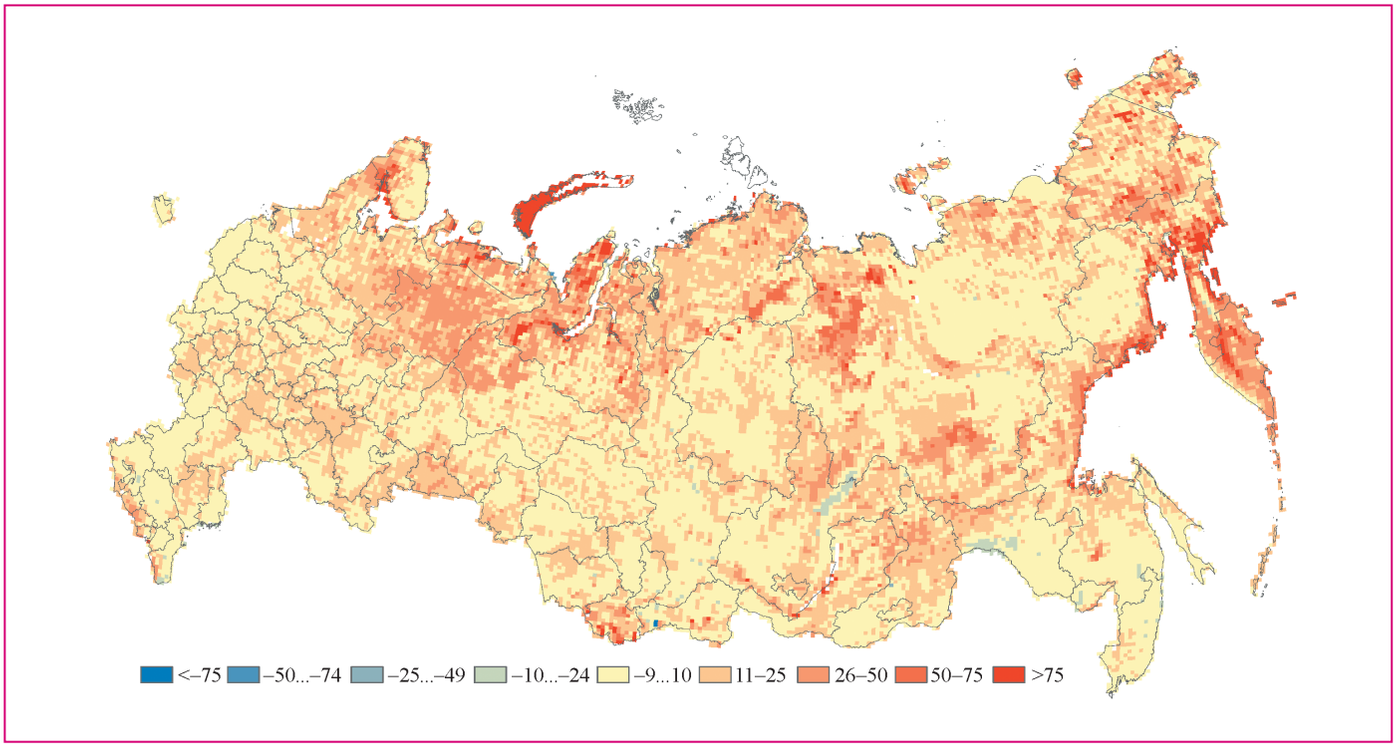


Рис. ОР4.7. Перспективная оценка изменения среднегодового гетеротрофного дыхания почв к 2050 г. в процентах по сравнению с базовым периодом 1981—2000 гг. (на основе расчетов с региональной климатической моделью ГГО).

шиться. При этом на большей территории АЧР и Центрально-Черноземной зоны уменьшение составит 11—32%, а в Северо-Западном и Центральном федеральных округах будет наблюдаться увеличение аккумуляции С до 27%. Эмиссия CO_2 от торфяно-болотных угодий возрастет в связи с усилением водной и ветровой эрозии, деструкции, интенсивности пожаров и пр. Адаптационные меры для торфяных почв, прежде всего, относятся к мероприятиям по обводнению ранее осушенных земель.

В зоне многолетней мерзлоты возможное увеличение протаивания приведет к увеличению эмиссии CH_4 к середине XXI в. дополнительно примерно на 8—10 Мт в год, что может увеличить среднегодовую глобальную температуру приблизительно на 0.012°С. Дополнительно около 0.01°С в глобальное потепление может внести увеличение эмиссии CH_4 на шельфе морей Восточной Арктики.

Возможности адаптации для почв всех типов включают меры по защите почв от деградации (защита против эрозии и загрязнения, рекультивация, противопожарные мероприятия и др.).

Засухи и опустынивание

Засухи наблюдаются во всех природных зонах России, как с большим, так и с малым количеством осадков. Длительные засухи на засушливых землях становятся причиной их аридизации — начальной стадии климатического опустынивания. Другая составляющая опустынивания — антропогенная, она обусловлена деградацией засушливых земель в результате деятельности человека.

Развитие засух в земледельческих районах и пастбищной зоне России происходило в XX в. на фоне медленно увеличивавшегося с 1930-х годов до конца XX в. среднего за год увлажнения. Сильные и обширные засухи почти ежегодно наблюдались на ЕЧР в 1930-е годы. Хотя повторяемость засух в последующие десятилетия была меньше, чем в 1931—1940 гг., все же в отдельные десятилетия (1951—1960 гг., 1991—2000 гг.) она несколько повышалась. Период интенсификации современного глобального потепления (с начала 1980-х годов) характеризуется увеличением не повторяемости засух, а их интенсивности и охвата территории.

Опустынивание засушливых земель на ЕЧР поддерживается в основном антропогенной нагрузкой на экосистемы. Увеличение годового увлажнения территории с конца 1980-х годов до начала XXI в. вызвало восстановление степной и пустынной растительности даже в условиях сильной антропогенной нагрузки. Также на интенсивность ее восстановления повлияло временное уменьшение перевыпаса в конце XX в. (замедлился или остановился рост годового поголовья скота) как фактора антропогенного опустынивания.

Большинство современных модельных расчетов будущего климата в XXI в. на территории России показывает уменьшение увлажнения к середине XXI в., особенно на засушливых землях юга ЕЧР. Ожидается увеличение повторяемости засух. При этом возрастет доля почвенных засух. Возможно усиление климатической составляющей опустынивания. Вероятен более частый охват засухами территории к северу от зернового пояса.

Условием адекватной адаптации к ожидаемому более засушливому климату южных районов зернового пояса России являются применение влагосберегающих технологий и современных приемов возделывания сельскохозяйственных культур, рациональное использование удобрений.

Адаптация к увеличению повторяемости засух в пастбищной зоне должна быть направлена на повышение устойчивости пастбищных экосистем путем прекращения перевыпаса и применения технологий восстановления или увеличения биопотенциала пастбищ (внесение органических и минеральных удобрений, посев трав с высокой биопродуктивностью, увлажнение).

Раздел 5. ВОЗДЕЙСТВИЯ ИЗМЕНЕНИЙ КЛИМАТА НА МОРСКИЕ ПРИРОДНЫЕ СИСТЕМЫ

Арктические моря России

К арктическим морям России традиционно относят моря Карское, Лаптевых, Восточно-Сибирское и Чукотское, являющиеся окраинными морями Северного Ледовитого океана. Учитывая географическое положение, к арктическим морям можно отнести также Белое и Баренцево моря.

Морская деятельность на северных морях России и экономическое развитие северных регионов в значительной степени зависят от климата (подробнее этот вопрос рассмотрен в разделе 6). Так, например, климат, особенно повторяемость и интенсивность экстремальных гидрометеорологических явлений, ледовые условия, влияет на эффективность и безопасность добычи полезных ископаемых и морских транспортных перевозок, на возможности развития и сохранность инфраструктуры. Климат в значительной степени влияет на доступность морских биоресурсов, в том числе на условия и эффективность рыболовства.

Результаты анализа изменений температуры приземного воздуха в Арктике показали, что температура воздуха в большинстве арктических регионов в целом за XX в. повысилась. В 2005 г. средняя годовая температура в области севернее 60° с. ш. впервые превзошла уровень, достигнутый в период потепления Арктики 1930—1940-х годов. За период 1981—2010 гг. повышение среднегодовой температуры воздуха было статистически значимым над акваториями всех арктических морей. При этом в разных частях “морской Арктики” скорости потепления были различны. Так, в Белом море среднегодовая температура воздуха увеличилась в среднем на 2.1°С. В зимний сезон повышение температуры в северной части Баренцева моря составило чуть более 4°С. В районах морей азиатского сектора — Лаптевых, Восточно-Сибирского и Чукотского — повышение температуры было в диапазоне от 0.4 до 1.1°С.

Наилучшим индикатором изменений климата в морской части Арктики являются морские льды. В конце XX в. — начале XXI в. в Северном полушарии наблюдалось уменьшение площади морского льда на фоне ее значительной межгодовой изменчивости. Особенно быстро в последнее тридцатилетие сокращалась минимальная в сезонном ходе (сентябрь) площадь морского льда. Абсолютный минимум площади льда за весь период наблюдений был достигнут в сентябре 2012 г. Одновременно с этим отмечалось и уменьшение толщины дрейфующих льдов. Замерзание в арктических морях происходило позже, чем в 1965—1975 гг., в среднем на 12 сут. Позже других районов арктических морей — в среднем на 21—22 сут — ледообразование наступало в юго-западных частях Карского и Чукотского морей. При этом продолжительность ледового периода уменьшилась на 40 сут по сравнению с периодом 1965—1975 гг. и в среднем составила 284 сут.

Последствия изменения климата имеют и экологическую составляющую. Экосистемы северных морей, особенно арктических, весьма чувствительны к внешним воздействиям. Это касается и загрязнения морской среды, которое, как правило, удаляется в результате естественных процессов гораздо медленнее, чем в южных морях, и изменения таких базовых характеристик водной массы, как температура и соленость. Изменение климата влияет на эти параметры, что приводит к последующим модификациям экологических процессов в морских экосистемах, к изменению их видового состава и продуктивности. В итоге это сказывается и на продуктивности популяций экономически значимых пород рыб и других морских организмов.

Балтийское море

Данные многолетних наблюдений за изменчивостью и изменением состояния Балтийского моря, в частности, за параметрами климатической системы, указывают как на наличие значительной межгодовой изменчивости, так и на долговременные тенденции изменений.

На рис. ОР5.1 представлены данные Финского метеорологического института о максимальной площади ледяного покрова в течение года за длительный период — с 1720 г. Видна существенная межгодовая изменчивость, наличие всех градаций ледовитости — очень умеренная, умеренная, средняя, сильная и экстремально сильная.

Как показывают модельные расчеты, в Балтийском море в ближайшие 80 лет будет продолжаться повышение температуры воды, что приведет к уменьшению площади морского льда и периода ледового покрытия. В развитии судоходства и портовой деятельности это обусловит снижение затрат, связанных с использованием ледокольного флота для проводки

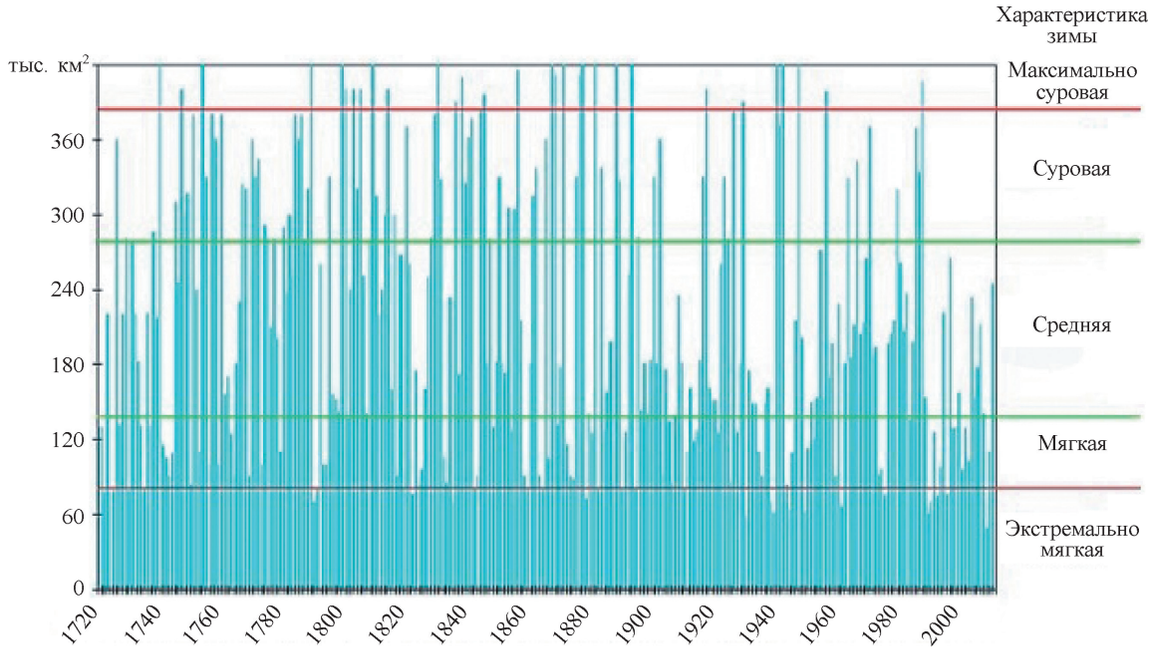


Рис. ОР5.1. Многолетняя изменчивость максимальной площади ледяного покрова в Балтийском море за период исторических наблюдений с 1720 по 2010 г.

