

ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА ПО ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИИ
И МОНИТОРИНГУ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ
(РОСГИДРОМЕТ)

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

ТЕХНИЧЕСКОЕ РЕЗЮМЕ

Москва — 2014

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

Техническое 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 Техническое резюме подготовили:

**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. Мецлерская, 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.

Содержание

ВВЕДЕНИЕ	5
1. НАБЛЮДАЕМЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ КЛИМАТА	7
Парниковые газы, аэрозоли и климат	7
Температура приземного воздуха	8
Атмосферные осадки	13
Снежный покров	17
Облачность и радиационный режим	19
Атмосферная циркуляция	22
Экстремальность климата	25
Климат Арктики	28
2. ПРИЧИНЫ НАБЛЮДАЕМЫХ ИЗМЕНЕНИЙ КЛИМАТА	31
Эволюция научных представлений о причинах изменений климата	31
Причины наблюдаемых изменений глобального климата	32
Антропогенная составляющая изменений климата на территории России	35
Влияние неантропогенных факторов на современный климат	38
3. ОЖИДАЕМЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ КЛИМАТА В XXI ВЕКЕ	40
Новое поколение климатических моделей	40
Ожидаемые изменения климата на территории Российской Федерации в XXI веке	44
4. ВОЗДЕЙСТВИЯ ИЗМЕНЕНИЙ КЛИМАТА НА ПРИРОДНЫЕ СИСТЕМЫ СУШИ	49
Водные системы суши	49
Оледенение арктических островов и горное оледенение	50
Многолетняя мерзлота	52
Природные экосистемы суши	54
Углеродный баланс почв: последствия изменений климата	58
Засухи и опустынивание	59
5. ВОЗДЕЙСТВИЯ ИЗМЕНЕНИЙ КЛИМАТА НА МОРСКИЕ ПРИРОДНЫЕ СИСТЕМЫ	62
Арктические моря России	62
Балтийское море	63
Южные моря России	65
Дальневосточные моря России	67
6. ВОЗДЕЙСТВИЯ ИЗМЕНЕНИЙ КЛИМАТА НА ХОЗЯЙСТВЕННЫЕ ОБЪЕКТЫ И ЗДОРОВЬЕ НАСЕЛЕНИЯ. МЕРЫ АДАПТАЦИИ К ЭТИМ ВОЗДЕЙСТВИЯМ	69
Здоровье населения	69
Строительство, наземный транспорт, топливно-энергетический комплекс	72
Возобновляемые источники энергии	74
Хозяйственные объекты, расположенные на многолетней мерзлоте	78
Гидроэнергетика и водное хозяйство	80
Морская деятельность в Арктике	83
Сельское хозяйство	84
Лесное хозяйство	89
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	91

Введение

Изданный в 2008 г. Росгидрометом первый “Оценочный доклад об изменениях климата и их последствиях на территории Российской Федерации”, <http://climate2008.igce.ru/v2008/htm/index00.htm> или <http://voeikovmgo.ru/ru/otsenochnyj-doklad-izmenenie-klimata-na-territorii-rossijskoj-federatsii> (ОД_РФ-1) был широко востребован в обществе, научной общественностью, экспертами и советниками государственных органов, разрабатывающих и реализующих климатическую политику страны. По существу он послужил научной основой Климатической доктрины Российской Федерации — политического документа, подписанного Президентом РФ в 2009 г.* и определившего общие контуры, цели и задачи климатической политики России. Основные выводы ОД_РФ-1 в целом были в согласии с выводами Четвертого оценочного доклада Межправительственной группы экспертов по изменению климата (МГЭИК), который вышел в свет в 2007 г. Однако, разумеется, в ОД_РФ-1 многие вопросы, касающиеся территории России, были освещены более детально, чем в докладе МГЭИК.

С того времени в науке о климате был достигнут значительный прогресс как в понимании фундаментальных основ процессов его изменения, так и в прикладных направлениях, в оценке последствий изменения климата и научном обосновании стратегий реагирования.

Прежде всего расширились и обновились базы данных мониторинга климата. Исследователям стали доступны данные более высокого временного разрешения, в частности суточные данные. Это особенно важно для вычисления прикладных климатических индексов (суммы эффективных и активных температур и т. п.), которые не могут точно оцениваться исходя из данных меньшего разрешения.

Появились новые глобальные физико-математические модели климата, а также так называемые модели земной системы, с помощью которых были проведены масштабные расчеты эволюции климатической системы в прошлом и будущем. Координация этой деятельности осуществлялась в рамках международного проекта — “Проект сравнения совместных моделей” CMIP5 (Coupled Model Intercomparison Project), пятая фаза которого была специально организована для обеспечения результатами климатического моделирования Пятого оценочного доклада МГЭИК.

Кроме того, появилось новое семейство сценариев антропогенного воздействия на климатическую систему Земли — “репрезентативные траектории концентраций” (RCP, Representative Concentration Pathways) радиационно-активных веществ. Они в обобщенном виде отражают изменения концентраций в атмосфере парниковых газов и аэрозолей, связанные с возможными сценариями развития мирового хозяйства и механизмами ограничения антропогенных выбросов в атмосферу. Это семейство сценариев пришло на смену семейству SRES, представленному МГЭИК в 2000 г. в “Специальном докладе о сценариях выбросов” (Special Report on Emission Scenarios). В цикле подготовки Пятого

* Распоряжение Президента РФ от 17.12.2009 № 861-рп “О Климатической доктрине Российской Федерации”.

ТЕХНИЧЕСКОЕ РЕЗЮМЕ

оценочного доклада МГЭИК, которая заканчивается в 2014 г., широко использованы оценки будущих изменений климата, рассчитанные с помощью глобальных климатических моделей в условиях сценариев семейства RCP.

В области оценок последствий изменения климата для природных и хозяйственных систем, для населения в последние годы также наблюдался значительный прогресс. В 2011 г. Росгидрометом был издан специальный доклад “Оценка макроэкономических последствий изменения климата на территории Российской Федерации на период до 2030 года и дальнейшую перспективу”*. В 2012 г. Росгидрометом была опубликована коллективная монография “Методы оценки последствий изменения климата для физических и биологических систем”**.

Следует отметить, что многие российские специалисты не только активно участвовали в появлении этой новой базовой климатической информации фундаментального и прикладного характера, но и внесли значительный вклад в ее осмысление в научной монографической литературе и периодических изданиях последних лет.

Новые данные мониторинга, результаты модельных расчетов и аналитические публикации последних лет требовали систематизации, анализа и обобщения. Поэтому Росгидромет предпринял подготовку “Второго оценочного доклада Росгидромета об изменениях климата и их последствиях на территории Российской Федерации” (ОД_РФ-2). В этой работе участвовали специалисты Росгидромета, Российской академии наук и вузов страны.

В настоящем “Техническом резюме” в технических терминах суммированы основные результаты “Второго оценочного доклада Росгидромета об изменениях климата и их последствиях на территории Российской Федерации”. Структура резюме воспроизводит структуру основного тома доклада — текст состоит из шести разделов, посвященных соответственно наблюдаемым изменениям климата (1), их причинам (2), ожидаемым изменениям климата в XXI в. (3), а также воздействиям этих изменений на природные системы суши (4), морские природные системы (5), хозяйствственные системы и здоровье населения (6). Разделы состоят из тематических подразделов.

Настоящее резюме предназначено для научных работников — климатологов, геофизиков, экологов и других специалистов, которые работают в области оценки изменения климата и его последствий, научного обоснования стратегий реагирования на изменения климата. Резюме будет также полезно широкой научной общественности и всем, кто интересуется проблемой изменения климата и его последствий.

* <http://voeikovmgo.ru/ru/otsenka-makroekonomiceskikh-posledstvij-izmeneniya-klimata>.

** <http://www.igce.ru/category/knigi>.

1. НАБЛЮДАЕМЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ КЛИМАТА

Парниковые газы, аэрозоли и климат

Тенденции изменения в составе атмосферы, источники эмиссии и эффект основных долгоживущих парниковых газов не претерпели больших изменений после издания Росгидрометом в 2008 г. ОД_РФ-1. В то же время существенно расширились сведения об атмосферных циклах короткоживущих факторов, действующих на радиационный режим и климатические характеристики. Это касается прежде всего аэрозоля в виде “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.

Диоксид углерода 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. 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. 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 метана из северных болот и мерзлых грунтов и с возможной 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.

Содержание *закиси азота*, как и *галогеноуглеводородов*, в приповерхностном слое атмосферы увеличивается медленнее со значительными межгодовыми колебаниями.

Измерения концентраций парниковых газов на территории Российской Федерации ведутся непрерывно и систематически на побережье Северного Ледовитого океана — на станциях Териберка (Кольский п-ов) с 1988 г., Новый Порт (полуостров Ямал, рис. ТР1.1) с 2004 г., Тикси (Республика Саха) с 2010 г., а также Воейково (Ленинградская обл.) с 1996 г.

Измерения на гидрометеорологической обсерватории Тикси проводятся международными группами; они используются в широком обмене данными и их анализе. Измерения концентраций

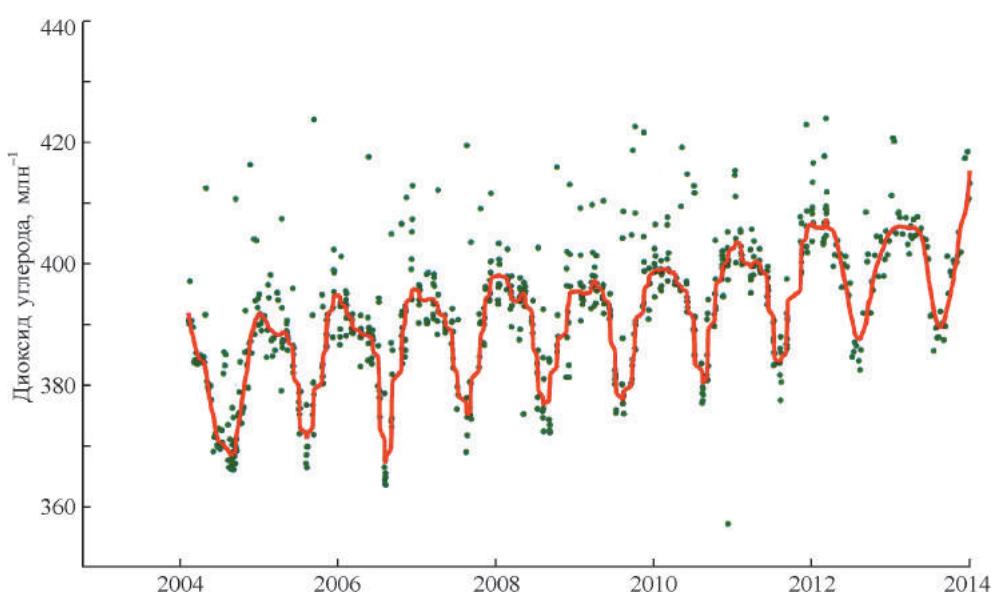


Рис. ТР1.1. Данные еженедельных измерений концентрации CO_2 на станции Новый Порт за период с 2004 по 2013 г. Красным цветом изображен рассчитанный сезонный ход концентрации CO_2 .

CO_2 и CH_4 производятся на станциях институтов Российской академии наук (РАН) на склонах Эльбруса (Кавказ) и на высотных мачтах до 300 м в обсерватории Зотино (Красноярский край), а также на ряде высотных мачт до высоты 50—90 м в Центральной Сибири (совместно с японскими коллегами). Многолетние самолетные измерения уровней CO_2 и CH_4 в слое от 0.5 до 7.0 км в районе Томска показали межгодовые изменения интенсивности их биосферных источников и стоков.

Большое значение в изменениях климата в последние годы придается аэрозолям — прежде всего поглощающему солнечную радиацию черному углероду. По оценкам, его радиационное воздействие занимает второе место вслед за CO_2 , но с большой долей неопределенности и погрешностей. Сравнение результатов модельных исследований с измеренными значениями содержания 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 непосредственно измеренных.

Температура приземного воздуха

Основной особенностью современных изменений глобального климата является глобальное потепление в конце XX в. (начиная со второй половины 1970-х годов) — начале XXI в. Основным индикатором при оценках этих изменений служит глобальная, т. е. осредненная по всему земному шару, приповерхностная температура (температура приземного воздуха над сушей и температура поверхностного слоя воды на акваториях океанов). В настоящее время общепризнанными считаются три набора глобальных данных инструментальных наблюдений за приповерхностной температурой: данные HadCRUT4* Университета Восточной Англии и Хэдли-центра, Великобритания (Met Office Hadley/CRU), данные Национального климатического центра США (NOAA NCDC) и данные Института космических исследований США (NASA GISS) (рис. ТР1.2). Многочисленные сравнения указанных трех наборов данных показали, что расхождения в них практически не влияют на оценки тенденций для крупных регионов и на глобальные закономерности.

В целом оценки указывают на продолжающееся глобальное потепление: средняя скорость потепления для земного шара и суши Северного полушария составляет соответственно 0.166 и 0.328°C/10 лет за 1976—2012 гг. и 0.075 и 0.105°C/10 лет за 1901—2012 гг. При этом начало XXI в. остается самым теплым 12-летием за период инструментальных наблюдений, но внутри него монотонного потепления не наблюдается (оценки приведены по данным метеорологической службы Великобритании). Однако есть основания считать, что современная “пауза” в потеплении не означает его прекращения в XXI в. (см. Пятый оценочный доклад МГЭИК, Вклад Рабочей группы I, 2013 г.).

Приведенные ниже оценки получены по данным 455 гидрометеорологических станций, расположенных на территории России и соседних стран (из них российских станций — 310). Эти данные используются в оперативно действующей технологии мониторинга приземного климата России (ИГКЭ Росгидромета и РАН). Данные накоплены за период с 1886 г. и поддерживаются в базе данных ИГКЭ.

На рис. ТР1.3 и ТР1.4 приведены временные ряды среднегодовых и среднесезонных аномалий температуры приземного воздуха, осредненных по территории России. (В качестве характеристики изменений климата за определенный интервал времени используется линейный тренд, т. е. коэффициент линейной регрессии на время, оцененный методом наименьших квадратов. Он характеризует среднюю скорость изменений изучаемой гидрометеорологической величины на рассматриваемом интервале времени. Тренд считается статистически значимым при условии, что соответствующая ему вероятность ошибочного отклонения нулевой гипотезы (т. е. уровень значимости) достаточно мала. Для оценки статистической значимости тренда используется 1%-ный или 5%-ный уровень значимости или указывается критический уровень значимости (наименьший уровень значимости, при котором отвергается гипотеза об отсутствии тренда). Для характеристики существенности тренда используется доля полной дисперсии переменной, объясняемая трендом.) Здесь, как и в глобальных временных

* Hadley Centre/Climatic Research Unit Gridded Surface Temperature Data Set 4 — Четвертая версия массива сеточных данных Центра Хэдли (Метеорологическая служба Великобритании) и Отделения исследований климата (Университет Восточной Англии).

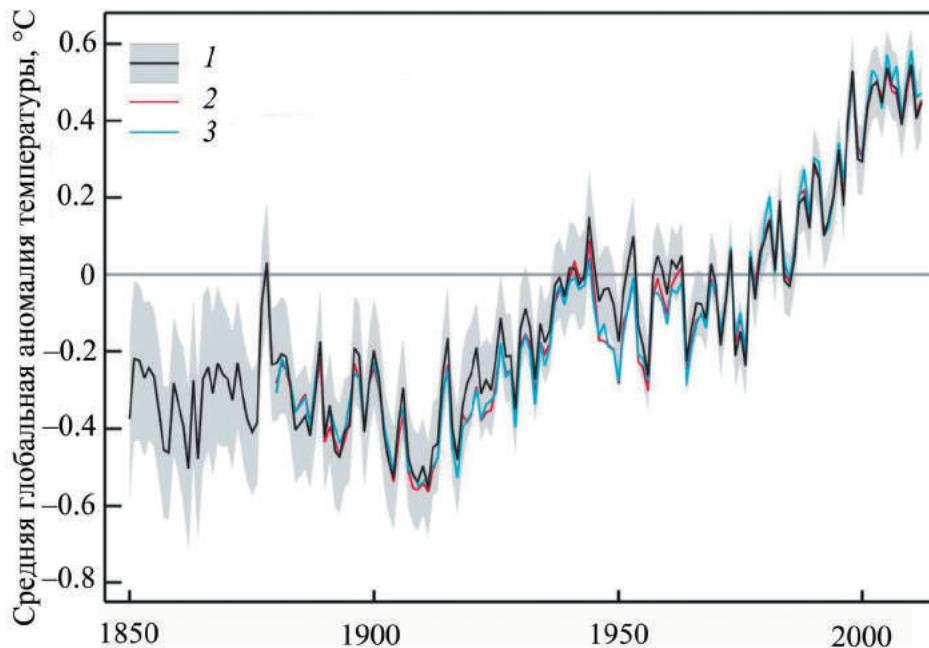


Рис. ТР1.2. Сравнение 12-месячных скользящих средних аномалий (относительно нормы 1961—1990 гг.) глобальной температуры приземного воздуха, рассчитанных по данным трех независимых массивов наблюдений за 1850—2012 гг. Серая область соответствует оценке 95%-ного доверительного интервала для данных HadCRUT4 (вероятность попадания истинного значения глобальной средней аномалии вне этого интервала составляет 5%) (Met Office, 2013а, рис. 4). 1 — Met Office Hadley/CRU; 2 — NOAA NCDC; 3 — NASA GISS.

рядах (рис. ТР1.2), период после 1976 г. выделяется как период наиболее интенсивного потепления. Оценки линейных трендов температуры за 1976—2012 гг. в среднем для территории России, за год и за каждый сезон приведены в табл. ТР1.1 в сравнении с трендами за 1976—2006 гг. На рис. ТР1.5 показано географическое распределение локальных коэффициентов линейного тренда

температуры (среднегодовой и средних сезонных) за 1976—2012 гг., построенное по оценкам в точках расположения станций.

Значения трендов температуры приземного воздуха на территории России и их основные сезонные особенности изменились несущественно. В целом по России при увеличении ряда на шесть лет (2007—2012 гг.) средняя скорость потепле-

Таблица ТР1.1. Сравнительные оценки линейного тренда средней годовой и средней сезонной температуры приземного воздуха в среднем по территории России за 1976—2006 и 1976—2012 гг.

Сезон	1976—2006 гг.			1976—2012 гг.		
	b	D	α_0	b	D	α_0
Год	0.43	28	0.2	0.43	36	0.0
Зима	0.35	4	28.1	0.18	2	40.4
Весна	0.52	19	1.4	0.56	30	0.0
Лето	0.41	47	0.0	0.44	59	0.0
Осень	0.43	12	5.6	0.54	27	0.1

Примечание. b — коэффициент линейного тренда ($^{\circ}\text{C}/10$ лет); D — вклад тренда в дисперсию (%); α_0 — критический уровень значимости (%). Принято считать оценку тренда статистически значимой, если $\alpha_0 \leq 5\%$.

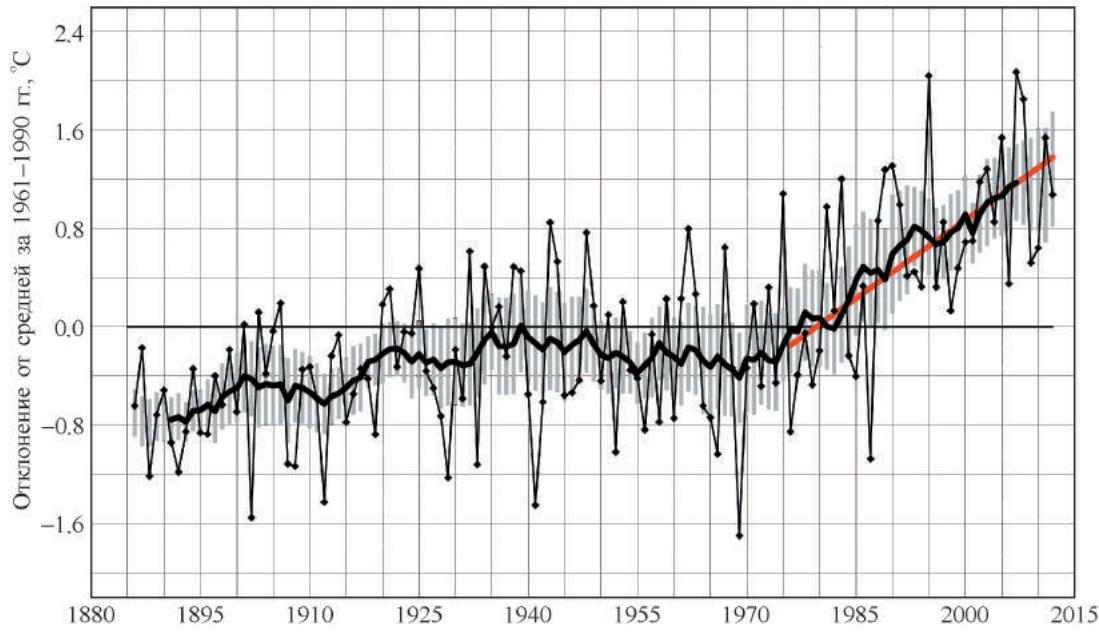


Рис. ТР1.3. Изменения аномалий среднегодовой температуры приземного воздуха, осредненных по территории России, в 1886—2012 гг. Аномалии рассчитаны как отклонения от нормы за 1961—1990 гг. Жирная кривая показывает сглаженный ход температуры (11-летние скользящие средние). Вертикальными отрезками показан 95%-ный доверительный интервал для 11-летних средних (без учета ошибок пространственного осреднения и нарушений однородности). Показан линейный тренд за 1976—2012 гг. (красная линия).

ния не изменилась ($0.43^{\circ}\text{C}/10$ лет); однако межсезонные различия трендов стали заметнее. Во все сезоны, кроме зимнего, скорость потепления несколько увеличилась, а зимой, напротив, заметно снизилась (от 0.35 до $0.18^{\circ}\text{C}/10$ лет). В результате в целом за год и во все сезоны, кроме зимы, в среднем по территории России гипотеза об отсутствии потепления уверенно отвергается (на уровне значимости 0.01%); локальные оценки трендов положительны практически на всей российской территории. С другой стороны, данные о температуре зимних сезонов в течение 1976—2012 гг. не позволяют в среднем для территории России уверенно отклонить нулевую гипотезу — критический уровень значимости оказался равным 40.4% .

Таким образом, в 1976—2012 гг. тенденция замедления темпов потепления на территории России в целом по данным наблюдений не прослеживается. Изменение оценок трендов температуры зимнего сезона от 1976—2006 к 1976—2013 гг. (рис. ТР1.5) свидетельствует об усилении похолодания в зимние сезоны на юге Западной Сибири и

постепенном распространении этой тенденции на всю Азиатскую часть России (АЧР). При этом значение локальных отрицательных трендов в точках максимальной интенсивности остается на уровне $-0.4\ldots-0.6^{\circ}\text{C}/10$ лет.

Отмеченные особенности современных тенденций в изменении температурного режима России подтверждаются изменением климатических норм от 1961—1990 к 1981—2010 гг. Выявлено практически повсеместное (на всей территории) повышение норм среднегодовой температуры, статистически значимое на 5%-ном уровне. Для всех сезонов, кроме зимы, повышение норм также отмечается на всей территории, но достигает 5%-ного уровня значимости лишь на 20—40% этой площади. Изменение норм температуры в зимний период на большей части территории России статистически незначимо на 5%-ном уровне. Единственная область понижения нормы температуры отмечена зимой на крайнем северо-востоке страны, но значение его статистически незначимо даже на 10%-ном уровне.

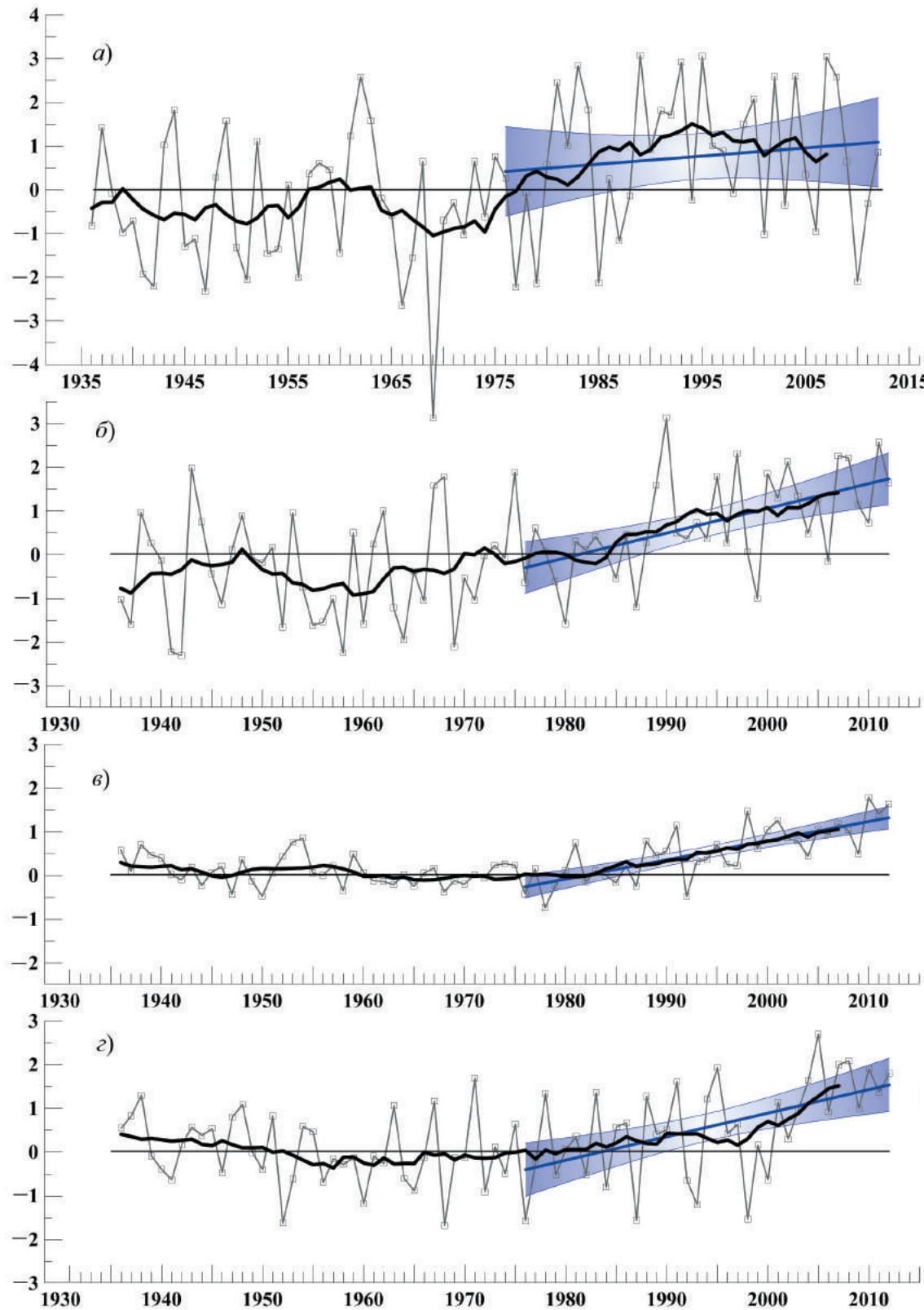


Рис. ТР1.4. Временные ряды за 1936–2012 гг. сезонных аномалий температуры приземного воздуха, осредненных по территории России, для зимы (а), весны (б), лета (в) и осени (г). Аномалии рассчитаны как отклонения от нормы 1961–1990 гг. Черные жирные кривые соответствуют 11-летнему сглаживанию. Показаны линейный тренд за 1976–2012 гг. и его 95%-ная доверительная область.

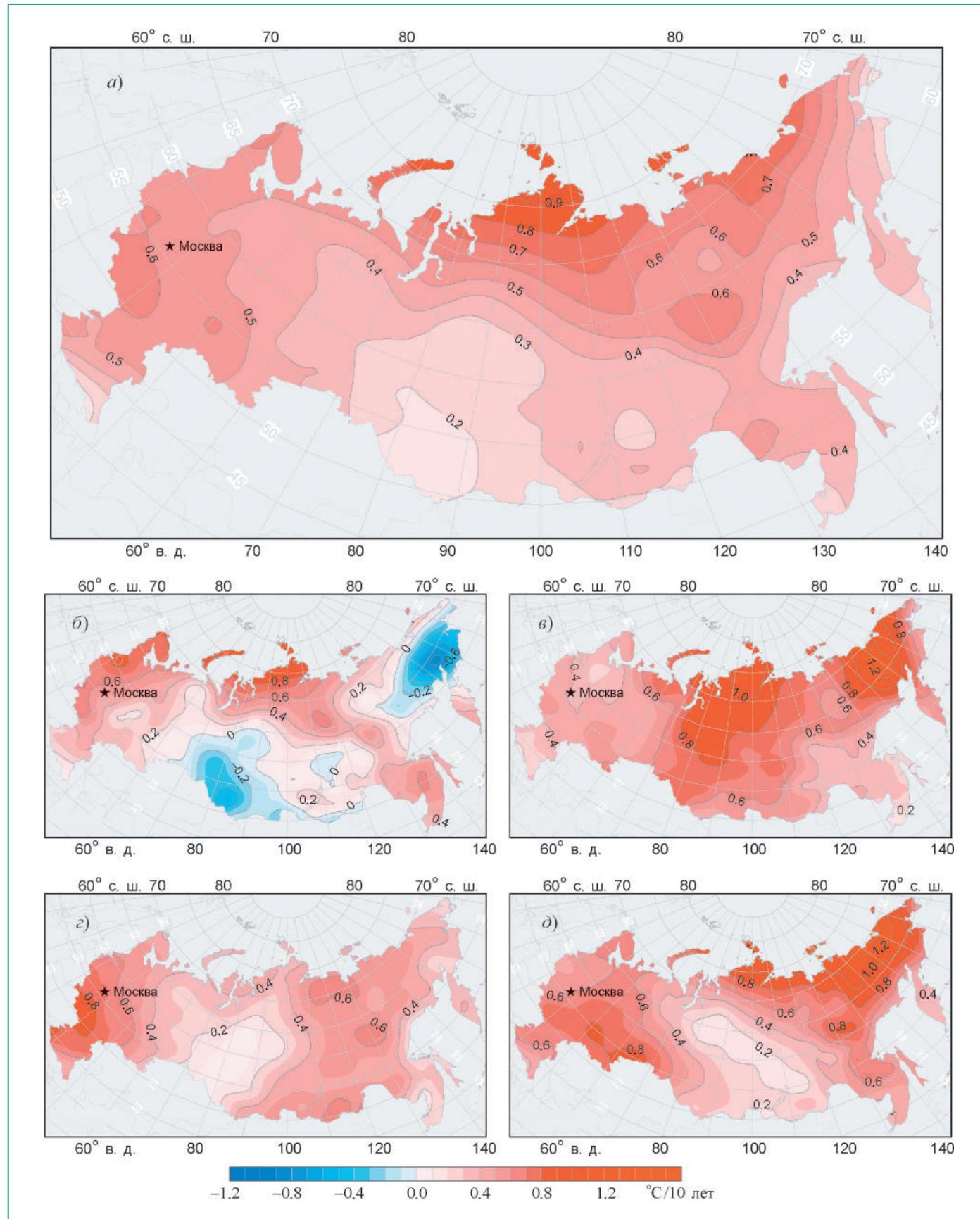


Рис. ТР1.5. Географическое распределение коэффициентов линейного тренда среднегодовой (а) и средней сезонной температуры (б—д) на территории России за 1976—2012 гг.: б) зима; в) лето; г) весна; д) осень.

Атмосферные осадки

Оценки наблюдаемых изменений осадков на территории России, приведенные в настоящем докладе, получены на основе двух разных массивов — ИГКЭ и ГГО. Различия соответствующих групп оценок и порожденные этими различиями неопределенности картины наблюдаемых изменений осадков остаются предметом дискуссий между специалистами.

Массив ИГКЭ (455 станций России и соседних стран) содержит данные о месячных суммах осадков, в которых данные дождемера приведены к показаниям осадкомера (по методике Ц. А. Швер) и введены стандартные поправки на смачивание. Массив ГГО (457 российских станций) составлен на основе срочных данных об осадках, скорректированных по методике ГГИ—ГГО*, учитывающей влияние всех факторов искажения результатов измерения осадков, в том числе и основного — аэродинамического. В основу методики положены эмпирические зависимости между основными систематическими погрешностями измерения осадков и наблюдаемыми в период их выпадения метеорологическими величинами.

Данные, полученные по массиву ИГКЭ, сохраняют преемственность оценок, приведенных в ОД_РФ-1. Согласно этим данным, 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. ТР1.6). Максимальная скорость увеличения годовой суммы осадков наблюдается в Средней Сибири, где количество осадков увеличивается во все сезоны, кроме зимы (рис. ТР1.7).

Преимущественно положительный тренд наблюдается и в отдельные сезоны. Тенденция к увеличению осадков наиболее выражена весной, когда на обширных территориях локальный тренд превышает 5% нормы за 10 лет. Уменьшение осадков заметно на АЧР зимой и на Европейской части России (ЕЧР) летом. Кроме того, зафиксировано уменьшение осадков летом на Таймыре, на северо-востоке страны (от Арктического побережья до Камчатки) и на юге Восточной Сибири (от Забайкалья до Дальнего Востока, включая большую часть Хабаровского края и Приморский край). Изменение регионально осредненных годовых сумм осадков во всех регионах отмечается на фоне интенсивных межгодовых флуктуаций. Исключение представляет регион Центральной Сибири (территория Сибирского федерального округа), где в период после 1976 г. изменения количества осадков носят явно монотонный характер.

Сравнение оценок, полученных по массивам ГГО и ИГКЭ, показало, что годовые суммы полностью скорректированных осадков оказываются систематически больше, чем данные, учитывающие лишь потери на смачивание. Чем больше доля твердых осадков в годовой сумме и чем выше скорость ветра в период их выпадения, тем больше различаются суммы осадков по разным массивам.

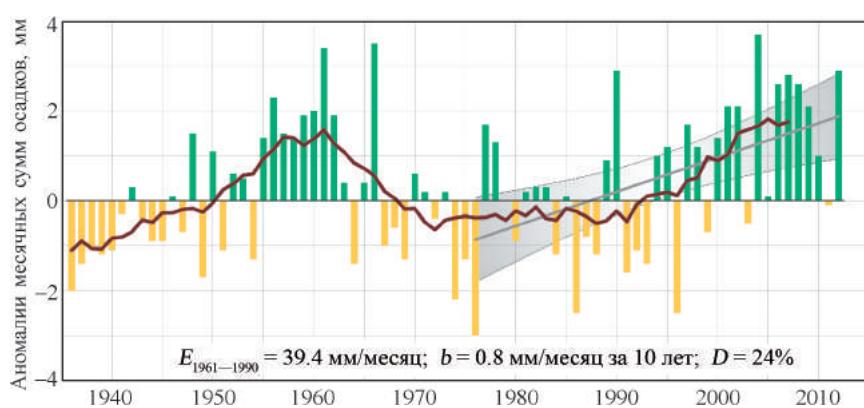


Рис. ТР1.6. Средние годовые аномалии месячных сумм осадков (мм/месяц), осредненные по территории Российской Федерации. Данные за 1936—2012 гг. Аномалии рассчитаны как отклонения от среднего за 1961—1990 гг. ($E_{1961-1990}$). Сглаженная кривая получена 11-летним скользящим осреднением. Линейный тренд и его 95%-ный доверительный интервал оценены по данным за 1976—2012 гг.; b — коэффициент линейного тренда, D — вклад в суммарную дисперсию. Оценки получены по массиву ИГКЭ.

* WMO. Report № 67, 1998; Богданова, Голубев и др., 2002.

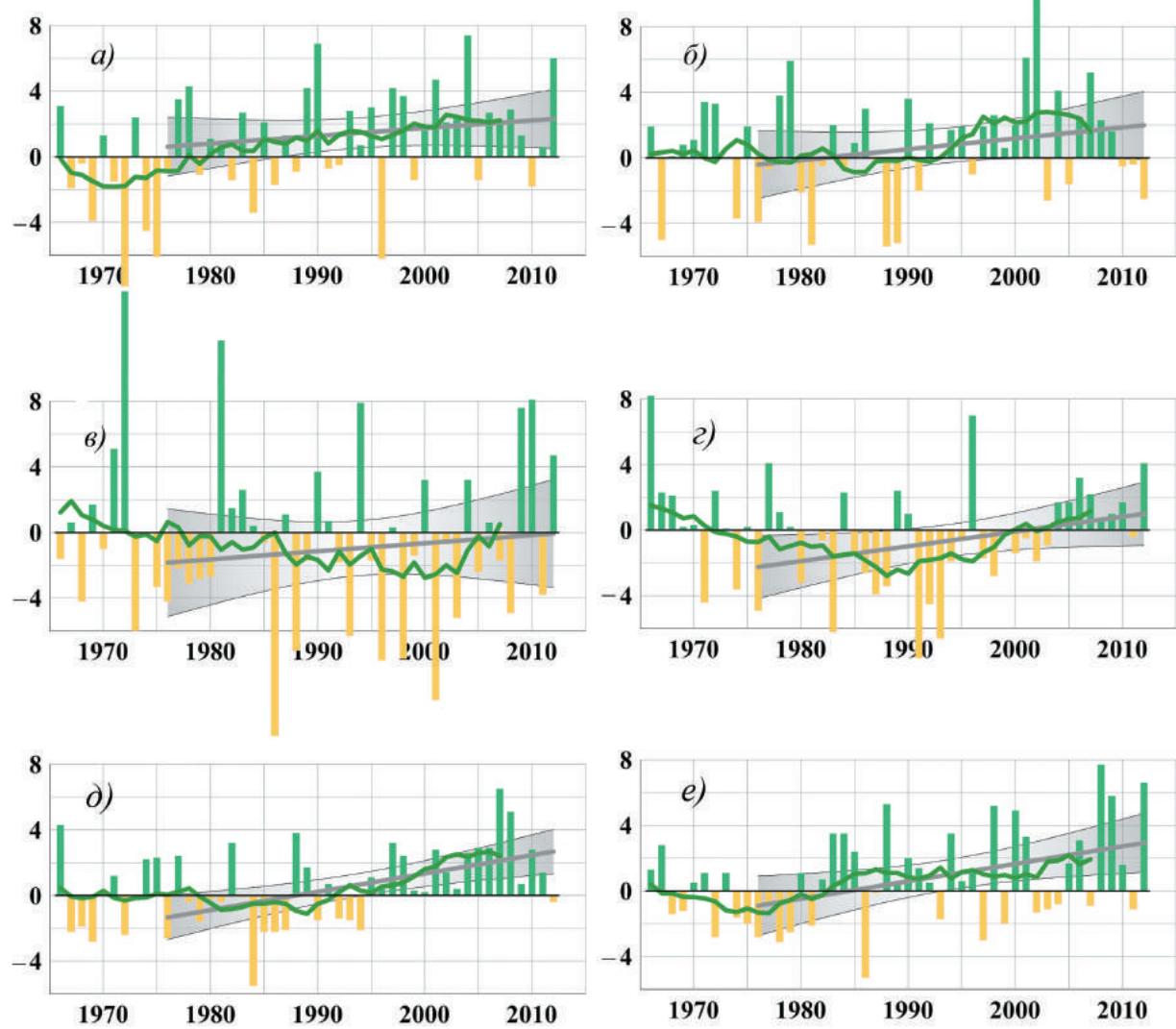


Рис. ТР1.7. Средние годовые аномалии месячных сумм осадков (мм/месяц), осредненные по территории физико-географических регионов России. Данные за 1966—2012 гг. Условные обозначения, как на рис. ТР1.6. Оценки получены по массиву ИГКЭ. а) Европейская часть России; б) Западная Сибирь; в) Приамурье и Приморье; г) Восточная Сибирь; д) Средняя Сибирь; е) Прибайкалье и Забайкалье.