судов в порты в зимний период, и как результат — снижение стоимости грузоперевозок.

При сохранении современной тенденции увеличения экстремумов высоты уровня моря и частоты наводнений, вызываемых штормовыми нагонами, представляется необходимым дальнейшее развитие и совершенствование систем оперативного прогноза этих опасных явлений для обеспечения безопасности мореплавания, сокращения и предотвращения убытков от катастрофических разрушений при ведении берегового строительства и сохранности береговых сооружений, для своевременного оповещения населения приморских территорий.

Потепление климата в Балтийском регионе должно способствовать развитию морского и берегового туризма. Однако, согласно перспективным оценкам, возможное расширение зон дефицита или полного отсутствия кислорода в глубинных слоях вод Финского залива Балтийского моря может привести к ухудшению качества вод в целом. Основными проявлениями этого ухудшения будут интенсификация развития потенциально токсичных синезеленых водорослей, уменьшение прозрачности воды, обрастание берегов, изменение кормовой базы рыб и смена их видового состава, т. е. усиление процесса эвтрофирования и его последствий.

В водах калининградского шельфа, в Куршском и Вислинском заливах вследствие их мелководности бескислородные условия, сохраняющиеся продолжительный период времени, не возникают. Однако современный уровень содержания питательных веществ в водной среде и, как следствие, значительная интенсивность развития водорослей этих акваторий весьма значительны. Повышение температуры воды будет способствовать дальнейшему развитию теплолюбивых вредоносных водорослей, и уровень эвтрофирования может увеличиться, что приведет к возникновению бескислородных зон в периоды после интенсивного цветения вод.

Таким образом, повышение температуры воды потребует принятия природоохранных мер, в частности, по сокращению биогенной нагрузки с суши для снижения уровня эвтрофикации и улучшения качества вод российских прибрежных акваторий.

Особо заметное влияние оказывает изменение климата на рыболовство и биоресурсы. В частности, изменения климата существенно влияют на среду обитания промысловых рыб, их кормовую базу и межвидовую конкуренцию. Температурные условия играют важную роль в жизнедеятельности рыб, и потенциально потепление может положительно сказаться на процессах их роста.

Однако поскольку площадь зон дефицита или полного отсутствия кислорода в Балтийском море при потеплении значительно увеличится к концу текущего столетия по сравнению с ее современным значением (в 3 и 1.5 раза соответственно, по существующим перспективным оценкам), соленость уменьшится, а показатели общей эвтрофикации увеличатся, эффективность рыболовного сектора будет снижаться. Это будет происходить в результате общего уменьшения уловов и замещения ценных промысловых видов рыб на менее ценные.

Однако существуют и определенные возможности адаптации рыбного хозяйства на Балтике к изменению климата. Для этого необходимо проведение постоянного мониторинга популяций основных промысловых видов рыб Балтийского моря и его прибрежных зон. Исходя из данных мониторинга, следует своевременно переориентировать промысел и береговые рыбоперерабатывающие мощности, оптимизировать распределение их усилий между такими видами, как сельдь, шпрот или треска. Существующие методики оценки допустимых уловов достаточно надежно работают в краткосрочной перспективе, однако не могут быть использованы для многолетнего перспективного планирования. Необходимы новые разработки.

Развитие аквакультуры как направления рыбохозяйственной деятельности на Балтийском море позволит адаптировать эту деятельность к ожидаемым изменениям климата. Кроме товарного рыбоводства (интенсивной формы аквакультуры) необходимо внедрение экстенсивных форм культивирования морских организмов (фильтрующие моллюски и макроводоросли).

Целесообразно планировать усиление мероприятий по искусственному воспроизводству водных биоресурсов с выращиванием молоди ценных видов рыб для последующего выпуска в Балтийское море. Расширение сети инкубаторов и рыбопитомников должно обеспечить не только выполнение государственных программ воспроизводства водных биоресурсов, но и потребности товарных морских ферм в посадочном материале для зарыбления садков.

Важным звеном адаптации рыбных сообществ к изменению климата должны стать мелиоративные мероприятия в прибрежных районах, где заросли водной растительности, опоясывающие берега, служат местами для успешной репродукции морских и пресноводных видов рыб Балтийского бассейна. Как уже отмечалось ранее, при потеплении климата и сопутствующих этому процессу эвтрофикации и уменьшении солености площадь водной растительности будет увеличиваться, что будет способствовать увеличению популяции карповых видов рыб и репродукционных ареалов судака.

В отличие от рыболовства, продукция аквакультуры на Балтике может быть увеличена в 30 раз по сравнению с ее современным состоянием (до 400 тысяч тонн в год). Потенциальные возможности товарного рыбоводства (аквакультуры) различаются в разных частях Балтийского моря.

Южные моря России

Южные моря России — Черное, Азовское и Каспийское — имеют важное хозяйственное значение (рыбный промысел, судоходство, добыча на шельфе и транспортировка нефти и газа, курортные зоны и порты на принадлежащих России участках побережья).

Основные последствия изменения климата в последние примерно 30 лет, общие для всех южных морей России, — повышение температуры поверхности (поверхностного слоя), уменьшение солености (и соответственно усиление вертикальной стратификации вод), уменьшение скорости ветра и повышение уровня Черного и Азовского морей.

Тенденция к увеличению температуры воздуха (рис. ОР5.2) и температуры морской поверхности приведет к увеличению продолжительности курортного сезона на российских побережьях Черного и Азовского морей. Каспийское побережье России пока не является курортной зоной.

В результате изменения термохалинной структуры в глубоководных областях Каспийского моря (усиления соленостной (плотностной) стратификации) практически прекратилась вентиляция глубинных вод его котловин, что негативно сказалось на экологическом состоянии моря. Аномально сильное цветение вод наблюдалось в Южном Каспии в августе — сентябре 2005 г., когда площадь цветущих вод достигла 20 000 км^2. Аналогичные явления будут все чаще происходить и в Северном Каспии, что может отрицательно сказаться на качестве морских вод и рыбном промысле на российской акватории.

В 2006, 2008 и в 2012 гг. наблюдалось аномально сильное цветение вод в открытых и прибрежных районах восточной части Черного моря. Цветение вод может негативно сказаться на курортных зонах Черного моря, хотя в меньшей степени это должно касаться берегов России (за исключением пляжей Анапы), поскольку отсутствует значительный сток рек в Грузии, Абхазии и

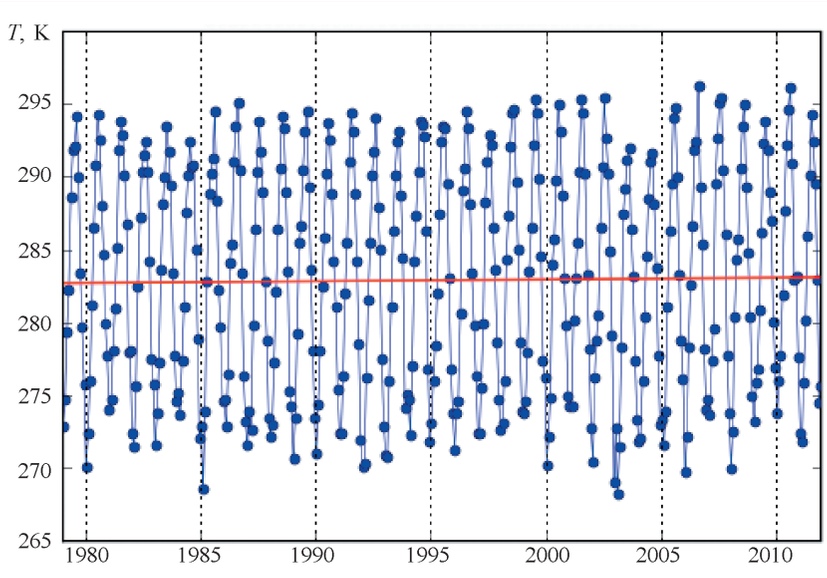


Рис. ОР5.2. Сезонная и межгодовая изменчивость среднемесячных значений температуры воздуха над Черным морем (41—45° с. ш., 28—41° в. д.) в 1979—2011 гг. Значение средней скорости изменения, указанное на графике, дано в К/месяц. Линейный тренд $y = 0{,}001059x + 282.7$.

России. Однако эта проблема может оказаться существенной для курортных зон Азовского моря.

Повышение уровня Черного моря в ближайшие десятилетия не создаст значительных проблем для прибрежной зоны России, однако весьма вероятны абразия берегов и подтопление прибрежной инфраструктуры и поселков на Азовском море. Увеличение среднего уровня Азовского моря на 0.5—1 м с учетом сгонно-нагонных колебаний приведет к дальнейшему сильному размыву его побережья. Под серьезной угрозой подтопления будут находиться расположенные в этих зонах российские города Темрюк, Приморско-Ахтарск, Ейск и Таганрог.

Повышение уровня Каспийского моря на 2.5 м с 1978 по 1995 г. привело к разрушению поселков и инфраструктуры в широкой (до 50—70 км) полосе береговой зоны Калмыкии (Лаганский район) и Казахстана, к затоплению 320 тыс. га ценных земель, повышению уровня грунтовых вод, подтоплению и засолению почв, подтоплению железных и автомобильных дорог, линий электропередач и телефонной связи, нарушению работы газопроводов, загрязнению морских вод в результате затопления нефтяных скважин. Только в Дагестане 260 тыс. человек оказалось в зоне подтопления, а общее воздействие этого подъема уровня моря коснулось 7 млн. га суши, где проживало около 600 тыс. человек. Экономический ущерб России из-за подъема уровня моря, по разным оценкам, тогда составил 0.5—1 млрд. долларов США. Суммарный совокупный прямой ущерб для прикаспийских стран, по данным ВМО, к 1995 г. составил около 15 млрд. долларов США.

Хотя в конце 2012 г. уровень Каспийского моря находился на отметке примерно на 1.2 м ниже максимума 1995 г. (рис. ОР5.3), необходимо учитывать его возможное повышение в ближайшее десятилетие вновь до отметки –26.6 м, как в 1995 г.; при этом следует учитывать, что ни минимум 1977 г., ни максимум 1995 г. в ходе уровня Каспия предсказать не удавалось. (Здесь и далее в этом разделе высота уровня моря измеряется в Балтийской системе высот.)

При дальнейшем подъеме уровня Каспия до отметки –26.0 м могут быть разрушены или оказаться в зоне подтопления многие прибрежные населенные пункты, социальные и производственные объекты в России и других прикаспийских странах. Для защиты этих объектов потребуется провести комплекс специальных инженерных работ. Малые уклоны прибрежной равнины Калмыкии способствуют глубокому проникновению морских вод, особенно во время ветровых нагонов. Нагонные явления высотой 2—3 м могут затапливать территорию на 20—30 км вглубь береговой зоны.

Неожиданным на фоне продолжающегося регионального потепления явилось учащение в 2000-е годы холодных зим. Например, в январе 2012 г. покрылись льдом Азовское море, Северный Каспий (припай наблюдался даже в

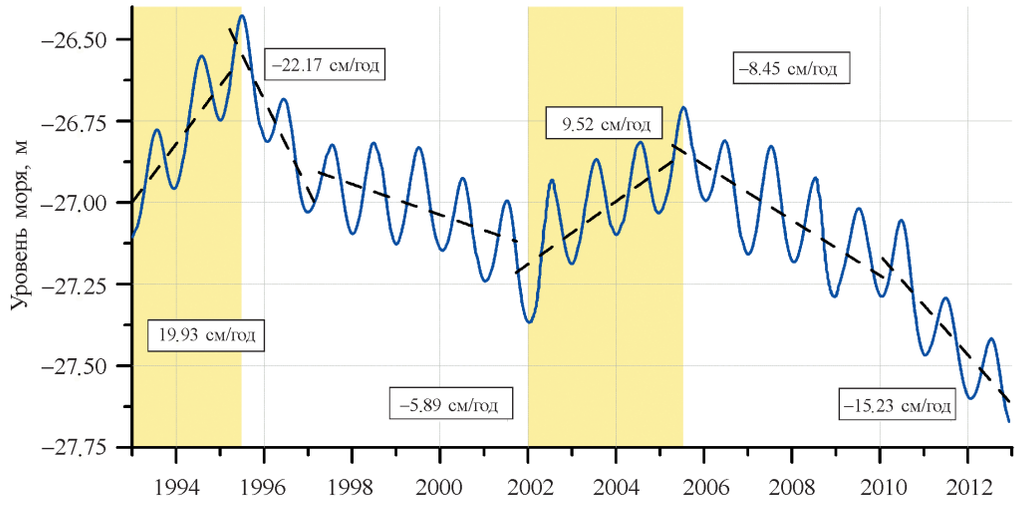


Рис. ОР5.3. Сезонная (сплошная линия) и межгодовая (штриховая линия) изменчивость уровня Каспийского моря за период с января 1993 г. по декабрь 2012 г. по данным альтиметрических измерений спутников “T/P” и “J1/2”. Уровень моря приводится в Балтийской системе высот. Периоды повышения уровня выделены желтым цветом.

порту Махачкала), в Южном Каспии замерз залив Туркменбаши (Красноводский), в Черном море — ряд портов (в том числе Новороссийск), что существенно нарушило транспортные коммуникации. Согласно некоторым существующим перспективным оценкам, в ближайшее десятилетие можно ожидать новой череды холодных зим в регионах южных морей России.

Тем не менее тенденция к потеплению южных морей России в результате повышения температуры воздуха и поверхности моря и, как следствие, тенденция к уменьшению площади ледяного покрова и толщины льда приведут к увеличению навигационного периода для морского судоходства в Азовском море и Северном Каспии, уменьшится опасность эксплуатации морских буровых платформ и трубопроводов на Северном Каспии.

Дальневосточные моря России

Во второй половине XX в. над Дальневосточным регионом отмечалось ослабление муссонной циркуляции, что определило повышение температуры воздуха, уменьшение осадков в летний сезон и водности основных рек, включая Амур. В начале XXI в. наблюдалось единственное исключение из этой тенденции — катастрофическое амурское наводнение 2013 г.

Такие изменения климата наиболее заметно сказались на ледовитости Охотского моря. Площадь льда за последние 56 лет уменьшилась более чем на 20%. К концу XXI в. ожидается дальнейшее уменьшение ледовитости Охотского моря на 20—25%. Между тем в Беринговом море и Татарском проливе Японского моря тенденция изменения ледовитости не выражена, преобладают межгодовые и десятилетние колебания.

Изменение характеристик муссона и атмосферных процессов над Дальневосточным регионом проявилось и в многолетних изменениях температуры воды, однако скорость и характер ее изменения для разных морей различны. Наиболее значительное повышение температуры отмечается в поверхностных водах Японского моря, 1.72°C за 100 лет, что значительно больше средней величины по Мировому океану (0.51°C). Ожидается, что к концу XXI в. температура поверхностных вод Японского моря увеличится еще на 1.9—3.1°C.

Повышение температуры вод Японского моря и уменьшение содержания кислорода отмечается и в глубинных слоях, что объясняется ослаблением зимних конвективных процессов в результате потепления климата. Температура промежуточных и глубинных вод Охотского и Берингова морей также имеет тенденцию к повышению, однако здесь наиболее выражены межгодовые и десятилетние колебания, значительно превосходящие долговременные линейные тренды.

Изменения атмосферных процессов и океанологических характеристик оказывают заметное влияние на изменение промысловых условий.

Раздел 6. ВОЗДЕЙСТВИЯ ИЗМЕНЕНИЙ КЛИМАТА НА ХОЗЯЙСТВЕННЫЕ ОБЪЕКТЫ И ЗДОРОВЬЕ НАСЕЛЕНИЯ. МЕРЫ АДАПТАЦИИ К ЭТИМ ВОЗДЕЙСТВИЯМ

Здоровье населения

Оценивая влияние современного изменения климата на здоровье населения на территории России, можно выделить три главных фактора.

Прямое воздействие связано с изменением температурного режима. Оно может быть позитивным вследствие улучшения тепловой комфортности проживания в холодное время года, особенно в северных регионах, что ведет к уменьшению заболеваний, ассоциированных с переохлаждением, и травматизма в условиях экстремально низкой температуры. Оно может быть и крайне отрицательным. В ряде городов, в том числе на севере, участившиеся волны жары являются причиной нарушений здоровья людей и дополнительной смертности, и эта тенденция, по-видимому, будет сохраняться в ближайшем будущем.

К косвенному, опосредованному негативному воздействию следует отнести снижение качества воздуха, прежде всего из-за поступления в атмосферу продуктов горения при лесных пожарах, частота и интенсивность которых возрастают при современном изменении климата. Снижение качества воздуха наблюдается также и в крупных городах из-за неблагоприятных метеоусловий, при которых загрязняющие атмосферу вещества плохо выносятся с потоками воздуха и скапливаются в приземном слое.

Волны жары, в особенности в сочетании с ухудшением качества воздуха, являются причиной дополнительных заболеваемости и смертности населения, особенно в группах риска (дети, пожилые люди, люди с хроническими заболеваниями органов кровообращения и дыхания).

Важным опосредованным фактором влияния климата на здоровье населения также является влияние на эпидемиологическую обстановку. Особенно ярко это проявляется в годы с теплыми зимами. Так, за последние 15 лет зафиксированы вспышки лихорадки Западного Нила (1999, 2010, 2012 гг.) (рис. ОР6.1), происходит расширение ареала этой инфекции. Отмечено постепенное продвижение на север крымской геморрагической лихорадки. Для северных регионов (Архангельская область и Республика Коми) характерно повышение заболеваемости клещевым энцефалитом и появление этого заболевания на территориях, где ранее оно не регистрировалось. Выявлена связь заболеваемости сальмонеллезом с температурой воздуха.

По мере наблюдаемого в XX в. — начале XXI в., а также ожидаемого далее в XXI в. изменения климата на территории России и соседних стран для многих видов переносчиков трансмиссивных болезней человека характерно существенное расширение климатических ареалов (т. е. областей пространства, где данный вид может устойчиво существовать по условиям кли-

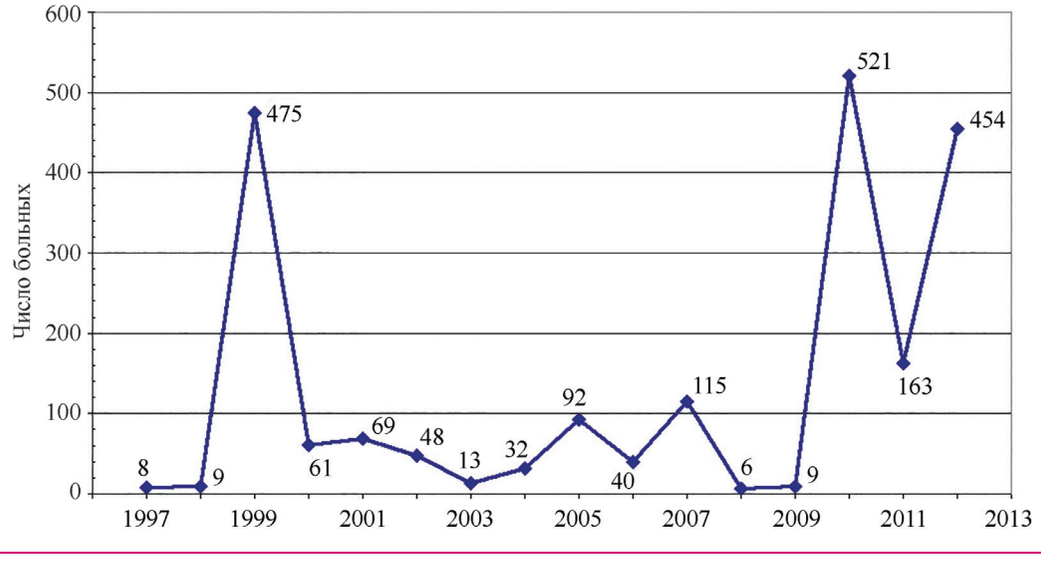


Рис. ОР6.1. Заболеваемость лихорадкой Западного Нила в России.

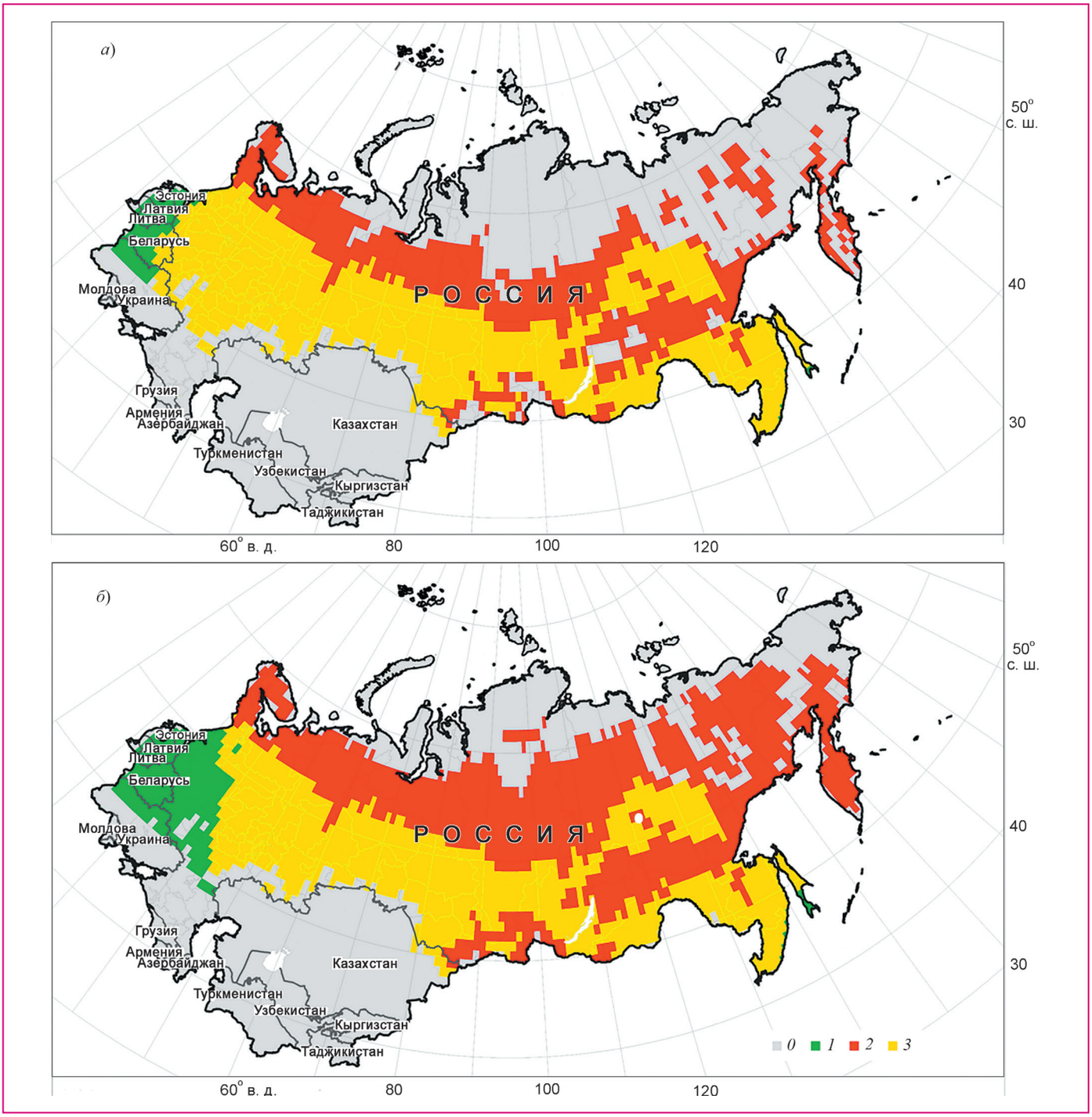


Рис. ОР6.2. Изменения климатического ареала иксодового клеща *I. persulcatus* в период 2080—2099 гг. по сравнению с периодом 1981—2000 гг. в соответствии со сценариями умеренного антропогенного воздействия на климатическую систему RCP4.5 (*а*) и экстремального антропогенного воздействия на климатическую систему RCP8.5 (*б*). *0* — переносчик отсутствует как в 1981—2000 гг., так и в 2080—2099 гг.; *1* — сокращение ареала; *2* — расширение ареала; *3* — переносчик присутствовал в 1981—2000 гг. и будет отмечаться в 2080—2099 гг.