За период с 1976 по 2010 г. оценки изменений осадков во времени, полученные по обоим массивам, близки между собой. Тренд годовых сумм осадков по массиву ГГО также положительный (0.3 мм/месяц за 10 лет), а максимальное сезонное увеличение сумм осадков тоже приходится на весну и составляет 1.6 мм/месяц за 10 лет, что практически совпадает с данными ИГКЭ.

Согласно оценкам ГГО, в среднем по России в целом за год количество осадков за период 1976—2010 гг. увеличивалось заметно быстрее, чем за весь период с 1936 по 2010 г., преимущественно из-за интенсивного увеличения количества осадков весной во всех регионах России. Летом

за период 1976—2010 гг. наблюдалось уменьшение осадков на ЕЧР и в Восточной Сибири и увеличение их в остальных регионах. В целом за 1936—2010 гг. тренд осадков в летний период для всех регионов, за исключением ЕЧР, отрицательный. Отмечается почти круглогодичное (кроме весны) уменьшение осадков в Восточной Сибири. В Приамурье и Приморье наблюдается максимальное по сравнению с другими регионами увеличение осадков зимой для обоих временных периодов.

За период 1936—2010 гг. отмечается увеличение количества осадков за год практически на всей территории ЕЧР, а также в Средней Сибири (рис. ТР1.8). В Западной и Восточ-

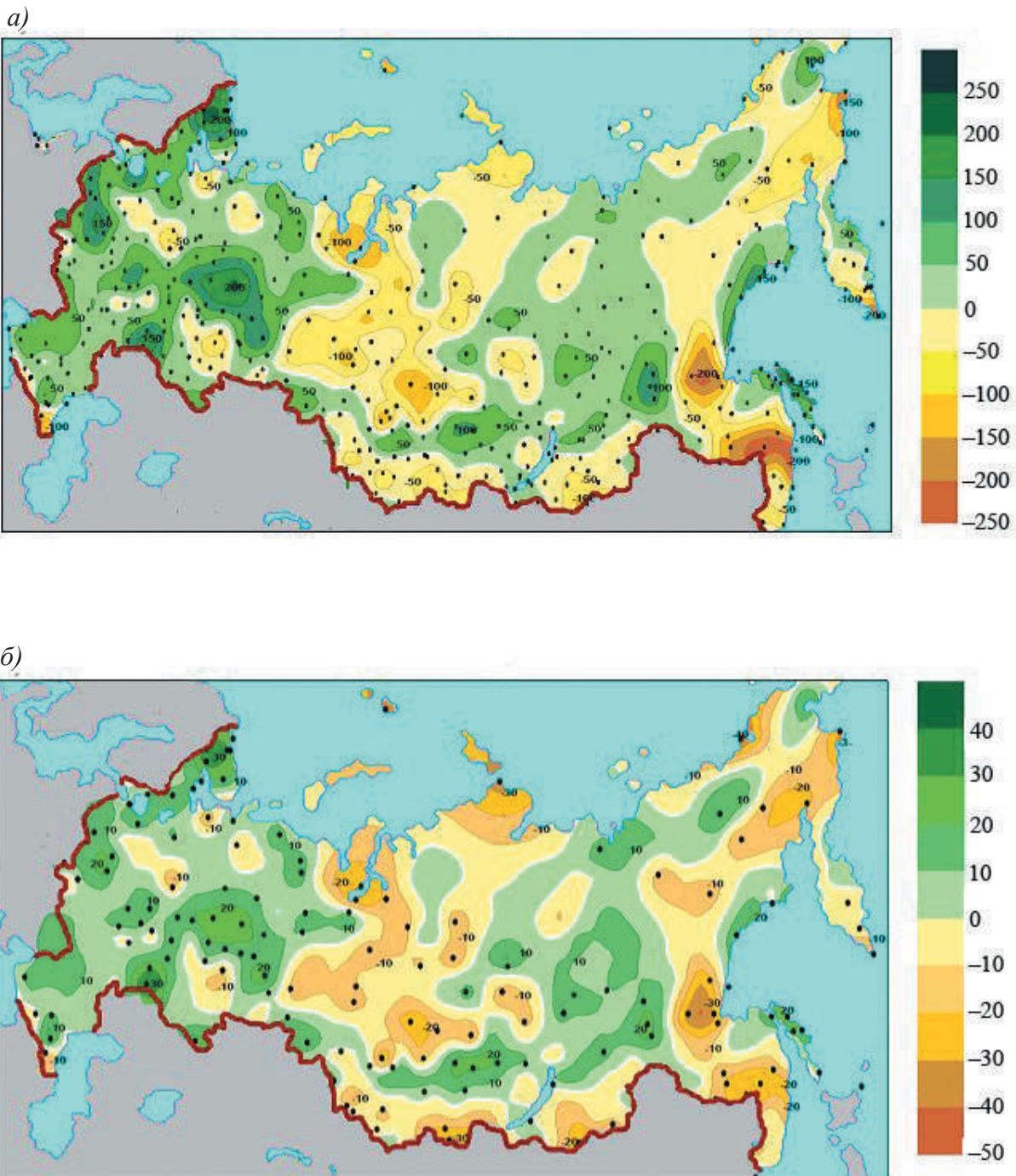


Рис. ТР1.8. Изменения во времени годового количества осадков на территории России за период с 1936 по 2010 г.: а) мм за 75 лет; б) % нормы осадков 1961–1990 гг. При построении карт использованы данные не всех станций исходного массива. Некоторые из них были исключены из расчетов либо по очевидно сомнительной достоверности данных наблюдений, либо из-за краткости и нерегулярности временных рядов осадков. На рисунке а в виде точек обозначено местоположение всех станций, по данным которых построены карты. На рисунке б точками показаны только станции со статистической значимостью трендов на уровне 8%. Оценки получены по массиву ГГО.

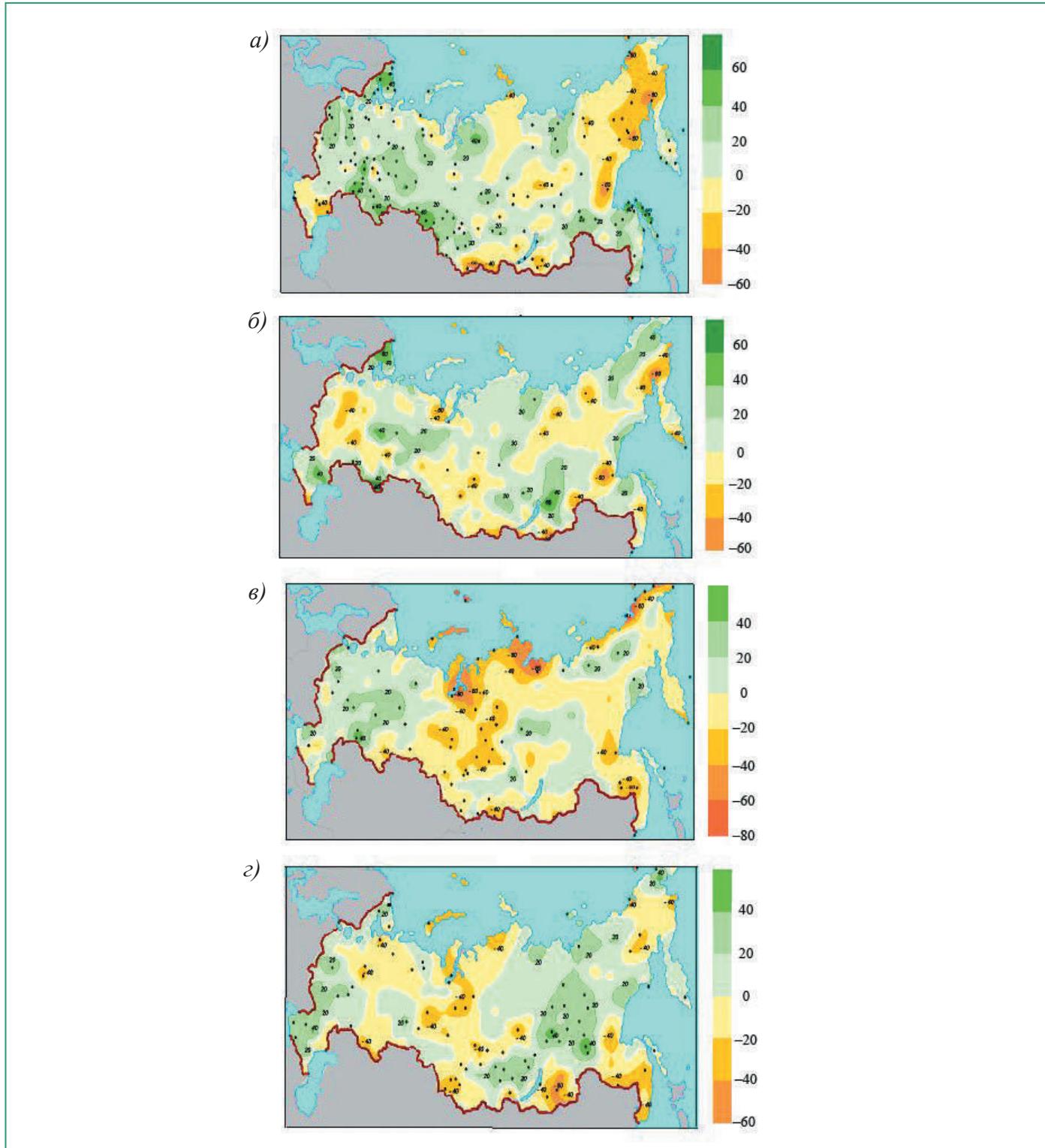


Рис. ТР1.9. Изменения во времени продолжительности осадков разных градаций интенсивности за период 1976—2010 гг. (т. е. коэффициенты линейных трендов для каждой станции, умноженные на 35): а) слабые; б) умеренные; в) сильные осадки (часы за 35 лет); г) очень сильные осадки (минуты за 35 лет). Точками отмечено местоположение станций с трендами, статистически значимыми на уровне 8%. Оценки получены по массиву ГГО.

ной Сибири, а также в Прибайкалье, Забайкалье, Приамурье и Приморье преобладают территории с отрицательными значениями трендов.

Далее на восток увеличение годовых сумм осадков наблюдается лишь местами — в узкой прибрежной полосе Охотского моря и на Сахалине.

Анализ временных изменений за период с 1936 по 2010 г. количества осадков раздельно по их видам позволил детализировать вклад осадков каждого вида (твердых, жидким и смешанных) в годовые изменения. Количество твердых осадков уменьшается на преобладающей части территории России. Увеличение их наблюдается главным образом в северных районах Западной и Центральной Сибири и на Кольском полуострове, где увеличивается количество осадков всех видов. Количество жидким и смешанных осадков увеличивается практически повсеместно, особенно на ЕЧР. Очевидно, увеличение количества жидким и смешанных осадков происходит из-за уменьшения количества твердых, связанного с повышением температуры воздуха в соответствующих регионах.

Пространственное распределение изменений во времени продолжительности осадков разных градаций интенсивности за период 1976—2010 гг. (рис. ТР1.9) демонстрирует тенденцию увеличения территорий с положительными трендами продолжительности осадков и, соответственно, сокращения с их отрицательными значениями.

Снежный покров

Наибольшее число дней 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 территории страны снег лежит более 100 дней в году. Максимальное накопление снега за зимний период, в среднем за период наблюдений, обнаружено на северо-востоке ЕЧР, в Западной Сибири и на Камчатке (более 80 см).

В последние десятилетия, на фоне глобального повышения температуры и сокращения площади морского льда в Северном полушарии, наблюдаются значительные изменения высоты снежного покрова на территории России. Пространственное распределение локальных оценок трендов на территории России, рассчитанных непосредственно по данным станционных наблюдений за 1966—2012 гг. и характеризующих тенденцию (среднюю скорость) изменений максимальной за зимний период высоты снежного покрова, показано на рис. ТР1.10. Тренд рассчитан методом наименьших квадратов и выражен в сантиметрах за 10 лет. На зна-

чительной территории в Западной и Восточной Сибири, на побережье Охотского моря и юге Дальнего Востока, в центральных и северо-восточных областях ЕЧР обнаружена тенденция увеличения максимальной за зиму высоты снежного покрова. В то же время в Забайкалье из-за уменьшения количества твердых осадков и значительного повышения весной температуры 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 на востоке Якутии. На северо-востоке Сибири в последние годы при резких межгодовых колебаниях преобладают поздние даты установления и ранние даты схода снежного покрова. В табл. ТР1.2 представлены изменения характеристик снежного покрова в процентах от среднемноголетних значений в климатических регионах, выбранных на основании классификации Алисова.

На большей части России, за исключением степных зон Северного Кавказа и Западной Сибири, а также южной “муссонной” части Дальнего Востока, наблюдается уменьшение продолжительности наличия ледяной корки под снежным покровом и ее максимальной толщины. В центре Восточной Сибири и в горном районе Алтай — Саяны обнаружено статистически значимое уменьшение случаев потенциально опасных ледяных корок, которые при толщине более 5 мм наблюдаются непрерывно в течение не менее 10 дней (рис. ТР1.11). Другое критическое состояние ледяных корок (толщина более 20 мм) практически никогда не наблюдалось восточнее Енисея. Поэтому оценки трендов для обоих критериев потенциально опасного состояния ледяной корки были получены в атлантическом секторе Арктики и сельскохозяйственных районах ЕЧР. За последние четыре десятилетия по данным спутниковых наблюдений на территории России площадь снежного покрова в переходные сезоны года уменьшается.

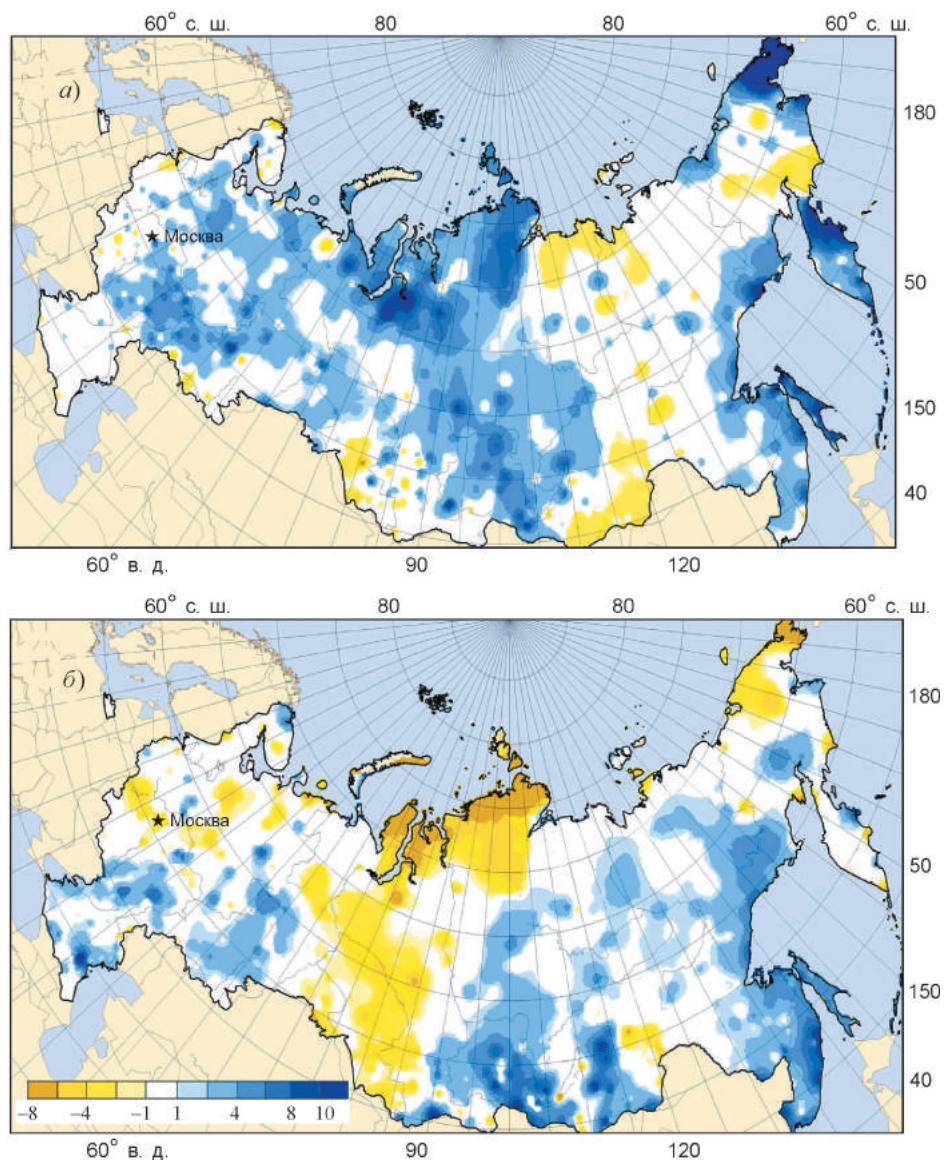


Рис. ТР1.10. Коэффициенты линейного тренда максимальной за зимний период высоты снежного покрова (а; см/10 лет) и числа суток со степенью покрытия снегом окрестностей станций более 50% (б; сутки/10 лет). Оценки за период 1966—2012 гг.

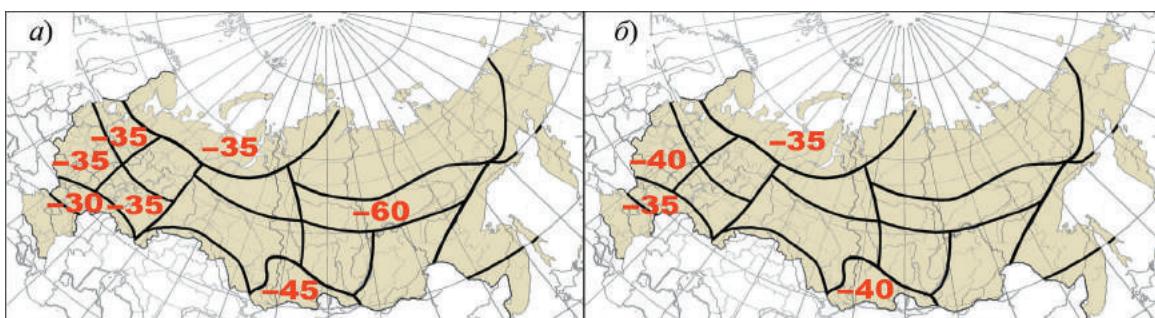


Рис. ТР1.11. Коэффициенты линейного тренда числа суток с ледяной коркой, которая при толщине более 5 мм наблюдалась в течение не менее 10 суток (а) и с толщиной более 20 мм (б) в холодный период на территории России (%/10 лет). Тренды представлены только для районов, где они статистически значимы на 5%-ном уровне. Оценки проведены для 1966—2012 гг.

Таблица ТР1.2. Коэффициенты линейного тренда (%/10 лет) во временных рядах осредненных по регионам характеристик снежного покрова за период 1966—2012 гг. (статистически значимые на 5%-ном уровне)

Район	H_{\max}	H_{mean}	Nd	SWE_1	SWE_2
Север ЕЧР и Западной Сибири	4.4	3.7			
Северная часть Восточной Сибири и Якутии	2.3	3.5			
Чукотка и север Камчатки	5.4	6.0			
Восточно-Европейская равнина северо-запад				5.5	
северо-восток	3.2			5.2	
юго-запад					
юго-восток	5.9				
степная часть					
Северный Кавказ					
Западная Сибирь северная часть лесной зоны	5.1	4.5			-3.1
южная часть лесной зоны	3.3		-0.7	4.4	
степная зона			-1.1		-4.8
Алтай и Саяны					
Центр Восточной Сибири	2.9	3.7	0.9		
Бассейн Ангары	8.8	7.5			
Забайкалье				3.2	
Дальний Восток (между 50 и 60° с. ш.)	7.1	10.7	2.0	2.2	
Дальний Восток (южнее 60° с. ш.)	8.0	11.2	4.4	8.3	

Примечание. H_{\max} — максимальная за зимний период высота снежного покрова; H_{mean} — средняя за зимний период высота снежного покрова; Nd — число дней со снежным покровом; SWE_1 и SWE_2 — соответственно запас воды в снеге в поле и в лесу.

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 (рис. ТР1.12). Увеличивается частота появления 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.

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 неоднозначны и, в основном, слабо выражены. При этом на фоне увеличения общего влагодержания атмосферы, связанного с повышением температуры воздуха, на большей части территории России отмечается тенденция к уменьшению величины аэрозольной составляющей мутности атмосферы (рис. ТР1.13).

Анализ климатических изменений потоков коротковолновой суммарной и прямой солнечной

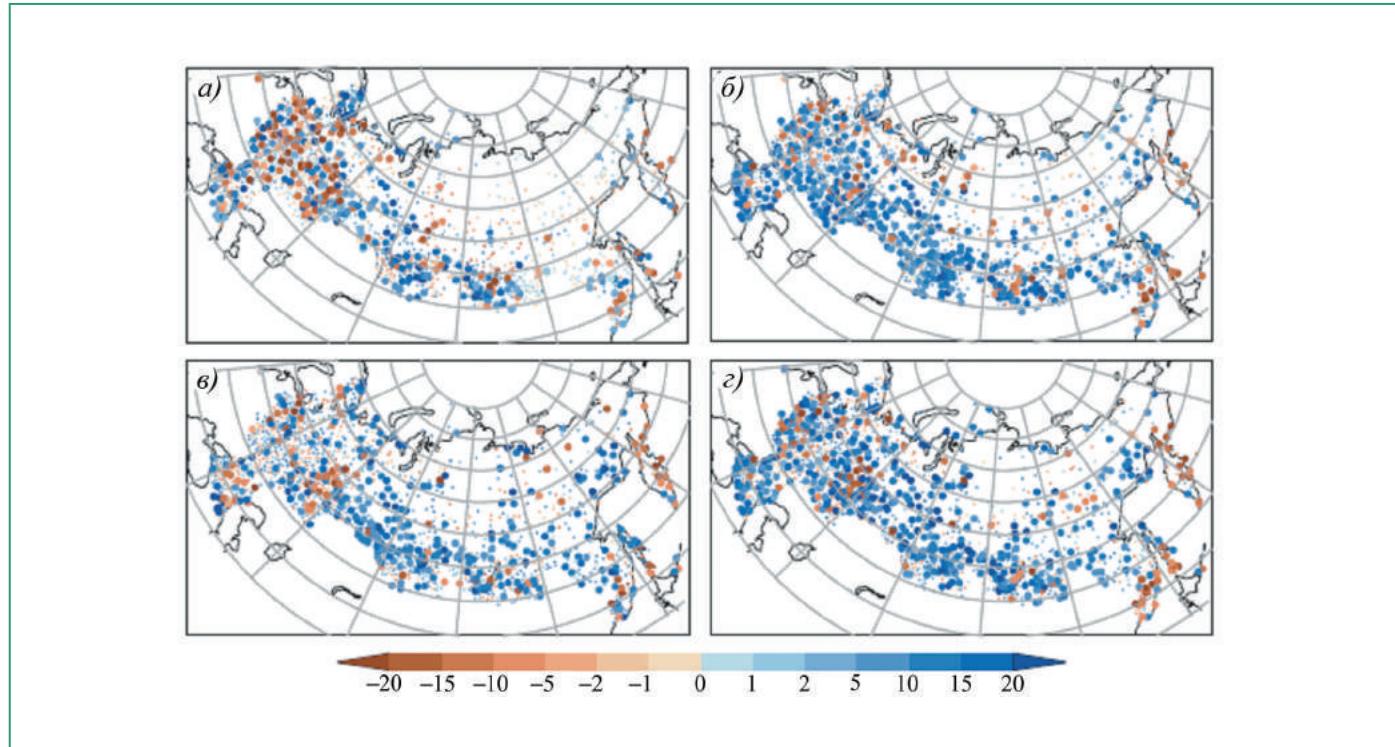


Рис. ТР1.12. Изменение повторяемости облаков Cb (%) в 2001—2010 гг. по отношению к 1991—2000 гг.: а) зима; б) весна; в) лето; г) осень.

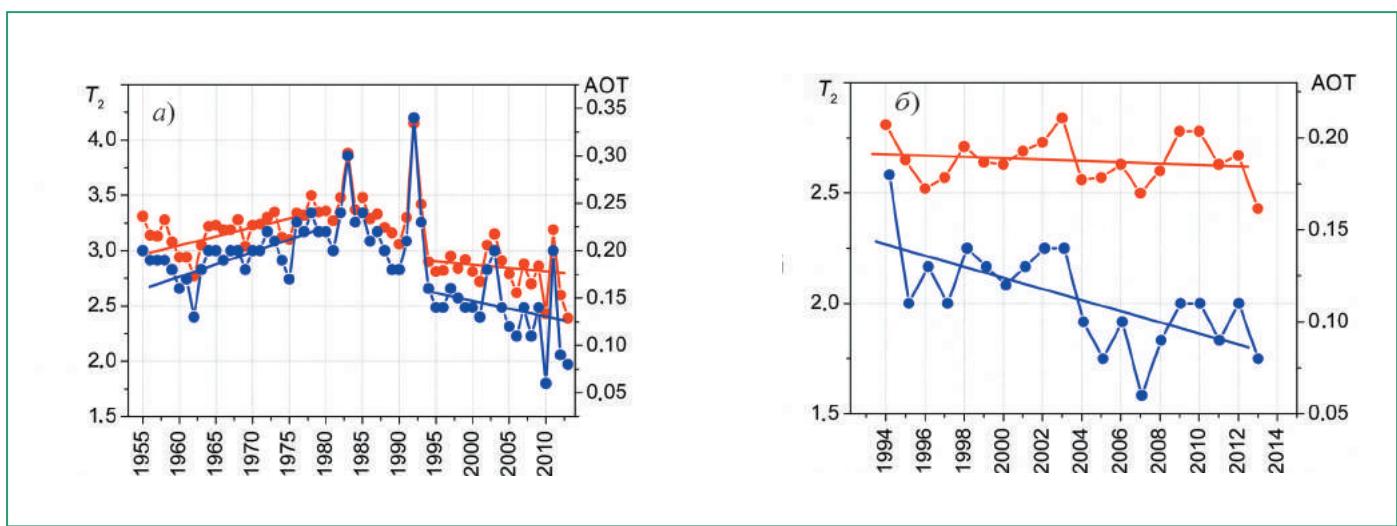


Рис. ТР1.13. Средние годовые значения интегральной мутности атмосферы T_2 (красный цвет) и аэрозольной оптической толщины АОТ (синий цвет), осредненные по территории ЕЧР (а) и Западной Сибири (б). Прямые — линейные тренды.

радиации у земной поверхности при реальных условиях облачности демонстрирует единство хода векового хода сезонных аномалий, осредненных по территории России (рис. ТР1.14). Это свиде-

тельствует о крупномасштабности воздействия, приведшего к пониженным значениям солнечной радиации в последней четверти XX в. на территории России. В начале XXI в., и особенно в по-

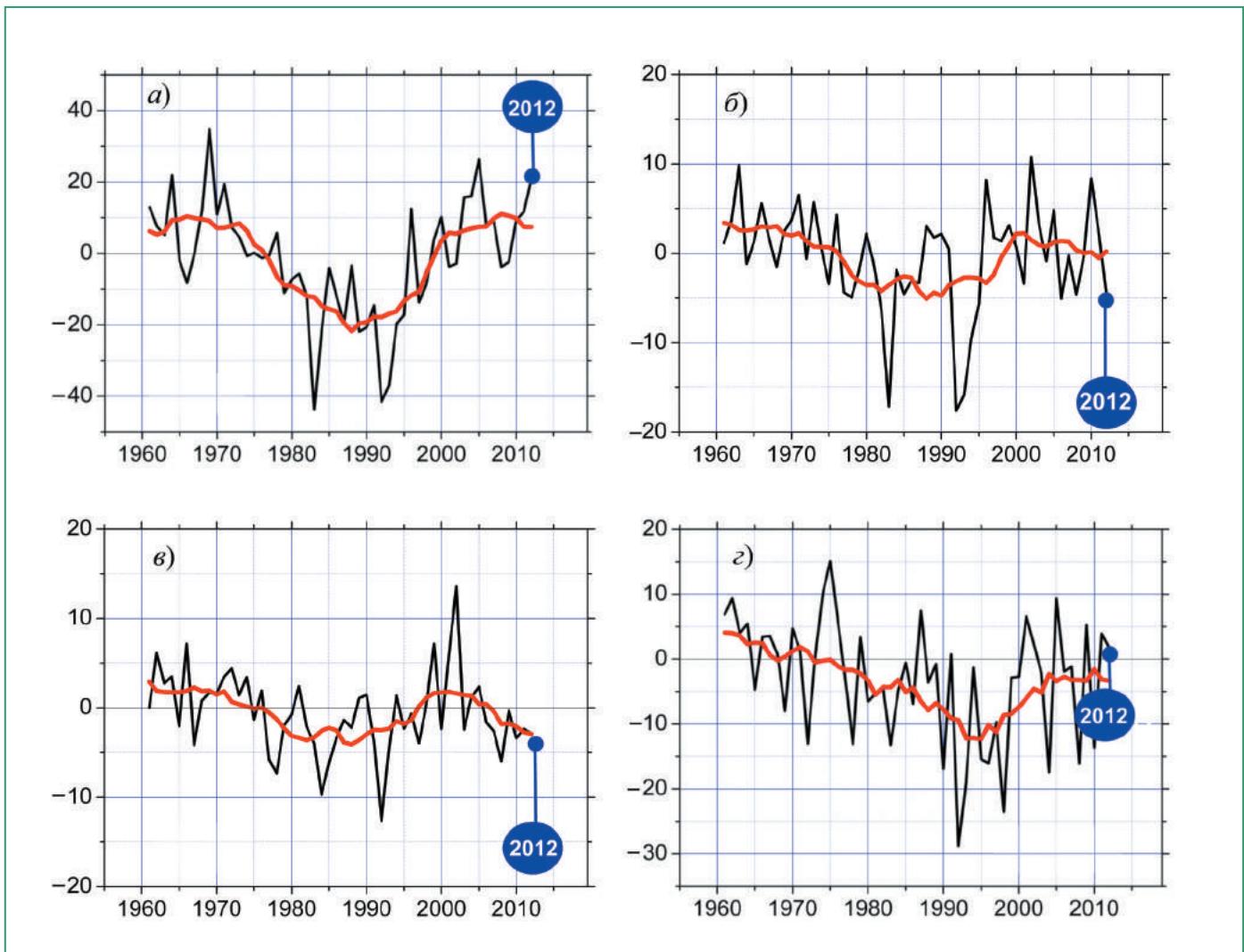


Рис. ТР1.14. Аномалии (% от среднего за 1961—1990 гг.) сезонных сумм прямой радиации, приходящей к земной поверхности, осредненные по территории Российской Федерации за период 1961—2012 гг.: а) зима; б) весна; в) лето; г) осень.

следние годы (2006—2012 гг.), регистрируемые аномалии близки к нулю и значительно отстоят от экстремально низких значений, достигнутых в начале 1990-х годов.

Результаты оценки трендов прямой и суммарной радиации для двух последовательных периодов — 1961—1985 и 1986—2010 гг. — демонстрируют повсеместное уменьшение поступления солнечной радиации (рис. ТР1.15) в 1960—1980-х годах, согласующееся с глобальной тенденцией. Вместе с тем тенденция к увеличению поступления солнечной радиации, проявившаяся к концу XX в., не оказалась долговременной на всей территории России.

В ЕЧР, 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, наблюдавшихся в 1960-х годах. В некоторых регионах АЧР после 2000 г. возобновилась тенденция к уменьшению средних годовых значений прямой и суммарной радиации, регистрируемая также на территории Китая и Монголии. Наиболее ярко это проявляется в Средней Сибири.

По результатам наблюдений, в Москве отмечается тенденция к увеличению ночных часовых сумм радиационного баланса, уменьшение числа суток с отрицательными суммами радиационного баланса, а также увеличение месячных сумм радиационного баланса, наиболее выраженное в зимний и переходный сезоны.

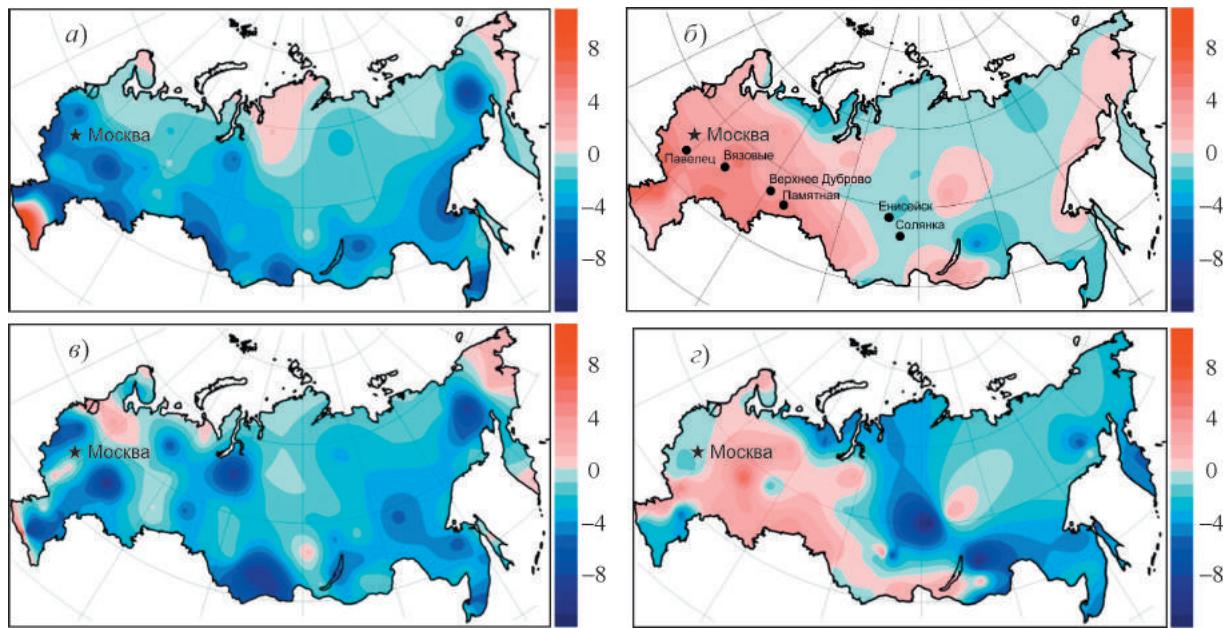


Рис. ТР1.15. Изменение ($\text{Вт}/\text{м}^2$ за 10 лет) прямой (а, б) и суммарной (в, г) радиации, приходящей к земной поверхности в среднем за год в периоды 1961—1985 гг. (а, в) и 1986—2010 гг. (б, г).

Атмосферная циркуляция

Индексы крупномасштабной атмосферной циркуляции. Для территории России наибольший интерес представляют североатлантическое колебание (САК), восточноатлантическое колебание (ВАК) и арктическое колебание (АК).

При положительной фазе САК происходят усиление зонального переноса, смещение в северо-восточном направлении траекторий циклонов и ослабление их активности над Европой. Колебание ВАК, в отличие от САК, характеризуется большим числом циклонов и их большей интенсивностью как в полярных широтах при положительной фазе, так и в умеренных широтах при отрицательной фазе развития ВАК. Индекс АК характеризует градиент давления между средними широтами и полярной областью, определяет интенсивность зональной циркуляции в тропосфере и циркуляционного вихря в стратосфере. Коэффициент корреляции между арктическим индексом циркуляции и индексом САК превышает 0.9. Из трех перечисленных индексов с аномалиями температуры воздуха на территории России теснее других связан индекс арктического колебания (рис. ТР1.16).

Широко известно явление Эль-Ниньо (Ла-Нинья), знак и интенсивность которого характеризуются индексом ЭНЮК (Эль-Ниньо — южное колебание). Существенной связи между явлением Эль-Ниньо и метеорологическим режимом на территории России не выявлено.

Циклоны и антициклоны. Анализ характеристик внётропических циклонов с использованием разных методов их идентификации и разных вариантов реанализа (NCEP/NCAR, ERA-40, ERA-INTERIM) показал определенное превышение числа летних внётропических 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. Циклоны Северного полушария формируются вблизи восточных побережий Азии и Северной Америки; во время существования они перемещаются к северо-востоку и заполняются около Аляскинского залива. Выявлена тесная корреляция между повторяемостью атлантических циклонов и индексом САК.

В зимние сезоны в течение второй половины XX в. в Северной Америке, Северной Атлантике и в Западной Европе отмечено ослабление циклонической активности и, напротив, усиление анти-

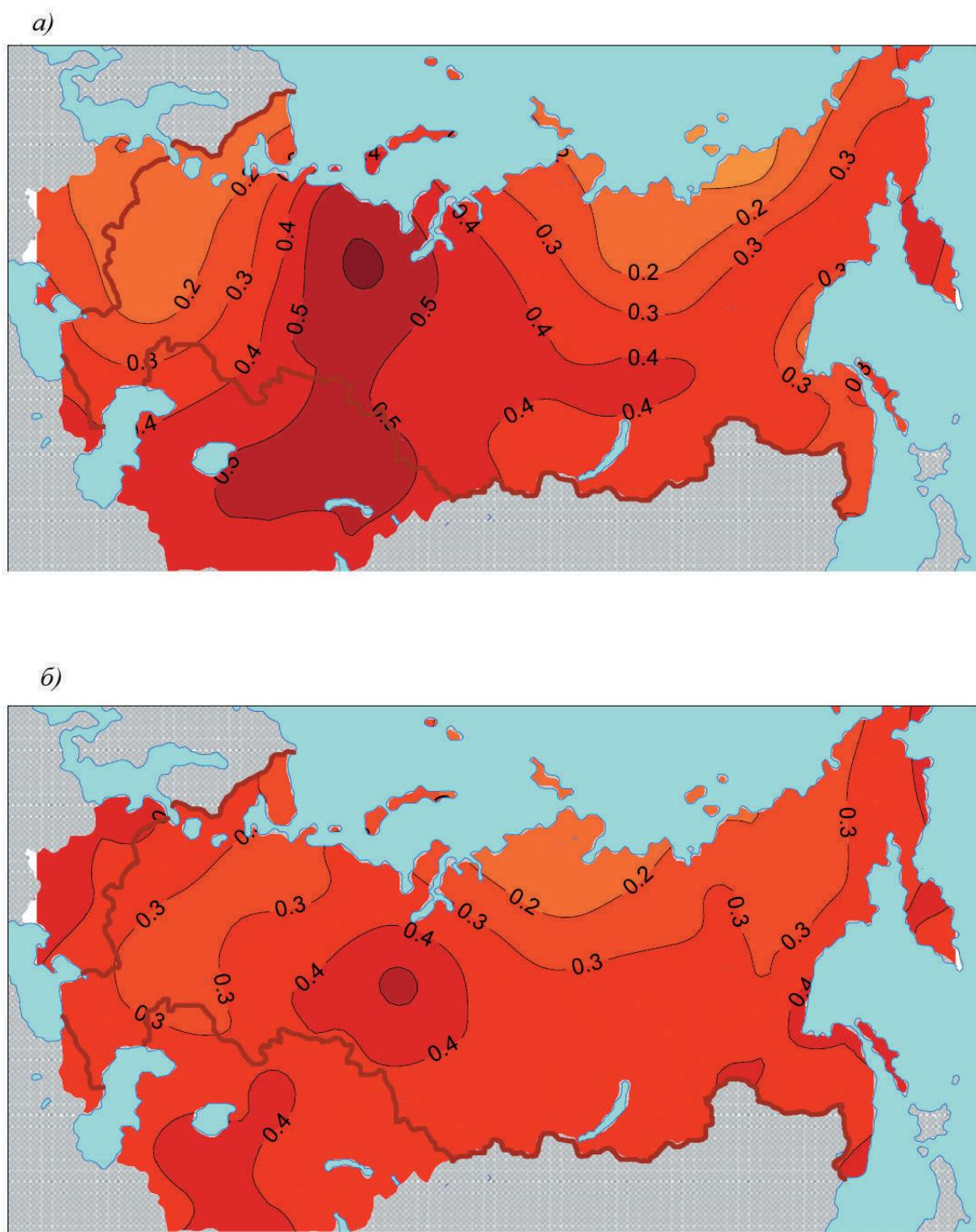


Рис. ТР1.16. Географическое распределение асинхронных коэффициентов корреляции между индексом арктического колебания зимой и полями аномалий температуры воздуха в июне (а) и августе (б) в период 1951—2010 гг.