мата) в северном, северо-восточном и восточном направлениях (рис. ОР6.2). Это относится к переносчикам малярии человека — комарам комплекса *Anopheles maculipennis*, переносчикам арбовирусов — комарам *Aedes aegypti* и *Ae. albopictus*, переносчикам клещевого энцефалита, иксодового клещевого боррелиоза, риккетсиоза — иксодовым клещам *Ixodes ricinus* и *I. persulcatus*. Уменьшения ареалов в большинстве случаев не произойдет. Исключение составляет *I. persulcatus*, западная

граница ареала которого на протяжении всего XXI в. будет смещаться к востоку. В конце XXI в. ожидается небольшое сокращение ареалов комаров *Ae. aegypti* и *Ae. albopictus* в высокогорных районах Кавказа.

Для климатических ареалов упомянутых выше переносчиков последствия изменений климата в соответствии со сценариями умеренного RCP4.5 и экстремального RCP8.5 антропогенного воздействия на климатическую систему Земли в первой половине XXI в. сходны. Различия (более существенное расширение ареалов в условиях сценария RCP8.5) будут проявляться во второй половине XXI в. (рис. ОР6.2).

К факторам климатического риска относятся не только расширение ареалов членистоногих переносчиков и увеличение их численности, но и аналогичное увеличение численности и расширение ареалов некоторых позвоночных, преимущественно мышевидных грызунов, являющихся резервуарами природно-очаговых инфекций и источниками переносчиков в природе. Новым фактором риска является завоз экзотических переносчиков на территорию России и их укоренение, усиление их значения при ожидаемом потеплении.

Меры адаптации к изменениям климата, направленные на снижение негативных воздействий на здоровье населения России с ее огромным климатическим разнообразием, должны значительно различаться на территориях с разным типом климата. В целом можно выделить несколько основных направлений. Во-первых, это адаптационные планы смягчения последствий для городов, население которых подвержено воздействию волн жары. Во-вторых, планы усиления эпидемиологического надзора за климатозависимыми инфекционными заболеваниями и внедрение соответствующих мер профилактики. В-третьих, планы развития межведомственного сотрудничества, особенно между метеорологической службой, службами здравоохранения, социальной защиты и другими подразделениями на местном (муниципальном, городском), региональном и федеральном уровнях.

Строительство, наземный транспорт, топливно-энергетический комплекс

К наиболее заметным последствиям происходящего потепления климата относится изменение характеристик отопительного периода. Наблюдаемая тенденция уменьшения продолжительности отопительного периода (до 5 сут/10 лет на севере ЕЧР) и повышения его средней температуры (до 0.8°С/10 лет в Центральной Якутии) способствует увеличению тепловой эффективности существующих зданий и создает условия для сокращения энергопотребления в зимний сезон. Согласно перспективным оценкам с учетом неравномерности размещения населения, наибольшее потенциально достижимое относительное уменьшение энергопотребления на отопление зданий (к середине XXI в. — ориентировочно на 20%) ожидается в Северо-Западном федеральном округе (рис. ОР6.3*а*).

Одновременно актуальной проблемой становится перегрев зданий в теплый период года. На протяжении последних 20 лет зафиксировано значительное увеличение индекса энергопотребления на охлаждение зданий на юге ЕЧР (около 150°С · сут/10 лет). К середине XXI в. ожидается увеличение этого индекса в Южном федеральном округе до 700°С · сут (рис. ОР6.3*б*), что приведет к заметному изменению внутригодовой структуры энергопотребления.

В последние десятилетия наблюдается усиление разрушающего воздействия температурно-влажностных деформаций на здания и сооружения, которое связано с увеличением числа переходов температуры воздуха через 0°С в холодный период года (рис. ОР6.4), а также с увеличением количества жидких и смешанных осадков в зимний сезон. При строительстве новых объектов целесообразно использовать конструктивные решения, исключающие повышение влагосодержания строительных конструкций вследствие атмосферных воздействий, а также материалы, имеющие надлежащую стойкость в отношении циклов замораживания и оттаивания.

Наземная транспортная инфраструктура испытывает преимущественно негативное воздействие происходящих изменений климата. Наблюдается ускоренное разрушение автодорог и других объектов, увеличиваются эксплуатационные расходы, в том числе для обеспечения безопасности движения, и т. д. Наиболее опасные последствия связаны с увеличением интенсивности осадков. При этом в некоторых регионах повышается вероятность речных ливневых наводнений, оползневых и селевых процессов с возможными разрушениями инфраструктуры. В районах со

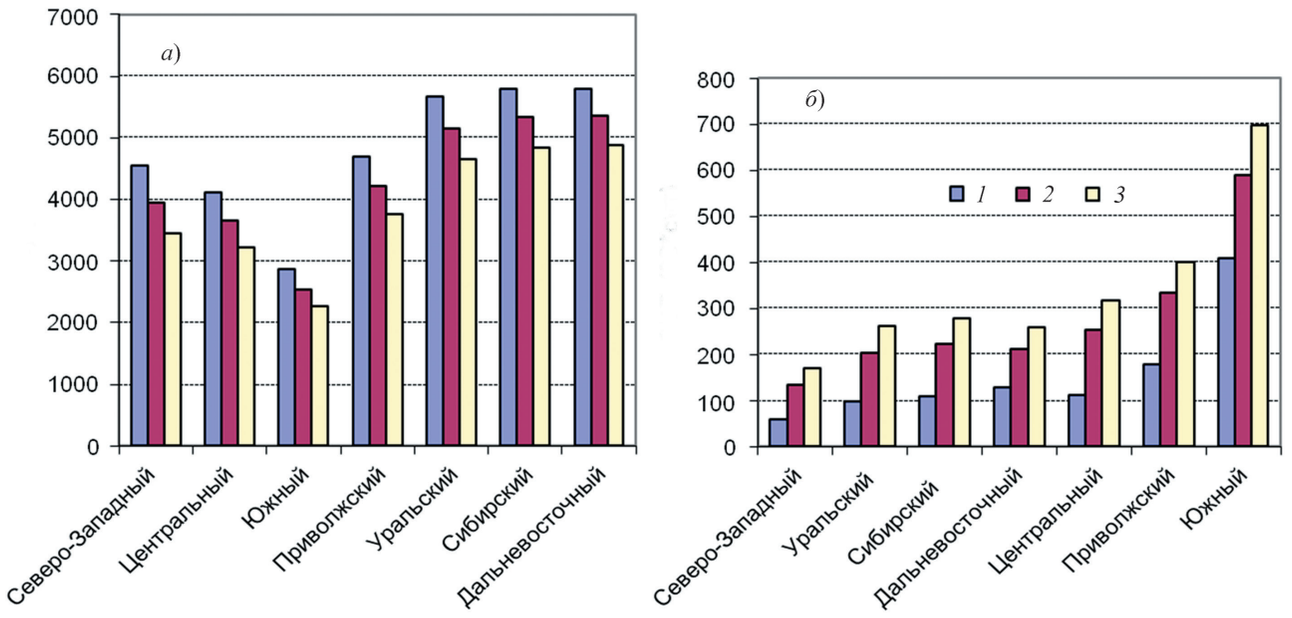


Рис. ОР6.3. Региональные оценки индексов энергопотребления (°С · сут) на обогрев (*а*) и охлаждение (*б*) зданий, рассчитанные по результатам моделирования с учетом неравномерности размещения населения. *1*) 1981—2000 гг.; *2*) 2021—2040 гг.; *3*) 2041—2060 гг.; по федеральным округам.

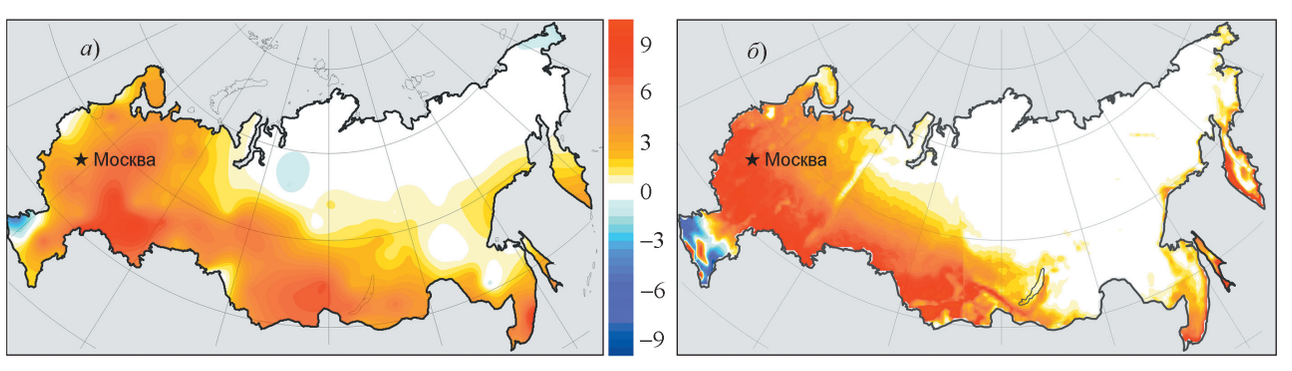


Рис. ОР6.4. Изменение числа внутрисуточных переходов температуры воздуха через 0°С в холодный сезон (ноябрь — март) по данным наблюдений за период 1981—2000 гг. по отношению к периоду 1951—1980 гг. (*а*) и по результатам расчетов для периода 2041—2060 гг. по отношению к периоду 1981—2000 гг. (*б*). Расчеты выполнены с помощью региональной климатической модели ГГО.

сложными гидрогеологическими условиями, где проложены магистральные трубопроводы, возникает угроза серьезных экологических последствий.

При потеплении уменьшается эффективность производства электроэнергии на тепловых и атомных электростанциях, увеличиваются потери на линиях электропередачи. В южных районах России повышение температуры воздуха в летний сезон сопровождается увеличением продолжительности периодов без осадков. Усиление этой тенденции к середине XXI в. может привести к уменьшению доступности воды для охлаждения энергоблоков, понижению порогового уровня отключения и увеличению риска возникновения критических ситуаций с энергоснабжением.

Актуальным в плане адаптации является создание систем охлаждения энергоблоков, эффективно функционирующих в условиях экстремально высокой температуры.

Для полноценного извлечения выгод, связанных с потеплением, требуется переход к широкому использованию современных технологий производства энергии в сочетании с комплексной мо-

дернизацией системы теплоснабжения и тепловых сетей. Необходимо также повышение уровня инженерного обеспечения зданий и развитие региональных энергетических систем с учетом увеличения энергопотребления в летний период.

Возобновляемые источники энергии

Практически в любом российском регионе уже сегодня можно использовать тот или иной вид возобновляемых источников энергии. Использование этих источников энергии не связано с увеличением содержания парниковых газов в атмосфере и, следовательно, с последующим потеплением. Однако ресурсы такой энергии и эффективность соответствующих энергетических установок, вообще говоря, меняются с изменением климата.

Южная часть России, а также Якутия обладают достаточно большими ресурсами солнечной энергии (рис. ОР6.5), которые могут быть использованы для выработки электрической и тепловой энергии. Перспективными считаются районы, где годовая продолжительность солнечного сияния около 2000 ч и более.

Использование энергии Солнца в России в основном связывается с выработкой тепловой энергии на базе плоских солнечных коллекторов, которые уже успешно применяются в Краснодарском крае и Бурятии. Коэффициент замещения нагрузки горячего водоснабжения в результате использования солнечной энергии в средних широтах России составляет 55—60%, а в южных — более 75%.

Согласно перспективным оценкам будущего климата, изменение годового прихода суммарной солнечной радиации к земной поверхности в XXI в. будет небольшим, в пределах ±2—4% современного уровня. Это изменение связано в основном с изменениями облачности. В то же время ожидаемое интенсивное повышение температуры к середине столетия и к его концу будет способствовать формированию благоприятных условий для широкого использования тепловых солнечных установок, особенно в западных и южных районах ЕЧР (при потеплении их эффективность увеличивается).

Богатый ветроэнергетический потенциал во многих районах России (рис. ОР6.6) создает все предпосылки для ускоренного развития и внедрения ветроэнергетических станций и установок. Согласно расчетам будущего климата на ближайшие десятилетия и середину XXI в., существенных изменений приземной скорости ветра (и, следовательно, ветроэнергетических ресурсов) на большей части территории России не ожидается.

Для России наиболее перспективным является развитие малой автономной ветроэнергетики. Следует отметить положительные тенденции в этом направлении. В настоящее время действует ряд ветроэнергетических станций мощностью до 5 МВт.

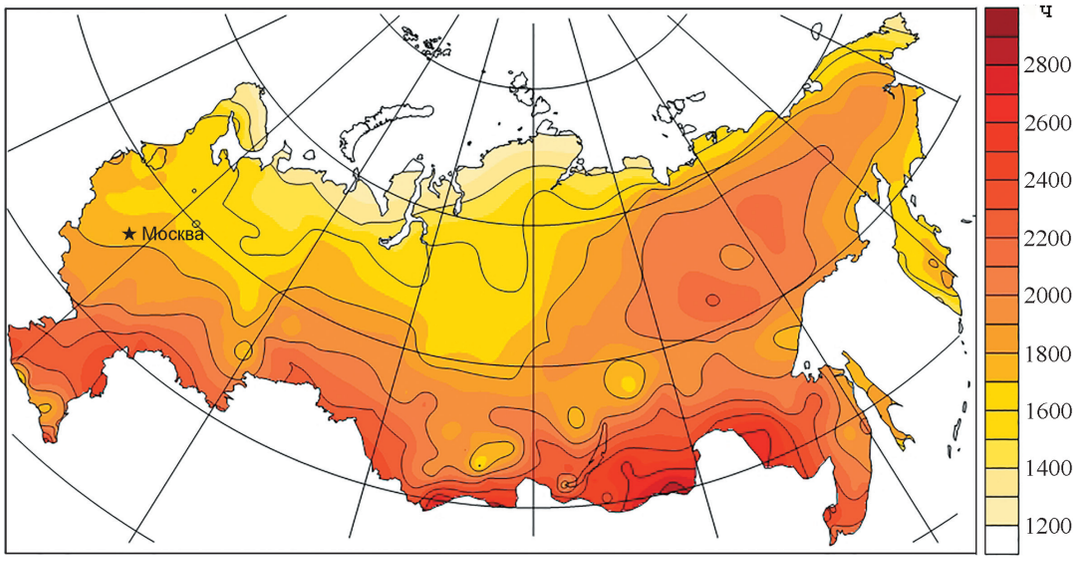


Рис. ОР6.5. Современная продолжительность солнечного сияния за год (часы).

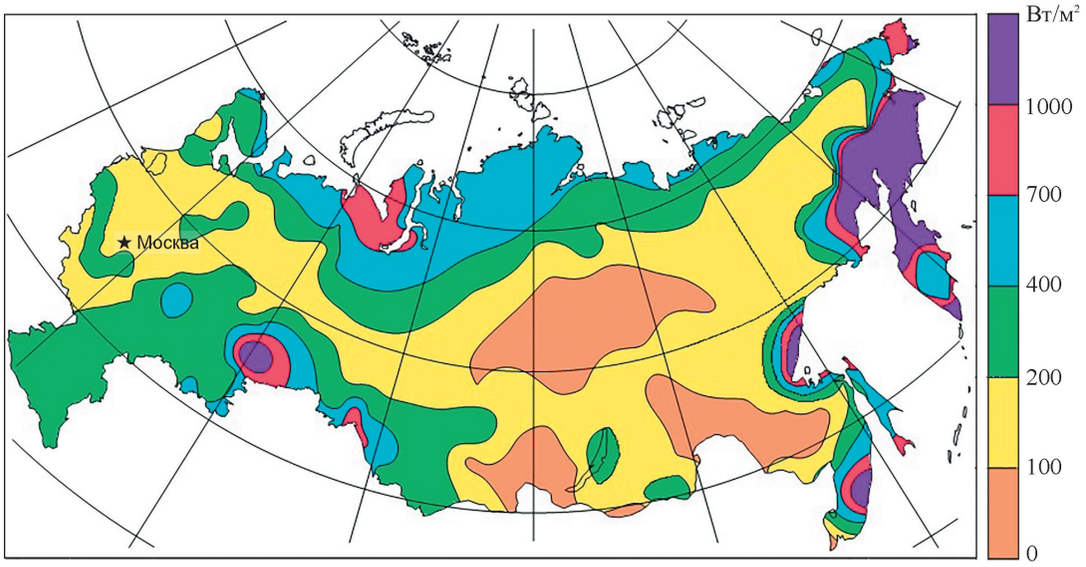


Рис. ОР6.6. Районирование территории России по удельной мощности ветрового потока (Вт/м^2) на высоте 100 м над земной поверхностью.

Биоэнергетика в нашей стране находится в начальной стадии развития, однако возможности для нее весьма значительны. Ежегодно в России по разным отраслям хозяйства производится до 300 млн. т отходов биомассы (по сухому веществу). Переработка такого количества отходов только по биогазовым технологиям может дать до 80 млрд. м^3 биогаза, что эквивалентно 56 млрд. м^3 природного газа. Влияние происходящих изменений климата на ресурсный потенциал биомассы изучено пока недостаточно и, вероятно, оно в разных регионах будет различаться.

В Дагестане, Северной Осетии, Ставропольском и Краснодарском краях, на Камчатке, Курильских островах и в ряде других регионов России находятся большие запасы подземных термальных вод. В России создано высокоэффективное энергетическое оборудование, введены в эксплуатацию Паужетская и Мутновская геотермальные электростанции (ГеоТЭС). В Краснодарском крае эксплуатируется 12 геотермальных месторождений.

В последнее время широкое распространение получило использование тепла грунта поверхностных слоев (низкопотенциального тепла) на базе тепловых насосов. В России с 1992 г. установлено более 700 тепловых насосов, которые обеспечивают около 0.1% общей потребности в тепловой энергии. При наблюдаемом повышении температуры воздуха на большей части территории России (без учета зоны многолетней мерзлоты) использование тепловых насосов в качестве отопительных систем к середине XXI в. станет более рентабельным.

Согласно существующим оценкам наблюдаемых и ожидаемых изменений климата, можно полагать, что они не окажут существенного негативного влияния на выработку энергии на основе возобновляемых источников. Влияние этих изменений, если оно возникнет, может быть компенсировано при внесении корректив в технологии при проектировании энергетических установок.

Хозяйственные объекты, расположенные на многолетней мерзлоте

Изменение климата к концу первого десятилетия XXI в. привело к уменьшению несущей способности многолетней мерзлоты по сравнению с 1970-ми годами в среднем на 17%, а в отдельных регионах — до 45%. Это создает угрозу разрушения объектов инфраструктуры, поскольку коэффициент запаса при строительстве в России, как правило, не превышает 1.6. Техногенные факторы, например засоление, также уменьшают несущую способность грунтов.

В настоящее время деформировано почти 60% объектов в Игарке, Диксоне, Хатанге, 100% в поселках Таймырского автономного округа, 22% в Тикси, 55% в Дудинке, 50% в Певеке и Амдерме,

около 40% в Воркуте, около 300 сооружений в районе Норильска. Опасные деформации получают объекты железнодорожной, автомобильной и трубопроводной транспортной инфраструктуры. На поддержание работоспособности трубопроводов и ликвидацию их деформаций ежегодно тратится до 55 млрд. рублей.

Согласно перспективным оценкам, к середине XXI в. в России на 13% сократится досягаемость удаленных поселков, в настоящее время обслуживаемых зимниками. При этом территория, на которой экономически целесообразно эксплуатировать зимники, уменьшится примерно на 1 млн. км^2.

На рис. ОР6.7 представлена карта индекса геокриологической опасности, составленная с использованием перспективной оценки климата середины XXI в., полученной с помощью модели HadCM3. На ней показаны области с разной вероятностью деструктивных геоморфологических процессов. Аналогичные карты были построены и для других будущих климатов, соответствующих другим сценариям антропогенного воздействия на климатическую систему.

Основной способ адаптации сооружений — термостабилизация многолетней мерзлоты с применением технических средств, таких как установка термосифонов, обустройство вентиляционных каналов и подполий, усиление фундаментов посредством установки дополнительных свай.

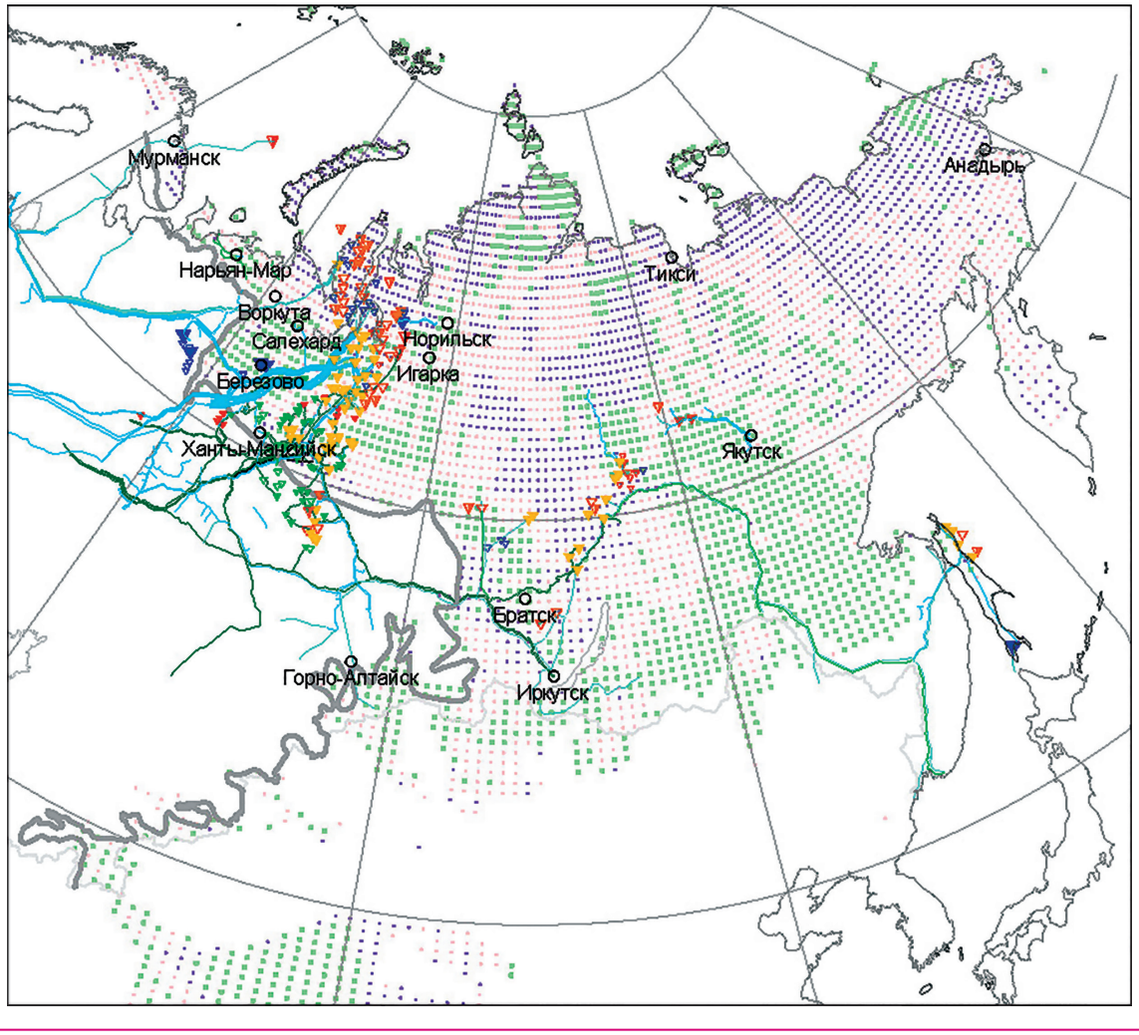


Рис. ОР6.7. Индекс геокриологической опасности для объектов на многолетней мерзлоте. Диапазон значений индекса геокриологической опасности разбит на три категории, к которым отнесены области с малой (зеленая точечная заливка), средней (светло-желтая) и большой (сиреневая) вероятностью развития деструктивных геоморфологических процессов, связанных с деградацией многолетней мерзлоты. Оценки получены на основе данных расчета климата середины XXI в. с глобальной климатической моделью HadCM3.