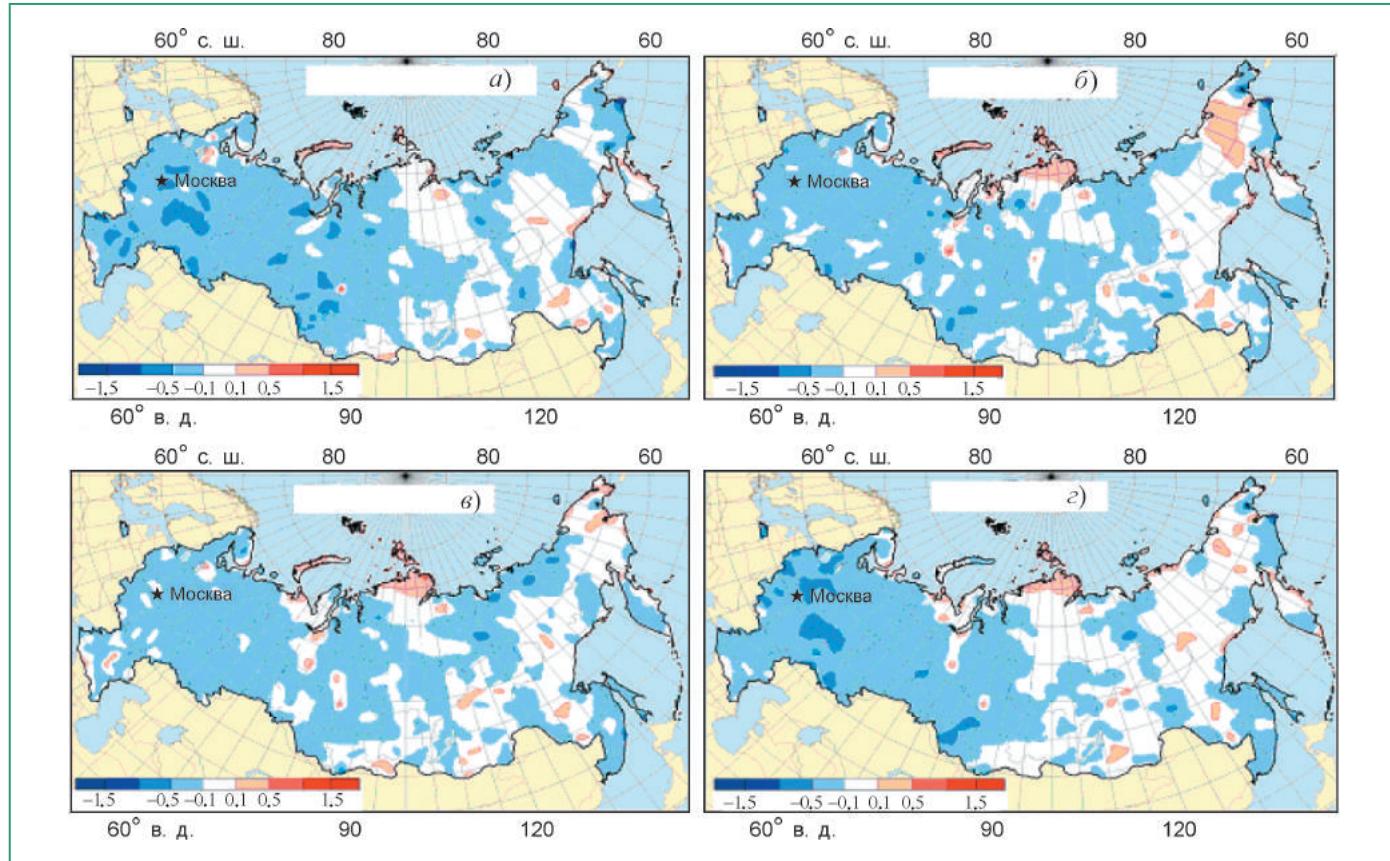


Рис. ТР1.17. Распределение локальных коэффициентов линейного тренда скорости приземного ветра (м/с за 10 лет) на территории России в период 1977—2011 гг. зимой (а), весной (б), летом (в) и осенью (г).

циклоничности. Обнаружено также уменьшение повторяемости циклонов над Черным морем и увеличение ее в Арктике.

На основе ежедневных синоптических карт для восьми районов Атлантико-Европейского сектора за период 1891—2012 гг. (ряды индексов Вительса) выявлено характерное для всех районов увеличение числа глубоких циклонов до 1975 г. и последующее уменьшение их в период интенсивного потепления (некоторые авторы связывают его с увеличением парникового эффекта после 1975 г.).

Скорость приземного ветра. Основной тенденцией в изменении скорости ветра в течение 1936—2006 гг. было ее уменьшение почти на всей территории России (особенно на ЕЧР, где тренд достигал $-0.3\ldots-0.6$ м/с за 10 лет) при увеличении повторяемости слабого ветра (до 3 м/с) и уменьшении повторяемости более сильного ветра ($6\ldots7$ м/с и более).

Анализ рядов скорости ветра по данным 1457 метеорологических станций России за 1977—

2011 гг. показал, что на большей части страны (особенно на ЕЧР и в Западной Сибири) скорость ветра продолжает уменьшаться, особенно зимой и весной (рис. ТР1.17). 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.

Блокирующий антициклон. 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 наблюдается 73% общего числа блокингов. Время их существования — 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) — лет-

ние. 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. Однако этот вывод требует дополнительного подтверждения.

Типизация атмосферных процессов. В середине XX в. отечественными синоптиками широко использовались две типизации атмосферных процессов в Северном полушарии: Вангенгейма — Гирса и Дзердзеевского.

В типизации Вангенгейма — Гирса выделены три основные формы циркуляции: западная (W), восточная (E) и меридиональная (C). Западная форма тесно связана с увлажнением ЕЧР и уровнем Каспийского моря. С середины 1970-х годов повторяемость формы W увеличивается, что совпадает с периодом интенсивного потепления климата и с наметившейся тенденцией (с 2006 г.) очередного понижения уровня Каспийского моря.

Согласно типизации Дзердзеевского, выделены три циркуляционные эпохи: меридиональная северная (антициклоны с севера и блокирующие процессы), зональная и меридиональная южная с характерными выходами южных циклонов. В период интенсивного потепления прослеживается увеличение продолжительности меридиональной северной циркуляции. Такая синоптическая ситуация чревата увеличением повторяемости зимних морозов и летних засух.

Экстремальность климата

Экстремальные явления погоды (наводнения, ураганы, засухи и т. д.) вызывают повышенный интерес вследствие потенциально негативного и во многих случаях катастрофического характера воздействия на природные и техногенные системы. Ряд соображений общего характера свидетельствует о возможности изменения частоты и (или) интенсивности некоторых экстремальных явлений вследствие наблюдающегося глобально-го потепления, причем сравнительно небольшие по величине изменения средних величин могут приводить к значительным изменениям статистики экстремумов.

Для температуры изменение средних означает общее смещение распределения, в том числе

на его “хвостах”, т. е. в области экстремальных значений. Если общая изменчивость (дисперсия) остается постоянной, то изменения статистики экстремумов весьма просты: например, при потеплении повторяемость значений, превосходящих заданные пороги, увеличивается, а значений меньше пороговых — уменьшается. Однако если изменяется дисперсия (возможно, в связи с изменениями атмосферной циркуляции), то ситуация заметно усложняется: результирующие изменения (причем как величина, так и даже знак) статистик экстремумов зависят и от изменений дисперсии.

При потеплении изменения влагосодержания атмосферы и некоторых параметров атмосферной устойчивости и характеристик циркуляции могут приводить к географически и сезонно неоднородным изменениям частоты сильных осадков. С атмосферной циркуляцией тесно связаны и другие экстремальные явления. Значительные долгопериодные изменения циркуляции, возникающие вследствие естественной климатической изменчивости либо обусловленные антропогенными факторами, заставляют уделять особое внимание географическому распределению наблюдаемых изменений экстремумов. Краткая сводка изменений, наблюдавшихся в статистике экстремальных явлений в последние десятилетия, приведена в табл. ТР1.3.

Следует отметить сезонные особенности изменения экстремальных значений температуры (рис. ТР1.18). Так, летом сезонные пороговые значения экстремумов суточной температуры (процентили P_5 и P_{95}) практически повсеместно увеличиваются в соответствии с трендом глобального потепления.

В то же время зимой наблюдается весьма неоднородная картина, в которой присутствуют значительные области убывания значений пороговых процентилей. Анализ показывает, что это лишь частично связано с неоднородностью зимнего потепления (вызванной, по-видимому, изменениями атмосферной циркуляции) и только качественно объясняется совместным изменением средних и дисперсий. Если для летнего сезона наблюдаемые изменения P_5 и P_{95} адекватно описываются изменениями квантилей гауссова распределения за счет изменения среднего и дисперсии, то для зимы наблюдаются очень серьезные отклонения,

Таблица ТР1.3. Наблюдаемые изменения некоторых показателей экстремальности климата на территории России в период глобального потепления

Показатель климатических экстремумов	Изменения на территории России
T_{\min} , T_{\max} — годовые минимумы и максимумы температуры воздуха	Увеличение T_{\min} и T_{\max} наблюдается на большей части территории. Уменьшение T_{\min} (усиление морозов) отмечено в Северо-Кавказском федеральном округе, на юге Западной Сибири и Забайкалья, а T_{\max} — на Южном Урале, в Сибири и на Дальнем Востоке
Экстремумы тепла	Во все сезоны преобладает увеличение числа дней с аномально высокой температурой воздуха (<i>выше процентиля P_{95}</i>), наиболее заметное летом на АЧР. Летом повсеместно увеличиваются значения сезонных положительных экстремумов P_{95} (рис. ТР1.18): максимумы — на юго-западе ЕЧР, в регионе Байкала, на Чукотке. Зимой — значительное уменьшение на северо-востоке страны
Экстремумы холода	<i>Суммарное число суток с морозом FD</i> уменьшается в целом за год и в переходные сезоны почти повсеместно, особенно осенью. Во все сезоны преобладает уменьшение числа суток с экстремально низкой температурой воздуха ночью (<i>ниже P_5</i>). Увеличение отмечается зимой на Средней Волге, юге Западной Сибири и в южных районах Забайкалья. Значения сезонных экстремумов (P_5 <i>сезонной выборки</i>) суточной температуры летом увеличиваются почти повсеместно, зимой уменьшение P_5 (усиление холодов) отмечается на востоке Северного Кавказа и на севере Западной Сибири; максимум увеличения в оба сезона — на западе ЕЧР (рис. ТР1.18)
Сильные осадки	Число суток с аномально большим количеством осадков (≥ 10 мм; <i>выше P_{95}</i>) зимой увеличивается на большей части ЕЧР, но летом — уменьшается в восточной части ЕЧР, на Урале и на большей части Северо-Кавказского и Южного федеральных округов (рис. ТР1.19)
Число суток без осадков	Увеличение числа суток без осадков: зимой на большей части страны, летом на большей части ЕЧР, на Камчатке и Чукотке
Волны тепла и холода	В западной части Российской Федерации число волн тепла, их продолжительность и интенсивность во все сезоны имеют тенденцию к увеличению, а аналогичные характеристики волн холода — к уменьшению
Засушливые условия	Отмечается увеличение значений показателей засушливости во многих частях земледельческой зоны России. Во многих регионах увеличивается число дней с экстремально низкими значениями влагосодержания пахотного слоя почвы
Опасные гидрометеорологические явления	Значительное увеличение числа опасных гидрометеорологических явлений на территории Российской Федерации в течение 1996—2012 гг., в том числе нанесших значительный ущерб экономике и населению (рис. ТР1.20)
Атмосферное электричество и грозы	Изменения грозовой активности изучены недостаточно. По ограниченным данным, на юго-востоке Западной Сибири и на территории Горного Алтая в последние десятилетия однодirectionalных тенденций не наблюдается

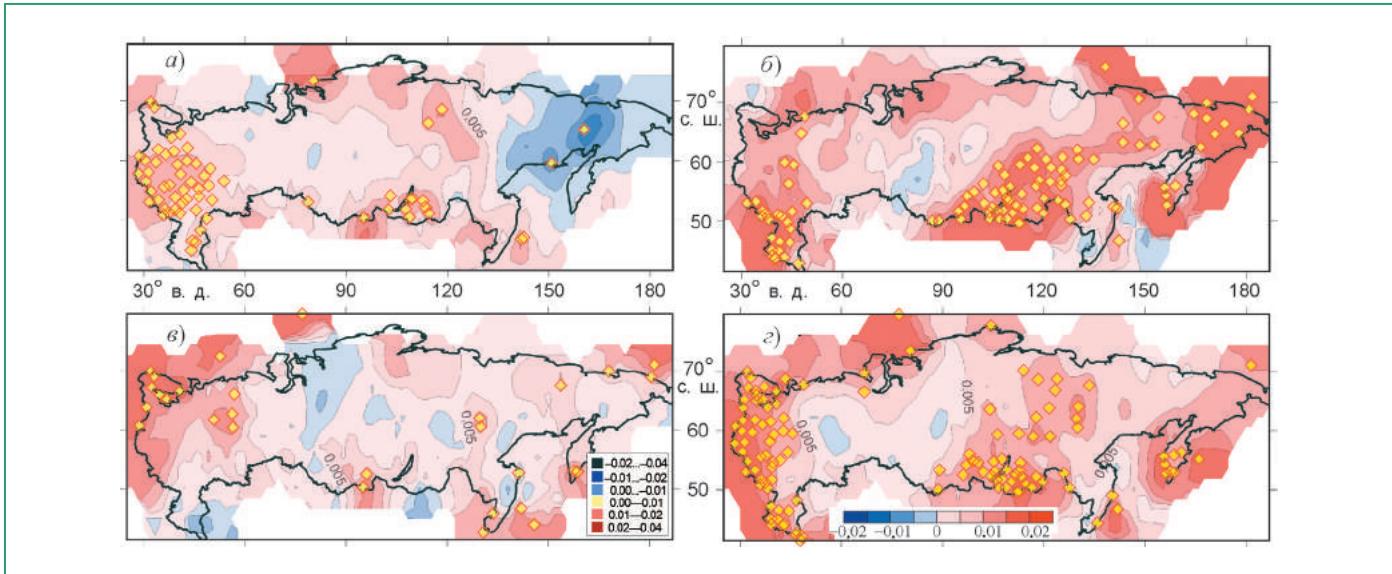


Рис. ТР1.18. Изменения процентилей P_{95} (а, б) и P_5 (в, г) нормированной аномалии температуры зимой (а, в) и летом (б, г) (линейный тренд за 1976—2009 гг.). Аномалии рассчитаны относительно годового хода за 1976—2009 гг. Шаг изолиний: 0.005 год⁻¹. Желтым цветом выделены станции, где тренд значим на уровне 5%.

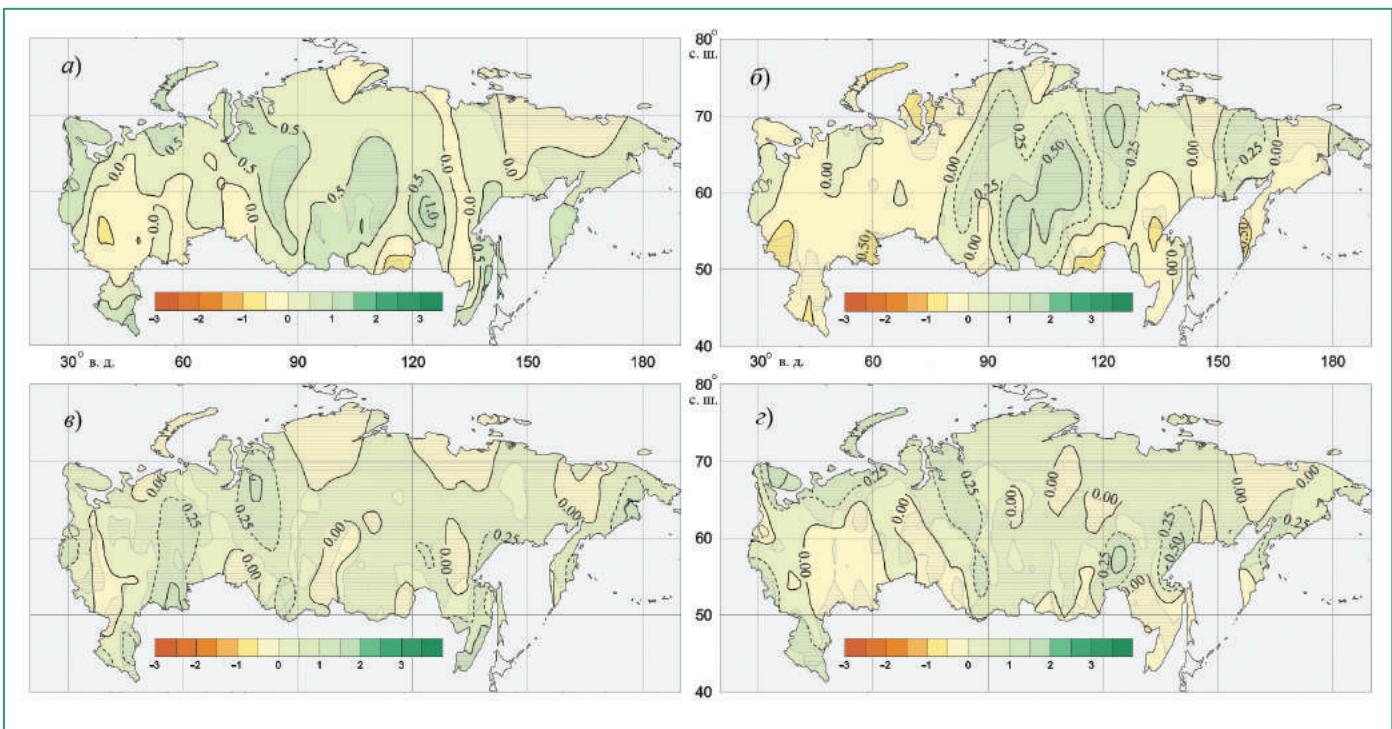


Рис. ТР1.19. Географическое распределение коэффициента линейного тренда за период 1976—2010 гг. индекса R_{10} (число суток с осадками не менее 10 мм), сутки/10 лет: год (а), весна (б), лето (в), осень (г).

причины которых неясны и требуют дальнейшего изучения.

Осадки. На большей части ЕЧР зимой отмечается увеличение числа суток с аномально большими осадками (≥ 10 мм), а летом — напротив, их

уменьшение (рис. ТР1.19). Число суток без осадков зимой увеличивается на большей части страны, а в летний сезон — на большей части ЕЧР, на Камчатке и Чукотке.



Рис. ТР1.20. Суммарное за год число гидрометеорологических опасных явлений на территории России, нанесших значительный ущерб экономике и населению, за период 1996—2012 гг.

Засушливые условия. Отмечается увеличение засушливости на значительной части земледельческой зоны России. Во многих регионах увеличивается число суток с экстремально низким влагосодержанием пахотного слоя почвы.

Опасные гидрометеорологические явления. С 1996 по 2012 г. на территории России наблюдалось значительное увеличение числа гидрометеорологических опасных явлений (ОЯ), в том числе нанесших значительный ущерб экономике и населению (рис. ТР1.20).

Климат Арктики

Присутствие океана и морского льда в центре Арктики определяет формирование арктического климата и его влияние на глобальный климат. Поэтому изменениям климата в морской Арктике

всегда уделяется повышенное внимание. К морской Арктике здесь отнесены морская часть арктической зоны Российской Федерации и остальные акватории Северного Ледовитого океана, покрываемые льдом в зимний период.

Климат Арктики формируется в условиях значительно меньшего притока тепла от Солнца, чем климат неполярных областей. В значительной части этот дефицит восполняется адвекцией тепла в результате циркуляции атмосферы и в меньшей степени океана (табл. ТР1.4). При этом средний поток тепла из океана, по сравнению с более ранними оценками, увеличился ($11 \text{ Вт}/\text{м}^2$ против $2.4 \text{ Вт}/\text{м}^2$).

В морской Арктике преобладает антициклоническая циркуляция, нарушающая вторжением циклонов. В середине 1990-х годов произошла

Таблица ТР1.4. Составляющие энергетического баланса атмосферы ($\text{в Вт}/\text{м}^2$) к северу от 70° с. ш.

Период	УДР	M_a	M_o	Невязка
Январь	-175	108	56	-11
Июль	11	94	-85	20
Год	-110	100	11	1

Примечание. УДР — уходящее длинноволновое излучение на верхней границе атмосферы; M_a — адвекция энергии в атмосфере; M_o — приток из океана. Рассчитаны по данным реанализа ERA-40.

перестройка системы циркуляции, при которой сформировались циклоническая циркуляция над Карским морем и морем Лаптевых и область повышенного давления над Канадским Арктическим архипелагом и Гренландией. Летом такая циркуляция сопровождается повышением температуры воздуха, усилением таяния льда и его выноса за пределы Арктического бассейна. Зимой смещение путей циклонов из Атлантики в направлении Баренцева и Карского морей приводит к аномально холодным периодам в Европе и Восточной Азии.

Изменения температуры воздуха над областью морской Арктики характеризуются ее быстрым повышением с конца 1990-х годов с абсолютным рекордом летом 2012 г. (рис. ТР1.21).

При некотором уменьшении прямой радиации в Арктике отмечается увеличение суммарной радиации вследствие увеличения облачности и нисходящей длинноволновой радиации. Последнее способствует более раннему началу и усилению

таяния морского льда, поскольку уменьшает альбедо в период максимума в притоке солнечной радиации.

Сокращение площади морского льда является наиболее обсуждаемым проявлением современного потепления в Арктике. Данные о площади льда в сибирских арктических морях летом восстановлены в Арктическом и антарктическом научно-исследовательском институте (ААНИИ) Росгидромета с 1924 г. Современный период эволюции морского ледяного покрова в Арктике хорошо документирован по данным измерений со спутников, которые показывают постепенное сокращение его площади летом с начала наблюдений в 1979 г., ускорившееся с конца 1990-х годов. В сентябре 2012 г. был достигнут абсолютный минимум площади — 3.37 млн. км². При этом сокращение площади льда летом согласуется с повышением температуры воздуха в морской Арктике (рис. ТР1.22).

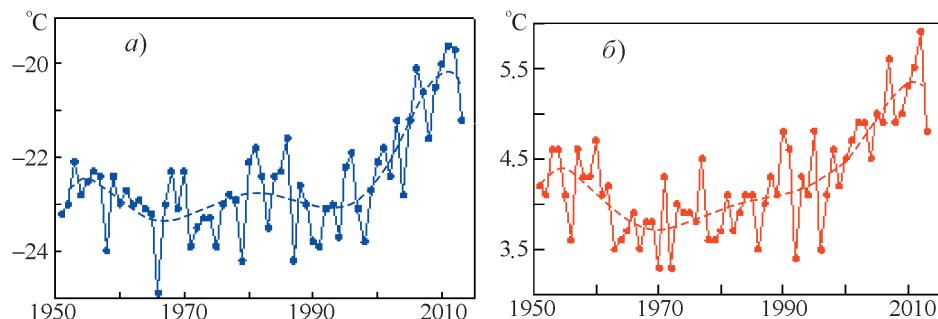


Рис. ТР1.21. Изменение средней температуры воздуха в морской Арктике за период 1951—2013 гг.: а — зима (декабрь — февраль); б — лето (июнь — август). Штриховая линия — аппроксимация ортогональным полиномом шестой степени.

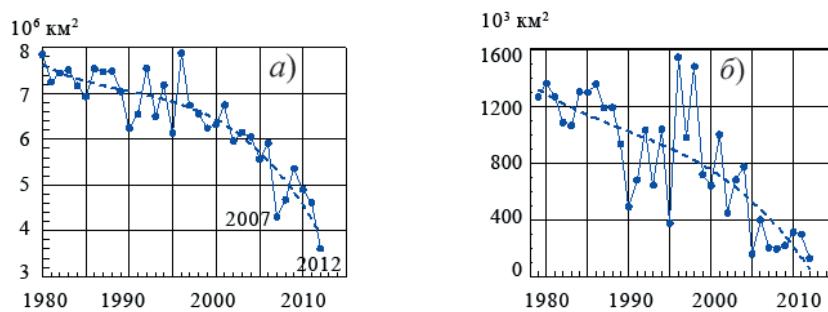


Рис. ТР1.22. Средняя площадь морского льда в сентябре в Арктике (а; по данным Национального центра данных о снеге и льде, США, NSIDC) и в сибирских арктических морях (б; по данным ААНИИ) в 1980—2012 гг. Штриховая кривая — аппроксимация полиномом третьей степени.

Толщина морского льда в Арктическом бассейне также уменьшилась с 1980-х годов в среднем более чем на 40%, главным образом, вследствие сокращения количества многолетних льдов.

Для формирования климата морской Арктики важным процессом является поступление теплой и соленой воды из Северной Атлантики, составляющую часть глобального океанического конвейера, связывающего океаны. Потепление в слое атлантической воды в Арктическом бассейне началось с пролива Фрама в конце 1980-х годов. В последние годы повышенные значения температуры сохраняются, однако наметилась тенденция к их уменьшению, заметная по данным инструментальных наблюдений в проливе Фрама за поступлением атлантической воды в Арктический бассейн.

Непосредственной причиной усиленного потепления климата Арктики в последние два десятилетия является увеличение поступления тепла и влаги с циркуляцией атмосферы, сопровождающееся увеличением притока длинноволновой радиации к земной поверхности, накоплением тепла все более освобождающейся ото льда акваторией Северного Ледовитого океана, выносом большего количества льда за пределы Арктического бассейна и переходом к преобладанию однолетних льдов. Первопричина же связана с увеличением притока тепла в область избыточного нагревания в низких широтах вследствие антропогенного и естественного радиационного воздействия, которое ведет к интенсификации переноса энергии циркуляцией атмосферы и в меньшей степени океана.

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*. 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 впе-

чатление о ее “молодости”. Между тем теория парникового эффекта, исследования его роли в формировании и изменении глобального климата имеют, по-видимому, почти двухвековую историю. 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 углекислого газа 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 направления исследований** и особенно его признанного лидера академика М. И. Будыко.

* Определение понятия “климат” обусловлено поставленной задачей. По этой причине определений климата много и они эволюционируют. Например, определение климата А. С. Монином 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 числа 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_1-РФ.

** 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...”.

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 причины наблюдаемых изменений климата.

В Четвертом оценочном докладе Межправительственной группы экспертов по изменению климата (2007 г.) в связи с этим констатируется: “Потепление не вызывает сомнений, и большая часть потепления последних 50 лет с вероятностью $> 90\%$ является следствием увеличения концентрации парниковых газов”. Кроме того, там же отмечено, что содержание парниковых газов в атмосфере достигло беспрецедентного уровня, и это вынуждает климат меняться. Влияние антропогенного воздействия на температуру приземного воздуха обнаруживается не только глобально, но и отдельно на каждом континенте, за исключением Антарктиды, где недостаточно данных наблюдений для достоверных выводов. Выявлено влияние человека на повышение температуры верхнего 700-метрового слоя Мирового океана.

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 гипотеза о том, что указанные изменения не могут быть вызваны другими физически возможными механизмами. В частности проверяется, не являются ли они проявлением естественной изменчивости, свойственной климатической системе.

Основой для оценки будущих изменений климата, а также установления причин наблюдаемых изменений являются расчеты с современными сложными климатическими моделями в рамках международного проекта CMIP5 (см. раздел 3).

Помимо других расчетов, с указанными моделями были выполнены эксперименты, направленные на установление причин наблюдаемых климатических изменений. В этих экспериментах раздельно учитывается влияние антропогенных и естественных внешних воздействий. К естественным внешним воздействиям, в частности, относятся изменения потока приходящей к верхней границе земной атмосферы солнечной радиации и изменения концентрации в атмосфере аэрозолей вулканического происхождения, а к антропогенным — изменения концентрации в атмосфере парниковых газов и аэрозолей антропогенного происхождения, а также изменения в землепользовании.

Сравнение результатов экспериментов по мульти модельным ансамблям с разными внешними воздействиями позволяет получить прямое визуальное представление о соответствии наблюдаемых изменений расчетным (рис. ТР2.1).

К настоящему времени выполнено довольно много работ, в которых используются формальные статистические методы для выделения вклада отдельных внешних воздействий на климатическую систему Земли в наблюдаемое глобальное потепление. Их общие выводы в целом согласуются. На их основе в Пятом оценочном докладе МГЭИК сделано заключение о том, что с вероятностью $> 95\%$ более половины наблюдаемого повышения средней глобальной приземной температуры в 1951—2010 гг. обусловлено антропогенным увеличением концентраций парниковых газов и другими антропогенными воздействиями. С вероятностью $> 66\%$ вклад парниковых газов в повышение глобальной температуры в эти годы находится в диапазоне от 0.5 до 1.3°C, в то время как вклад прочих антропогенных факторов, включая охлаждающий эффект аэрозолей, попадает в диапазон от -0.6 до 0.1°C. Вклад естественных факторов составляет от -0.1 до 0.1°C, а на долю внутренней изменчивости приходится от -0.1 до 0.1°C. Суммарный вклад всех рассматриваемых внешних воздействий довольно хорошо соответствует наблюдаемому потеплению за этот период (рис. ТР2.2).

Важное свидетельство антропогенного влияния на климат дает анализ изменений температуры в атмосфере по вертикали. В последние 50 лет наблюдается необычная вертикальная структура изменений температуры. Ее харак-

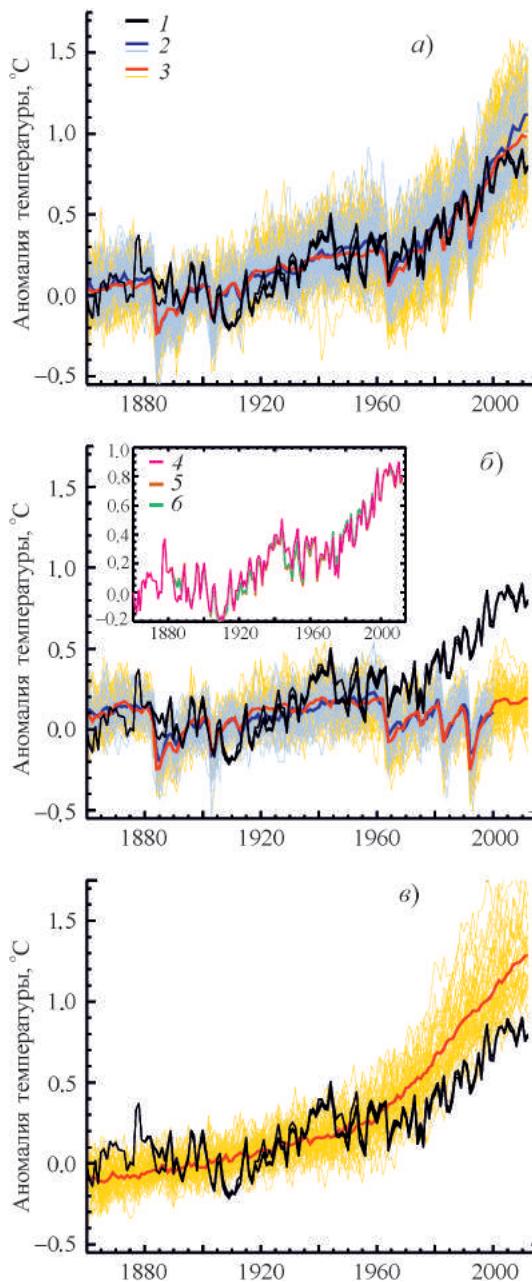


Рис. ТР2.1. Оценки средней глобальной приземной температуры по данным архивов наблюдений (1) и модельным расчетам по ансамблям CMIP3 (2) и CMIP5 (3) при учете антропогенных и естественных внешних воздействий (а), только естественных воздействий (б) и только влияния увеличения концентрации парниковых 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.

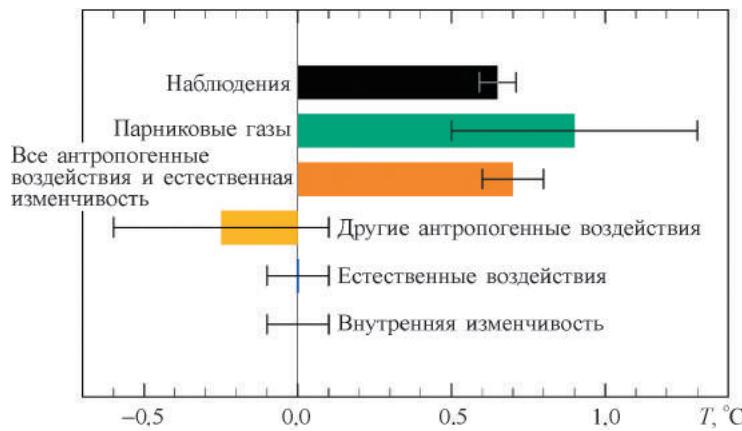


Рис. ТР2.2. Вероятностные границы (горизонтальные интервалы) и средние значения (цветные прямоугольники) оценок установленного вклада разных факторов в линейный тренд наблюдавшегося потепления в 1951—2010 гг. Тренд по данным архива HadCRUT4 показан черным цветом вместе с 5—95%-ным доверительным интервалом, учитывающим неопределенности в этом архиве. Рисунок из Пятого оценочного доклада МГЭИК.

терными чертами являются похолодание в стратосфере и потепление в тропосфере. Модельные расчеты показывают, что похолодание в стратосфере обусловлено в основном уменьшением озонового слоя, вызванного антропогенным воздействием, и, в меньшей степени, увеличением концентрации парниковых газов в атмосфере, которое в свою очередь обусловило потепление тропосферы. Кроме того, расчеты показали, что такую структуру потепления крайне маловероятно получить в результате только внутренних колебаний, присущих климатической системе Земли, или в ответ на естественные внешние воздействия, включая извержения вулканов и изменения потока приходящей солнечной радиации. Статистический анализ позволил с большой степенью уверенности идентифицировать антропогенный сигнал в изменениях температуры глобальной атмосферы, как по данным радиозондовых наблюдений, так и по данным спутникового зондирования атмосферы.

Мировой океан играет ключевую роль при рассмотрении изменений количества энергии, которое содержится в климатической системе Земли. На долю океана приходится 93% энергии, накопленной климатической системой за период с 1971 по 2010 г., который характеризует-

ся относительно большим числом наблюдений. Статистический анализ позволил выявить антропогенный сигнал в наблюдаемых изменениях температуры верхнего слоя океана. Причем ее наблюдаемые изменения не согласуются ни с предположением, что они вызваны внутренними колебаниями, присущими климатической системе, ни с предположением, что они являются следствием влияния изменений солнечной активности или извержений вулканов.

Изменения состояния морского льда в Арктике в последние десятилетия существенно выходят за границы ожидаемого диапазона, определяемого естественной изменчивостью. Однако в Антарктике площадь морского льда остается в целом в пределах естественной изменчивости, что согласуется с модельными экспериментами, учитывающими все внешние воздействия.

Таким образом, наблюдается одновременное увеличение запаса энергии всех основных компонентов климатической системы Земли. Причем амплитуда и пространственная структура наблюдаемого потепления в разных компонентах хорошо согласуются с ожидаемым по модельным расчетам откликом климатической системы Земли на антропогенные и естественные внешние воздействия.

Антропогенная составляющая изменений климата на территории России

Эволюция изменений температуры, наблюдаемая на территории России в XX в. — начале XXI в., демонстрирует существенное влияние

антропогенного воздействия. Основание для такого вывода дает сравнение данных наблюдений и трех ансамблей модельных расчетов, выполненных с помощью современных глобальных климатических моделей, участвовавших в международном проекте CMIP5 (рис. ТР2.3).

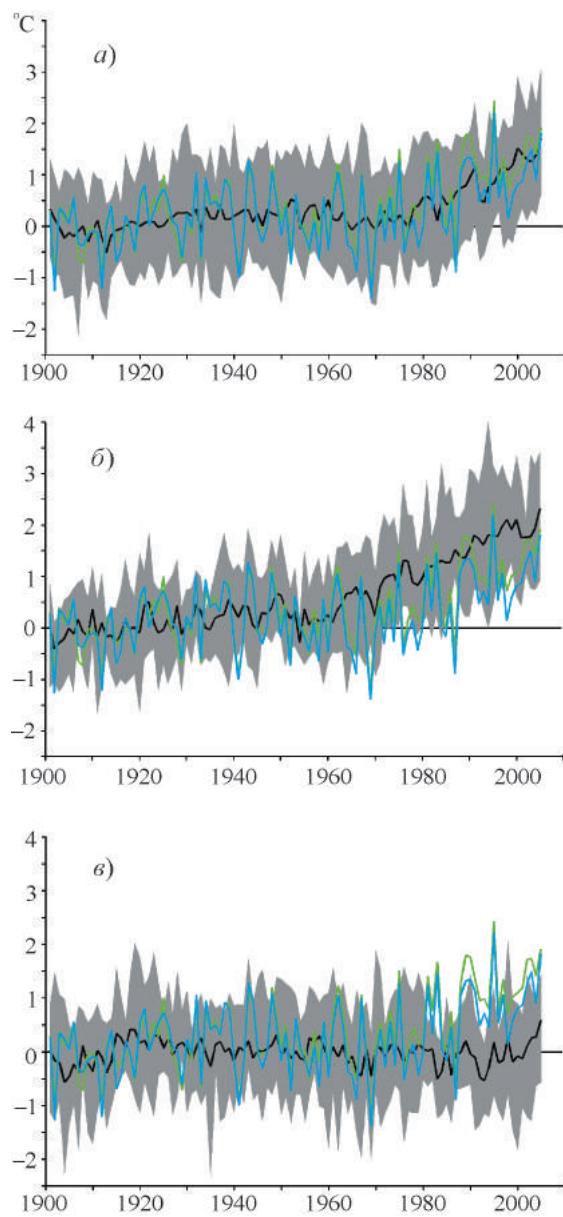


Рис. ТР2.3. Аномалии среднегодовой температуры приземного воздуха на территории России по данным наблюдений (зеленая и синяя кривые) и в среднем по ансамблям расчетов с моделями CMIP5 с учетом влияния всех внешних воздействий как естественных, так и антропогенных (а); только изменений концентрации основных 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 первом ансамбле в расчетах учитывалось влияние всех внешних воздействий как естественной, так и антропогенной природы (ансамбль Hist), во втором ансамбле учитывались только изменения в концентрации основных парниковых газов (ансамбль Hist-GHG), а в третьем ансамбле — только внешние воздействия естественной природы (ансамбль Hist-Nat). Визуально модельные расчеты с данными наблюдений лучше всего согласуются для ансамбля Hist. Основные изменения температуры на территории России начинают происходить с середины XX в. В ансамбле Hist-GHG повышение температуры в последние десятилетия превышает наблюдаемые значения, а в ансамбле Hist-Nat повышение температуры отсутствует. Статистический анализ позволяет заключить, что основной вклад в наблюдаемое повышение температуры на территории России 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.