Гидроэнергетика и водное хозяйство

Гидроэнергетика. В ближайшие десятилетия наиболее вероятно увеличение годового стока рек России — в пределах 5% современного уровня, что не может оказать существенного влияния на годовую выработку гидроэлектроэнергии в целом по стране. Вместе с тем значительное увеличение меженного стока (главным образом — зимнего) в целом благоприятно для выработки гидроэлектроэнергии, но может потребовать пересмотра правил управления водными ресурсами водохранилищ и каскадов.

Годовой приток к водохранилищам Волжско-Камского каскада (ВКК) вследствие увеличения осадков в бассейне Волги в последние три десятилетия увеличился на 8—26%, а зимний вследствие повышения температуры воздуха — на 70—120%. В результате суммарная выработка электроэнергии девятью ГЭС ВКК увеличилась на 13%. Увеличилась также обеспеченность навигационных уровней воды в верхних бьефах гидроузлов ВКК. Таким образом, произошедшие изменения климата были благоприятными для выработки электроэнергии на ВКК.

Оценки возможных изменений притока в водохранилища Волжско-Камского каскада с использованием перспективных оценок будущего климата показали, что ожидаемое увеличение годового притока к этим водохранилищам сравнимо с уже произошедшими изменениями за последние десятилетия. Ожидаемое в соответствии с большинством существующих перспективных оценок повышение температуры воздуха зимой позволяет полагать, что наблюдающийся в последние десятилетия увеличенный в зимний период приток в водохранилища ВКК сохранится и в ближайшие 20—30 лет.

Мерами адаптации могут служить пересмотр правил управления водными ресурсами водохранилищ и каскадов для создания оптимальных условий регулирования стока с учетом запросов всех водопользователей и при минимизации возможных негативных экологических и социальных последствий.

Водообеспеченность населения и территорий. Водные ресурсы распределены на территории России крайне неравномерно и во многих случаях не соответствуют плотности населения и размещению промышленных и сельскохозяйственных объектов. Наиболее полноводные реки России — Северная Двина, Печора, Обь, Енисей, Лена, Амур — протекают в малообжитых и экономически малоразвитых регионах. В то же время речные водосборы юга ЕЧР — Дона, Кубани, Терека, Сулака и Волги — это наиболее густонаселенные и экономически развитые регионы страны. Суммарные водные ресурсы на территории этих регионов составляют около 9% общероссийских, а проживает здесь 76% всего населения России. Водные ресурсы рек России различаются в сотни раз, а водообеспеченность населения — в тысячи раз.

В перспективе в целом для территории России потенциальная водообеспеченность на одного жителя может увеличиться на 5—10% вследствие ожидаемого увеличения водных ресурсов в условиях существующих демографических тенденций. Вместе с тем в густонаселенных регионах Центрального, Южного и Северо-Кавказского федеральных округов можно ожидать уменьшения водообеспеченности в результате изменений климата, увеличения водопотребления и роста населения.

Опасные и неблагоприятные гидрологические явления. Особенности современных изменений частоты и высоты опасных наводнений определяются условиями формирования максимальных расходов воды. На большинстве рек юго-западной и западной частей ЕЧР, где максимальные расходы воды определяются весенним половодьем, происходит их уменьшение на 20—40%, что связано с повышением температуры зимой и увеличением числа оттепелей. Увеличение максимальных расходов наблюдается в регионах, где максимальный сток определяется дождевыми паводками, — на Северном Кавказе, на побережье Черного моря, на Дальнем Востоке и в ряде других регионов, где в последние годы прошли экстремальные паводки.

Катастрофическое наводнение, вызванное ливневыми осадками, произошло летом 2012 г. на р. Адагум бассейна Кубани и привело к многочисленным человеческим жертвам в г. Крымск Краснодарского края. Уникальные дождевые паводки, приведшие к большим разрушениям, а иногда и гибели людей, отмечались в последние годы и на других реках Северного Кавказа и Черноморского побережья, в ряде других регионов страны.

Наводнение 2013 г., произошедшее в результате продолжавшихся около двух месяцев интенсивных дождей, охватило огромную территорию Дальнего Востока России и Северо-Восточного Китая.

В перспективе к середине XXI в. экстремальность осадков в летний период в горных районах Кавказа, в Сибири и на Дальнем Востоке может

увеличиться, в связи с чем возрастут частота и высота дождевых и снегодождевых паводков.

Мерами адаптации могут служить строительство и реконструкция защитных сооружений, противопаводковых водохранилищ, создание противопаводковых емкостей на поймах, переселение людей с опасных участков на безопасные территории, в другие населенные пункты или регионы.

В результате увеличения межгодовой изменчивости стока, особенно сезонного, возможны как аномально многоводные, так и аномально маловодные годы и сезоны. Материальный ущерб от маловодий иногда сопоставим с ущербом от наводнений, так как они осложняют работу водозаборов, нарушают водоснабжение населенных пунктов и предприятий, уменьшают выработку гидроэлектроэнергии, затрудняют речное судоходство, ухудшают качество воды рек. Так, летом 2013 г. на Таймыре из-за аномального маловодья в Норило-Пясинской водной системе возникла угроза водообеспечению г. Норильск и металлургического комбината “Норильский никель”.

В перспективе к середине XXI в. повышение температуры воздуха в летний период может вызвать увеличение повторяемости экстремальных маловодий на реках, особенно на АЧР.

Резервирование воды в водохранилищах, переброска стока из других бассейнов, создание альтернативных источников водоснабжения, снижение потерь воды при транспортировке, внедрение оборотных технологий водопотребления в промышленности могут рассматриваться как возможные меры адаптации.

Морская деятельность в Арктике

Наиболее ярким региональным откликом на развивающиеся процессы глобального потепления является уменьшение протяженности и толщины арктических морских льдов. Будущие ледовые условия на трассах Северного морского пути значимы для проектирования новых транспортных и ледокольных судов, выбора новых судоходных трасс, сохранения контроля России над плаванием судов в пределах экономической зоны. Более доступными для плавания станут высокоширотные трассы, на которых появится возможность круглогодичной навигации. При этом сохранение морских льдов в течение части года и вероятность возникновения сложных ледовых условий (рис. ОР6.8) потребуют сохранения и развития российского ледокольного флота.

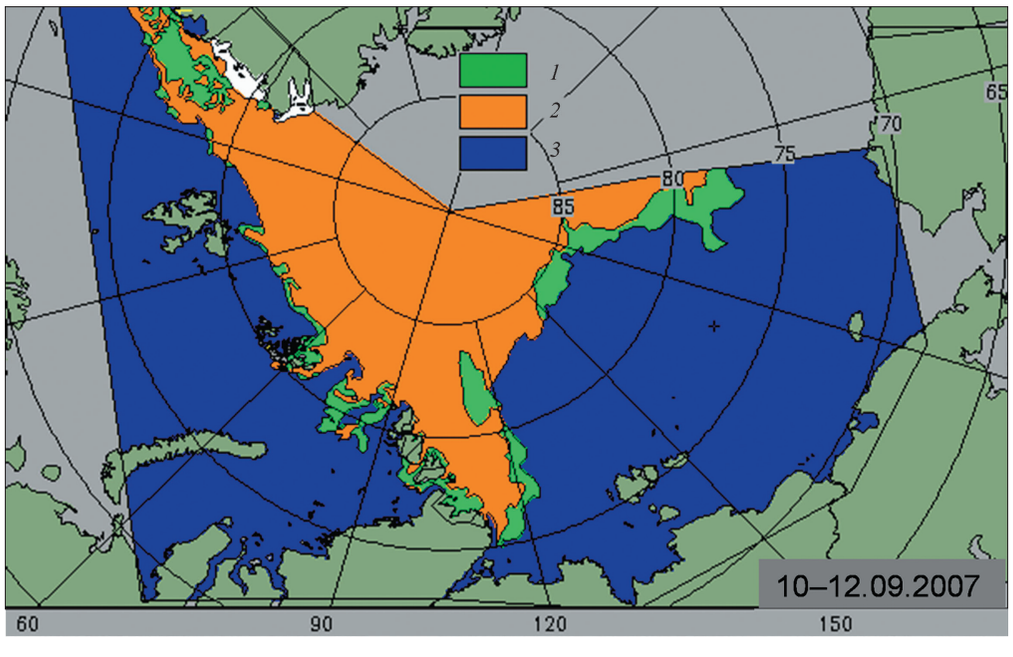


Рис. ОР6.8. Таймырский ледяной массив (выступ льдов сплоченностью 9—10 баллов, протянувшийся из Центральной Арктики вдоль островов Северная Земля к побережью Таймыра) перекрывает Северный морской путь в районе пролива Вилькицкого даже в условиях рекордно малой площади арктических льдов в сентябре 2007 г. Ледовая карта за 10—12 сентября 2007 г. (http:/www.aari.ru/projects/ECIMO/index.php). *1*) сплоченность льда 1—6 баллов; *2*) 7—10 баллов; *3*) чистая вода.

Сложные природно-климатические условия арктического шельфа создают высокие природные риски для безопасности морской инфраструктуры, увеличивают стоимость хозяйственных проектов. Особенно серьезные риски обусловлены ледовыми явлениями: ледовые сжатия, воздействия крупных ледяных полей, айсбергов, торосов и стамух, навалы льда на берег, ледовая экзарация дна, раннее ледообразование и другие. Дополнительные риски может создавать разрушение берегов и многолетнемерзлых грунтов на суше.

В условиях продолжающегося потепления в Арктике можно рекомендовать выполнять перспективные оценки по учету указанных неблагоприятных тенденций, включать подобные рекомендации в нормативные документы о параметрах окружающей среды для проектов по освоению арктического шельфа.

Современный уровень знаний не позволяет однозначно определить последствия изменений климата для продуктивности промысловых видов рыб и их кормовой базы в Арктике. В целом морские экосистемы адаптированы к изменчивости условий среды. Поэтому ситуация в рыбной отрасли зависит прежде всего от объемов добычи, в том числе от фактора перелова ценных видов рыб.

Основополагающим документом, определяющим международно-правовой режим морских пространств, включая Северный Ледовитый океан, является Конвенция ООН по морскому праву, ратифицированная подавляющим большинством стран. Статья 234 Конвенции напрямую связывает морскую транспортную деятельность в высокоширотной экономической зоне с ледяным покровом. Граница экономической зоны, внешняя граница континентального шельфа России отсчитываются от береговой линии. Увеличение продолжительности безледного периода в сочетании с усилением ветро-волновой активности и повышением температуры воздуха ускорит отступание берегов, которое может достигать нескольких километров за столетие.

Прибрежное государство в исключительной экономической зоне осуществляет суверенные права в целях разведки, разработки и сохранения природных ресурсов, как живых, так и неживых, в водах, покрывающих морское дно, на морском дне и в его недрах. Ресурсные интересы других стран вследствие улучшения ледовых условий могут распространяться только на районы за пределами исключительной экономической зоны и континентального шельфа. Перспективные оценки изменений ледовых условий в XXI в. показывают, что ледяной покров будет присутствовать на трассах Северного морского пути более шести месяцев в году, что является основанием для регулирования Россией мореплавания в своей арктической исключительной экономической зоне.

Следует отметить, что сохраняющаяся неопределенность оценок будущего климата составляет лишь малую часть неопределенности возможного развития региональной экономической системы.

Наблюдаемое и ожидаемое далее в XXI в. потепление в арктической зоне в целом благоприятно для морской хозяйственной деятельности, включая судоходство и добычу углеводородов на шельфе. Адаптация необходима к некоторым последствиям изменения климата, например, к неблагоприятным метеорологическим условиям (большее число штормов на свободной ото льда воде, усиление волнового воздействия, брызгового обледенения и т. п.). Также должны быть разработаны новые стандарты для строительства инженерных объектов на побережье, особенно там, где происходит эрозия береговой линии и деградация многолетней мерзлоты.

Сельское хозяйство

Изменения климата на территории России в период 1976—2012 гг. по-разному отразились на сельскохозяйственном производстве в разных регионах.

Благоприятными факторами являются увеличение теплообеспеченности сельскохозяйственных культур со скоростью 96°С · сут/10 лет в среднем по России, повышение средней температуры холодного периода года, а также увеличение продолжительности вегетационного периода (периода года со среднесуточной температурой выше 10°С) в среднем на 14—16 сут. Изменения увлажненности территории сельскохозяйственных регионов в целом благоприятны для аграрного производства, кроме ряда районов Сибири и Черноземного центра.

Негативным последствием наблюдаемого потепления климата является смещение границ ареалов и зон массового размножения вредителей сельскохозяйственных растений и зон рас-

пространения возбудителей болезней сельскохозяйственных растений. Смещение происходит в ставшие более пригодными для их обитания северные и восточные регионы России. Происходит также увеличение агрессивности и вредоносности отдельных их представителей, связанное с изменением их экологических особенностей.

Согласно перспективным оценкам, полученным с использованием различных представлений о будущем климате, дальнейшее потепление при современном увлажнении и уровне плодородия почв к середине XXI в. должно привести к увеличению биоклиматического потенциала и продуктивности зерновых культур на территории России (рис. ОР6.9*а*). Однако к концу XXI в. при продолжении увеличения среднегодовой температуры воздуха биоклиматический потенциал и продуктивность зерновых культур могут существенно снизиться по сравнению с современным уровнем в отдельных районах России (рис. ОР6.9*б*). Также к потерям сельскохозяйственной продукции приведет ожидаемое на протяжении всего XXI в. постепенное расширение в северном и восточном направлениях границ ареалов и зон массового размножения и вредоносности различных сельскохозяйственных вредителей, в том числе колорадского жука (рис. ОР6.10), некоторых саранчовых и патогенов.

Основой адаптации сельского хозяйства России к климатическим изменениям в XXI в. должны стать: 1) развитие аграрного сектора экономики Нечерноземной зоны (Центральный и Северо-Западный федеральные округа); 2) оптимизация соотношения посевов озимых и яровых

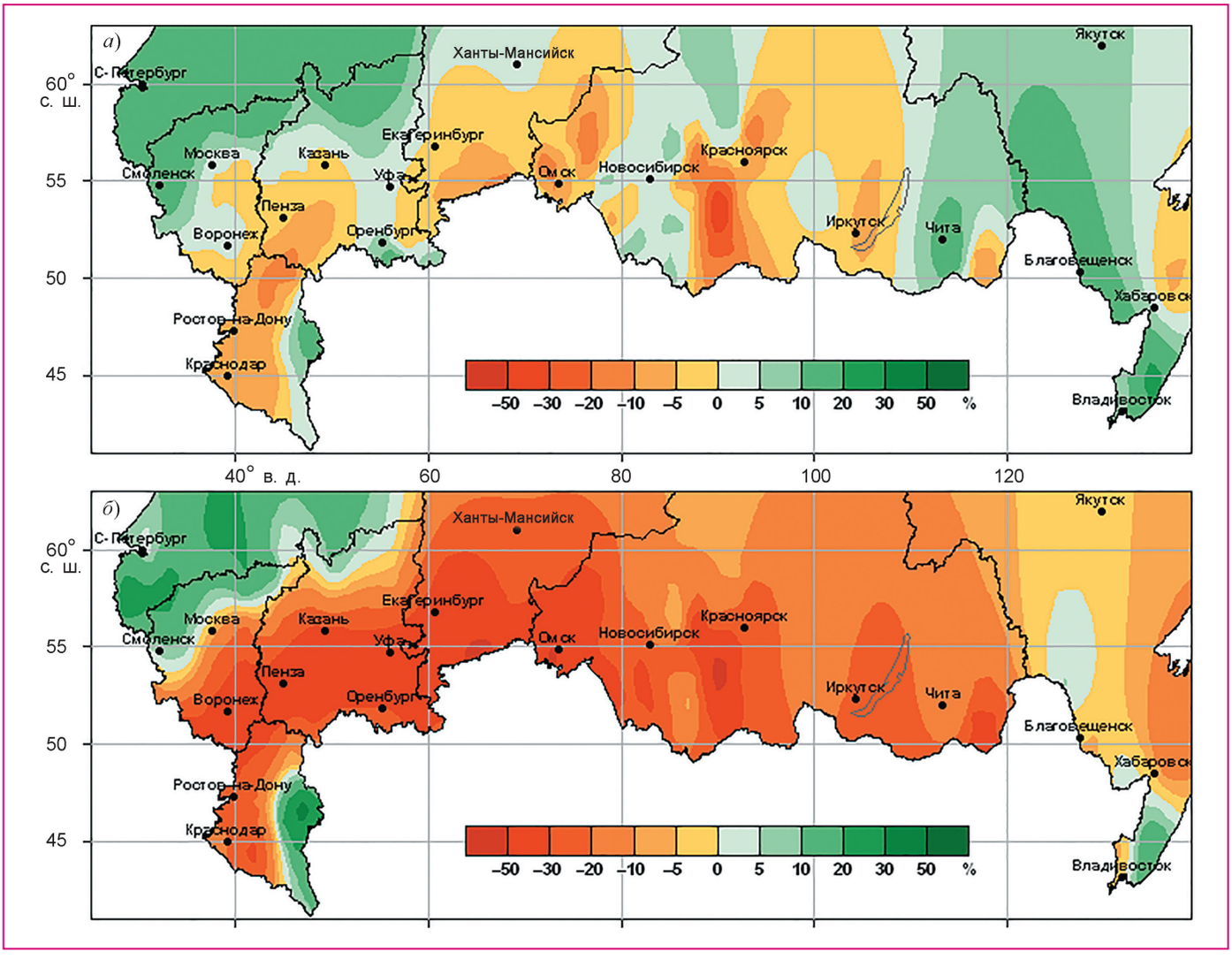


Рис. ОР6.9. Изменение продуктивности яровых зерновых культур относительно базового периода 1981—2000 гг. на территории России в XXI в., рассчитанное для среднего климата в условиях экстремального сценария RCP8.5 для периодов 2011—2030 (*а*) и 2080—2099 гг. (*б*).

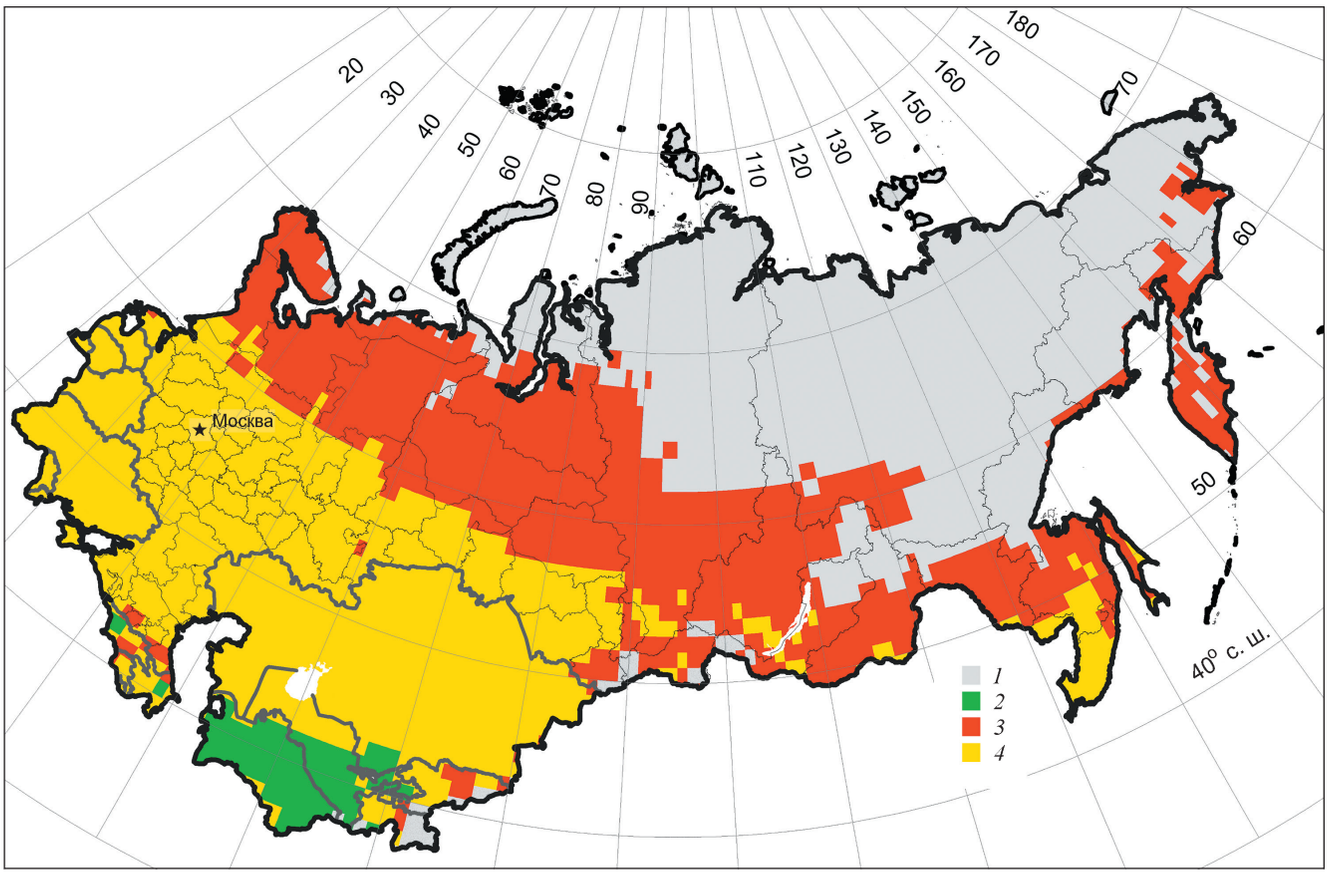


Рис. ОР6.10. Возможное расширение климатического ареала колорадского жука на территории России к 2080—2099 гг. относительно базового периода 1981—2000 гг., рассчитанное в условиях экстремального сценария RCP8.5. *1* — территория вне границ ареала в оба периода; *2* — территория сокращения ареала; *3* — территория приращения ареала; *4* — территория ареала в оба периода.

культур; 3) расширение посевных площадей более теплолюбивых и пожнивных культур; 4) развитие орошаемого земледелия; 5) усиление и развитие деятельности федеральной и региональных служб карантина и защиты растений, особенно на границах современных ареалов распространения основных климатозависимых вредителей и возбудителей болезней сельскохозяйственных культур.

Лесное хозяйство

За последние 20 лет в Российской Федерации ежегодно погибало в среднем около 300 тыс. га лесных насаждений. При этом ежегодные оценки площади погибших насаждений демонстрировали положительный тренд. В период 1992—2008 гг. более 70% случаев гибели древостоев было связано с лесными пожарами. За 2003—2012 гг. от пожаров погибло 2531.6 тыс. га насаждений, что составило около 60% площади всех погибших древостоев за этот период.

Возникновение и развитие лесных пожаров возможно только при длительной сухой погоде, но возгорание происходит в более чем 90% случаев по вине человека. Примерно на 15% площади лес гибнет из-за экстремальных условий погоды — ураганный ветер, сильный мороз и т. д. Еще примерно столько же усыхает под воздействием вредных насекомых и болезней. Важно отметить, что болезни и вредные насекомые наиболее эффективно поражают лес, когда он ослаблен неблагоприятными экстремальными условиями погоды.

Долговременное постепенное потепление, хотя и является одним из факторов, теоретически влияющих на продуктивность древостоев, не проявляется повсеместно в оценках продуктивности,

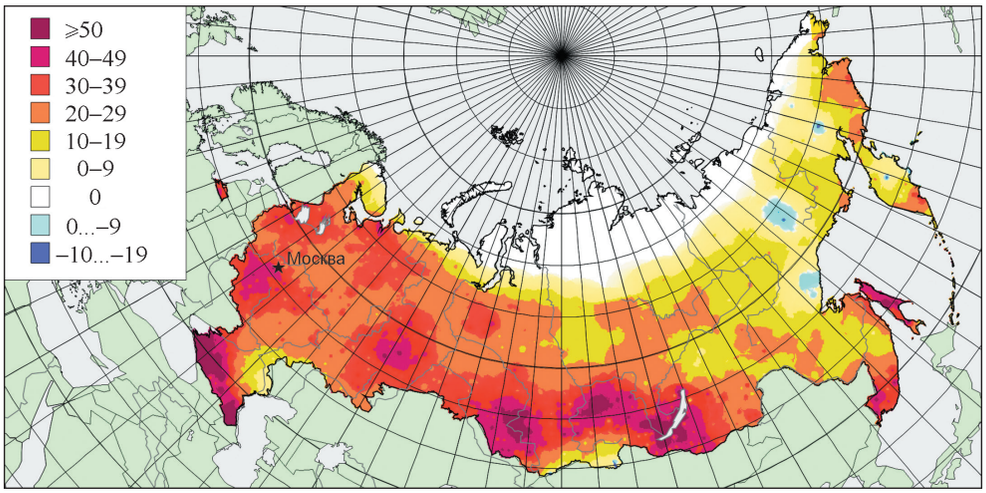


Рис. ОР6.11. Перспективная оценка изменения среднего числа пожароопасных суток в году (май — сентябрь) за 2080—2099 гг. по сравнению с 1981—2000 гг.