При сравнении наблюдаемых и средних по модельному ансамблю изменений температуры следует иметь в виду, что даже при использовании “идеальной” климатической модели, если бы существование такой модели было возможно, нелинейность и стохастичность, присущие климатической системе, а также неполнота информации о ее начальном состоянии и внешних воздействиях на нее не позволяют получить климатические изменения, точно соответствующие наблюдаемым. Две модельные реализации эволюции климатической системы, различающиеся только начальными условиями, неизбежно будут со временем существенно расходиться. А среднее по модельному ансамблю не будет точно совпадать ни с какой-то одной реализацией, ни с данными наблюдений. Поэтому при анализе соответствие модельных расчетов данным наблюдений следует ориентироваться не на различия между наблюдениями и ансамблевым средним, а на попадание наблюдаемых изменений в прогнозиру-

емые статистические интервалы, полученные по модельному ансамблю.

Применение такого подхода для территории России в целом представлено на рис. ТР2.4. Для трех модельных ансамблей показаны рассчитанные и наблюдавшиеся изменения среднегодовой температуры приземного воздуха с указанием границ 90%-ных интервалов предсказания для них. Видно очень хорошее соответствие наблюдаемых и расчетных изменений в ансамбле Hist. Среднее по ансамблю близко к наблюдаемому, и модели примерно поровну делятся на те, в которых изменения больше и меньше наблюдаемых. Наблюдаемое изменение попадает в 90%-ный интервал предсказания и для ансамбля Hist-GHG. Однако в этом случае только в одной модели полученное изменение было меньше наблюдаемого. Результаты по ансамблю Hist-Nat полностью расходятся с данными наблюдений. При пространственном сравнении модельных расчетов с данными наблюдений также были получены хорошее согласие наблюдаемых изменений с расчетными для ансамбля, в котором учитываются и антропогенные, и естественные внешние воздействия, и существенные расхождения для ансамбля, в котором учитываются только естественные внешние воздействия.

Во многих регионах земного шара происходят изменения значений экстремальной температуры, что выражается, в частности, в повышении минимальных и максимальных значений температуры, а также в уменьшении числа морозных дней и увеличении частоты возникновения экстремально высоких сезонных значений температуры, например таких, которые обычно наблюдаются раз в десятилетие.

В последние годы растет интерес к количественной оценке роли антропогенного и других внешних воздействий на конкретные наблюдавшиеся экстремальные климатические явления. Особый интерес представляет рекордная аномалия температуры, наблюдавшаяся на ЕЧР летом 2010 г. По результатам большой серии ансамблевых модельных экспериментов было показано, что хотя экстремальные условия погоды, аналогичные аномалии температуры летом 2010 г., в основном генерируются внутренней изменчивостью, общее потепление, вызванное антропогенным воздействием, значительно увеличивает вероятность их возникновения.

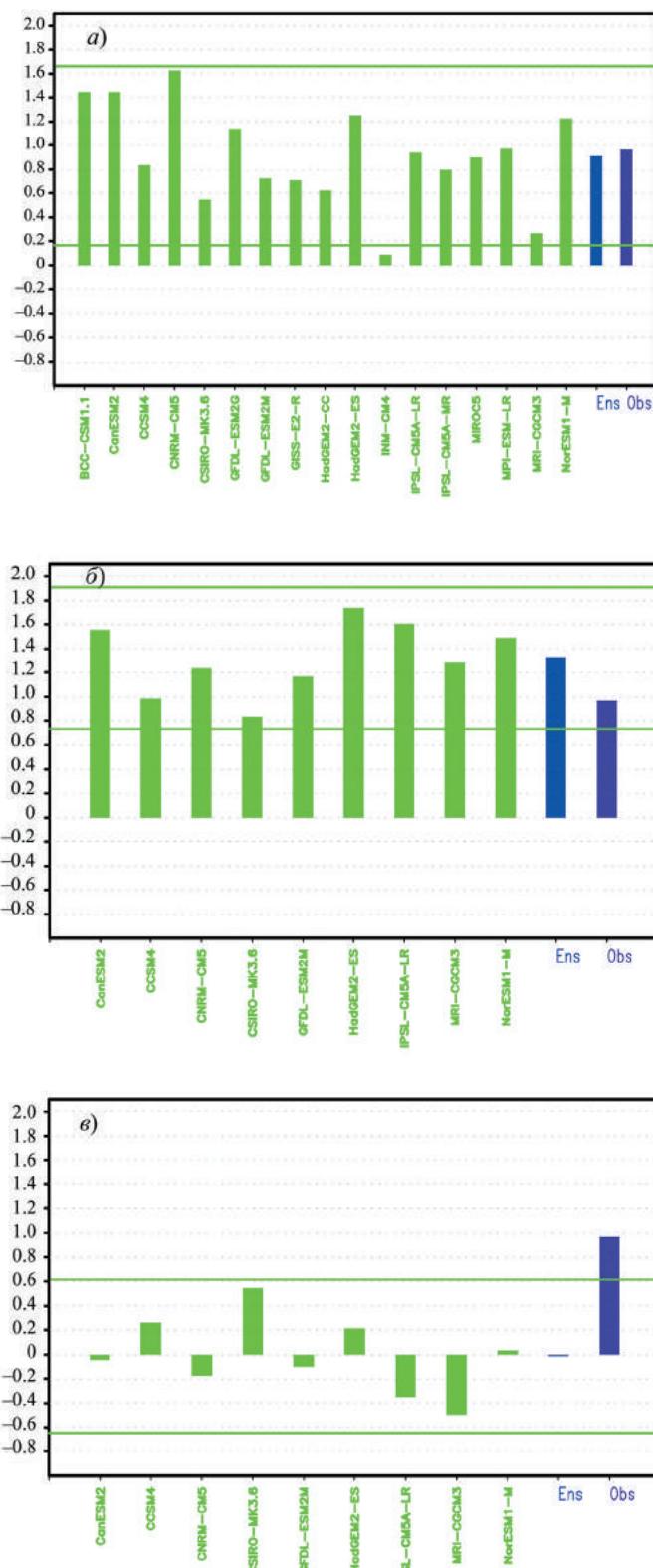


Рис. ТР2.4. Изменения среднегодовой температуры приземного воздуха ($^{\circ}\text{C}$) в среднем по территории России для периода 1991–2005 гг. по отношению к 1951–1980 гг. для ансамблей Hist (а), Hist-GHG (б) и Hist-Nat (в). Под каждым столбиком указана соответствующая модель. Последние два столбика соответствуют среднему по ансамблю и наблюдаемому изменениям соответственно. Горизонтальные прямые показывают границы 90%-ных интервалов предсказания.

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.

Недавние измерения со спутников показывают, что *солнечная постоянная** равна $1360.8 \pm 0.5 \text{ Вт}/\text{м}^2$, а ее годовая амплитуда в 11-летнем цикле составляет примерно $1 \text{ Вт}/\text{м}^2$. Радиационное воздействие этого фактора с середины XVIII в. по настоящее время изменилось на $0.05 \text{ Вт}/\text{м}^2$, что составило примерно 2% по отношению к антропогенному воздействию $2.29 \text{ Вт}/\text{м}^2$.

Как известно, самое значительное уменьшение потока солнечной радиации происходило во второй половине XVII в. (Минимум Маундера); оно продолжалось примерно 50 лет. Считается, что именно это уменьшение потока вызвало похолодание климата во время так называемого Малого ледникового периода. Поскольку причины уменьшения активности Солнца в прошлом неизвестны, можно предположить, что и в будущем могут возникнуть аналогичные условия. В связи с этим интересно оценить — насколько возможное глобальное похолодание может быть компенсировано антропогенным потеплением.

Чтобы ответить на этот вопрос, проводилось исследование с моделью климата, в которой задавался поток солнечной радиации, на 0.25% меньший по сравнению с современной его величиной. Такое уменьшение было наиболее вероятным в период Минимума Маундера. Интенсивность солнечного излучения уменьшалась в течение 5 лет до минимального значения и затем через 40 лет увеличивалась до первоначальной в 2080 г. Результаты расчетов показали, что аналогичный солнечный минимум, если возникнет в середине XXI в., может замедлить глобальное антропогенное потепление и уменьшить повышение приземной температуры воздуха на $0.24—0.26^\circ\text{C}$. Однако

с увеличением потока солнечной радиации до первоначальной величины глобальная температура восстанавливается до значения, полученного в расчетах по исходному сценарию.

Извержения вулканов, в результате которых в атмосферу может выбрасываться большое количество SO_2 , являются основной естественной причиной изменения климата на временных масштабах от года до нескольких лет. При вулканических извержениях образующийся сульфатный аэрозоль может оказывать сильное влияние на перенос солнечной радиации вследствие эффективного рассеяния солнечного света. При извержении вулканов глобально осредненные выбросы диоксида углерода в атмосферу с середины XVIII в. были, по крайней мере, в 100 раз меньшими, чем антропогенные. Чтобы оказать значительное влияние на климат, сульфатный аэрозоль — продукт окисления SO_2 — должен попасть в стратосферу, где время его существования намного больше, чем в тропосфере.

Во второй половине XX в. извержения вулканов Агунг, Эль-Чичон и Пинатубо были наиболее крупными; они повлияли на межгодовые колебания глобальной приземной температуры. В начале XXI в. наблюдалось несколько небольших извержений, воздействие которых на климат было пренебрежимо малым. Извержение вулканов представляет собой естественный эксперимент по оценке влияния стратосферного аэрозоля на климат. Так, по данным наблюдений было показано, что азиатский и африканский летние муссоны и глобальный гидрологический цикл были более слабыми после извержения Пинатубо в 1991 г. Эти наблюдения согласуются с результатами модельных расчетов. Расчеты показывают, что реакция гидрологического цикла климатической системы на крупные извержения вулканов происходит очень быстро и ее негативные последствия могут проявляться около года.

Согласно историческим данным, существует примерно 80-летняя периодичность извержения вулканов, однако период наблюдений является коротким, и эта оценка недостаточно надежна.

Океан оказывает сильное влияние на атмосферу и ее изменения. В последние десятиле-

* Солнечная постоянная — суммарный поток солнечного излучения, проходящий через единичную площадку, перпендикулярную направлению лучей и находящуюся вне земной атмосферы на среднем расстоянии от Солнца.

тия общее теплосодержание океана непрерывно возрастало. 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 явления Эль-Ниньо (Ла-Нинья), 60—70-летние колебания в Северной Атлантике (САК) и тихоокеанская десятилетняя осцилляция (ТДО).

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, использо-

ванных в Четвертом оценочном докладе МГЭИК. Результаты исследований свидетельствуют, что тренды температуры по данным 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 тренда радиационного воздействия и охлаждением в силу естественной внутренней изменчивости, включая возможное перераспределение тепла в океане.

3. ОЖИДАЕМЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ КЛИМАТА В XXI ВЕКЕ

Новое поколение климатических моделей

Качество воспроизведения климатическими моделями наблюдаемых состояний глобальной климатической системы — как для разных характеристик ее компонентов, так и в разных регионах — остается ключевым условием доверия к оценкам будущих изменений климата, получаемым с использованием этих моделей. Развитие климатических моделей, состоящее как в улучшении их пространственного разрешения, так и во включении новых процессов и компонентов, позволяющих все более полно описывать обратные связи, действующие в климатической системе, далеко не всегда приводит к улучшению соответствия между данными наблюдений и результатами моделирования.

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, 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. Всего в проекте приняло участие более пяти десятков моделей, разработанных в разных исследовательских центрах мира. Для использования в настоящем докладе был сформирован ансамбль из 31 модели CMIP5 (для краткости в последующих разделах он иногда называется AH_31), что примерно в полтора раза больше, чем число моделей CMIP3, использовавшихся в ОД_РФ-1.

Оценки достоверности модельных расчетов строятся в первую очередь на основе анализа воспроизведения климата Земли во второй половине XX в. — начале XXI в., поскольку для этого периода имеется наибольшее число надежных данных наблюдений и реанализа.

Наибольшую успешность воспроизведения средних климатических характеристик при сравнении с данными наблюдений, как правило, по-

казывает 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 взаимно компенсируются. Впрочем, в настоящее время, по-видимому, нет достаточных оснований для того, чтобы автоматически переносить указанное превосходство “средней” модели над отдельными членами ансамбля на оценки будущих изменений климата.

Несмотря на значительный разброс результатов расчетов между отдельными моделями CMIP5, удовлетворительное согласие средних по модельному ансамблю основных характеристик приземного климата на территории России с данными наблюдений позволяет считать этот ансамбль пригодным для оценок будущих изменений климата на указанной территории (рис. ТР3.1–3.4). Сравнение моделей разных поколений указывает на постепенное улучшение воспроизведения моделями ряда характеристик приземного климата на территории России. Это улучшение, очевидно, обусловлено не только увеличением пространственного разрешения многих из них, а также совершенствованием используемых вычислительных методов и параметризаций, но и включением рядом моделей описаний дополнительных климатически значимых процессов.

Отмеченные в ОД_РФ-1 принципиальные сложности совокупной оценки качества моделей, несмотря на значительные усилия научного сообщества, в целом остаются актуальными. Равно как остаются открытыми и некоторые важные вопросы, касающиеся избирательной применимости (пригодности) отдельных моделей в оценках будущих изменений отдельно взятых климатических характеристик в отдельно взятых регионах. Формирование ансамблей глобальных климатических моделей для оценки будущих региональных изменений климата остается в повестке актуальных исследований.

Потребность в высоком пространственном разрешении моделей для оценок будущих изменений климата — мотивирующий фактор развития региональных климатических моделей, которые в ряде случаев демонстрируют появление “дополнительного качества” по отношению к расчетам климата с помощью глобальных моделей.

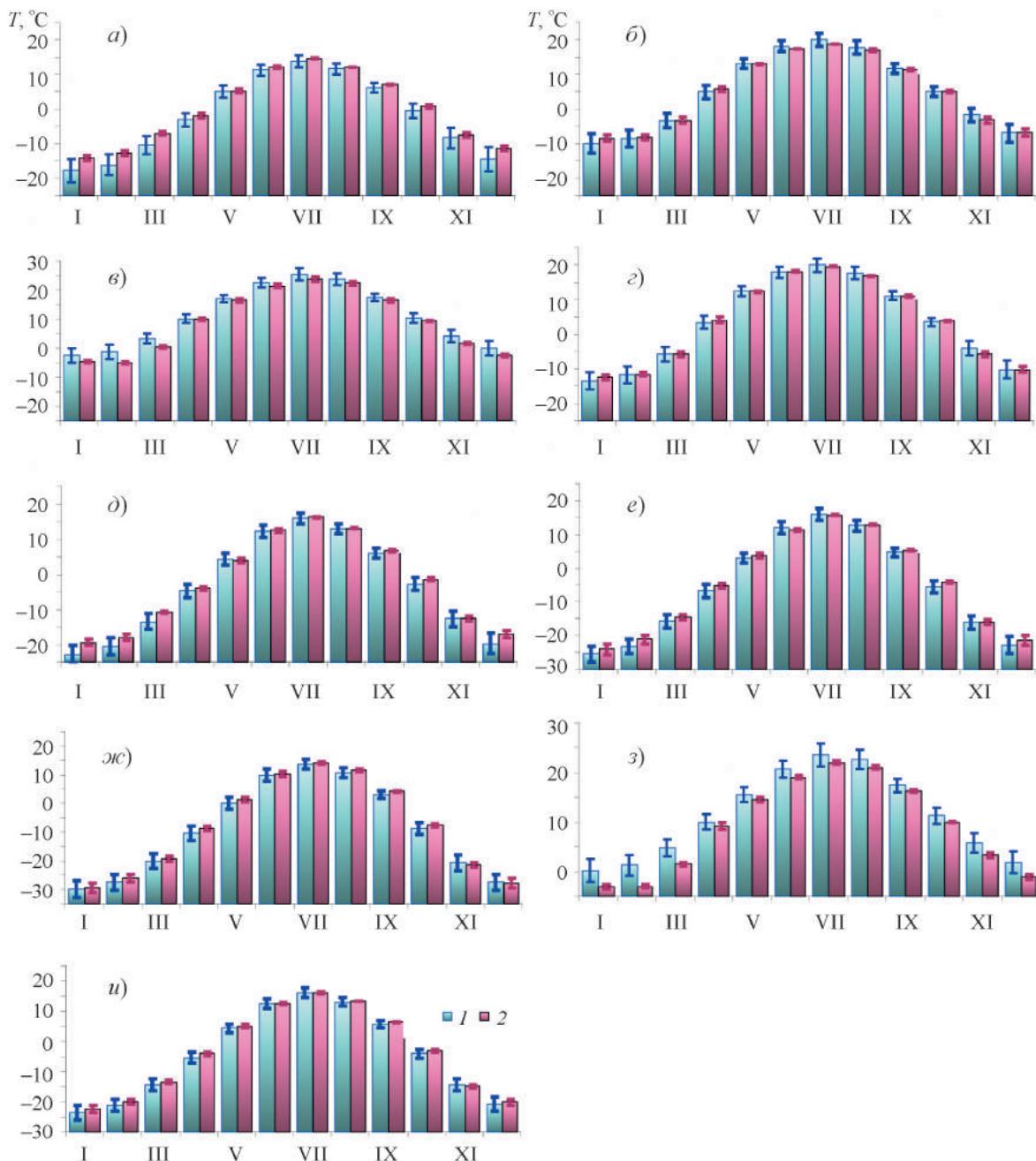


Рис. ТРЗ.1. Годовой ход температуры приземного воздуха на водосборах российских рек за период 1981—2000 гг., рассчитанный по ансамблю из 31 модели CMIP5 (1) и полученный осреднением данных наблюдений (2). Помимо средних, показаны стандартные отклонения, характеризующие разброс $\pm\sigma$ между моделями, а также между данными наблюдений (реанализа). Расчеты представлены для семи водосборов: южные реки (Днепр, Днестр, Дон, Кубань; *а*); северные реки (Западная Двина, Печора, Мезень; *б*); Обь (*в*); Лена (*г*); Амур (*д*); Енисей (*е*); Волга и Урал (*ж*). Большинство моделей успешно воспроизводит сезонный ход температуры приземного воздуха на крупных водосборах. 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.

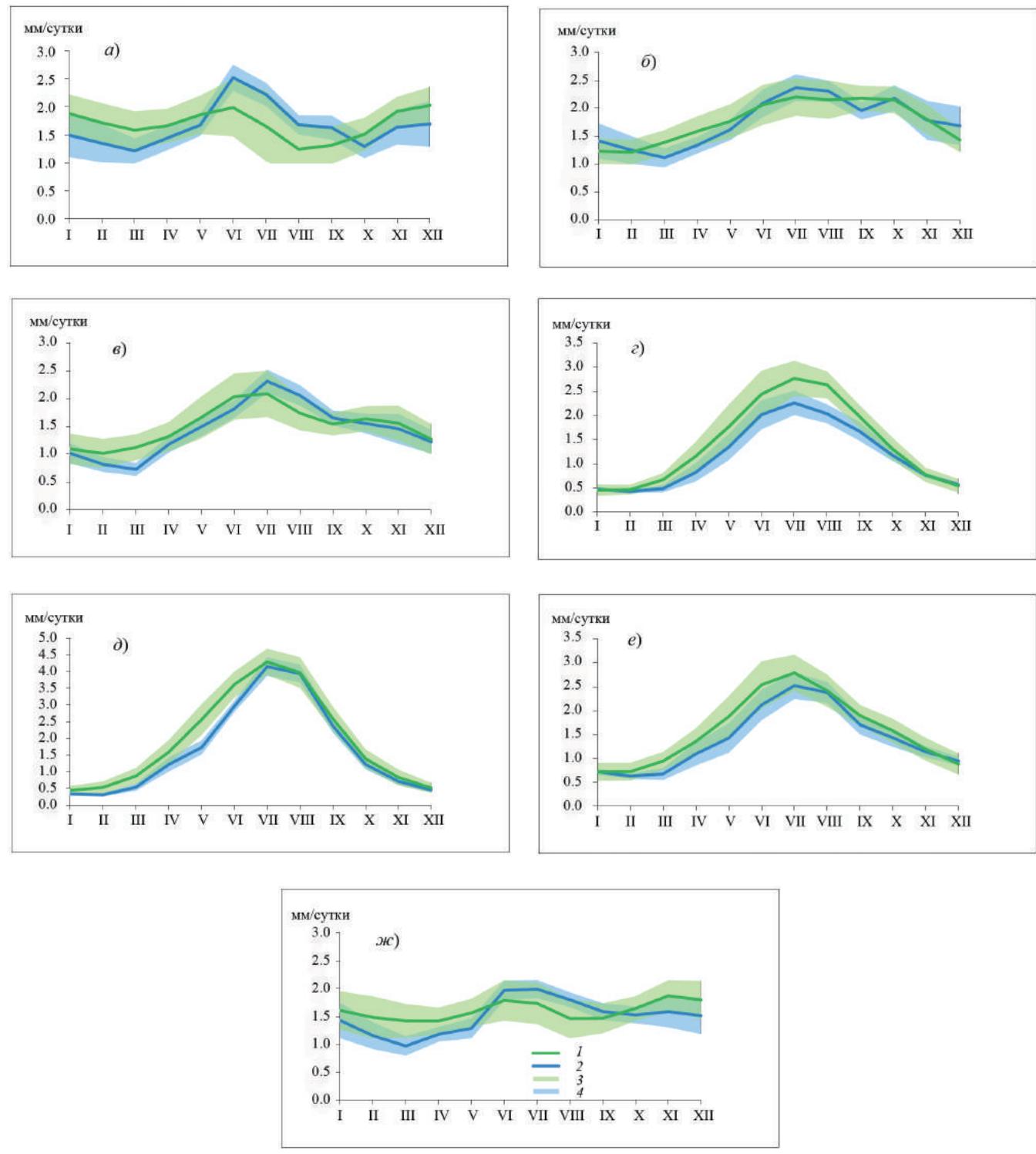


Рис. ТР3.2. Годовой ход осадков на водосборах российских рек за период 1981—2000 гг., рассчитанный по ансамблю из 31 модели CMIP5 (1) и полученный по осредненным данным наблюдений (2). Заштрихованная область показывает межмодельные стандартные отклонения от среднего по ансамблю моделей (3) и разброс данных наблюдений (4) ($\pm\sigma$). Расчеты представлены для семи водосборов: южные реки (Днепр, Днестр, Дон, Кубань; а); северные реки (Западная Двина, Печора, Мезень; б); Обь (в); Лена (г); Амур (д); Енисей (е); Волга и Урал (ж). Средние сезонные колебания осадков в бассейнах крупных российских рек, рассчитанные по моделям CMIP5, в целом удовлетворительно согласуются с данными наблюдений (реанализа), особенно если учесть значительные расхождения между данными из разных источников.

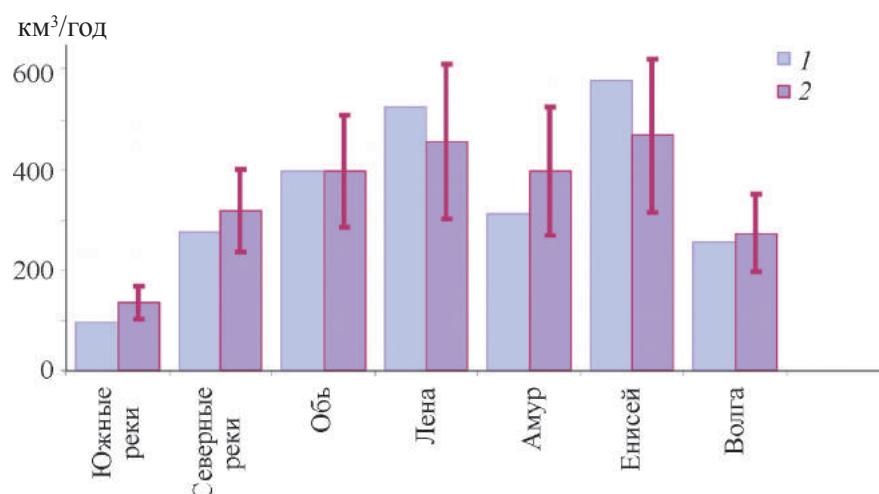


Рис. ТР3.3. Средние значения годового стока на крупных водосборах, полученные по данным наблюдений (1) и рассчитанные по ансамблю из 26 моделей CMIP5 (2) за период 1981—2000 гг. В столбцах с модельными данными, помимо средних, приведены стандартные отклонения, характеризующие межмодельный разброс $\pm\sigma$. Среднегодовые оценки стока для крупных водосборов средних и высоких широт хорошо согласуются с данными наблюдений.

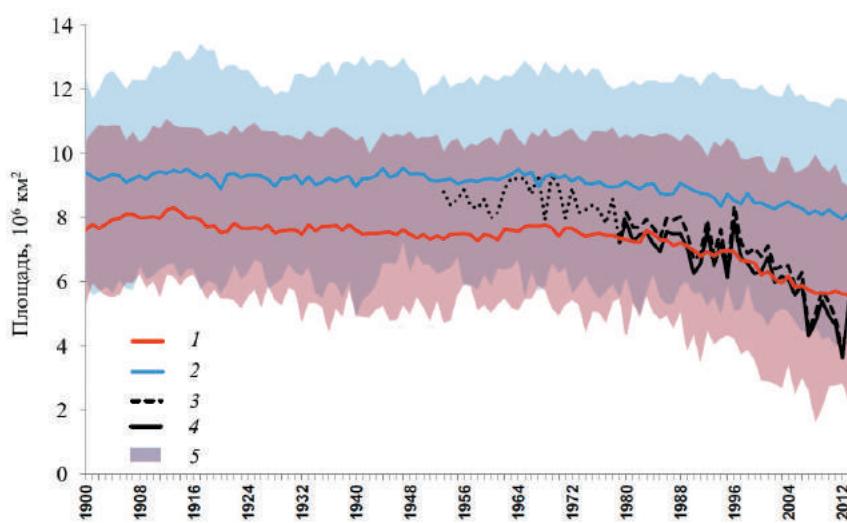


Рис. ТР3.4. Временной ход площади морского льда в период с 1900 по 2013 г. в Северном полушарии в сентябре по данным моделирования CMIP5 (1) и CMIP3 (2) и полученный по данным наблюдений NASA (3) и NSIDC (4). Выделены области процентилей 5—95 для обоих ансамблей (розовая и голубая штриховки соответственно) и область их перекрытия (5). Ретроспективные расчеты CMIP5 (т. е. до 2005 г. включительно) дополнены сценарными расчетами RCP4.5 для периода 2006—2013 гг.; расчеты CMIP3 — для периода 2000—2013 гг. в условиях сценария SRES A2. Показаны средние оценки для среднемесячных значений (не абсолютные годовые минимумы). Каждая модель в ансамбле представлена единственным расчетом. Черная пунктирная линия показывает эволюцию площади морского льда в Арктике, полученную на основе доспутниковых данных наблюдений. В среднем ансамбль CMIP5 (30 моделей) лучше, чем CMIP3 (12 моделей), воспроизводит наблюдаемый в последние десятилетия тренд площади морского льда в сентябре в Северном полушарии. По расчетам примерно четверти моделей CMIP5 значения тренда превышают по абсолютному значению тренд по данным наблюдений.

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 глобального антропогенного воздействия, достигаемого в 2100 г., а именно 2.6, 4.5, 6.0 и 8.5 Bt/m^2 для 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 рассматриваемых RCP-сценариях радиационного воздействия. Наиболее вероятная оценка повышения глобальной температуры в 2081—2100 гг. по отношению к 1986—2005 гг. в диапазоне 5—95% моделей будет 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).

В случае реализации наиболее “агрессивного” сценария RCP8.5 следует ожидать смещения к полюсам струйного течения умеренных широт в конце XXI в. (при других сценариях такие изменения будут выражены слабо). При том же сценарии ожидается смещение на несколько градусов к северу траекторий перемещения циклонов. С большой степенью достоверности годовая глобальная сумма осадков в текущем столетии будет увеличиваться. Скорость ее увеличения по отношению к повышению температуры, вероятно, составит 1—3% на 1°C для всех сценариев, кроме RCP2.6. Величина изменений будет существенно зависеть от интенсивности осадков.

Испарение с поверхности океанов будет увеличиваться с повышением температуры на большей части акватории. Наиболее заметное повышение температуры океана ожидается в поверхностном слое в тропиках и в субтропической зоне Северного полушария. С большой степенью уверенности можно утверждать, что в течение XXI в. атлантическая меридиональная циркуляция будет ослабевать. Уровень Мирового океана в период с 2081 по 2100 г. по сравнению с концом XX в., вероятно, повысится в диапазоне от 0.26—0.55 м (RCP2.6) до 0.45—0.82 м (RCP8.5). Закисление океана продолжится.

Изменения средней сезонной температуры на территории России (рис. ТР3.5) во все пери-

оды XXI в. согласуются с оценками, полученными для российских регионов в рамках ОД_РФ-1. Повышение температуры зимой во всех федеральных округах, кроме Северо-Кавказского и Южного, будет заметно превышать ее повышение в летний сезон (рис. ТР3.6). Россия остается регионом, где скорость потепления климата существенно превышает среднюю скорость глобального потепления. Абсолютный годовой максимум температуры, как показатель экстремальности температуры воздуха летом, может заметно увеличиться, в первую очередь на юге ЕЧР. В то же время следует ожидать заметного смягчения температурного режима в холодное время года, в первую очередь из-за повышения наиболее низкой температуры воздуха на севере ЕЧР, а в конце XXI в. — и на ее юге, где зимы станут бесснежными.

В условиях глобального потепления, как в середине, так и в конце XXI в., число дней с циклонами зимой будет уменьшаться, преимущественно в субарктическом поясе и в Центральной России, но особенно значительно — на Северо-Западе. Размеры циклонов при потеплении климата будут несколько больше, в первую очередь в южных регионах и на западе России (на 40—60 км), но особенно на территории Восточной Сибири (на 60—80 км). На Чукотке циклоны станут в среднем больше в диаметре на 100 км и более. Заметное увеличение диаметра циклонов прогнозируется над акваториями морей у тихоокеанского побережья России. Там, как показывают модельные расчеты, будет существенно сокращаться ледовый покров, что в зимний период приведет к ослаблению устойчивости атмосферы и созданию более благоприятных условий для интенсификации образования циклонов. В тех же регионах прогнозируется наиболее значительное увеличение числа суток с циклоном.

При всех сценариях в течение всего XXI в. отмечается устойчивая тенденция увеличения осадков в зимний период на территории России (рис. ТР3.7). В летний сезон увеличение средних сезонных сумм осадков ожидается на большей части территории России, за исключением южных регионов, где к концу XXI в. прогнозируется уменьшение осадков до 25% относительно базового периода. Изменение количества осадков будет заметно варьироваться от одного федерального

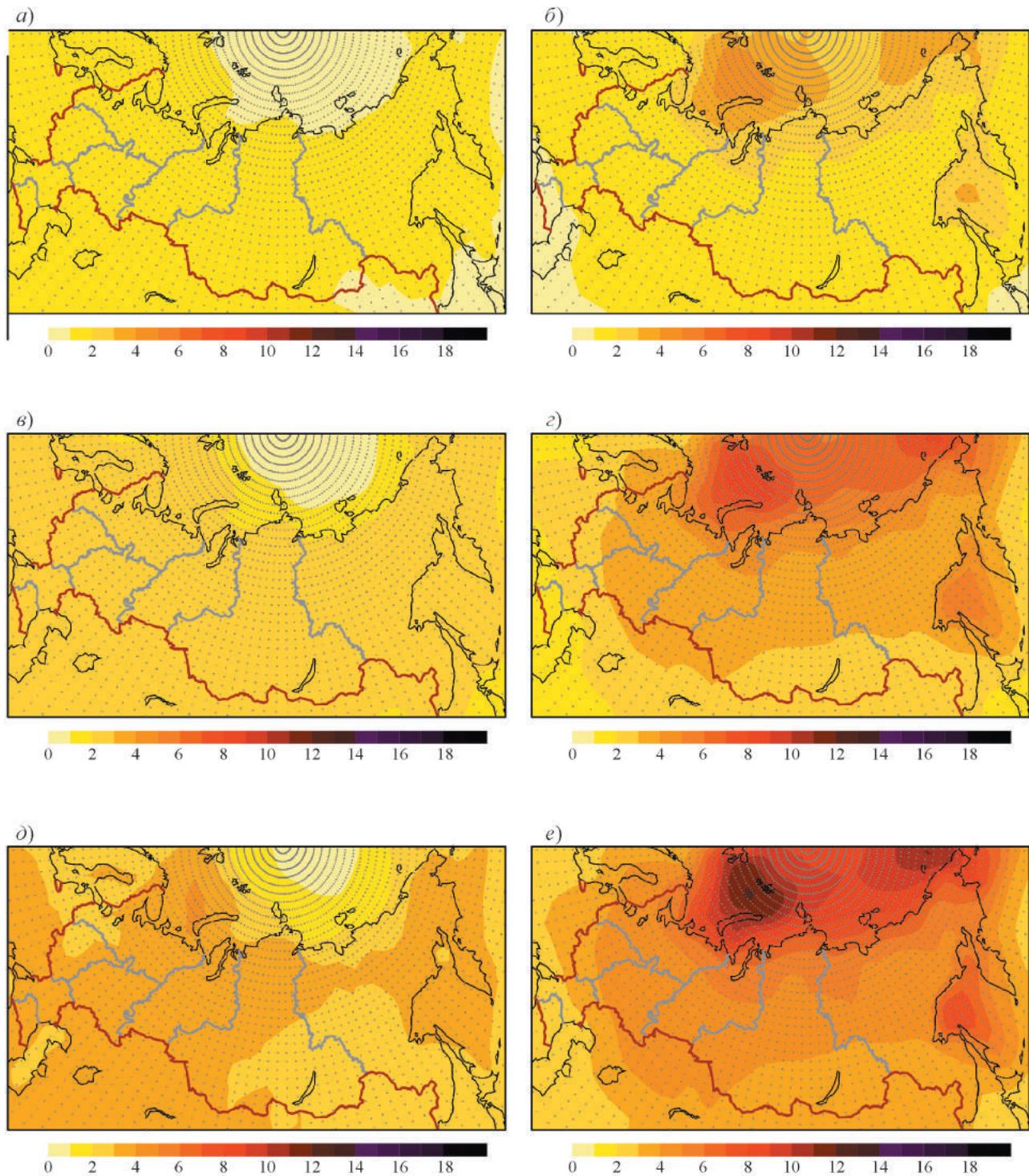


Рис. ТР3.5. Изменения средней сезонной температуры приземного воздуха ($^{\circ}\text{C}$) в периоды 2011–2030 (а, б), 2041–2060 (в, г) и 2080–2099 гг. (д, е) по отношению к концу ХХ в. летом (а, в, д) и зимой (б, г, е) по оценкам ансамбля из 31 модели CMIP5 для сценария RCP4.5. Точками показаны регионы, где отношение среднего по ансамблю изменения температуры и межмодельного разброса превышает 1.

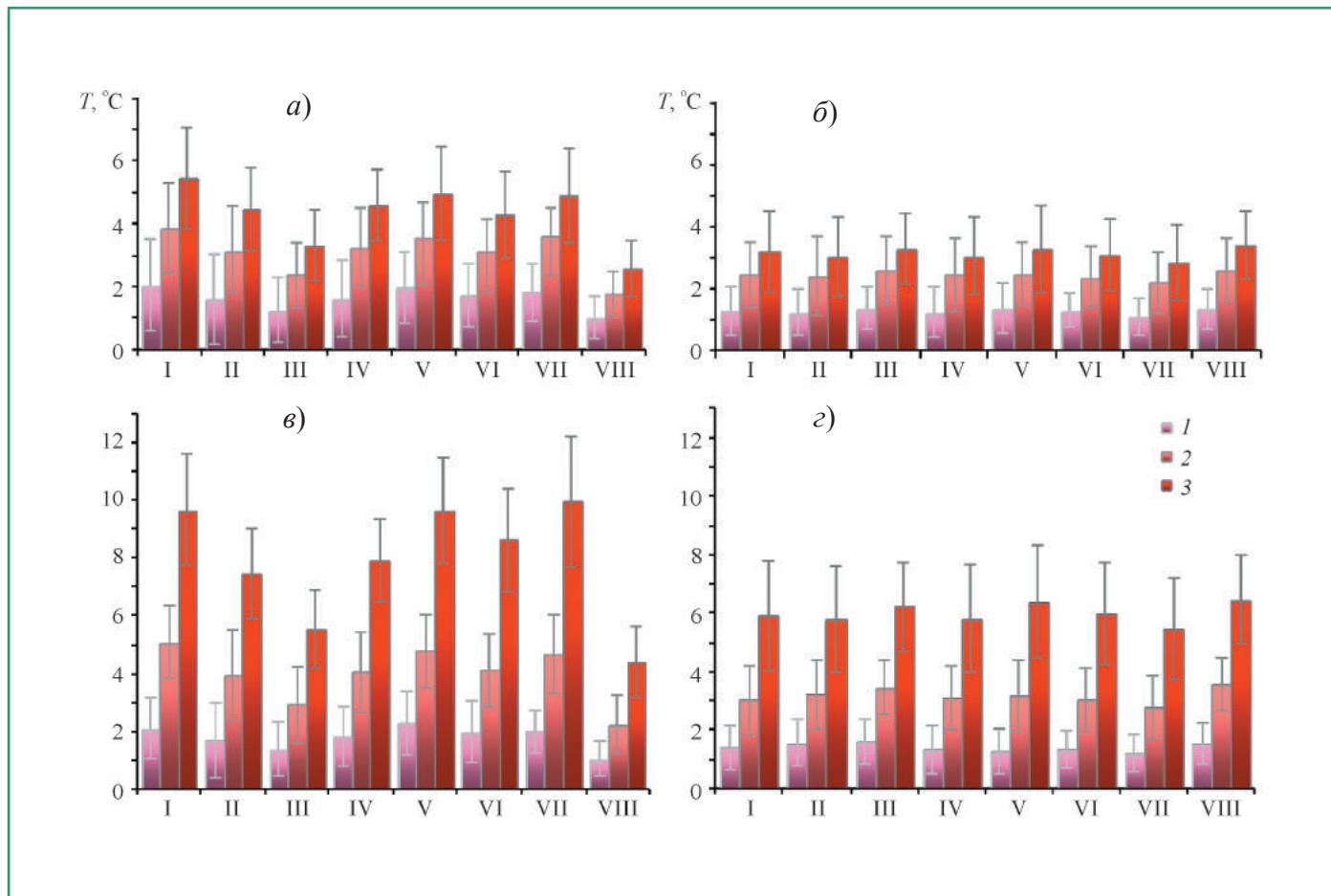


Рис. ТР3.6. Изменения средней температуры приземного воздуха в январе (*а, в*) и июле (*б, г*) в периоды 2011—2030 (1), 2041—2060 (2) и 2080—2099 гг. (3) по отношению к концу XX в. на территории Северо-Западного (I), Центрального (II), Южного (III), Приволжского (IV), Уральского (V), Сибирского (VI), Дальневосточного (VII) и Северо-Кавказского (VIII) федеральных округов 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.