построенных на данных измерений. Слабый сигнал часто не выделяется на фоне значительной межгодовой изменчивости.

Согласно существующим оценкам, экстремальность климата будет усиливаться в XXI в. Увеличатся потери леса от прямых воздействий аномалий погоды в отдельные годы и от вредных насекомых и болезней, но наибольшие потери лесное хозяйство будет нести от пожаров. Так, в условиях экстремального сценария RCP8.5 антропогенного воздействия на климатическую систему на всей ЕЧР, в Западной и частично в Восточной Сибири к концу XXI в. ожидается увеличение пожароопасного периода на 20—29 сут, а на некоторых участках — на 30—50 сут (рис. ОР6.11). При умеренном сценарии RCP4.5 воздействия на климат в тех же регионах ожидается увеличение пожароопасного периода на 10—19 сут.

Для ослабления ожидаемых негативных последствий изменения климата необходимы более совершенные методы и технологии мониторинга и достоверного регионального прогноза и эффективной ликвидации очагов пожаров, болезней и вредных насекомых (в связи с последними особое внимание надо уделить разработке и внедрению биологических методов борьбы).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Текущее изменение климата России в целом следует охарактеризовать как продолжающееся потепление со скоростью, более чем в два с половиной раза превышающей скорость глобального потепления. При этом тенденция к замедлению потепления, наблюдаемая в глобальном масштабе, для территории России пока не прослеживается. Изменение климата не сводится лишь к повышению средней температуры воздуха у поверхности Земли, но проявляется во всех компонентах климатической системы, в том числе в изменениях гидрологического режима, ледяного покрова российских морей, экстремальности климата.

Основной вклад в наблюдаемое повышение температуры на территории России начиная со второй половины XX в. вносят изменения концентрации парниковых газов. Однако и естественные внешние воздействия значимо проявляются в межгодовых колебаниях температуры. Для значительной части территории России выявлено антропогенное влияние в изменениях сезонных и суточных экстремальных значений температуры, которые в целом согласуются с наблюдаемым глобальным потеплением. Анализ экстремальных явлений погоды, в частности, жаркого лета на ЕЧР в 2010 г., показал, что хотя подобные экстремальные условия в основном генерируются собственной изменчивостью климатической системы, общее потепление, вызванное антропогенным воздействием, значительно увеличивает вероятность их возникновения.

Согласно оценкам, полученным с помощью современных климатических моделей, в течение всего XXI в. Россия останется регионом мира, где потепление климата существенно превышает среднее глобальное потепление. Ожидаются значительные изменения других климатических характеристик, причем в разных регионах России эти изменения могут существенно различаться. При этом результаты новейших исследований в целом подтверждают полученные ранее оценки будущих изменений климата — как глобальные, так и для территории России, в частности, представленные в ОД_РФ-1 (2008).

Наблюдаемые и ожидаемые изменения климата на территории России обусловливают многочисленные и, зачастую, важные — отрицательные и положительные — последствия для природных и хозяйственных систем, для населения страны.

Изменения природных систем суши на территории России, связанные с изменением климата, многообразны. Увеличивается суммарный годовой сток рек; одновременно он перераспределяется по сезонам в пользу межени, увеличивается его межгодовая изменчивость. В основном деградирует оледенение арктических островов и горное оледенение. На равнине область протаявшей с поверхности многолетней мерзлоты увеличивается, а температура многолетнемерзлых пород повышается. Увеличивается вегетационный период, повышается первичная продуктивность экосистем. Наблюдается продвижение древесной растительности в горные тундры и продвижение темнохвойной тайги на территории, занимаемые лиственничниками на равнине. Опустынивание по климатическим причинам на территории РФ не происходит, при снижении хозяйственной нагрузки (выпаса скота) наблюдается скорее обратный процесс — остепнение. Увеличиваются интенсивность засух и охват ими территории, при этом долговременных трендов повторяемости засух не обнаружено.

В условиях существующих сценариев изменения климата в XXI в. многие из этих тенденций сохранятся и даже усилятся. Однако возможно и обращение тенденций — изменение знака эффекта. Так, ожидаемые изменения климата могут ухудшить способность природных систем суши удерживать углерод, что приведет к увеличению эмиссии в атмосферу парниковых газов — диоксида углерода и метана. При потеплении и недостаточном увлажнении и увеличении хозяйственной нагрузки на степи изменения климата в будущем могут способствовать опустыниванию.

В некоторых регионах на фоне общей тенденции к уменьшению максимального стока весеннего половодья могут возникать значительные аномалии в виде увеличения максимального стока дождевых паводков. На реках увеличение максимальных расходов воды наблюдается в регионах, где максимальный сток определяется дождевыми паводками — на Северном Кавказе, на побережье Черного моря, на Дальнем Востоке и в ряде других регионов, где в последние годы имели место экстремальные паводки. В перспективе к середине XXI в. экстремальность осадков в летний период в горных районах Кавказа, в Сибири

и на Дальнем Востоке может увеличиться, в связи с чем возрастут частота и высота дождевых и снегодождевых паводков.

Изменения глобального климата приводят как к существенным изменениям климата российских морей, так и к соответствующим последствиям для состояния морских экосистем, морской хозяйственной деятельности (включая транспорт, перспективы добычи полезных ископаемых, промысловые условия и др.), условий рекреации. Эти последствия разнообразны, часто различны для разных морей, могут быть и положительными, и отрицательными. К ним относятся изменение температуры морской поверхности и вертикального распределения температуры и солености, цветение вод. Несмотря на потепление, зимой могут осложняться ледовые условия. Ожидаемое к концу XXI в. повышение среднего уровня Мирового океана не является критическим для открытых морей России.

Наиболее существенные изменения климата на морях наблюдаются в арктических морях России, где значительно уменьшаются площадь морского льда (абсолютный минимум площади льда за весь период наблюдений был достигнут в сентябре 2012 г.), толщина дрейфующих льдов и продолжительность ледового периода. Современные модельные оценки позволяют говорить о сохранении этих тенденций на протяжении XXI в. и даже о возможности исчезновения многолетнего арктического морского льда в первой его половине. При этом ожидаемое нарастание экономической и прочей активности в Арктике потребует поддержания и развития российского ледокольного флота.

Изменения климата оказывают выраженное влияние на состояние здоровья людей в России. Увеличение частоты и длительности волн жары — продолжительных периодов сухой и жаркой погоды — приводит к повышению заболеваемости и смертности населения, особенно в группах риска (дети, пожилые люди, люди с хроническими заболеваниями органов кровообращения и дыхания). Это негативное воздействие часто осложняется ухудшением качества воздуха как вследствие неблагоприятных метеорологических условий, так и из-за пожаров в лесах и на торфяниках. В результате изменения климата в XX в. изменились, чаще всего — расширились, области распространения переносчиков некоторых опасных болезней человека. Среди них клещевой энцефалит, иксодовый клещевой боррелиоз, малярия, крымская геморрагическая лихорадка, лихорадка Западного Нила. Эти тенденции негативного влияния изменения климата на здоровье населения будут в основном сохраняться в течение XXI в.

Помимо влияния на здоровье населения, упомянутый фактор лесных пожаров имеет еще одно важное значение — прямое воздействие на состояние лесных экосистем и продукцию древесины в лесах. Изменения климата в XX в. привели к усилению пожароопасности в значительной части лесов России, особенно по южной границе леса. В течение XXI в. ожидается нарастание этой тенденции, ее распространение на значительно бóльшие территории, в том числе северные.

В последней четверти XX в. — начале XXI в. для формирования продуктивности сельскохозяйственных культур в России благоприятными факторами оказались рост теплообеспеченности, повышение средней температуры холодного периода года, увеличение продолжительности вегетационного периода. Изменения увлажненности территории сельскохозяйственных регионов в целом были также благоприятны, кроме отдельных районов Сибири и Центрального Черноземного региона.

Негативным следствием потепления климата является смещение к северу и востоку зон обитания и массового размножения некоторых вредителей и зон распространения возбудителей болезней сельскохозяйственных растений. Согласно перспективным оценкам, климатические условия будут способствовать аграрному производству до середины XXI в., но к концу века эти условия начнут ухудшаться. Негативное влияние некоторых вредителей и болезней сельскохозяйственных культур будет увеличиваться.

Перераспределение речного стока в пользу меженного, которое в России наблюдается с конца XX в., является благоприятным для выработки гидроэлектроэнергии. На ЕЧР вследствие увеличения осадков в бассейне Волги в последние три десятилетия существенно увеличился приток к водохранилищам Волжско-Камского каскада. В ближайшие десятилетия эти тенденции сохранятся. В перспективе в России в целом потенциальная водообеспеченность в расчете на одного жителя может увеличиться, но в густонаселен-

ных регионах ЕЧР можно ожидать ее уменьшения вследствие изменений климата, увеличения водопотребления и роста населения.

Потепление создает условия для сокращения энергопотребления на обогрев помещений в зимний сезон. Однако все более актуальной проблемой становится перегрев зданий в летний период. Увеличение потребности в электроэнергии на кондиционирование в сочетании с уменьшением эффективности производства и передачи энергии при высоких температурах увеличивает риски возникновения критических ситуаций с энергоснабжением.

Практически в любом российском регионе уже сегодня можно использовать тот или иной вид возобновляемых источников энергии. Использование этих источников энергии не связано с увеличением содержания парниковых газов в атмосфере и, следовательно, с последующим потеплением. Ожидаемые в течение XXI в. изменения климата, по-видимому, не окажут негативного влияния на ресурсы возобновляемых источников энергии на территории России.

Наблюдается устойчивая тенденция к ускоренному старению и уменьшению долговечности конструкций (зданий, технических сооружений) вследствие изменения климата. Увеличение повторяемости экстремумов температуры ухудшает качество дорожного асфальтового покрытия, а увеличение количества и интенсивности осадков повышает риски размыва насыпей. Увеличение интенсивности ливневых осадков представляет особую опасность, так как при этом повышается вероятность речных ливневых наводнений, оползневых и селевых процессов с возможными разрушениями инфраструктуры (и риском дополнительной заболеваемости и смертности населения).

Особо следует отметить риски, связанные с изменением климата, для хозяйственных объектов, расположенных на многолетней мерзлоте (она покрывает более двух третей территории России). За последние четыре десятилетия потепление уже привело к существенному уменьшению несущей способности многолетнемерзлых грунтов. Действующие одновременно техногенные факторы усиливают негативный эффект. Опасные деформации получают объекты железнодорожной, автомобильной и трубопроводной транспортной инфраструктуры.

Указанные современные тенденции, связанные с влиянием изменения климата в России на энергопотребление, конструкции и дорожную инфраструктуру, на хозяйственные объекты, расположенные на многолетней мерзлоте, с высокой степенью вероятности сохранятся в будущем в течение XXI в.

Помимо связанных с изменением климата фактических и потенциальных рисков для природных и хозяйственных систем, для населения страны, есть явные возможности эффективного использования позитивных последствий изменения климата. В связи с этим необходимость ускорения разработки стратегий реагирования на разных уровнях — федеральном, региональном, муниципальном — стала совершенно очевидной. Такие стратегии позволят не только снизить ущерб от негативных последствий изменения климата, но и повысить эффективность использования позитивных. Приоритетной частью этих стратегий должна стать система адаптационных мер разных пространственных и временных масштабов, опирающаяся на результаты научного анализа изменений климата и их последствий, в том числе — на представленные в настоящем докладе.

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

Общее резюме

На первой странице обложки — айсберг в районе Новой Земли.
Автор фотографии А. Ф. Глазовский

Редактор *Т. В. Лешкевич*
Корректоры *В. В. Борисова, О. Ф. Осетрова*
Компьютерная верстка *И. В. Ломакиной*
Рисунки *А. И. Гавриченкова*

Подписано в печать 04.06.2014. Формат 60x84 1/8. Бумага офсетная.
Усл. печ. л. 4,69. Уч. изд. л. 5,25.
Тираж 300 экз. Индекс ММ-5. Заказ №

Набрано в ФГБУ "НИЦ "Планета"
123242, Москва, Б. Предтеченский пер., 7
Отпечано в ЗАО "Группа Море"
101000, Москва, Хохловский пер., д. 7—9, стр. 3