округа к другому зимой по величине, а летом — как по величине, так и по знаку (рис. ТР3.8).

Изменения стока на большинстве водосборов не превышают разброс модельных расчетов. Однако на водосборах Лены и Енисея, а также рек Чукотки ожидается значимое увеличение стока.

Площади, занятые приповерхностной многолетней мерзлотой, сократятся соответственно на $20 \pm 7\%$ (RCP4.5) и $25 \pm 8\%$ (RCP8.5) к

середине XXI в. и на 31 ± 12 и $56 \pm 18\%$ к его концу.

Модельные оценки однозначно указывают на сокращение площади морского льда в российской Арктике и прилегающих к ней районах Северного Ледовитого океана (рис. ТР3.9) на протяжении XXI в. и позволяют говорить о возможности исчезновения там многолетнего льда уже в первой половине XXI в.

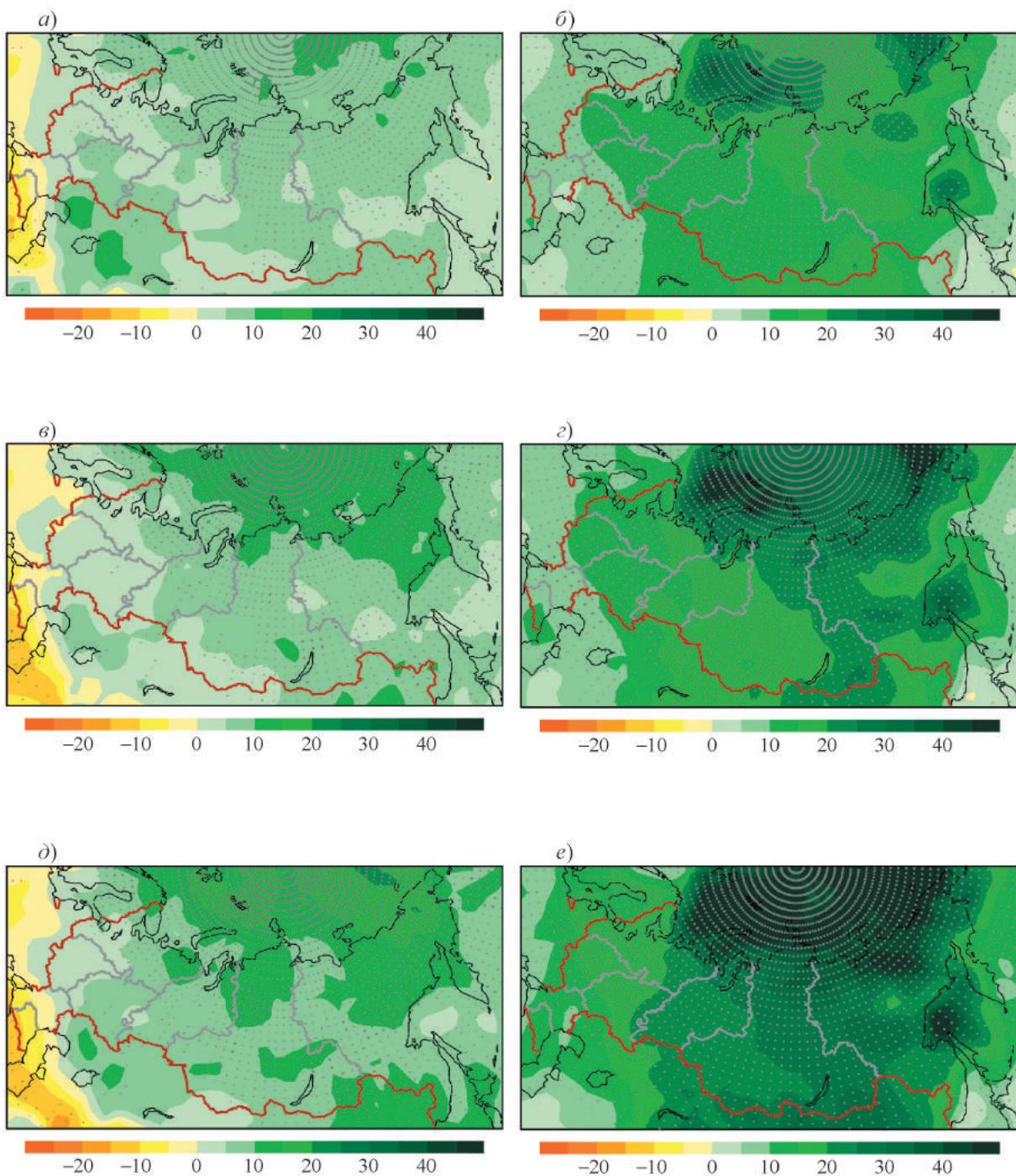


Рис. ТР3.7. Изменения (%) средних сезонных сумм осадков в периоды 2011–2030 (а, б), 2041–2060 (в, г) и 2080–2099 гг. (д, е) по отношению к концу ХХ в. летом (а, в, д) и зимой (б, г, е) по оценкам ансамбля из 31 модели CMIP5 для сценария RCP4.5. Мелкими точками показаны регионы, где более 66% моделей дают одинаковый знак изменений, крупными — районы, в которых ансамблевые оценки согласуются по знаку в 90% моделей.

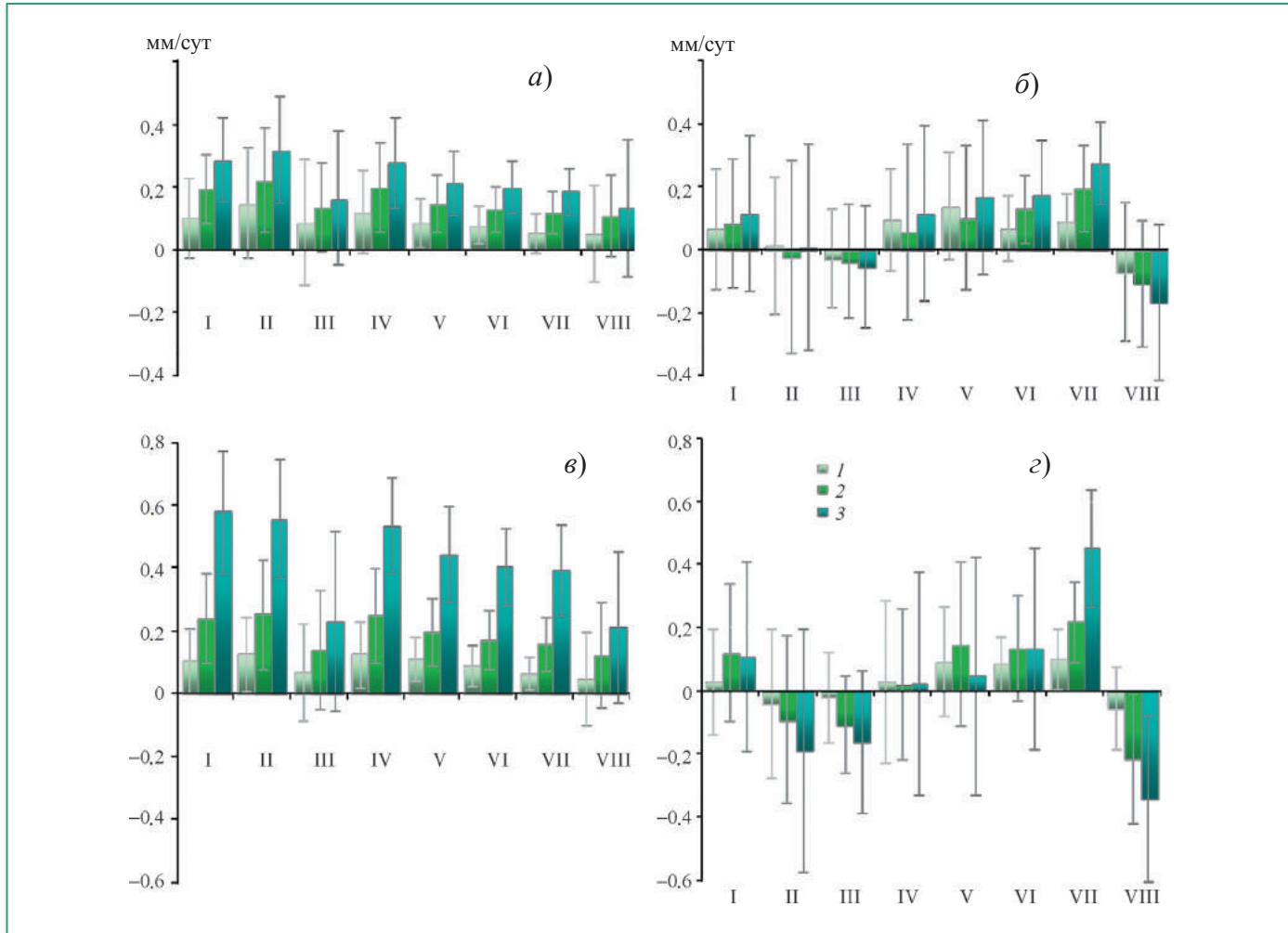


Рис. ТР3.8. Изменения средних суточных сумм осадков (мм/сутки) в январе (*а, в*) и июле (*б, г*) в периоды 2011–2030 (1), 2041–2060 (2) и 2080–2099 гг. (3) по отношению к концу XX в. на территории Северо-Западного (I), Центрального (II), Южного (III), Приволжского (IV), Уральского (V), Сибирского (VI), Дальневосточного (VII) и Северо-Кавказского (VIII) федеральных округов 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.

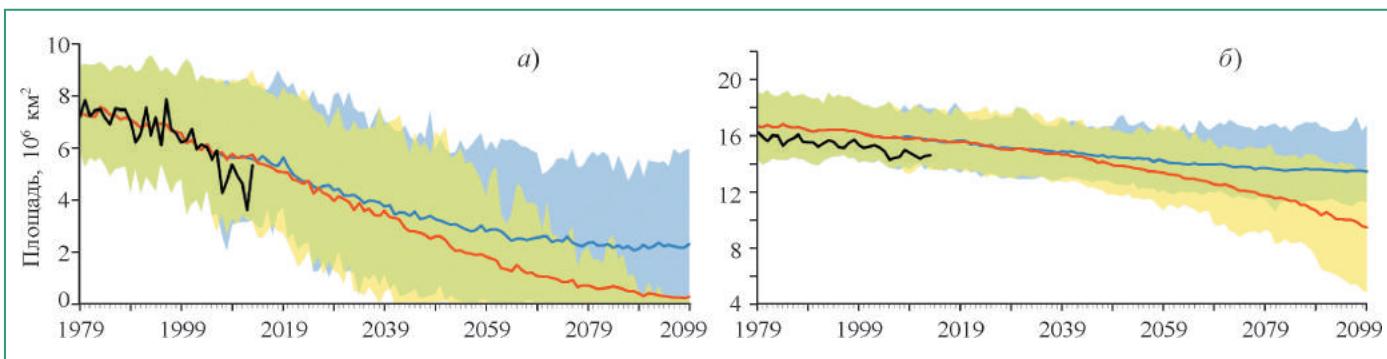


Рис. ТР3.9. Эволюция площади морского льда в период 1979–2099 гг. в Арктике в сентябре (*а*) и феврале (*б*) по данным 30 моделей CMIP5 для сценариев RCP4.5 и RCP8.5 (голубая и красная сплошные линии соответствен-но), а также межмодельный разброс в пределах 10-й и 90-й процентиляй (голубая и желтая штриховка соответ-ственно). Для периода 1979–2005 гг. в каждом ансамбле сценарному расчету предшествует ретроспективный рас-чет. 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).

4. ВОЗДЕЙСТВИЯ ИЗМЕНЕНИЙ КЛИМАТА НА ПРИРОДНЫЕ СИСТЕМЫ СУШИ

Водные системы суши

Общее увеличение годового стока рек (т. е. ежегодно возобновляемых водных ресурсов) России за 1981—2012 гг. по отношению к среднему уровню за период 1936—1980 гг. составило в среднем 204 км³/год, или 4.8% (рис. ТР4.1). При этом оно было характерно для всех федеральных округов России. Наибольшее абсолютное увеличение речного стока произошло в Дальневосточном, Сибирском и Северо-Западном федеральных округах, наименьшее — в Уральском и Центральном федеральных округах. Наибольшее относительное увеличение речного стока имело место в Приволжском, Южном*, Центральном и Северо-Западном федеральных округах, наименьшее — в Уральском и Дальневосточном федеральных округах. Наибольшее увеличение годового стока произошло на крупнейших реках бассейна Северного Ледовитого океана. В то же время на Енисее 2012 г. был аномально маловодным.

Основной особенностью современных изменений водного режима рек России является существенное увеличение водности в меженные

периоды, особенно в зимние месяцы. Другая особенность — это увеличение межгодовой изменчивости стока, особенно сезонного. На общем фоне тенденции к увеличению стока рек возможны как аномально многоводные, так и аномально маловодные годы и сезоны.

Особенности современных изменений максимальных расходов воды определяются условиями их формирования. Так, для значительной части Европейской России, где максимальный сток формируется в период весеннего половодья, в последние десятилетия произошло существенное его уменьшение (рис. ТР4.2).

В регионах, где максимальные расходы воды 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 территории Дальнего Востока России и Северо-Восточного 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. ТР4.3).

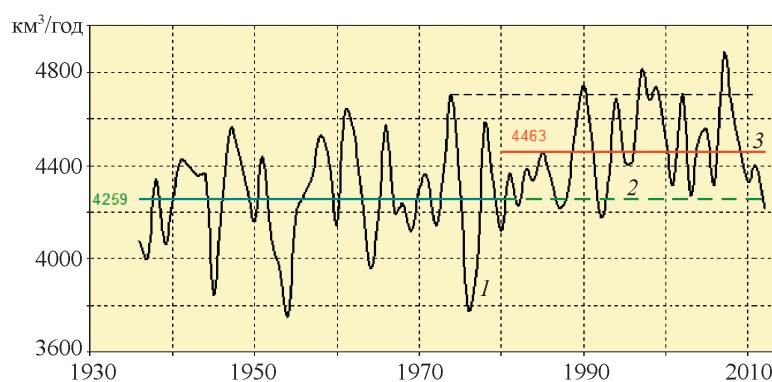


Рис. ТР4.1. Долговременные изменения суммарного годового стока рек (водных ресурсов) Российской Федерации (1). Показаны нормы за 1936—1980 (2) и 1981—2112 гг. (3).

* Под Южным федеральным округом здесь подразумевается субъект Российской Федерации, существовавший до 2010 г., ныне разделенный на Южный и Северо-Кавказский федеральные округа.

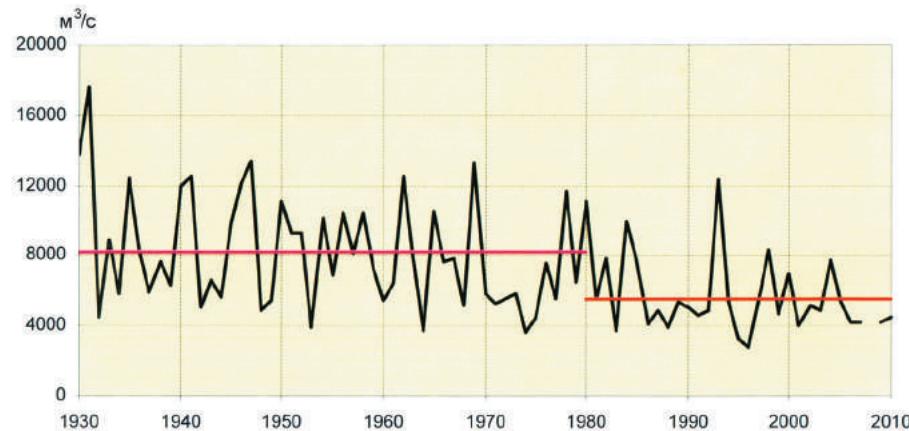


Рис. ТР4.2. Долговременные изменения максимальных расходов р. Ока у г. Горбатов.

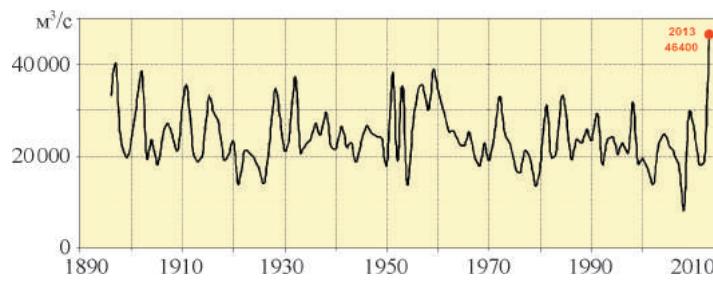


Рис. ТР4.3. Долговременные изменения максимальных расходов воды р. Амур у г. Хабаровск.

Оценки возможных изменений речного стока в XXI в. основываются на результатах расчетов с помощью климатических моделей CMIP5.

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

Оценки возможных изменений стока рек в будущем, выполненные на основе анализа воспроизведения с помощью климатических моделей составляющих водного баланса водосборов основных рек страны, показали, что их ожидаемый водный режим в ближайшие два десятилетия по своим основным параметрам будет близким к условиям, наблюдавшимся в последние 30—35 лет. Оценки большинством климатических моделей по-

вышения температуры воздуха зимой позволяют 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

Ледниковые системы на территории России образуют три пояса — оледенение арктических островов, оледенение Урала и Сибири и оледенение гор вдоль южной границы страны. В ходе потепления последних десятилетий оледенение сократилось, однако практически все ледниковые системы сохранились, исчезли лишь отдельные ледники.

Оледенение арктических островов. Почти все полярные ледники и ледниковые купола в течение последних десятилетий деградируют. За последние полстолетия оледенение арктиче-

ских островов России сократилось более чем на 720 км², а его объем примерно на 250 км³, или на 1.5%. Ледники архипелага Земля Франца-Иосифа с 1952 г. потеряли 375 км² (3% общей площади). Для этого архипелага была составлена карта изменения высоты поверхности за период 1952 г.—начало XXI в. Согласно этой карте, на ледниках архипелага происходит преимущественно понижение поверхности, причем более значительное на низких гипсометрических уровнях.

На архипелаге Новая Земля практически все фронты выводных ледников отступили с 1952 г. Из-за общего сокращения размера ледников внешние части фьордов и подледниковых долин освободились от льда и возникли новые заливы и бухты. За вторую половину XX в. выводные ледники здесь отступили в среднем на 1.5 км, площадь архипелага уменьшилась на 284.2 км², за 50 лет объем льда сократился на 70 км³, или на 3.3%. Средний годовой баланс массы ледников за 2003—2010 гг. составляет для Земли Франца-Иосифа (0 ± 2) Гт/год, для Новой Земли (-4 ± 2) Гт/год и для Северной Земли (-1 ± 2) Гт/год. Водозапасы отдельных годовых горизонтов, судя по кернам, полученным в результате бурения льда, изменяются от 400 до 1000 мм водного эквивалента (рис. ТР4.4).

Вклад оледенения архипелагов российской Арктики в изменения уровня Мирового океана оценивается величиной 0.025 мм/год.

В XXI в. сокращение оледенения арктических островов России ускорилось, уменьшилось протяжение ледяных берегов, увеличились расход льда на айсберги и их размер. Последнее повысило опасность при добыче нефти и газа на шельфе, возросли риски для судоходства.

Горное оледенение. На территории России и соседних стран горные ледники занимают только верхний пояс гор и не образуют сплошного покрова. В российской субарктике устойчивее всего сокращается оледенение в ее западной и центральной частях, находящихся исключительно под влиянием атлантических воздушных масс. Ледники Кольского п-ова и Ямала исчезли еще до составления Каталога ледников СССР (1960—1980 гг.). К настоящему времени практически растаяли также ледники гор Пutorана вблизи Норильска. Ледники Полярного Урала и Таймыра (горы Бырранга) после 1960-х годов уже потеряли четверть своей площади и при реализации существующих климатических сценариев могут вовсе исчезнуть к середине XXI в.

На востоке сибирской субарктики, в горах Сунтар-Хаята, Черского и на Мейныпильгинском хребте имеется 626 ледников площадью около 370 км². Ледники заметно отступили с 1960-х го-

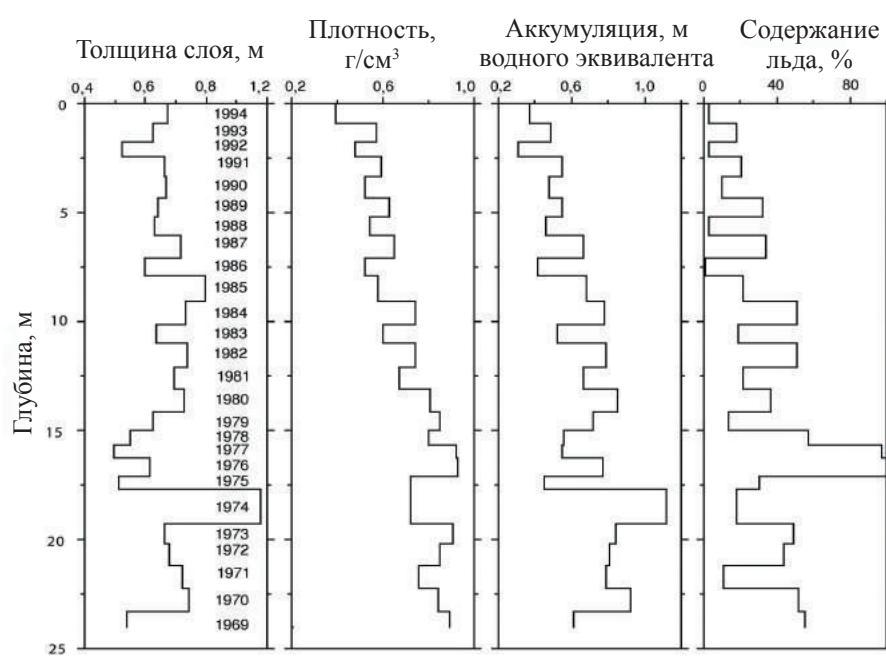


Рис. ТР4.4. Стратиграфические характеристики керна из купола Ветреный.

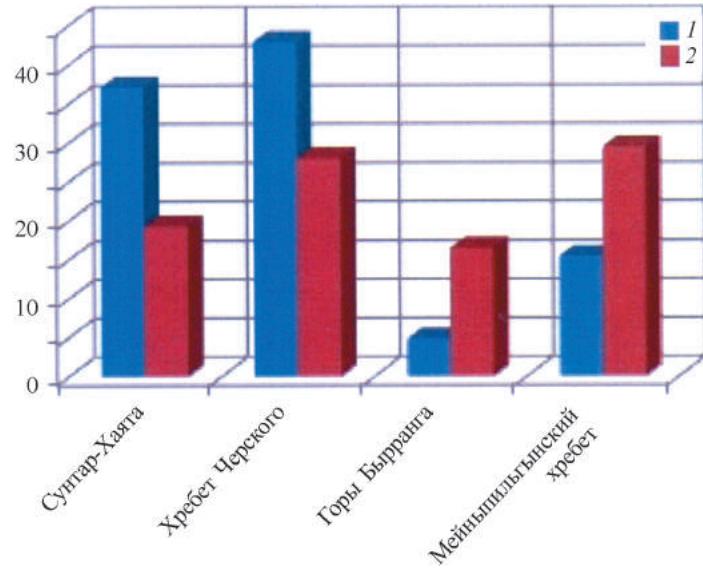


Рис. ТР4.5. Сокращение площади (1 — км²; 2 — %) ледниковых систем гор Сунтар-Хаята (с 1945 г.), хребта Черского (1970 г.), гор Бырранга (с 1967 г.) и Мейныпильгинского хребта (с 1984 г.).

дов. Оледенение хребта Черского сократилось на ~30% с 1970 г., а гор Сунтар-Хаята — на ~20% с 1950-х годов.

На рис. ТР4.5 приведены данные о сокращении площади горного оледенения для четырех ледниковых систем: гор Сунтар-Хаята, хребта Черского, гор Бырранга и Мейныпильгинского хребта.

Согласно материалам космической съемки, на Корякском нагорье имеется 237 ледников общей площадью 373 км². Площадь оледенения Камчатки также сокращается — с 1950 по 2012 г. с 348 до 290 км².

Горное оледенение на юге России сократилось больше, чем в Арктике и Сибири. По сравнению с состоянием на середину XX в. оно уменьшилось примерно на 40% на Кавказе, на 20% на Алтае и не менее чем на 30% в Саянах.

Ожидаемые изменения. Согласно большинству представлений о будущем климате (в соответствии с современными сценариями антропогенного воздействия на климатическую систему) можно ожидать, что описанные выше тенденции изменения оледенения на территории России сохранятся до середины или даже конца ХХI в.

Расчеты, проведенные в условиях среднemodeльного климата для ансамбля моделей CMIP5, показали, что для оледенения арктических островов эти тенденции сохранятся примерно до 2060 г. Однако впоследствии из-за сокращения длины берегов, продуцирующих айсберги, число айсбергов начнет уменьшаться.

Ожидаемые изменения климата в течение ХХI в. приведут к уменьшению ледникового стока для российской части Кавказа и российской части Алтая, который составлял в конце ХХ в. соответственно 1.9 и 1.4 км³/год.

Многолетняя мерзлота

На временных масштабах десятков тысяч лет и больше многолетнемерзлые породы (ММП) периодически протаивали полностью по всей глубине или частично, затем снова промерзали. На меньших временных масштабах оттаивание было частичным. Временной интервал, за который мерзлые толщи протают полностью, зависит прежде всего от состава и льдистости ММП, а также от температуры воздуха, количества осадков и толщины снежного покрова. Современный кли-

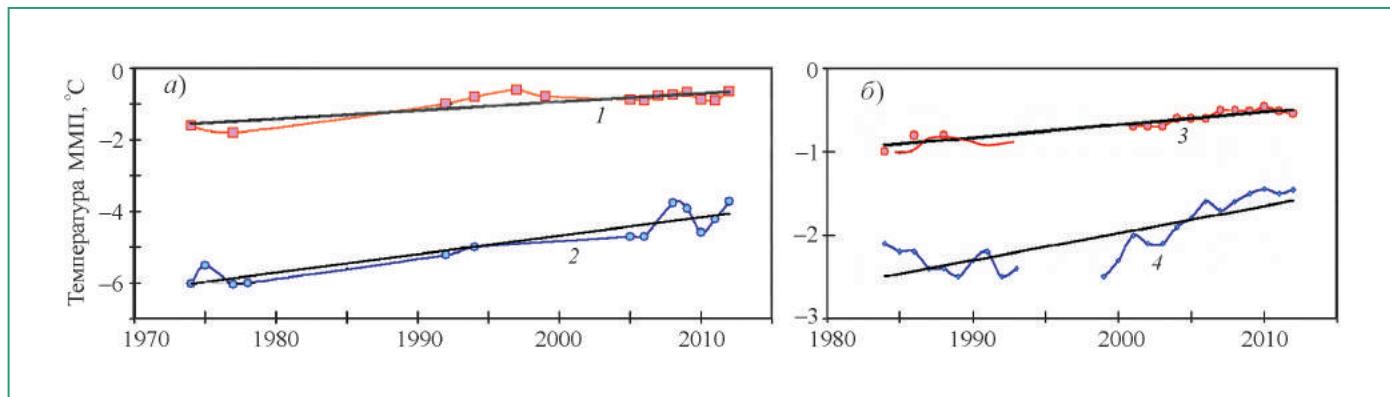


Рис. ТР4.6. Изменчивость среднегодовой температуры пород в разных ландшафтных условиях на стационарах Уренгойский (а) и Болванский (б) и соответствующие тренды. 1) скважина 15-06; глубина 9 м; ольшанник на склоне; $y = 0.5x + 48.09$; 2) скважина 15-08; глубина 9 м; дренированная тундра; $y = 0.2x - 107.06$; 3) скважина 56; глубина 10 м; бровка оврага, дренированная тундра; $y = 0.01x - 133.5$; 4) скважина 59; глубина 10 м; вершина увала, типичная тундра; $y = 0.03x - 159.8$.

мат, в частности температура в приповерхностном слое, меняется очень быстро, что вызывает заметную деградацию многолетней мерзлоты.

Наиболее информативными показателями современного состояния криолитозоны (многолетней мерзлоты) являются распространение и температура ММП, глубина сезонного протаивания и промерзания, параметры криогенных геологических процессов. Регулярные наблюдения за этими показателями ведутся на объектах мониторинга в России не более 50 последних лет. Именно в этот период наблюдалось существенное потепление климата.

Для всей криолитозоны России характерны более низкие темпы повышения среднегодовой температуры ММП по сравнению с повышением температуры воздуха в приповерхностном слое. Соотношение между темпами повышения (временными линейными трендами) температуры воздуха и пород за последние 50 лет колеблется в разных регионах от 0.49 до 0.81, а в среднем для России составляет 0.66. Установлено, что наибольшие тренды среднегодовой температуры ММП характерны для низкотемпературных криогенных ландшафтов, а наименьшие — для высокотемпературных. При температуре пород 0...-1°C процесс деградации мерзлоты существенно замедляется (рис. ТР4.6).

За 50 лет южная граница распространения мерзлоты у поверхности сместилась к северу на 30—40 км в Печорской низменности и до 80 км — на равнинах Приуралья. В Западной Сибири (территория Уренгойского месторождения) ММП на отдельных дренированных водоразделах протая-

ли до глубины 3—8 м от земной поверхности в полосе шириной около 100 км.

За период систематических наблюдений на площадках мониторинга отмечается увеличение средней глубины сезонного протаивания ММП на 1—2 см в Западной Сибири и Якутии и на 2—6 см — в ЕЧР. При этом не происходит синхронного повышения температуры воздуха и увеличения глубины сезонного протаивания ММП, значительное влияние оказывают внутригодовая изменчивость температуры воздуха и количества осадков. Не наблюдается также однозначной зависимости активизации криогенных процессов от уровня потепления.

Согласно расчетным перспективным оценкам для городов Воркута, Надым и Мирный, в середине XXI в. повышение температуры грунта ΔT_g будет близким к повышению температуры воздуха ΔT_v . Отношение первого ко второму значению находится в пределах 0.83—1.03. Глубина сезонного протаивания за первую половину XXI в. в городах Воркута и Надым должна измениться незначительно, а в г. Мирный ожидается ее увеличение на 20%. К концу XXI в. ожидается значительный прирост глубины сезонного протаивания, но средняя расчетная толщина ММП (мощность криолитозоны) сократится всего на 1 м. В Воркуте и Надыме температура пород до конца XXI в. сохранит отрицательные значения (табл. ТР4.1).

Согласно перспективным оценкам состояния ММП в Евразии в условиях ожидаемого в XXI в. потепления климата, к середине и концу XXI в. область протаявшей с поверхности мерзлоты

Таблица ТР4.1. Перспективные оценки изменений температуры воздуха T_a и грунта T_g в XXI в.

Период, годы	T_a , °C	T_g , °C	Глубина сезонного протаивания, м	Мощность криолитозоны, м	$\Delta T_g / \Delta T_a$
Воркута					
2000—2010	-5.4	-0.94	0.92	71.90	—
2040—2050	-4.6	-0.28	0.98	71.78	0.83
2090—2100	-4.1	-0.07	1.26	71.37	0.67
Надым					
2000—2010	-5.4	-1.15	0.59	91.00	—
2040—2050	-4.5	-0.22	0.64	90.83	1.03
2090—2100	-3.9	-0.04	1.50	90.22	0.74
Мирный					
2000—2010	-6.3	-1.99	1.95	301.9	—
2040—2050	-4.6	-0.56	2.33	301.7	0.84

будет постепенно увеличиваться, а температура ММП — повышаться (рис. ТР4.7). К середине XXI в. многолетняя мерзлота прорастает на большей части севера ЕЧР. 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 ММП полностью оттают с поверхности. Верхняя граница мерзлых толщ опустится на некоторую глубину. Потепление не скажется на распространении реликтовой мерзлоты на севере ЕЧР и юге Западной Сибири.

Природные экосистемы суши

Фенология растений. В Северном полушарии продолжительность вегетационного периода (ПВП) увеличивается с 1950 г. Ее увеличение в среднем по Северному полушарию было особенно значительно в 1980—2011 гг. — тренд составил 0.029 сут/год (рис. ТР4.8), а в среднем по Евразии — 0.04 сут/год. В Северном полушарии за 1982—1999 гг. средняя продолжительность вегетационного периода увеличилась на 9.5 сут, а за 2000—2008 гг. — на 2.5 сут. Для центра ЕЧР и юга Западной Сибири тренд ПВП за 1982—2008 гг. составил 0.4—1.0 сут/год. Все изменения объясняются повышением температуры воздуха.

В XXI в. продолжительность вегетационного периода будет увеличиваться с повышением температуры в приповерхностном слое.

Стимуляция роста растений увеличением концентрации CO_2 . Оценки показывают, что за период 1980—2010 гг. скорость фотосинтеза увеличилась на 5—10% из-за увеличения содержания CO_2 в атмосфере.

Расчеты с помощью моделей роста растений показывают, что прирост биомассы растений при увеличении содержания CO_2 и потеплении в XXI в. будет в большей мере происходить из-за прямой стимуляции прироста увеличением концентрации CO_2 в атмосфере, в то время как собственно повышение температуры будет иметь существенно меньшее значение.

Продуктивность растительных сообществ. Годовая чистая первичная продукция растений (NPP — Net Primary Production) увеличивалась в период 1982—2000 гг. (табл. ТР4.2).

В будущем в условиях увеличения концентрации CO_2 чистая первичная продукция растений будет увеличиваться.

Границы растительных зон на равнине и в горах. В течение XX в. наблюдалась экспансия древесной растительности в горные тундры, в частности, верхняя граница редколесий продвинулась выше в горы до 310 м над уровнем моря. На равнине в Восточной Сибири наблюдалось

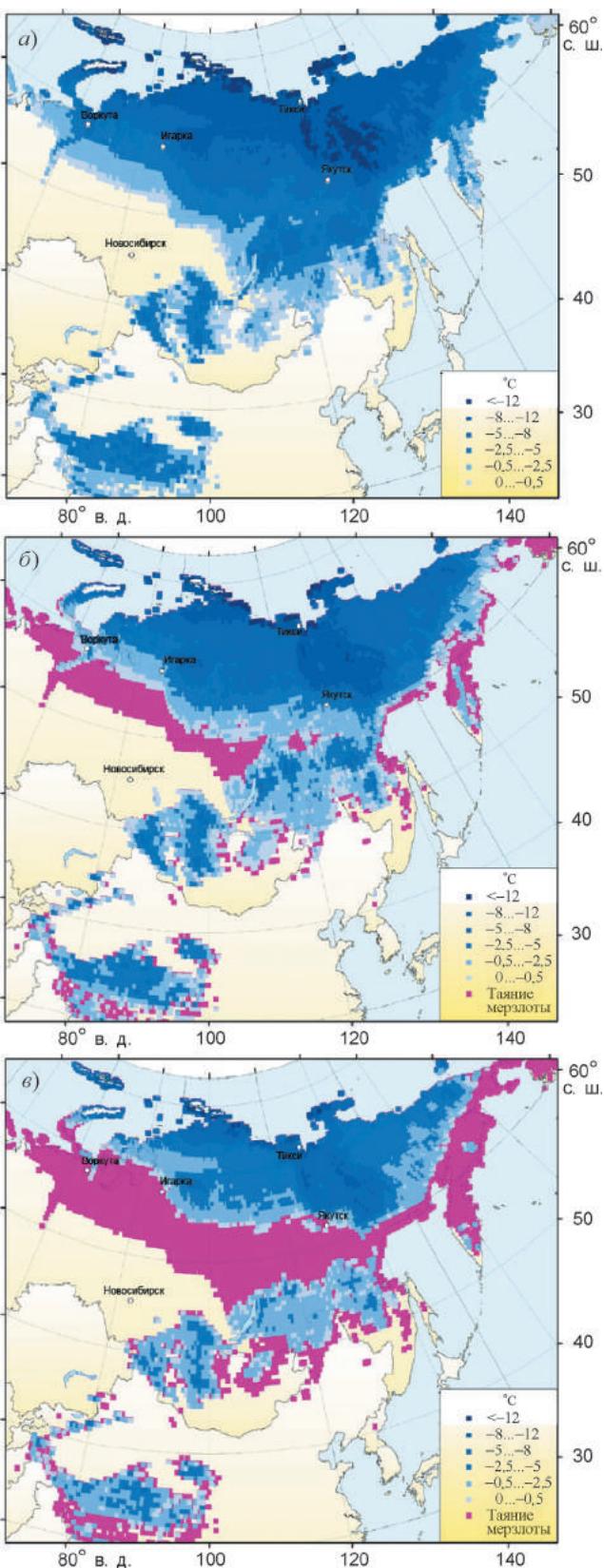


Рис. ТР4.7. Среднегодовая температура пород в нижней части слоя сезонного промерзания (промерзания) в Северной Евразии для трех временных интервалов: 1990–2000 (а), 2040–2050 (б) и 2090–2100 гг. (в). Области распространения оттаявшей с поверхности мерзлоты показаны розовым цветом.

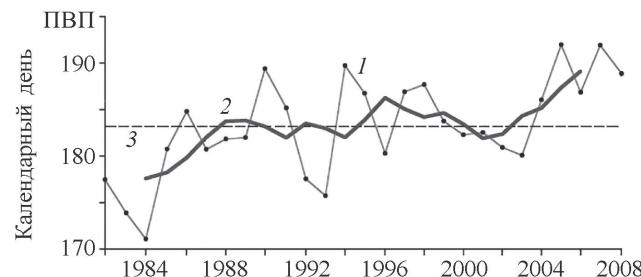


Рис. ТР4.8. Изменения средней по Северному полушарию продолжительности вегетационного периода (ПВП), сут. 1 — по данным наблюдений; 2 — скользящее среднее; 3 — среднее значение ПВП за период наблюдений.

Таблица ТР4.2. Тренд NPP (% относительно начального года/год)

Период, годы	Евразия	Бореальный лес	Арктика
1982—1991	1.17	1.42	1.02
1982—2000	0.22	0.35	0.13
NPP, (г С/м ²)/год	342	444	247

Примечание. Для справки также приведены средние по регионам значения NPP за 1982—2000 гг.

продвижение темнохвойной тайги на территории, занимаемые лиственничниками.

В условиях принятых в данном докладе сценарных представлений о будущем климате в XXI в. ожидается сохранение наблюдаемых тенденций.

Изменения в расположении биомов в Арктике (рис. ТР4.9) в основном сводятся к следующему:

- значительно сократятся площадь тундры (на 42%) и ареал лиственницы; для последнего остается 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.

Однако существующие перспективные оценки для изменения границы лес — степь противоречивы.

Изменение видового разнообразия и ареалов растений и животных. Аридизация климата в Забайкалье и западной части Приамурья за последнее столетие привела к продвижению степей на север и к соответствующей миграции степных видов млекопитающих (зобастой антилопы

Procapra gutturosa) и птиц (степного орла *Aquila rapax*). В период 1985—2006 гг. наблюдалось сокращение ареала белого медведя *Ursus maritimus* в Арктике. На побережье Чукотского моря в последние годы наблюдалась высокая смертность тихоокеанского моржа, объясняемая сокращением площади морского льда в летний период.

В XXI в. ожидается сохранение наблюдаемых тенденций. Существует угроза исчезновения с территории Алтае-Саянского экорегиона ряда высокогорных видов растений и лишайников. Здесь ожидается сокращение ареала алтайского горного барана и численности сибирского северного оленя. Ожидается ухудшение условий обитания для белого медведя во всей арктической зоне России (рис. ТР4.10).

Изменения режимов природных нарушений в экосистемах. 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. Далее в XXI в. ожидаются эскалация пожарных режимов и ускорение размножения насекомых-вредителей, усы

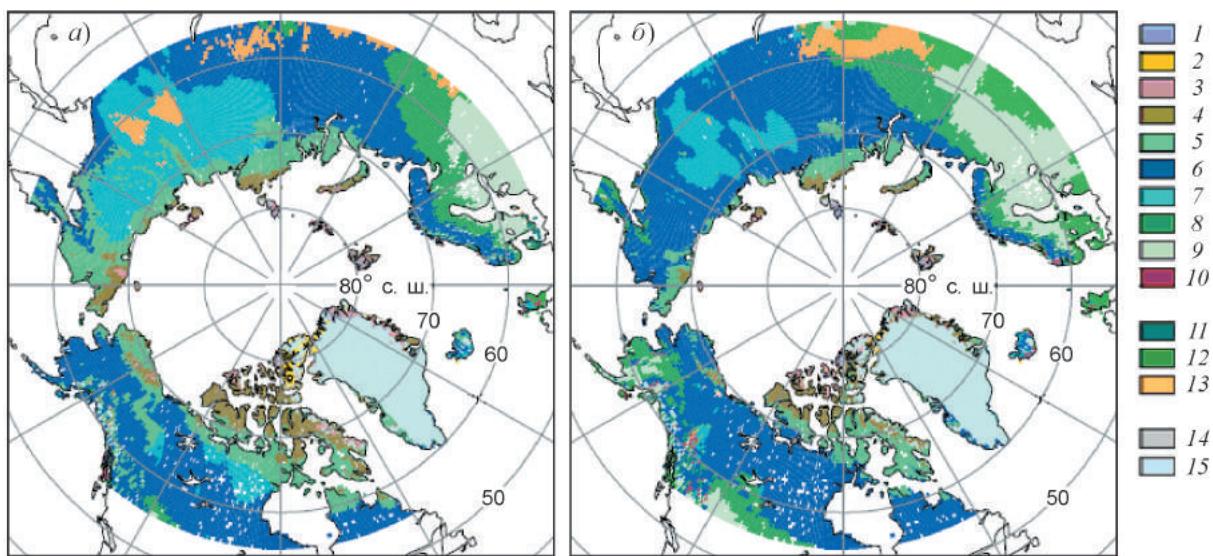


Рис. ТР4.9. Распределение растительности: а) современное, согласно базе данных CAVM/GLC2000; б) рассчитанное по модели BIOME4 при глобальном потеплении на 2°C. 1) бесплодные земли; 2) граминойдная тундра; 3) тундра со стелящимися карликовыми кустарниками; 4) тундра с прямостоячими карликовыми кустарниками; 5) кустарниковая тундра; 6) вечнозеленая бореальная тайга; 7) листвопадная тайга; 8) вечнозеленая средняя тайга; 9) смешанный бореальный лес; 10) смешанный лиственый лес; 11) вечнозеленый лиственый лес; 12) листвопадный широколиственный лес; 13) травы и ксерофильные кустарники; 14) голая земля; 15) лед; из (Bala, Caldeira, Mirin, et al., 2005).

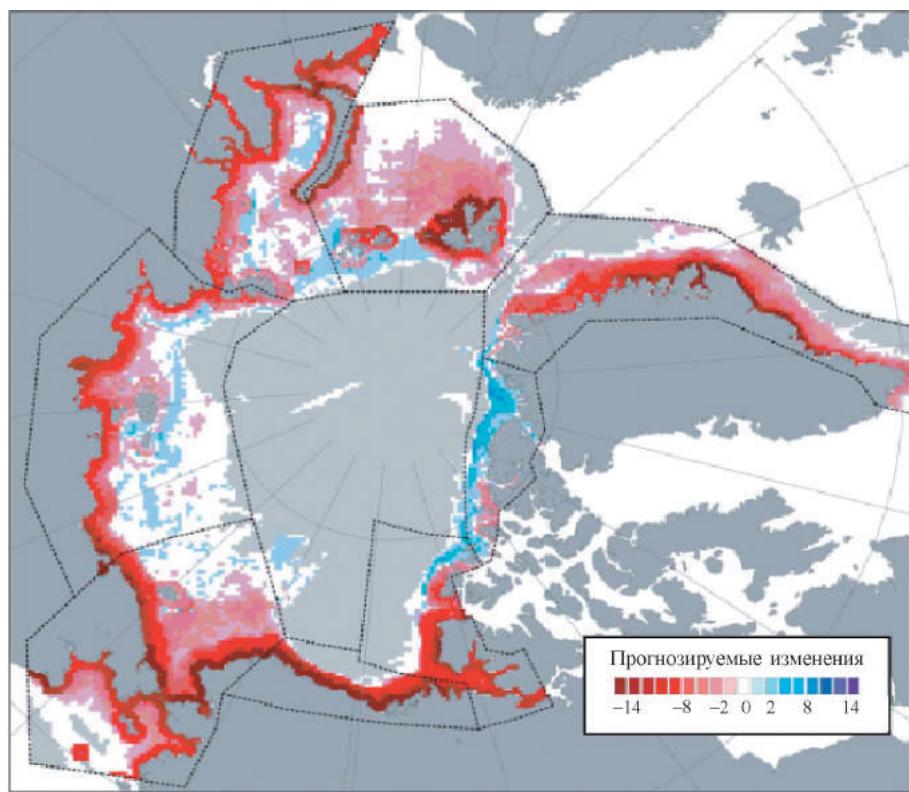


Рис. ТР4.10. Изменения в местообитании белого медведя, прогнозируемые для 2041—2050 гг. по отношению к состоянию на 2001—2010 гг. Градациями цвета показано число месяцев за 2041—2050 гг., на которое уменьшилась (красный) или увеличилась (синий) длительность условий, оптимальных для белого медведя; из (Durner, Douglas, Nielson, et al., 2009).

хание (прежде всего хвойных) лесов на больших площадях вследствие этих явлений. Подробнее эти вопросы рассмотрены в разделе 6.

Углеродный баланс почв: последствия изменений климата

В долгосрочной перспективе при изменении климата на большей части территории России будут складываться условия для увеличения эмиссии CO₂ почвами и сокращения запасов почвенного углерода (рис. ТР4.11).

К 2020 г. эмиссия CO₂ почвами России увеличится по сравнению с базовым периодом 1981—2000 гг. в среднем на 6%, а к 2050 г. — на 17%. При этом наблюдаются как зоны интенсивного увеличения (тундра и северная тайга), так и небольшие районы с пониженной интенсивностью дыхания почв.

Уровень эмиссии CO₂ почвами лесных экосистем может увеличиться примерно на 15%. С учетом увеличения объемов рубок и интенсивности лесных пожаров следует ожидать, что общее содержание углерода в лесных экосистемах России будет уменьшаться. Необходима разработка стратегии и комплексной программы адаптации лесов России к глобальным изменениям климата, вклю-

чающая систему генетических, лесоводственных, институциональных, социальных и прочих мероприятий.

В почвах пахотных земель ЕЧР при неизменном землепользовании следует ожидать уменьшения запасов углерода в XXI в. Возможные потери за 70 лет (2000—2070 гг.) могут составить от 9 до 12% его общего запаса 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.) позволяют снизить потери на 30—45% ожидаемого объема потерь без мер адаптации.

В XXI в. аккумуляция углерода почвами залежных земель России (современный уровень 74 ± 22 Мт С/год) может сократиться на большей части территории АЧР и Центрально-Черноземной зоны (на 11—32%) и увеличиться в Северо-Западном и Центральном федеральных округах (до 27%). Эмиссия CO₂ от торфяно-болотных угодий увеличится 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 осущененных земель.

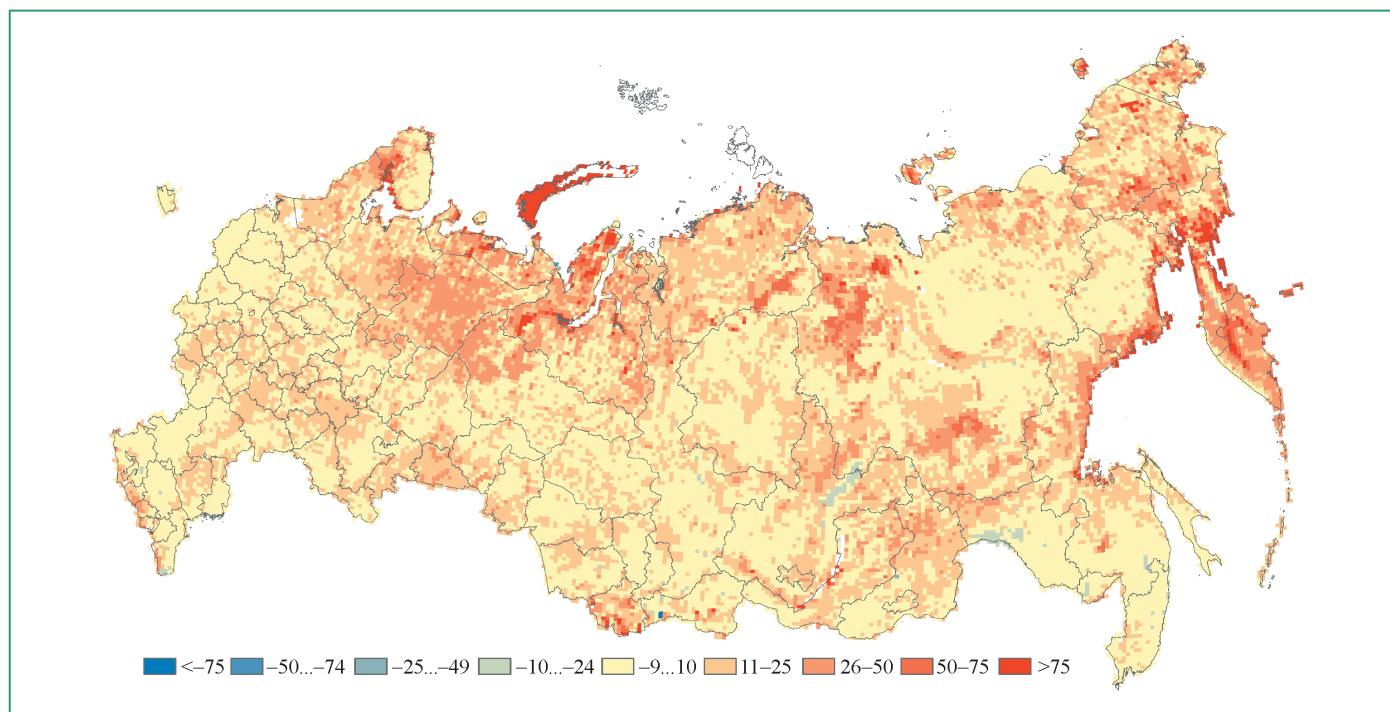


Рис. ТР4.11. Перспективная оценка изменения (%) среднегодового гетеротрофного дыхания почв к 2050 г. по сравнению с базовым периодом 1981—2000 гг. на основе расчетов с региональной климатической моделью ГГО.

В зоне многолетнемерзлых пород возможное таяние приведет к увеличению эмиссии CH_4 к середине XXI в. дополнительно примерно на 8—10 Мт в год, что увеличит среднегодовую глобальную температуру приблизительно на 0.012°C . Дополнительно около 0.01°C может внести повышение эмиссии CH_4 на шельфе морей Восточной Арктики.

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

Засухи и опустынивание

Засухи и опустынивание — природные бедствия, наносящие огромный ущерб природному комплексу и хозяйственным объектам. Засуху можно считать результатом взаимодействия между природными процессами, вызывающими дефицит влаги вследствие климатической изменчивости разных временных масштабов, и потребностью в воде для систем жизнеобеспечения. Засухи наблюдаются во всех природных зонах России, как с большим, так и с малым количеством осадков.

На территориях с малым количеством осадков и большой испаряемостью (засушливые земли) длительные засухи становятся одним из факторов их аридизации — комплекса процессов в приповерхностных слоях, ведущего к увеличению сухости климата и последующей деградации земель. В России на таких территориях аридизация пред-

ставляет собой естественный обратимый процесс расширения примыкающих к границе страны пустынь и является начальной стадией опустынивания. Другая составляющая опустынивания — антропогенная, она обусловлена деградацией засушливых земель в результате деятельности человека. В этом случае возрастает чувствительность антропогенно-деградированных земель к засухам.

В системе агрометеорологического мониторинга Росгидромета в качестве индексов засух используются индикаторы увлажнения территории: гидротермический коэффициент Селянинова и запасы продуктивной влаги в пахотном и метровом слое почвы. Также оценивают площади распространения экстремальных условий увлажнения территории (в частности засухи), анализируя аномалии месячных значений температуры воздуха и осадков.

Для земледельческих районов и пастбищной зоны России климатические изменения разных индексов засух следует рассматривать на фоне меняющегося годового и сезонного увлажнения. Последнее характеризуется отношением годовой (сезонной) суммы осадков к годовой (сезонной) испаряемости. На рис. ТР4.12 представлены четыре района зернового пояса и пастбищной зоны, примерно однородные по характеру изменения во времени годового увлажнения.

Годовое увлажнение зернового пояса (особенно его европейской части) было наименьшим за весь период инструментальных наблюдений в

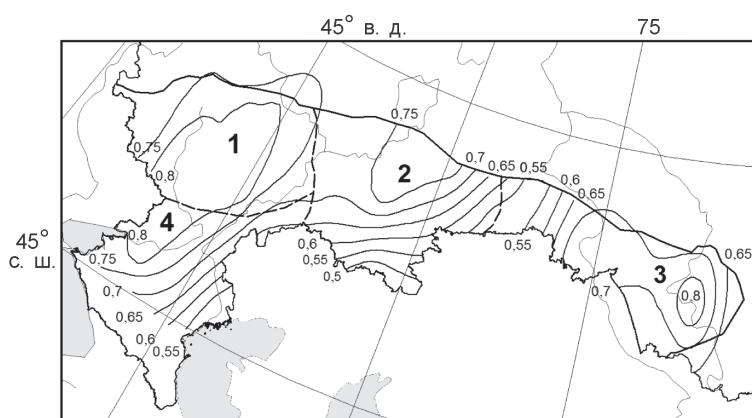


Рис. ТР4.12. Границы районов 1, 2, 3 и 4, характеризующихся однородными изменениями коэффициента увлажнения в период 1936—2011 гг. (штриховая линия). Сплошные линии дают возможность отследить уменьшение коэффициента корреляции увлажнения от центра районов к периферии.

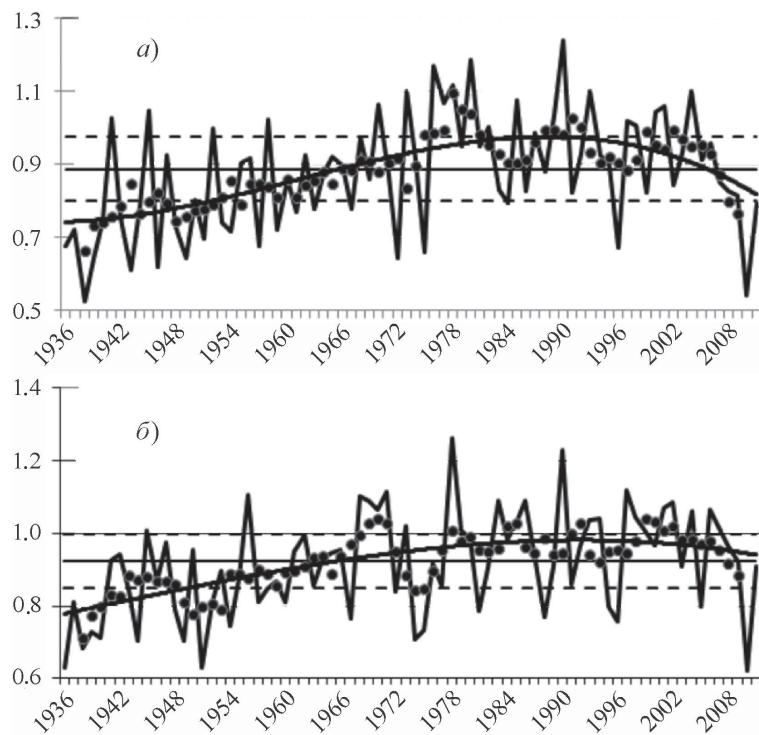


Рис. ТР4.13. Значения коэффициента увлажнения в период 1936—2011 гг., осредненные по районам его однородных изменений: первому (а) и второму (б), и нелинейные тренды. Точками показаны средние за пять лет; прямыми линиями — сплошной и штриховой — отмечены соответственно среднее значение и диапазон среднеквадратического отклонения, вычисленные по средним за пятилетия коэффициентам увлажнения.

1930-х годах. После этого времени началось медленное увеличение увлажнения (гумидизация климата), которое остановилось в 1990-х годах сначала в западной части зернового пояса и затем, примерно через 5—10 лет, и в восточной части пояса (рис. ТР4.13).

Изменение во времени увлажнения в сезон активной вегетации в общем соответствовало положительному тенденции годового увлажнения, но оно было более неоднородным в пространстве, чем изменение годового увлажнения.

Сильные и обширные засухи почти ежегодно наблюдались на ЕЧР в 1930-е годы. Хотя повторяемость этих засух в последующие десятилетия была меньше, чем в 1931—1940 гг., все же в отдельные десятилетия (1951—1960 и 1991—2000 гг.) она несколько увеличивалась. На фоне гумидизации климата в период 1936—1990 гг., согласно некоторым индексам увлажнения, наблюдалось небольшое увеличение интенсивности и площади распространения засух. Период интенсификации современного глобального потепления (последняя четверть XX в.) характери-

зуется увеличением не повторяемости засух, а их интенсивности и охвата территории.

В 2010 г. на ЕЧР отмечалась сильнейшая засуха. Она была экстремальной (по индексу Педя) только на территории двух федеральных округов — Приволжского и Центрального. В Приволжском федеральном округе она была максимальной и по площади распространения. По охвату экономических районов (пяти) она занимает седьмое место (первое и второе места у засух 1998 и 1963 гг.). По абсолютному отклонению урожайности зерновых засуха 2010 г. не на первом месте, а по относительному отклонению — она одна из многих засух.

Опустынивание засушливых земель ЕЧР поддерживается в основном антропогенной нагрузкой на экосистемы. Региональная положительная флюктуация влажности климата конца 1980-х годов — начала XXI в. (рис. ТР4.12) способствовала восстановлению растительности даже в условиях сильной антропогенной нагрузки. Также на интенсивность восстановления повлияло временное снижение перевыпаса в конце XX в.

Восстановление растительности продолжается: увеличивается доля степных видов (злаков) и сокращается распространение пустынных видов. Антропогенный очаг опустынивания в районе Черных Земель (Республика Калмыкия) резко сократился, в то время как произошло расширение локальных очагов опустынивания антропогенного происхождения преимущественно на границе с Казахстаном. В последние годы замедлился или остановился рост годового поголовья скота, являющегося фактором антропогенного опустынивания.

Результаты расчетов будущего климата как с помощью разных климатических моделей, так и их ансамблей указывают на будущее изменение увлажнения зернового пояса по смешанному аридно-гумидному типу. Аридизация будет усиливаться и расширяться в период 2031—2050 гг. по отношению к периоду 2011—2030 гг. Результаты расчетов с помощью большинства рассмотренных моделей семейства CMIP3 и CMIP5 указывают на статистически значимое уменьшение увлажнения в России к середине XXI в., особенно на засуш-

ливых землях юга ЕЧР. Ожидается увеличение числа блокингов в Атлантико-Европейском секторе и увеличение повторяемости засух, при этом увеличится доля почвенных засух. Возможен более частый охват засухами территории к северу от зернового пояса.

Условием адекватной адаптации к ожидаемому более засушливому климату южных районов зернового пояса является 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 сокращения перевыпаса и применения технологий восстановления или увеличения биопотенциала пастбищ (внесение органических и минеральных удобрений, посев трав с высокой биопродуктивностью, увлажнение). Как показывает международный опыт адаптации, ее эффективность высока при применении на локальном уровне, т. е. на уровне фермерских хозяйств.

5. ВОЗДЕЙСТВИЯ ИЗМЕНЕНИЙ КЛИМАТА НА МОРСКИЕ ПРИРОДНЫЕ СИСТЕМЫ

Арктические моря России

Влияние изменения климата на арктические моря России и их береговые зоны представляет существенный интерес с экономической и экологической точек зрения, поскольку их роль в экономике страны значительна, а экосистемы северных морей особенно чувствительны к изменению состояния среды, в том числе к изменению климата. Через акваторию арктических морей пролегает трасса Северного морского пути, соединяющая европейские и азиатские порты, а также устья сибирских рек.

Климатические условия в Белом, Баренцевом, Карском морях и море Лаптевых формируются преимущественно под влиянием переноса тепла и влаги из Северной Атлантики. Климат в Восточно-Сибирском и Чукотском морях в значительной степени определяется условиями над северной частью Тихого океана и центром действия атмосферы над Восточной Сибирью.

За 1981—2010 гг. повышение среднегодовой температуры воздуха было статистически значимым над всеми районами арктических морей. При этом в разных частях морской Арктики (в зоне от 70 до 85° с. ш.) скорость потепления была разной. Так, в районе Белого моря температура воздуха увеличилась в среднем на 2.1°C, в зимний сезон повышение температуры в северной части Баренцева моря составило чуть более 4°C, а в районах морей азиатского сектора — Лаптевых, Восточно-Сибирского и Чукотского — повышение температуры было в диапазоне от 0.4 до 1.1°C. В осенний сезон наибольшее повышение температуры наблюдалось в районе Чукотского моря; здесь оно составило около 4.5°C за 30 лет. В годовых суммах осадков в широтной зоне 70—85° с. ш. российской Арктики в целом статистически значимая тенденция изменений отсутствует. Статистически значимое увеличение осадков холодного периода отмечено только на станциях, прилегающих к акватории Карского моря.

Во всех районах арктических морей наблюдается тренд к более позднему образованию снежного покрова. В изменениях сроков разрушения снежного покрова почти на всей территории севернее 70° с. ш. наблюдаются тенденции к более

раннему разрушению, особенно в районах морей Лаптевых и Восточно-Сибирского. Тренд к более поздним срокам разрушения снежного покрова отмечен только в районе Карского моря. В результате за последние 30 лет наблюдалась устойчивая тенденция к уменьшению продолжительности залегания устойчивого снежного покрова на всей территории севернее 70° с. ш.

Наиболее выраженные климатические изменения термохалинного состояния Северного Ледовитого океана наблюдаются в глубоководной части Арктического бассейна. Однако окраинные моря сибирского шельфа с учетом их значительной относительной площади вносят существенный вклад в общую изменчивость отдельных элементов и характеристик арктической климатической системы.

С конца 1970-х годов отмечается выраженный положительный тренд средних интегральных значений температуры и солености воды в Баренцевом и Карском морях. Так, в конце 2000-х годов средние значения температуры воды Баренцева моря летом и зимой были соответственно около 1.9—2.1 и 0.9—1.1°C, что почти на 1°C выше соответствующих значений температуры в конце 1970-х годов. Увеличение температуры воды происходило одновременно с увеличением солености, которая изменилась примерно от 34.73 до 34.80% зимой и от 34.55 до 34.67% летом. Аналогичная ситуация наблюдалась в Карском море, где увеличение летом и зимой температуры воды составило 0.8—0.9°C, а солености — 0.5—0.6‰.

В Белом море среднегодовая температура воды в целом за период 1982—2011 гг. увеличилась примерно на 2.3°C.

Результаты наблюдений за температурой и соленостью в морях сибирского шельфа свидетельствуют о наличии значимых трендов солености как летом, так и зимой, а также температуры воды летом. При этом в морях восточного сектора российской Арктики увеличение температуры воды выражено в меньшей степени, чем в Баренцевом и Карском морях. Так, в море Лаптевых средняя температура верхнего 50-метрового слоя воды к концу 2000-х годов увеличилась примерно на 0.4°C, в Чукотском — на 0.3—0.4°C.

Характерной чертой уровенного режима для большинства районов арктических морей России является наличие положительного тренда, с одной стороны, и различия в характере колебаний уров-

ня в периоды до 1985 г. и после, с другой стороны. Практически во всех районах арктических морей колебания уровня моря до 1985 г. носили стационарный характер, линейный тренд в тот период был близок к нулю. После 1985 г. характер колебаний уровня на станциях арктических морей существенным образом изменился: в 1985 г. начался резкий подъем уровня и в конце 1980-х — начале 1990-х годов его колебания происходили на повышенном фоне. Затем в конце 1990-х годов — начале 2000-х годов уровень вновь стал повышаться и в 2005—2007 гг. достиг или превысил наблюдавшиеся ранее максимумы. Значение тренда за период 1984—2011 гг. для разных районов арктических морей составило от 0.023 до 0.475 см/год при средней величине тренда 0.247 см/год и среднеквадратической ошибке ± 0.112 см/год. При этом наибольшие значения тренда были зафиксированы в юго-западной части Карского моря и в Восточно-Сибирском море.

Наиболее показательным индикатором изменений климата в морской части Арктики являются морские льды. В последней четверти XX в. в Северном полушарии наблюдалось сокращение площади морского льда на фоне 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 суток. Позже других районов арктических морей в среднем на

21—22 суток ледообразование наступало в юго-западных частях Карского и Чукотского морей. В закрытых бухтах ледообразование происходило в среднем на 3—7 суток позже, в открытых районах морей — в среднем на 9—13 суток позже.

Общая площадь припая в среднем за период 2001—2012 гг. по сравнению с периодом 1965—1975 гг. уменьшилась на 29 тыс. км², что составляет около 4% средней площади припая. Наибольшие изменения площади припая произошли в Карском море. В восточных морях изменения площади припая были незначительны. Аналогичные тенденции отмечались и в изменениях толщины льда в арктических морях: наиболее заметные изменения происходили в Карском море, где толщина припая в районах полярных станций уменьшилась на 18 см. При этом в восточных морях изменения средней толщины припайного льда незначительны, не превышают в среднем 2% среднего многолетнего значения. В результате во всех морях в 2001—2011 гг. продолжительность ледового периода уменьшилась и составила 284 суток, что на 40 суток меньше, чем в 1965—1975 гг.

Балтийское море

В последние 30 лет в российских прибрежных водах Финского залива Балтийского моря тенденция повышения температуры воздуха сохранялась (рис. ТР5.1). За 1958—2008 гг. средняя температура воздуха в зимний период увеличилась на 2.8°C, в то время как летом температура повысилась на 1.2°C. Температура поверхности воды за последние 20 лет повысилась на 1.6°C, а продолжительность покрытия льдом в восточной

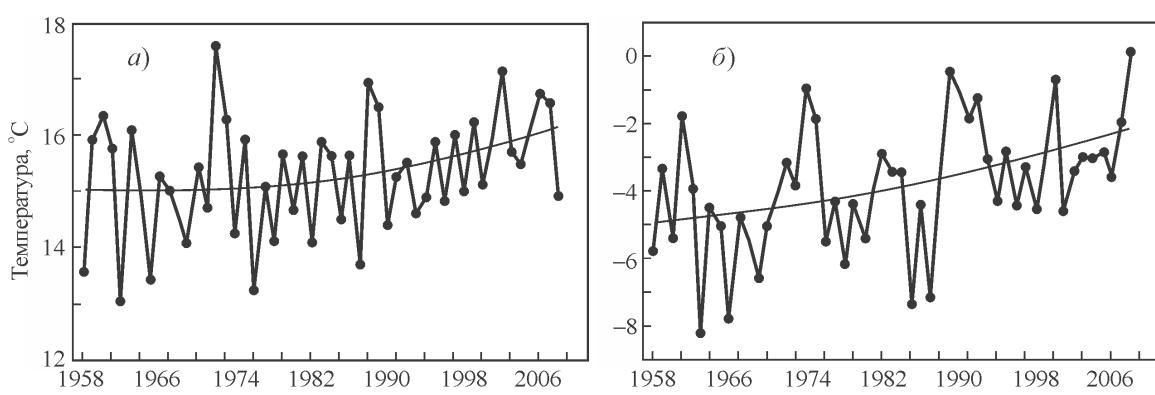


Рис. ТР5.1. Изменение средних значений температуры воздуха в приповерхностном слое в восточной части Финского залива летом (а) и зимой (б). Сплошная линия — тренд.

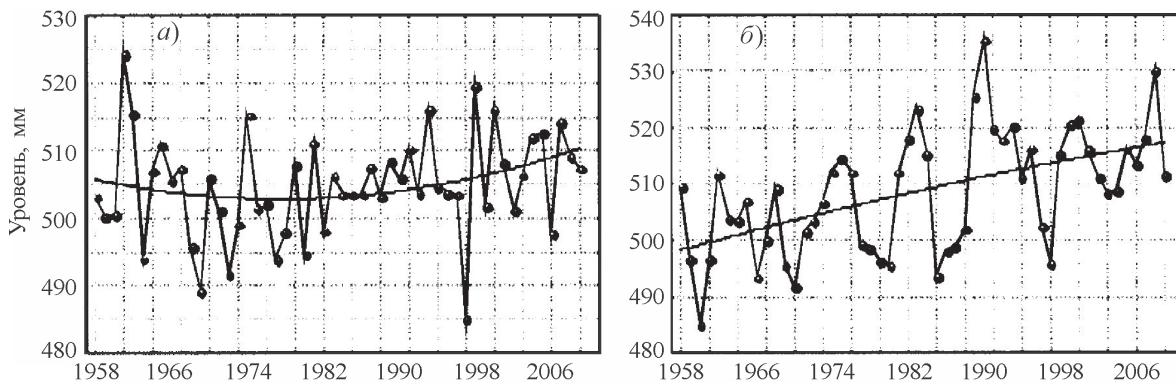


Рис. ТР5.2. Изменение средних значений уровня моря в Финском заливе летом (а) и зимой (б). Сплошная линия — тренд.

части Финского залива уменьшилась на 15 суток. При этом повышение уровня моря за 50 лет составило 5 мм (рис. ТР5.2).

Наибольшие значения аномалий климатических параметров были зафиксированы в период 1991—2005 гг. Сравнение с изменениями гидрометеорологических характеристик на юге Балтики показало, что повышение температуры воздуха и температуры поверхности моря в северо-восточной прибрежной зоне Балтийского моря — в восточной части Финского залива — происходило быстрее. Вместе с тем повышение уровня моря в южных прибрежных районах составляло от 9 до 14 см за 45 лет, что значительно превышает величину, на которую увеличился уровень в северо-восточной прибрежной зоне Балтийского моря. Это связано с разными скоростями подъема земной поверхности на севере и юге моря. Продолжительность ледяного покрова в южной части моря сократилась в два раза по сравнению с восточной частью Финского залива. При сохранении современной тенденции усиления интенсивности штормовых явлений в Балтийском море вероятно дальнейшее увеличение экстремумов высоты уровня моря в будущем.

Анализ результатов модельных расчетов (модель SPBEM) показал, что ожидаемое потепление климата может привести к повышению температуры Балтийского моря, уменьшению солености и площади морского льда, увеличению речного стока. Эти изменения гидрологического режима будут оказывать существенное воздействие на морские экосистемы Балтийского моря. При потеплении климата площади гипоксийных и аноксийных зон в

Балтийском море будут увеличиваться или, в лучшем случае, незначительно уменьшаться по сравнению с их современными значениями. Этот результат в качественном отношении не зависит от того, какая глобальная климатическая модель и какой сценарий изменения климата используются в расчетах. Развитие гипоксийно-аноксийных условий приведет к ухудшению качества вод Балтийского моря.

При ожидаемых изменениях климата в XXI в. в биологических сообществах можно предполагать дальнейшее развитие современных тенденций. В фитопланктоне будет наблюдаться ослабление весеннего максимума развития диатомовых водорослей. В зоопланктоне продолжится увеличение доли теплолюбивых мелких копепод и ветвистоусых ракообразных. Сохранится доминирующее положение шпрота в ихтиоценозе.

Повышение температуры также приведет к нарушению естественных фенологических циклов — начало развития разных организмов сдвигается на более ранние сроки. Это в свою очередь может иметь неблагоприятные последствия на экосистемном уровне вследствие нарушения сложившихся трофических взаимоотношений.

Ожидаемое увеличение площади гипоксийных и аноксийных зон приведет к расширению участков дна, непригодных для макрозообентоса, и увеличению внутренней фосфорной нагрузки, что будет способствовать еще большему развитию азотфиксирующих видов синезеленых водорослей.

Влияние видов-вселенцев на функционирование природных сообществ и экосистем является, по-видимому, наиболее слабоизученным и трудно прогнозируемым аспектом проблемы эколо-

гических последствий изменений климата. Хотя распространение чужеродных видов — общепризнанная угроза для окружающей среды, растет понимание, что в ряде случаев они могут выполнять важные функции в экосистемах, особенно в нарушенных антропогенным воздействием. Это может рассматриваться как адаптация природных сообществ к меняющимся условиям среды.

Южные моря России

В последнюю четверть XX в. климат в районах южных морей России (Черное, Азовское и Каспийское) заметно изменился. Среднегодовая температура воздуха с 1979 по 2011 г. увеличилась в среднем на 0.42°C в районе Черного моря (рис. ТР5.3) и на 2.21°C в районе Каспийского моря. Годовая сумма осадков с 1979 по 2010 г. в районе Черного моря увеличилась в среднем на 56 мм, в районе Азовского моря — на 54 мм; в районе Каспийского моря наблюдалось ее уменьшение на 4 мм (в пределах ошибки оценки). Анализ изменения годового количества осадков в районе Азовского моря за более продолжительный период (1891—2007 гг.) свидетельствует об их увеличении на 60—190 мм во всех пунктах побережья, в первую очередь в результате их увеличения в зимний сезон. В 2000—2011 гг. преобладала тенденция уменьшения скорости ветра во всех районах южных морей.

Среднегодовая температура поверхности моря (ТПМ) в 1982—2009 гг. во всех морях повышалась со скоростью $0.05\text{--}0.06^{\circ}\text{C}/\text{год}$ (рис. ТР5.4 для Черного моря). Соленость морей менялась разнонаправленно в связи с особенностями их гидрометеорологических режимов. Ледовитость морей уменьшалась, и это хорошо согласуется с тенденциями изменения температуры воздуха: с уменьшением (в среднем) суммы градусодней мороза средняя сезонная ледовитость уменьшалась.

Средняя для 1993—2009 гг. скорость подъема уровня Черного моря оказалась равной $0.57 \pm 0.11 \text{ см}/\text{год}$, а в Азовском море она составила $1.39 \pm 0.21 \text{ см}/\text{год}$. В тот же период уровень Каспия дважды повышался и дважды понижался. В 2010—2012 гг. скорость понижения уровня Каспия увеличилась примерно до $15.23 \pm 1.42 \text{ см}/\text{год}$, к концу 2012 г. его уровень составил -27.7 м БС (рис. ТР5.5).

Среднегодовой сток Дуная (пост 54-я миля) за 1993—2009 гг. увеличивался со скоростью $0.464 \text{ км}^3/\text{год}$. Расход воды в Доне (ст. Раздорская) в период 1993—2009 гг. уменьшался со скоростью $-13.37 \text{ м}^3/\text{s}$ в год. Расход Волги (пост Верхнее Лебяжье) за 130-летний период практически не изменился, линейный тренд составил $0.209 \text{ м}^3/\text{s}$ в год, однако в период 1993—2009 гг. расход реки существенно уменьшался со скоростью $-87 \text{ м}^3/\text{s}$ в год.

Изменения температуры воздуха в приповерхностном слое над южными морями были полу-

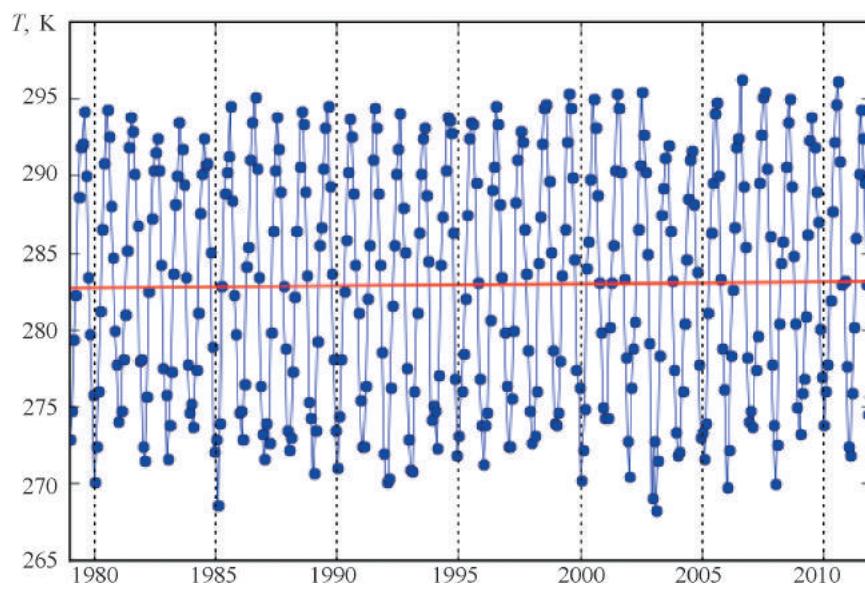


Рис. ТР5.3. Сезонная и межгодовая изменчивость среднемесячных значений приповерхностной температуры воздуха над Черным морем ($41\text{--}45^{\circ}$ с. ш., $28\text{--}41^{\circ}$ в. д.) в 1979—2011 гг. Линейный тренд $y = 0.001059x + 282.7$. Значение средней скорости изменения в $\text{K}/\text{месяц}$.

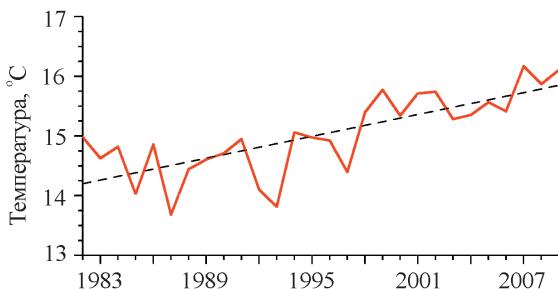


Рис. ТР5.4. Изменения среднегодовых значений температуры поверхности Черного моря в целом в 1982—2009 гг.

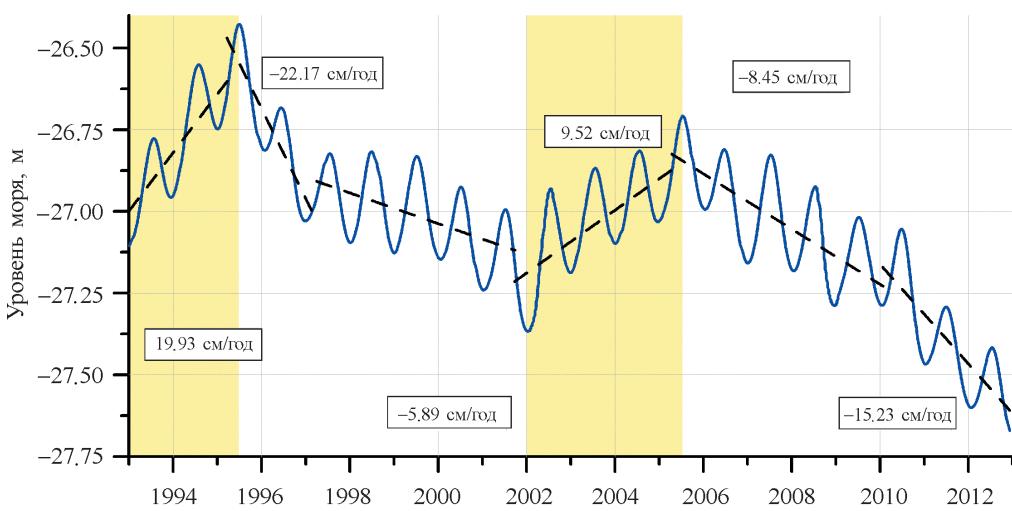


Рис. ТР5.5. Изменения уровня Каспийского моря (см/год) с января 1993 г. по декабрь 2012 г. (спутниковые данные) в сезонном и годовом разрешении по времени. Периоды повышения уровня выделены желтым цветом.

чены для среднего климата по ансамблю AH_31. При этом расчет проводился по отдельности для двух сценариев антропогенного воздействия на климатическую систему Земли — умеренного RCP4.5 и экстремального RCP8.5. Для периода 2011—2030 гг. увеличение среднегодовой температуры составляет 0.5—1.5°C для обоих сценариев, для периода 2041—2060 гг. — 1.5—2.5°C для RCP4.5 и 1.5—3.5°C для RCP8.5. В период 2080—2099 гг. потеплеет на 2.5—3.5°C в условиях сценария RCP4.5 и на 3.5—5.5°C для RCP8.5. Значение потепления для разных сезонов будет разным, причем увеличение температуры воздуха летом больше, чем зимой.

При сохранении существующих тенденций среднее значение ТПМ в Черном море к 2030 г. может повыситься на 1.2°C, к 2060 г. — на 3°C и к 2100 г. — на 5.4°C. В Азовском море увеличение ТПМ к 2030 г. составит 1.2—1.6°C, к 2060 г. —

3—4°C и к 2100 г. — 5.4—7.2°C. В Каспийском море ТПМ к 2030 г. увеличится на 1.0—1.2°C, к 2060 г. — на 2.5—3.0°C и к 2100 г. — на 4.5—5.4°C.

Учитывая тенденции увеличения температуры воздуха над южными морями Российской Федерации, можно ожидать существенного уменьшения ледовитости северо-западной части Черного моря, всей акватории Азовского моря и Северного Каспия. Это не исключает, впрочем, экстремальных явлений, связанных с резким понижением температуры воздуха и образованием кратковременного льда в таких местах, где обычно лед не наблюдается, например, в Констанце, Одессе, Евпатории, Керчи, Новороссийске, Красноводском (Туркменбаши) заливе, как это было в феврале 2012 г.

За последние 20 лет скорость повышения уровня Черного и Азовского морей значительно увеличилась по сравнению с периодом с начала

1920-х годов по конец 1980-х годов. При сохранении существующих тенденций уровень Черного и Азовского морей к 2030 г. может повыситься соответственно примерно на 14 и 9 см, к 2060 г. — на 40 и 25 см, к 2100 г. — на 70 и 50 см. Однако очевидно, что перепад уровня между морями не сможет постоянно увеличиваться, поскольку они соединены Керченским проливом; скорость подъема уровня Азовского моря должна быть соразмерна со скоростью подъема уровня Черного моря.

Поскольку Каспийское море изолировано от Мирового океана, то изменение уровня моря не будет связано с повышением уровня океана. Более того, после пика 1995 г. уровень Каспийского моря волнообразно понижается, причем в 2010—2012 гг. этот процесс ускорился, и к концу 2012 г. уровень Каспия понизился на 1 м по сравнению с 1995 г. Однако, в соответствии с некоторыми результатами модельных расчетов, уровень Каспийского моря к 2020 г. может вновь подняться до отметки −26.6 м, т. е. до уровня 1995 г.

Дальневосточные моря России

Во второй половине XX в. над Дальневосточным регионом отмечался процесс ослабления муссонной циркуляции как зимой, так и летом. В результате смещения и ослабления интенсивности основных центров действия атмосферы (сибирского антициклона, алеутской депрессии, летней дальневосточной депрессии и охотоморского антициклона) происходило уменьшение градиента давления континент — океан в зимний и летний периоды (рис. ТР5.6, ТР5.7).

Ослабление муссонной циркуляции определило повышение температуры воздуха летом над бассейном Амура, в Приморского края, на Сахалине и в Японии. Зимой температура на побережье Дальнего Востока в начале XXI в. также была выше нормы 1971—2000 гг. Над бассейном Амура, отдельными районами Охотского моря, Сахалина, на севере Китая в начале века в теплый период года отмечалось уменьшение количества осадков. Водность Амура начиная с 1970-х годов уменьшалась. Такая тенденция сохранилась и в начале XXI в. Катастрофическое наводнение 2013 г. было экстремальной аномалией, исключением из многолетней тенденции.

Изменение характеристик муссона и систем атмосферной циркуляции над Дальневосточным регионом проявляется в многолетних изменениях ледовых условий. Тенденция уменьшения ледовитости наиболее заметна в Охотском море, где в течение 56 лет (1957—2012 гг.) средняя за зиму ледовитость уменьшилась на 4% за десятилетие.

Многолетние ряды наблюдений указывают на повышение температуры поверхности дальневосточных морей, однако скорость повышения и характер изменчивости ТПМ для разных морей не одинаковы. По данным Японского метеорологического агентства, повышение ТПМ в центральной части Японского моря за период 1900—2012 гг. составило 1.72°C за 100 лет, что значительно больше средних значений по Мировому океану и северной части Тихого океана (соответственно 0.51 и 0.45°C). Скорость повышения ТПМ в Японском море больше, чем скорость повышения температуры воздуха

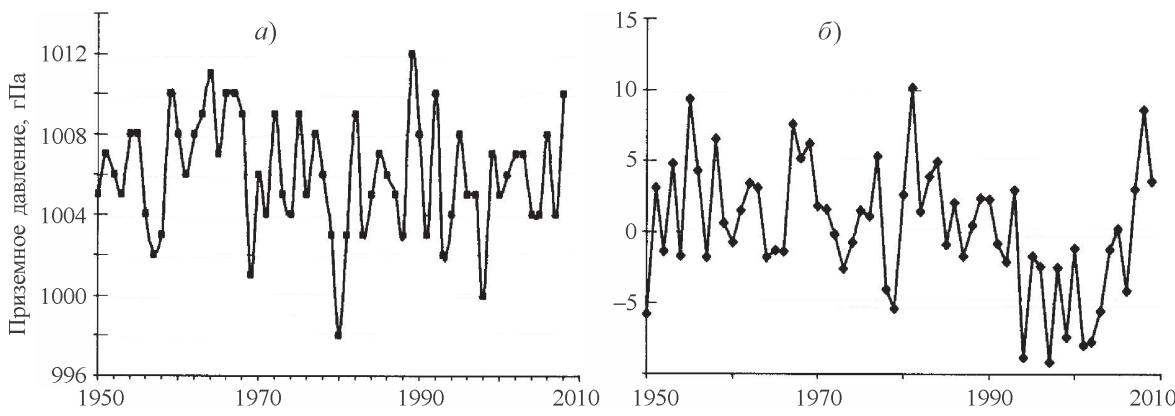


Рис. ТР5.6. Изменения среднего значения атмосферного давления зимой в центрах алеутской депрессии (абсолютные значения; а) и сибирского максимума (аномалии за 1950—2010 гг. относительно нормы 1971—2000 гг.; б).

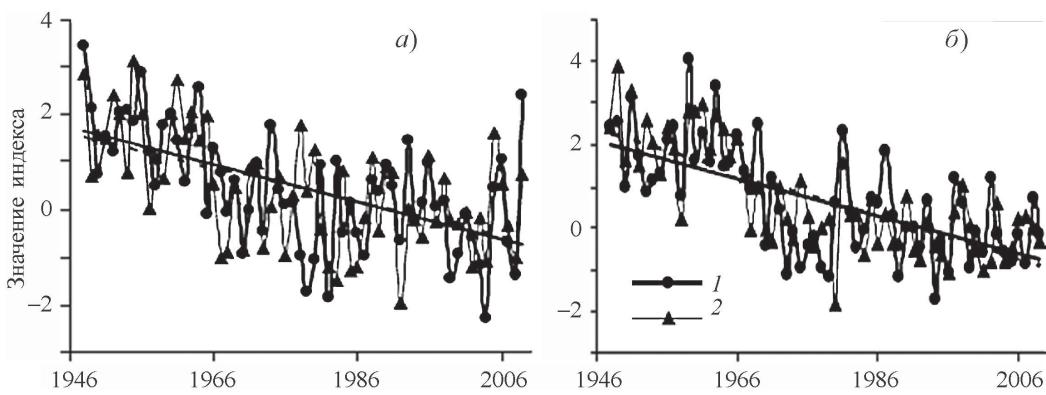


Рис. ТР5.7. Изменения значений охотского (1) и гавайского (2) индексов в июне (а) и августе (б) за период 1948—2009 гг. Охотский индекс — разность между усредненным нормированным давлением (аномалии давления в точках отнесены к среднеквадратическому отклонению для базового периода 1971—2000 гг. и усреднены по району) над Охотским морем и областью летней дальневосточной депрессии. Гавайский индекс — разность между усредненным нормированным давлением над северо-западной частью Тихого океана и областью летней дальневосточной депрессии.

в Японии, что указывает на вклад в этот процесс адвекции тепла Цусимским течением. По данным Японского метеорологического агентства, ожидаемое к концу ХХI в. повышение ТПМ в Японском море составит 1.9—3.1°C в условиях разных сценариев антропогенного воздействия на климатическую систему Земли.

В промежуточных и глубинных слоях дальневосточных морей также наблюдается тенденция повышения температуры воды со скоростью 0.5—1.5°C за 100 лет. Эти оценки получены по данным наблюдений за 50—60 лет, когда ряды данных можно считать надежными. Однако в значениях температуры отмечаются, наряду с вековой тенденцией — линейным трендом, и циклические не направляемые колебания: межгодовые, десятилетние и с большими характерными временами. При этом амплитуды колебаний по величине сравнимы с систематическими изменениями за рассматриваемый период. Это затрудняет получение надежных оценок векового тренда. Например, максимальная изменчивость температуры промежуточных вод Японского моря приходится на район Центральной котловины, где повышение температуры за 50 лет составило ~0.45°C. Спектральный анализ показал, что здесь присутствуют колебания с периодами от 5 до 13 лет, а также десятилетняя изменчивость, представленная двумя циклами с периодами 20—25 лет. При этом их амплитуды достигают 0.2°C, что всего в два раза меньше повышения температуры за 50 лет.

По мере увеличения глубины скорость повышения температуры воды уменьшается, на горизонте 1500 м она не превышает 0.08°C в период 1950—2005 гг. в северной части моря. Важным следствием такой особенности повышения температуры (т. е. того, что скорость повышения уменьшается с глубиной) является ослабление зимой конвективных процессов и соответствующее уменьшение содержания растворенного кислорода в придонных водах Японского моря (ниже 2500 м). Значительные межгодовые колебания температуры и солености в толще вод Охотского и Берингова морей связаны с изменчивостью поступления тихоокеанских вод, а также интенсивности приливного перемешивания в областях островных дуг, для которых отмечена цикличность с характерным временем примерно 19 лет.

Изменения атмосферных процессов и океанологических характеристик оказывают влияние на изменение промысловых условий на акваториях дальневосточных морей. Отмечается связь динамики численности промысловых объектов с долгопериодными (40—60 лет) климатическими колебаниями. При этом наиболее резкое увеличение численности рыб происходит в периоды потепления. В частности, колебания поголовья лососей в водах России, так же как и колебания общих уловов лососей всеми странами северной части Тихого океана, в последние несколько десятилетий происходят синхронно с флюктуациями глобальной температуры.

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

Здоровье населения

Изменения климата влияют на здоровье населения на территории России в основном через прямое тепловое воздействие, изменение качества воздуха и изменение эпидемиологической ситуации.

Прямое воздействие может быть позитивным — в результате улучшения тепловой комфортности проживания в холодное время года, особенно в северных регионах, ведущее к уменьшению заболеваний, ассоциированных с перехлаждением, и травматизма в условиях экстремально низкой температуры. Но оно может иметь и отрицательные последствия. 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. Дополнительная смертность от волн жары имеет и экономический аспект. Так, экономические потери от преждевременной смертности жителей Москвы трудоспособного возраста

из-за волн жары только в 2010 г. составили 97—123 млрд. руб., или 1.23—1.57% ВВП столицы.

К опосредованному негативному воздействию волн жары следует отнести снижение качества воздуха. Оно связано прежде всего с загрязнением атмосферы продуктами горения при лесных пожарах, частота и интенсивность которых увеличиваются при потеплении климата. Однако оно также является следствием, в основном в крупных городах, неблагоприятных метеоусловий, при которых загрязняющие вещества плохо удаляются из атмосферы и скапливаются в приземном слое.

Изменение климата на территории России оказывает существенное влияние и на эпидемиологическую обстановку, и особенно ярко это проявляется в годы с теплыми зимами. Так, за последние 15 лет зафиксированы вспышки лихорадки Западного Нила (1999, 2010, 2012 гг.) (рис. ТР6.1), происходит расширение ареала этой инфекции. Если в 2010 г. случаи заболевания были в 9 субъектах Российской Федерации, а в 2011 г. в 10, то в 2012 г. число субъектов Российской Федерации, где регистрировалась заболеваемость лихорадкой Западного Нила, достигло 21. Отмечено постепенное продвижение на север крымской геморрагической лихорадки. Для северных регионов (Архангельская область, Республика Коми) характерно повышение заболеваемости клещевым

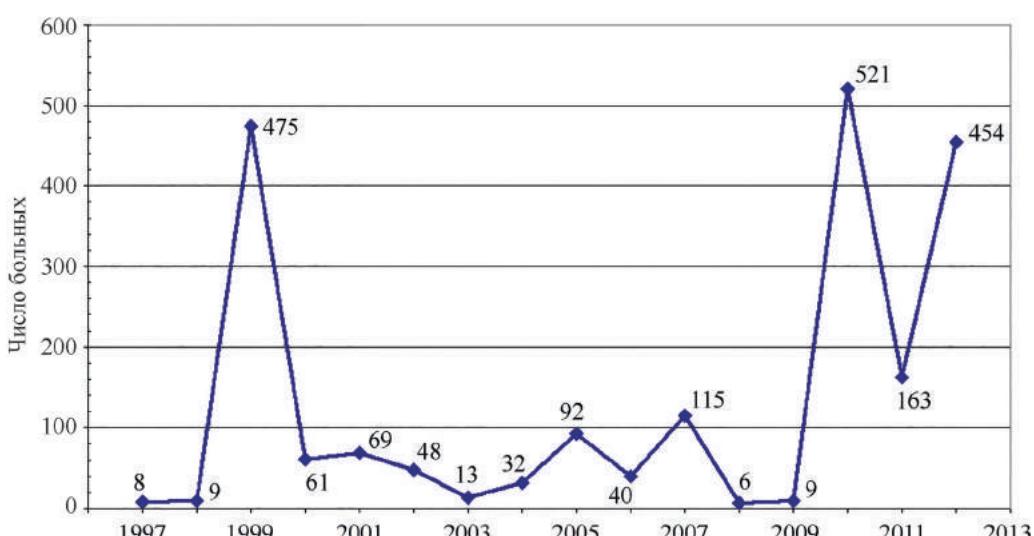


Рис. ТР6.1. Заболеваемость лихорадкой Западного Нила в России.

энцефалитом и появление этого заболевания на территориях, где ранее оно не регистрировалось. Обнаружена связь заболеваемости сальмонеллезом с температурой воздуха.

На территории России и соседних стран обитает много переносчиков опасных трансмиссивных болезней человека: переносчики малярии человека — комары комплекса *Anopheles maculipennis*; переносчики арбовирусов — многие виды кровососущих комаров, в том числе недавно обнаруженные на территории России и очень опасные в эпидемиологическом отношении *Aedes aegypti* и *Ae. albopictus*; переносчики клещевого энцефалита, иксодового клещевого боррелиоза, риккетсиоза — иксодовые клещи, среди которых наибольшее значение имеют *Ixodes ricinus* и *I. persulcatus*. По мере наблюдаемого и ожидаемого в будущем в XXI в. изменения климата ожидается существенное расширение климатических ареалов этих видов (т. е. областей пространства, где климат позволяет виду устойчиво существовать) в северном, северо-восточном и восточном

направлениях. На рис. ТР6.2 представлено такое изменение для клеща *I. persulcatus*.

В будущем в течение XXI в. сокращения 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 изменения климата в условиях сценариев 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. ТР6.3).

К факторам климатического риска для здоровья населения относятся не только расширение ареалов членистоногих переносчиков и

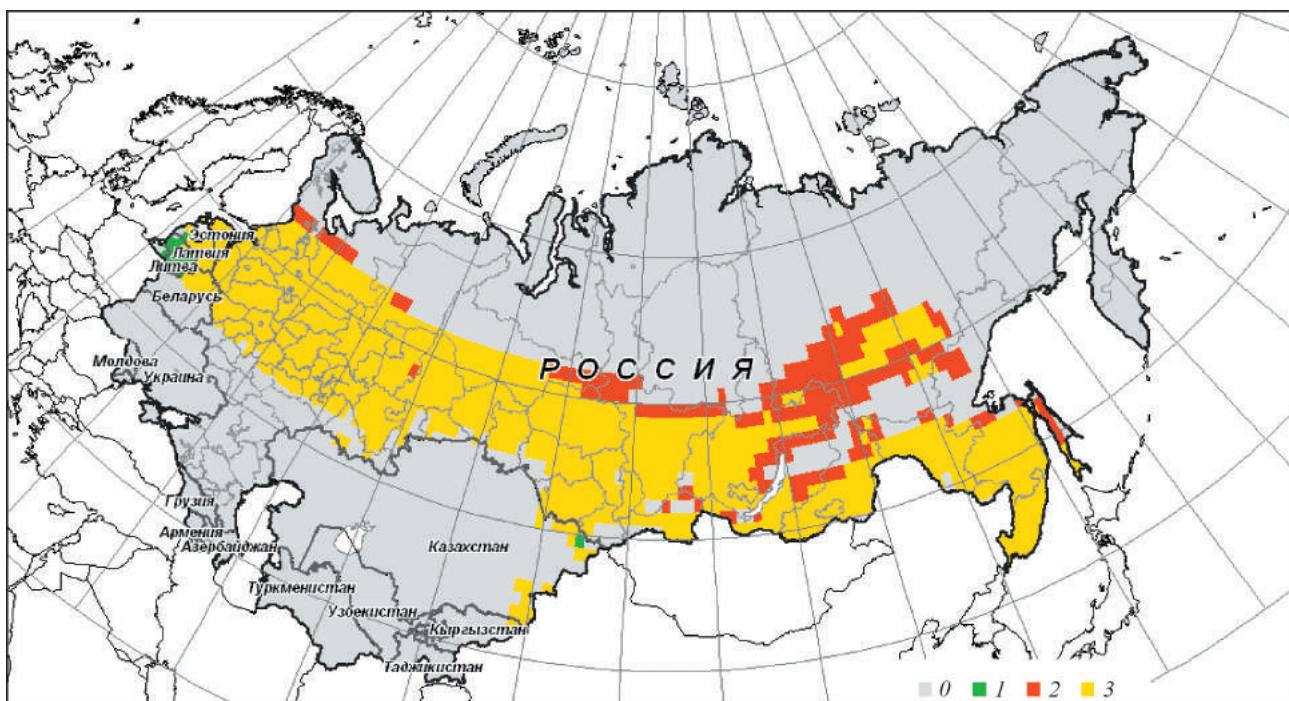


Рис. ТР6.2. Изменение климатического ареала *I. persulcatus* на территории России и соседних стран в 1981—2010 гг. по сравнению с 1951—1980 гг. 0 — переносчик отсутствует в оба периода времени; 1 — сокращение ареала; 2 — расширение ареала; 3 — переносчик присутствует в оба периода времени.

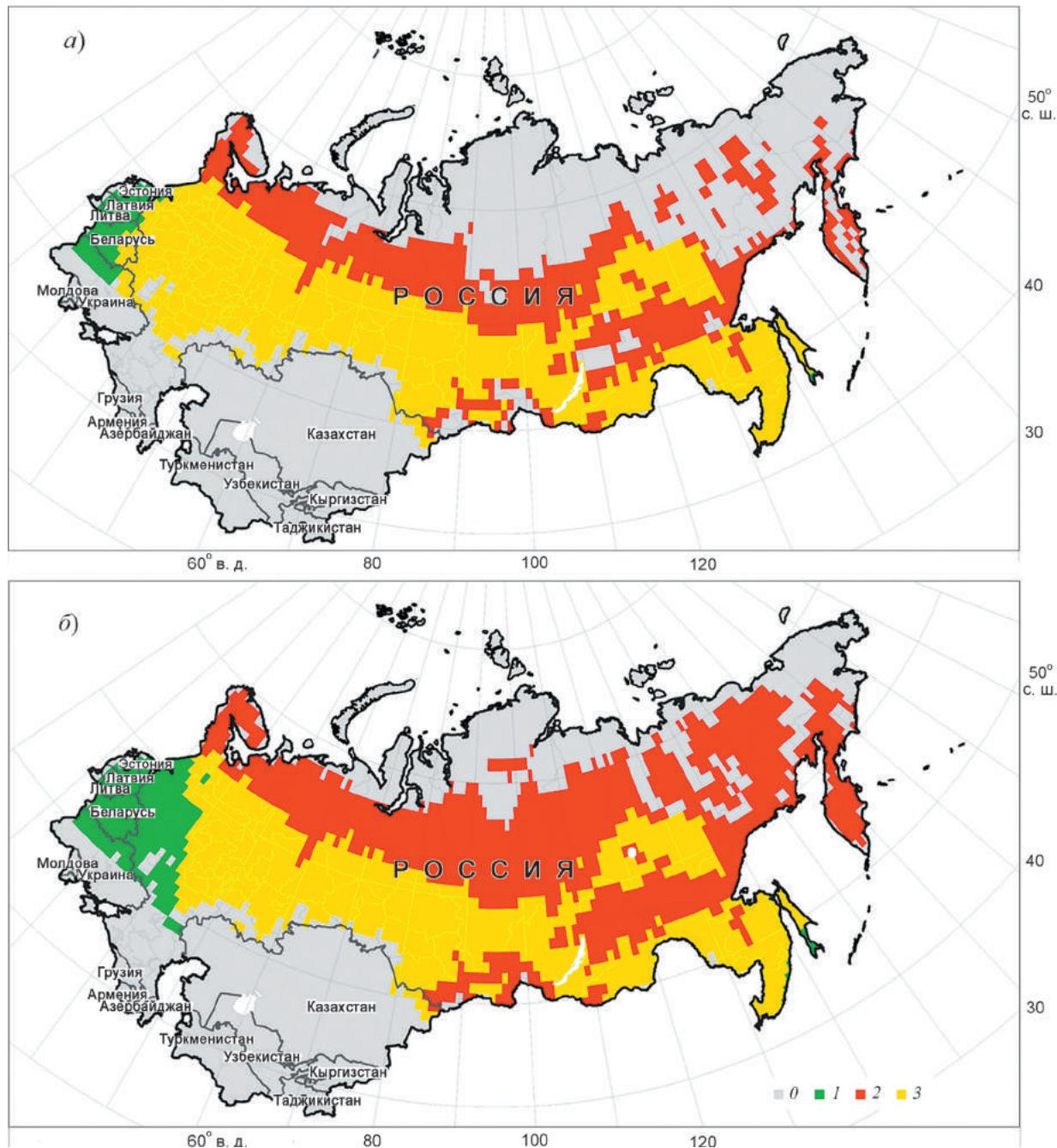


Рис. ТР6.3. Изменения климатического ареала иксодового клеща *I. persulcatus* в 2080—2099 гг. по сравнению с 1981—2000 гг. в соответствии со сценариями умеренного RCP4.5 (а) и экстремального антропогенного воздействия на климатическую систему RCP8.5 (б). 0 — переносчик отсутствует как в 1981—2000 гг., так и в 2080—2099 гг.; 1 — сокращение ареала; 2 — расширение ареала; 3 — переносчик присутствовал как в 1981—2000 гг., так и в 2080—2099 гг.

повышение их численности, но и аналогичное увеличение численности и расширение ареалов позвоночных, преимущественно мышевидных грызунов, являющихся резервуарами природно-очаговых инфекций и прокормителями перенос-

чиков в природе. Новым фактором риска является завоз экзотических переносчиков на территорию России и их укоренение, значение которого усиливается при ожидаемом в будущем дальнейшем потеплении.

Меры адаптации к изменениям климата, направленные на снижение негативного влияния на здоровье населения в России с ее огромным климатическим разнообразием, должны значительно различаться на территориях с разным типом климата. Для России 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 климаточувствительными инфекционными заболеваниями и внедрение соответствующих мер профилактики. В-третьих, планы развития межведомственного сотрудничества, особенно между метеорологической службой, службами здравоохранения, социальной защиты и другими подразделениями исполнительной власти на местном (муниципальном, городском), региональном и федеральном уровнях.

Строительство, наземный транспорт, топливно-энергетический комплекс

В последние десятилетия наблюдается усиление разрушающего воздействия температурно-влажностных деформаций на здания и сооружения, которое связано с такими особенностями происходящих изменений климата, как увеличение числа переходов температуры воздуха через 0°C (рис. ТР6.4) и количества жидких осадков в зимний сезон. При строительстве новых объектов целесообразно использовать конструктивные решения, исключающие повышение влагосодерж-

жания строительных конструкций в результате атмосферных воздействий, а также материалы, имеющие надлежащую стойкость в отношении циклов замораживания и оттаивания.

Наземная транспортная инфраструктура испытывает преимущественно негативное воздействие происходящих изменений климата: ускоренное разрушение объектов, увеличение эксплуатационных расходов, в том числе для обеспечения безопасности движения, и др. Наиболее опасные последствия связаны с увеличением интенсивности осадков (рис. ТР6.5). При этом увеличиваются риски потери устойчивости склонов, а в районах со сложными гидрогеологическими условиями, где проложены магистральные трубопроводы, возникает угроза серьезных экологических последствий в случае аварии. Повышается вероятность речных ливневых наводнений, представляющих особую опасность в горных районах.

При потеплении уменьшается эффективность производства электроэнергии на тепловых и атомных электростанциях, увеличиваются потери на линиях электропередач. В южных районах повышение температуры воздуха в летний сезон сопровождается увеличением продолжительности периодов без осадков и в перспективе может привести к уменьшению доступности воды для охлаждения энергоблоков и увеличению риска возникновения критических ситуаций с энергоснабжением. Системы передачи электроэнергии окажутся также более уязвимыми вследствие усиления конвективных процессов в атмосфере, сопровождаемого увеличением числа опасных явлений.

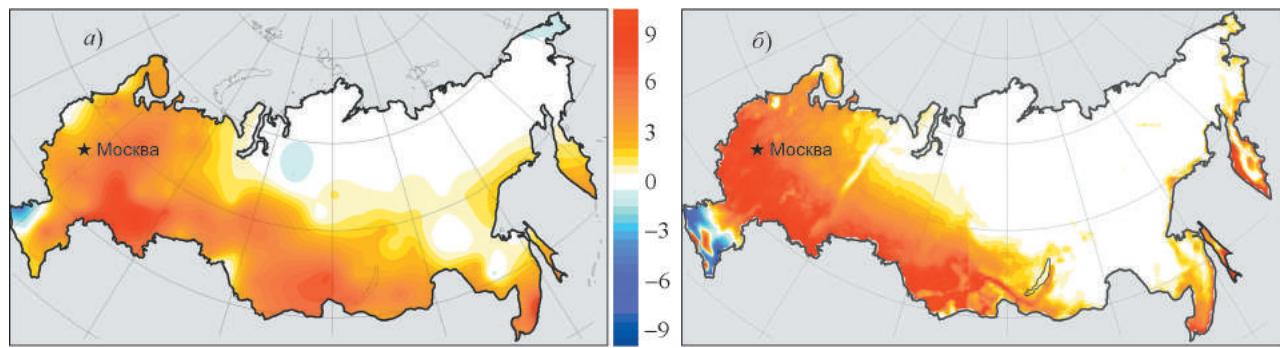


Рис. ТР6.4. Изменение числа внутрисуточных переходов температуры воздуха через 0°C в холодный сезон (ноябрь — март) по данным наблюдений для периода 1981—2000 гг. по отношению к 1951—1980 гг. (а) и по результатам расчетов с использованием региональной климатической модели ГГО для периода 2041—2060 гг. по отношению к 1981—2000 гг. (б).

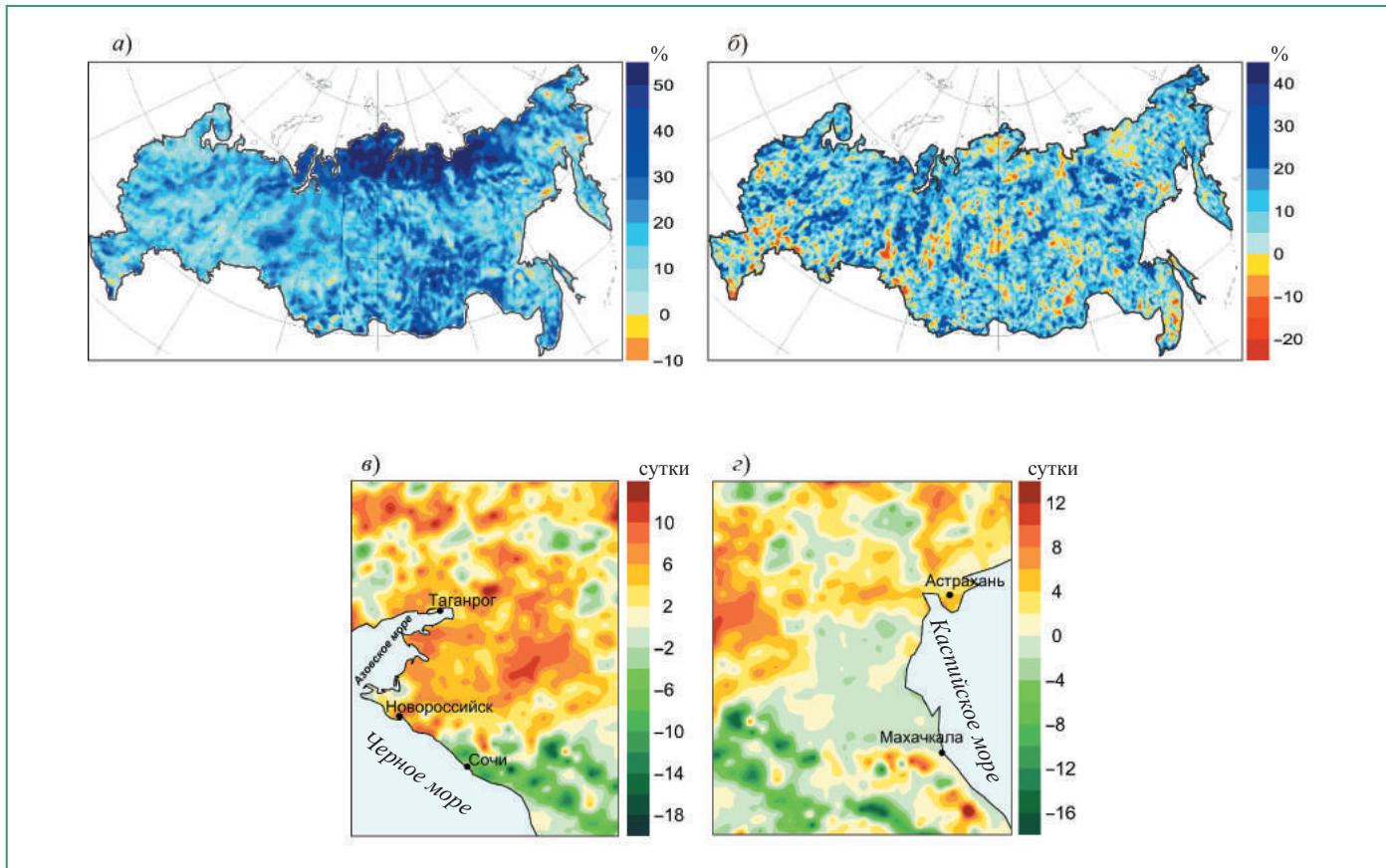


Рис. ТР6.5. Изменение характеристик экстремальности режима увлажнения к середине XXI в. по отношению к периоду 1981—2000 гг. Оценки выполнены на основе расчетов региональной климатической модели ГГО: изменение (%) сезонных максимумов суточных сумм осадков для холодного (а) и теплого (б) сезонов и максимальной продолжительности засушливых периодов (с суточными суммами осадков менее 5 мм) в течение теплого сезона для районов Черного (в) и Каспийского морей (г).

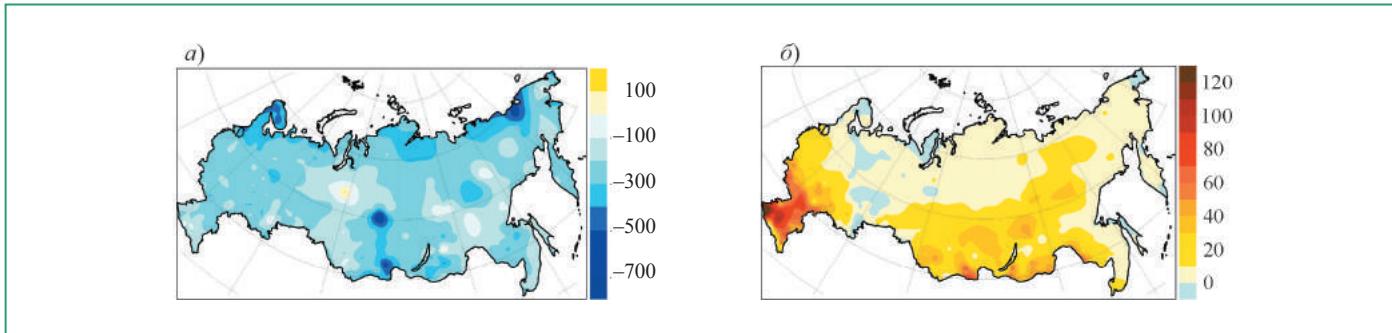


Рис. ТР6.6. Изменение дефицита тепла (а) и дефицита холода (б) по данным наблюдений за 1991—2010 гг. по отношению к периоду 1971—1990 гг.

Наблюдаемая в последние десятилетия тенденция сокращения продолжительности отопительного периода (около 5 суток/10 лет на севере ЕЧР) и повышения его средней температуры (до $0.8^{\circ}\text{C}/10$ лет в Центральной Якутии) привела к повсеместному уменьшению фактического значения градусо-суток отопительного периода (дефицита тепла). Этот климатический параметр

определяет теплозащитные свойства ограждающих конструкций и является одним из основных в строительном проектировании (рис. ТР6.6).

В летнее время на протяжении последних 20 лет зафиксировано значительное увеличение индекса энергопотребления (дефицита холода) на юге ЕЧР (около $150^{\circ}\text{C} \cdot \text{сут}/10$ лет).

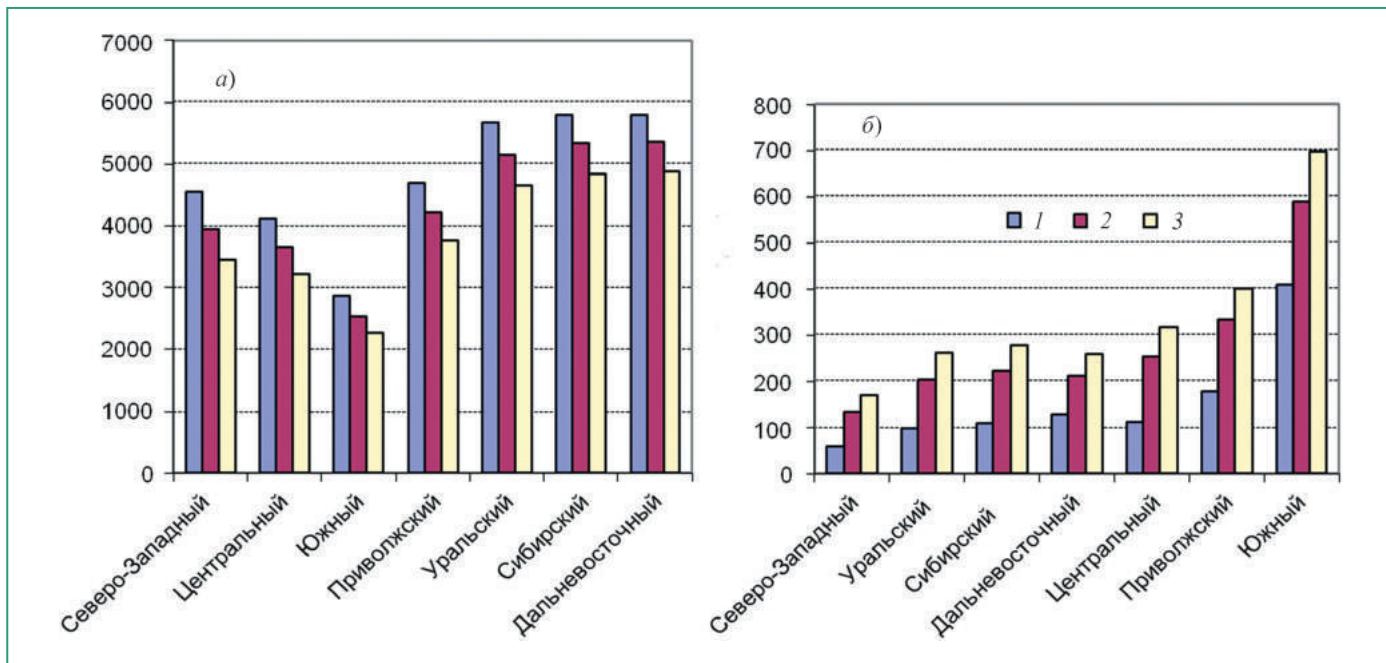


Рис. ТР6.7. Региональные оценки индексов энергопотребления ($^{\circ}\text{C} \cdot \text{сут}$) в федеральных округах на обогрев (а) и охлаждение (б) зданий, рассчитанные с учетом численности населения. 1) 1981–2000 гг.; 2) 2021–2040 гг.; 3) 2041–2060 гг.

Одной из первоочередных задач адаптации к изменению климата является внедрение систем отопления, обеспечивающих качественное регулирование параметров теплоносителя в зависимости от метеорологических условий. В рамках дальнейшего совершенствования норм тепловой защиты зданий целесообразно исходить из повышения уровня их инженерного обеспечения с учетом увеличения экстремальных значений температуры летом и увеличения энергопотребления в этот период.

Перспективные оценки показывают, что к середине XXI в. по сравнению с концом XX в. наибольшее потенциально достижимое относительное сокращение энергопотребления на отопление зданий ожидается в Северо-Западном федеральном округе — ориентировочно на 20%. В то же время индекс энергопотребления в теплый сезон в большинстве регионов увеличится в 2–3 раза. Наиболее существенно возрастет потребность в кондиционировании помещений в Южном федеральном округе, где рассматриваемый индекс достигнет $700^{\circ}\text{C} \cdot \text{сутки}$ (рис. ТР6.7). Это приведет к заметному изменению внутригодовой структуры энергопотребления, которое необходимо учитывать при развитии региональных энергетических систем.

Для полноценного извлечения выгод, связанных с теплением, требуется переход к широ-

кому использованию современных технологий производства энергии в сочетании с комплексной модернизацией системы теплоснабжения и тепловых сетей.

Возобновляемые источники энергии

Во многих субъектах Российской Федерации имеются два-три вида возобновляемых источников энергии (ВИЭ), при комплексном использовании которых удаленные потребители могут быть в значительной степени обеспечены энергоресурсами.

Несмотря на наличие в России больших ресурсов разных видов ВИЭ, масштабного использования их пока нет. Однако в настоящее время придается определенный импульс их развитию. Так, общая доля ВИЭ всех видов в суммарной выработке тепловой энергии в России в 2007 г. составила около 5%, а электрической (без крупных ГЭС) — около 0.9%. В 2012 г. доля ВИЭ в общей выработке электроэнергии увеличилась до 1.1%, а к 2020 г., согласно государственной программе Российской Федерации “Энергоэффективность и развитие энергетики”, она должна увеличиться до 2.5%.

Солнечная энергия. Основными характеристиками солнечных энергетических ресурсов являются продолжительность солнечного сияния и

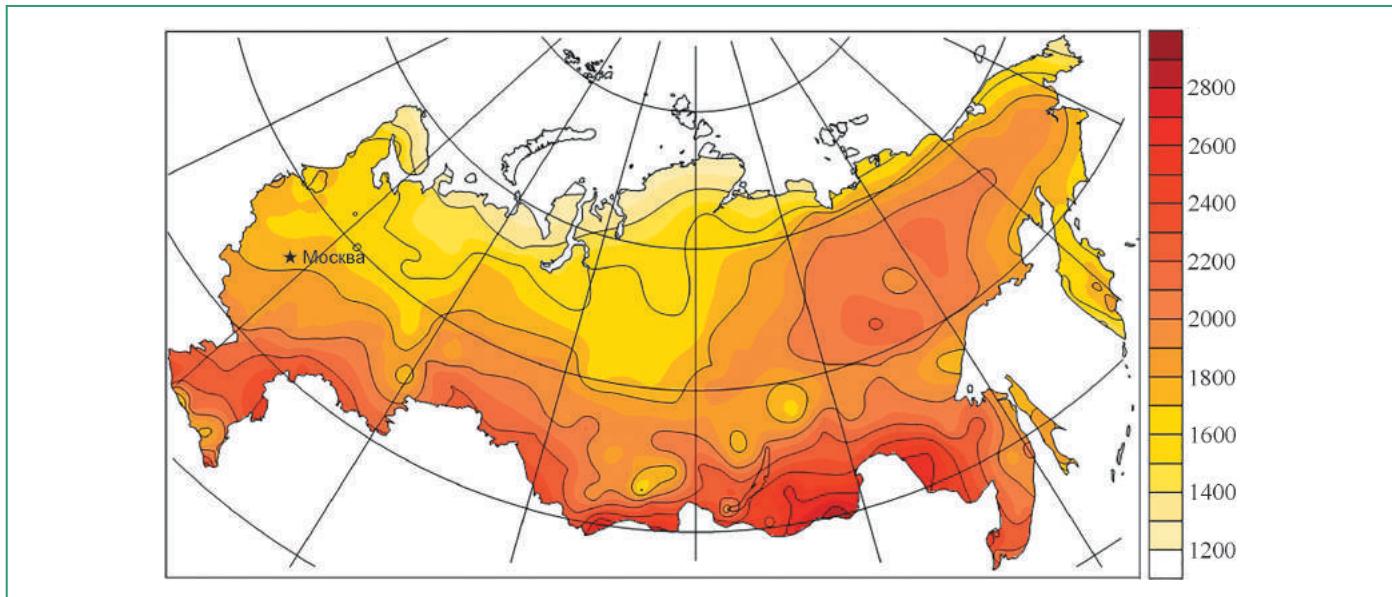


Рис. ТР6.8. Современная продолжительность солнечного сияния за год (часы).

количество солнечной радиации, поступающей на земную поверхность.

Вся южная часть России обладает значительными ресурсами солнечной энергии, которые могут быть использованы для выработки электрической и тепловой энергии. Особо следует отметить высокий солнечный потенциал Якутии, где, например, в апреле и мае месячные суммы солнечной энергии, поступающей к земной поверхности, в ее северных районах так же высоки, как на Северном Кавказе и в Астраханской области — более 165 (кВт · ч)/м² (600 МДж/м²). Перспективными считаются районы, где годовая продолжительность солнечного сияния 2000 ч и более (рис. ТР6.8).

Согласно расчетам будущего климата с помощью ансамбля моделей CMIP5, в условиях умеренного сценария RCP4.5 антропогенного воздействия на климатическую систему для трех периодов времени — начало, середина и конец XXI в., изменение (по отношению к базовому периоду 1981—2000 гг.) годового прихода к земной поверхности суммарной солнечной радиации на территории России будет небольшим. Европейская часть России, южная половина Уральского и Сибирского федеральных округов будут в зоне довольно слабой положительной аномалии (2—4%), а восточные регионы — в зоне отрицательной. В Дальневосточном федеральном округе к концу XXI в. ожидается более значитель-

ная отрицательная аномалия суммарной солнечной радиации (до −4...−6%).

Перспективы использования энергии Солнца в России в основном связываются с выработкой тепловой энергии на базе плоских солнечных коллекторов.

В районах Южного и Северо-Кавказского федеральных округов, обладающих высоким солнечным потенциалом, удельная выработка тепловой энергии солнечным коллектором с жидким теплоносителем за безморозный период составляет 850—900 (кВт · ч)/м². В более северных густонаселенных промышленных областях России (до 60° с. ш.), где весьма актуальным является вопрос об энергосбережении, удельная выработка тепловой энергии составляет 500—700 (кВт · ч)/м² (рис. ТР6.9).

Коэффициент замещения нагрузки горячего водоснабжения с помощью солнечной энергии в средних широтах России составляет 55—60%, а в южных — более 75%.

Происходящие изменения климата могут влиять на эффективность работы солнечных энергетических установок, в частности, на выработку тепловой энергии солнечными коллекторами, которая напрямую зависит не только от количества солнечной радиации, поступающей на его приемную поверхность, но и от температуры окружающего воздуха.

К середине XXI в. и, особенно, к его концу в связи с ожидаемым интенсивным повышением

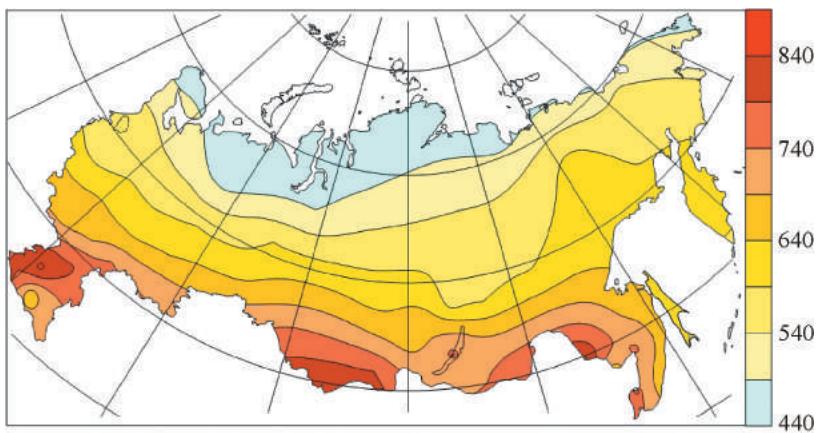


Рис. ТР6.9. Удельная годовая выработка тепловой энергии ($(\text{kVt} \cdot \text{ч})/\text{м}^2$) плоским солнечным коллектором в современных условиях.

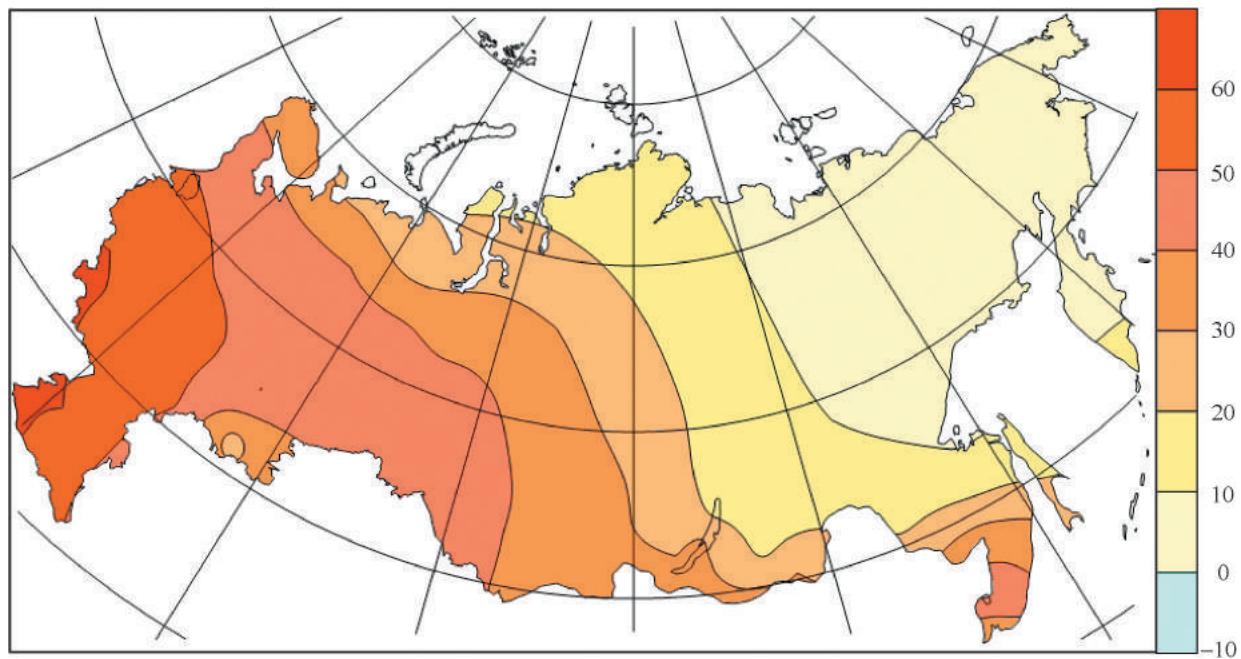


Рис. ТР6.10. Изменения удельной выработки тепловой энергии ($(\text{kVt} \cdot \text{ч})/\text{м}^2$) солнечным коллектором к концу XXI в. (2080—2099 гг.) по отношению к современному уровню.

температуры условия для широкого использования тепловых солнечных установок будут наиболее благоприятны в западных и южных районах ЕЧР, где удельная выработка тепловой энергии увеличится более чем на 50—60 $\text{kVt} \cdot \text{ч}$ с каждого квадратного метра установки (рис. ТР6.10).

Ветровая энергия. Богатый ветроэнергетический потенциал во многих районах России создает все предпосылки к ускоренному развитию и внедрению ветроэнергетических станций и установок.

Энергия ветра, которая может быть использована системой ветроэнергетических установок, в каждой точке географического пространства характеризуется среднегодовой удельной мощностью горизонтальной составляющей ветрового потока. Ее мгновенное значение пропорционально кубу горизонтальной составляющей скорости ветра.

В России большим ветроэнергетическим потенциалом обладают районы вдоль берегов Карского, Берингова и Охотского морей.

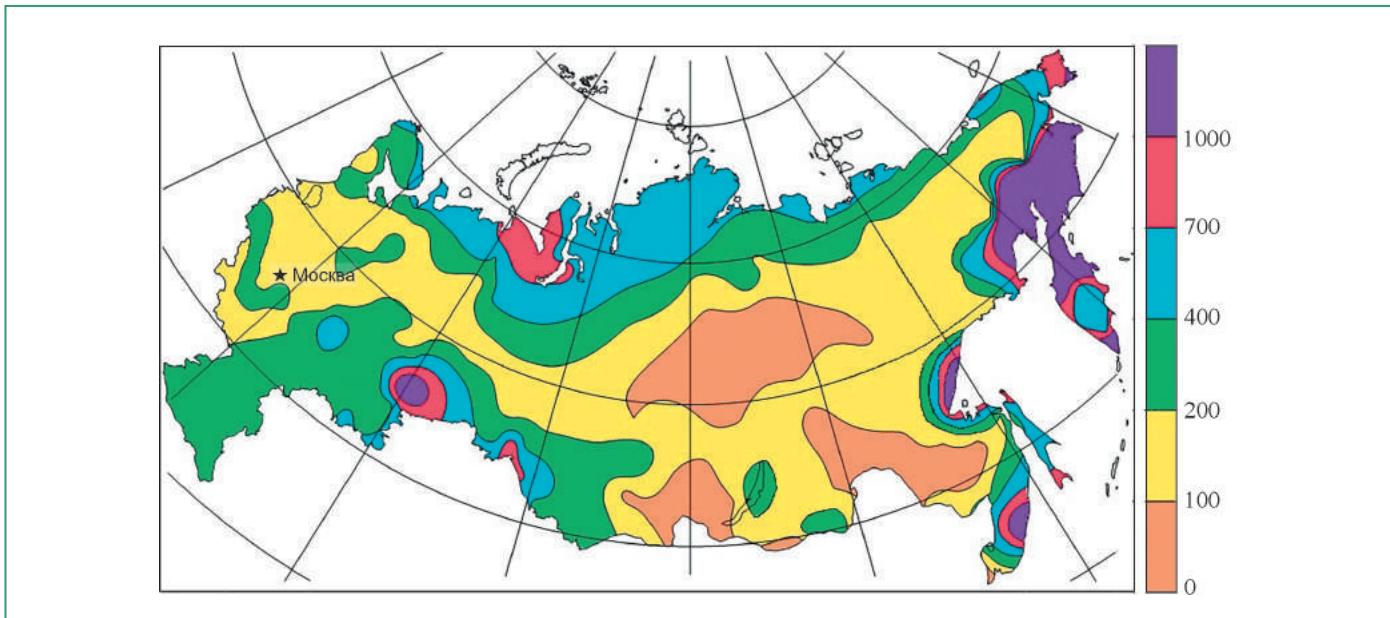


Рис. ТР6.11. Районирование территории России по удельной мощности ветрового потока ($\text{Вт}/\text{м}^2$) на высоте 100 м над земной поверхностью.

Федеральные округа с развитой индустрией и большой плотностью населения (Центральный, Южный) характеризуются меньшим ветроэнергетическим потенциалом, за исключением районов Среднего и Нижнего Поволжья, степных районов Западной Сибири, которые также богаты ветровыми ресурсами (рис. ТР6.11).

Расчеты изменений среднегодовой скорости ветра у земной поверхности (100 м), выполненные для среднего климата с помощью ансамбля из 25 климатических моделей CMIP5 на ближайшие десятилетия и середину XXI в., показали, что существенных изменений по отношению к базовому периоду 1991—2010 гг. скорости приземного ветра на большей части территории России не ожидается. В первой половине XXI в. в континентальной части России ожидаемое уменьшение скорости ветра составит не более 5—10%. В то же время в северных прибрежных районах ЕЧР ожидается увеличение скорости ветра на 10—15%, а на Кольском п-ове примерно на 20%. Эти тенденции сохранятся и к середине XXI в.

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

Биоэнергия. В России биоэнергетика находится на начальной стадии развития. Доля биотоплива в российской малой энергетике (направление энергетики, связанное с получением тепла и электричества независимо от централизованных сетей) составляет пока всего 0.5%. Однако возможности для ее развития в России значительны. Ежегодно в России по разным отраслям производится до 300 млн. т отходов биомассы (по сухому веществу). Энергетический потенциал указанного количества отходов составляет 190 млн. тонн условного топлива. Реально можно получать в год до 45 млн. т условного топлива (в качестве условного топлива в России принимается уголь с удельной теплотой сгорания 29.31 ГДж/т). Переработка такого количества отходов только по биогазовым технологиям может дать до 80 млрд. м^3 биогаза, что эквивалентно 56 млрд. м^3 природного газа.

Будущий технический потенциал биоэнергетики может испытывать на себе влияние изменения климата через воздействие на производство биомассы, например, через температуру и осадки, которые наряду с почвенными условиями в значительной степени определяют урожайность сельскохозяйственных культур. Влияние происходящих изменений климата на ресурсный потенциал биомассы изучено пока недостаточно и, вероятно, оно в разных регионах будет разным.

Производство биоэнергии зависит не только от изменения климата. Оно требует сложного управления землепользованием и водопользованием, значительного усовершенствования технологий преобразования биоресурсов и более глубокого понимания социальных, энергетических и экологических взаимодействий, связанных с производством и использованием биоэнергии.

Геотермальная энергия. Геотермальная энергия представляет собой естественное тепло планеты. Большие запасы подземных термальных вод находятся в Дагестане, Чечне, Ингушетии, Северной Осетии, Ставропольском и Краснодарском краях, на Камчатке и в ряде других районов России.

В России создано высокоэффективное энергетическое оборудование для использования геотермальной энергии, введены в эксплуатацию Паужетская и Мутновская геотермальные электростанции. В Краснодарском крае эксплуатируется 12 геотермальных месторождений.

В последнее время широкое распространение получило использование тепла грунта поверхностных слоев земли (низкопотенциального тепла) на базе тепловых насосов. Проектирование, выбор определенного типа теплового насоса, глубины установки грунтовых зондов зависят от температурного режима грунта или водного бассейна. На температурный режим верхних слоев грунта и тепловые процессы, определяющие характеристики грунта как источника низкопотенциальной тепловой энергии, оказывают влияние влага атмосферных осадков и грунтовые воды, от которых зависят влажность грунтового массива и миграция влаги в его поровом пространстве.

По результатам перспективных оценок, на большей части территории России (без учета зоны многолетней мерзлоты) при наблюдаемом повышении температуры воздуха использование тепловых насосов в качестве отопительных систем к середине XXI в. станет более рентабельным.

Развитие новых энергетических направлений на базе ВИЭ в России, помимо большого энергетического, экономического, экологического эффекта, может оказать позитивное воздействие на возрождение и дальнейшее повышение технологического и индустриального уровня страны. Необходима детальная проработка законодательства по развитию и использованию возобновляемых источников энергии, чтобы адаптировать оп-

товый рынок электроэнергии под участие объектов ВИЭ. Задержки в принятии мер по развитию использования возобновляемых источников энергии приведут к повышению стоимости достижения целевых показателей и к непрямым затратам, связанным с упущеной выгодой от использования генерации на основе ВИЭ.

Хозяйственные объекты, расположенные на многолетней мерзлоте

Многолетнемерзлые породы (ММП) распространены примерно на 65% территории России, причем в ряде регионов имеется развитая промышленная, городская и транспортная инфраструктура (рис. ТР6.12). Повреждение или разрушение объектов происходит, если несущая способность ММП станет ниже нормативной величины. К концу первого десятилетия XXI в. она уменьшилась по сравнению с 1970-ми годами в среднем по криолитозоне на 17%. В Норильске, Нерюнгри, Мирном, Якутске и Черском уменьшение составило 5—10%, в районе Билибино и Дудинки — 10—15%, в Салехарде, Надыме, Певеке и Анадыре — 15—20%, в Ноябрьске и Провидения — более 20%. Техногенные факторы, например, засоление грунтов, также уменьшают несущую способность грунтов. Коэффициент запаса при строительстве в России, как правило, не превышает 1.6. Для сравнения — на Аляске и севере Канады он обычно составляет 2—3.

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 имеют деформации, более 100 находятся в аварийном состоянии, почти 50 девяти- и пятиэтажных жилых домов,озвезденных в 1960—1980-е годы, были разобраны.

Из-за неравномерной осадки и пучения грунтов опасные деформации получают объекты железнодорожной, автомобильной и трубопроводной транспортной инфраструктуры. На поддержание работоспособности трубопроводов и ликвидацию их деформаций ежегодно тратится до 55 млрд. рублей. Причиной деформаций является совместное влияние климатических и техногенных факторов. Их эффекты бывает трудно разделить. Предположительно около четверти всех деформаций зданий и соору-

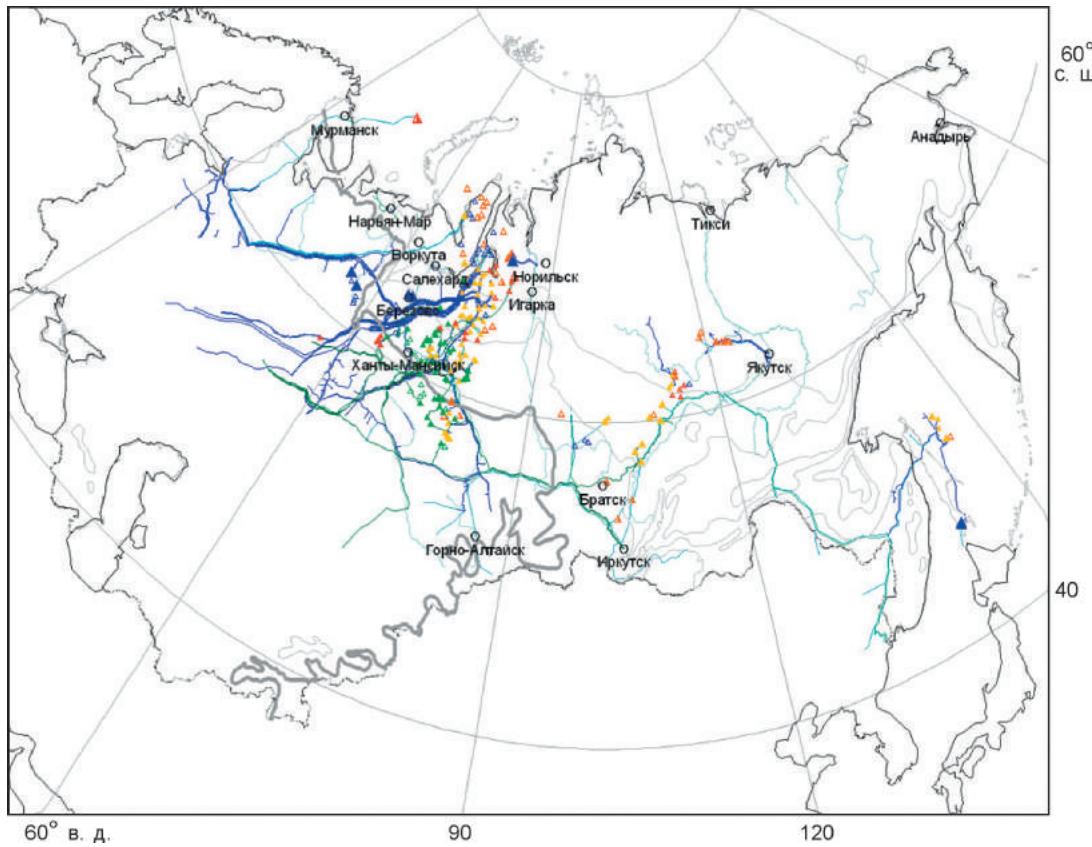


Рис. ТР6.12. Основные города и объекты нефтегазовой инфраструктуры в криолитозоне России.

жений может быть связано с тем, что изменение климата превысило заложенные при строительстве нормативные пределы, по которым рассчитывался запас устойчивости.

Согласно перспективным оценкам, к середине XXI в. в России на 13% сократится досягаемость удаленных поселков, в настоящее время обслуживаемых зимниками, при этом площадь территории, на которой экономически целесообразно эксплуатировать зимники, уменьшится примерно на 1 млн. км². На оставшихся зимниках сократится период эксплуатации, главным образом изменения затронут ноябрь и апрель. При том, что с аналогичными транспортными проблемами сталкиваются все арктические страны, в России они могут иметь наиболее сильные негативные последствия, поскольку, в отличие от Аляски и Северной Канады, в России мало развит местный воздушный транспорт.

В последнее десятилетие произошло усиление разрушительных береговых процессов, ока-

зывающих влияние на населенные пункты, коммуникационные линии, средства навигационного обеспечения морского транспорта. Отмечены разрушения домов, кладбищ, геодезических знаков, навигационных и других береговых объектов. Особую экологическую опасность в связи с этим представляет потеря радиоизотопных термоэлектрических генераторов — источников питания маяков.

Перспективную оценку рисков повреждения и разрушения объектов в области ММП можно получить, рассчитав индекс геокриологической опасности и построив карты для ожидаемых в будущем климатических условий. На рис. ТР6.13 представлена такая карта. На ней показаны области с малой (зеленая заливка), средней (светло-желтая) и большой (сиреневая) вероятностью развития деструктивных геоморфологических процессов.

Карты индекса геокриологической опасности можно использовать для планирования адап-

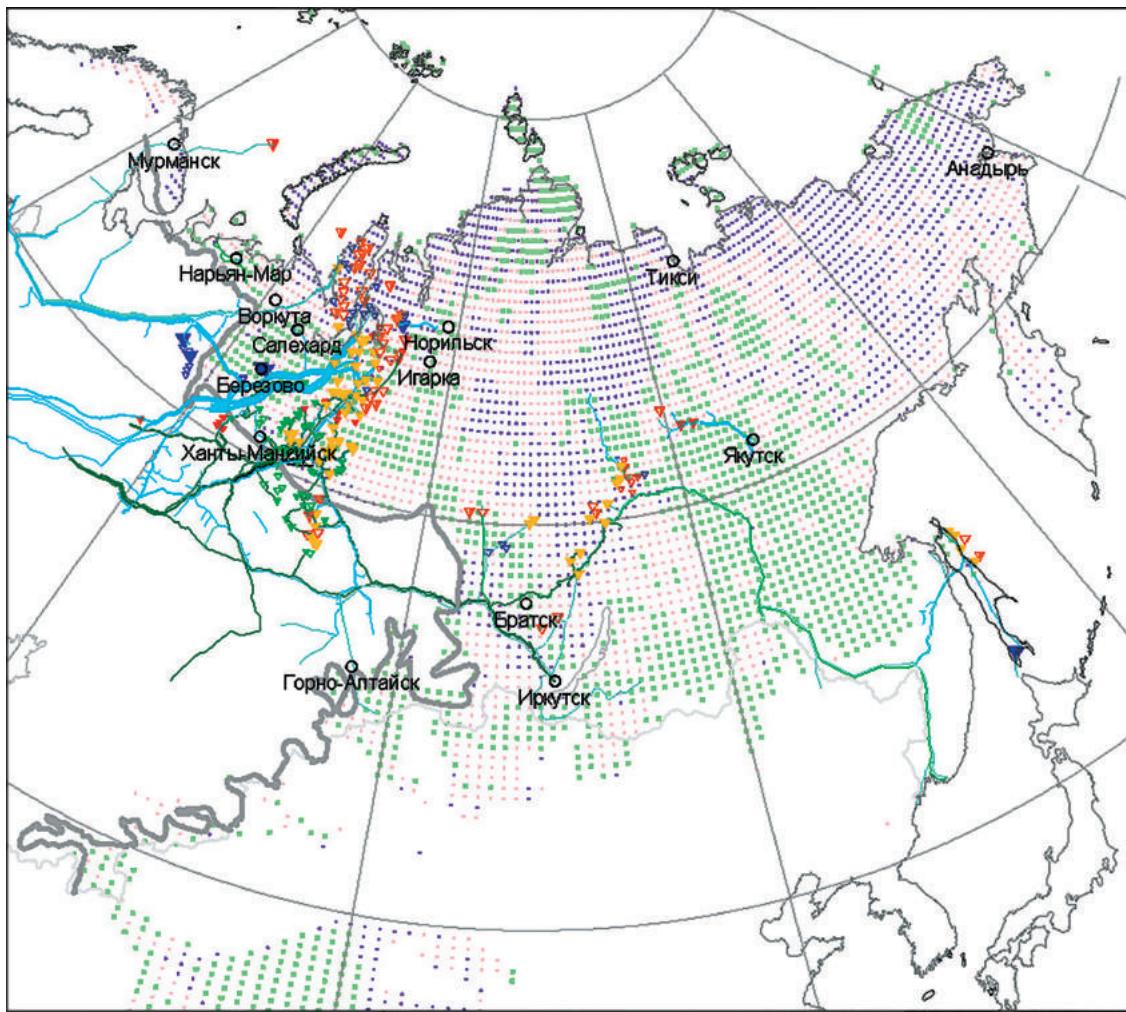


Рис. ТР6.13. Индекс геокриологической опасности для объектов на многолетней мерзлоте; расчет выполнен для климата середины XXI в. по модели HadCM3 для сценария эмиссии парниковых газов B2 SRES. Пояснения приведены в тексте.

тации инфраструктуры и населения к будущим условиям. Основной способ адаптации сооружений — термостабилизация ММП с применением различных технических средств и инженерных решений, таких как установка парожидкостных термосифонов и обустройство вентиляционных каналов и подполий, усиление фундамента посредством установки дополнительных свай.

Гидроэнергетика и водное хозяйство

Изменение климата оказывает существенное влияние на годовой сток рек и их водный режим. Это, в свою очередь, сказывается на разных водохозяйственных аспектах.

Гидроэнергетика. В ближайшие десятилетия на реках России наиболее вероятно увеличение годового стока в пределах 5% (см. раздел 4, рис. ТР4.1), что не может оказать существенного влияния на годовую выработку гидроэлектроэнергии. Значительное увеличение меженного стока 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) из-за увеличения осадков в бассейне Волги в последние три десятилетия увеличился на 8—26%, а зимний в результате повышения температуры воздуха — на 70—120%. В результа-

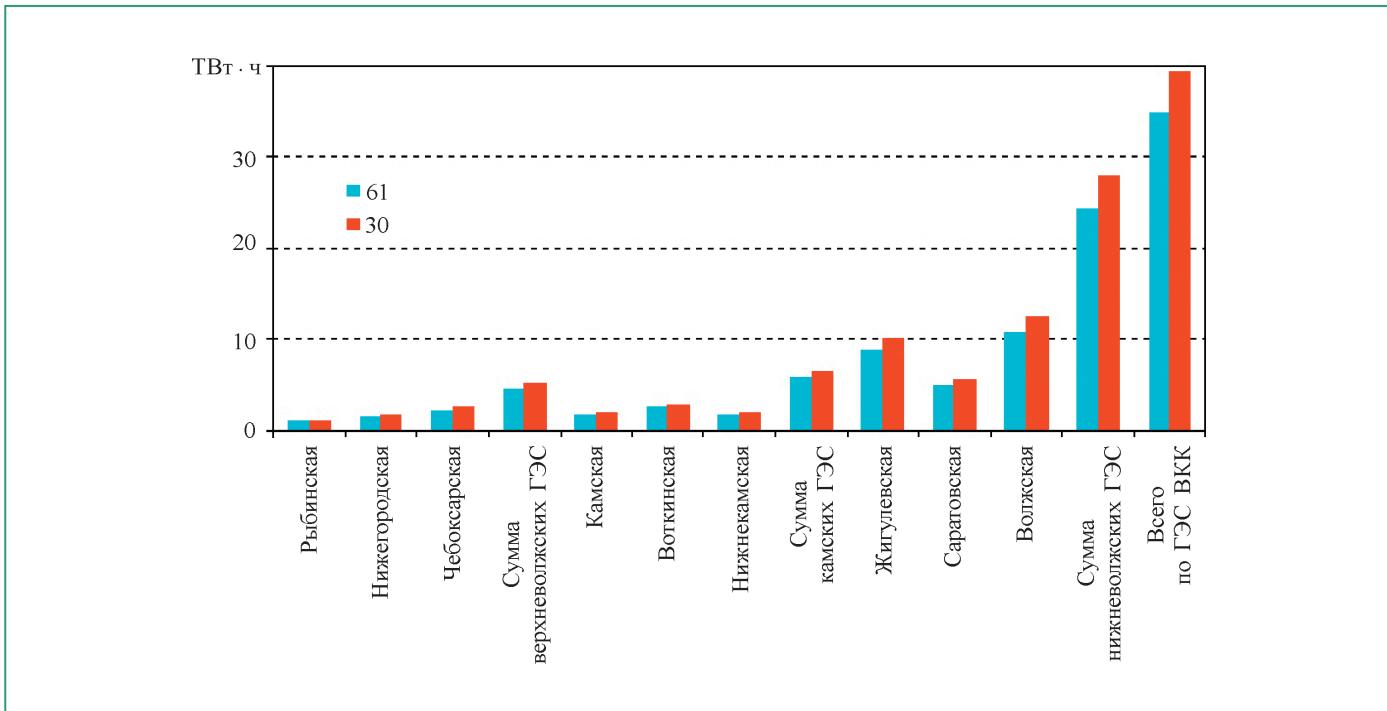


Рис. ТР6.14. Расчетная средняя годовая выработка электроэнергии на ГЭС Волжско-Камского каскада. 61 — за период 1914/15—1974/75 гг.; 30 — за период 1975/76—2004/05 гг.

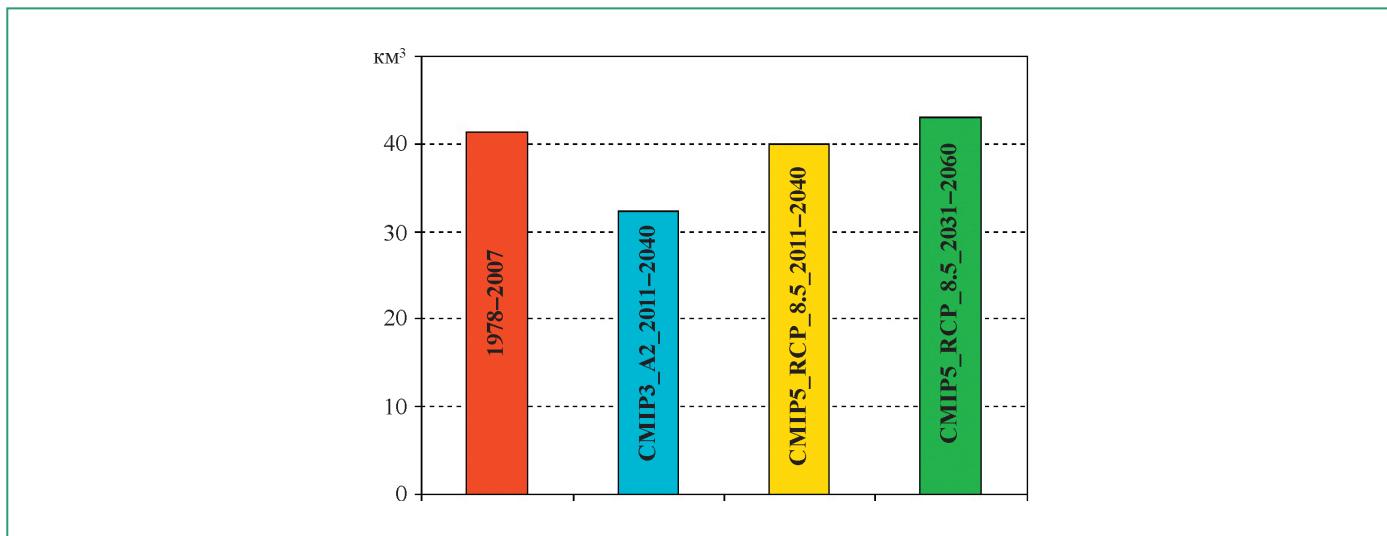


Рис. ТР6.15. Фактические изменения за 1978–2007 гг. и расчетные аномалии (по отношению к норме 1946–1977 гг.) годового притока к водохранилищам Волжско-Камского каскада. Указаны сценарии антропогенного воздействия на климатическую систему, в условиях которых проводился расчет, и временные горизонты.

те расчетная суммарная выработка электроэнергии на ГЭС ВКК увеличилась на 13% (рис. ТР6.14), а суммарная средняя за зиму мощность 90%-ной обеспеченности — на 47%. Увеличилась также обеспеченность навигационных уровней воды в верхних бьефах гидроузлов ВКК.

Оценки возможных изменений притока в водохранилища ВКК с использованием перспективных оценок будущего климата показали, что ожидаемое увеличение годового притока к водохранилищам ВКК сравнимо с уже произошедшими изменениями за последние десятилетия (рис. ТР6.15).

Ожидаемое по результатам большинства перспективных оценок дальнейшее повышение температуры воздуха зимой позволяет полагать, что наблюдающийся в последние десятилетия увеличенный зимний приток в водохранилища ВКК сохранится и в ближайшие 20—30 лет.

В качестве меры адаптации целесообразно пересмотреть правила 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. 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 протекают в слабообжитых и экономически мало развитых регионах. В то же время речные водосборы центра и юга ЕЧР — это наиболее густонаселенные и экономически развитые регионы страны. Суммарные водные ресурсы этих регионов составляют около 9% общероссийских, а проживает здесь 76% 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% из-за ожидаемого увеличения водных ресурсов и демографических факторов. 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.

В качестве возможных мер адаптации целесообразно рассмотреть резервирование воды в водохранилищах, переброску стока из других бассейнов, создание альтернативных источников водоснабжения, снижение потерь воды при транспортировке, внедрение оборотных технологий водопотребления в промышленности.

Неблагоприятные и опасные гидрологические явления. Особенности современных изменений частоты и высоты опасных наводнений определяются условиями формирования максимальных расходов воды. На большинстве рек юго-запада

и запада ЕЧР, где максимальные расходы воды определяются весенним половодьем, происходит их уменьшение на 20—40%, что связано с повышением температуры и увеличением числа оттепелей зимой. 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 очень высокие паводки, не наблюдавшиеся ранее.

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. Повторяемость такого события — не чаще чем раз в 200 лет. 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.

Беспрецедентное 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. экстремальное количество осадков в летний период в горных районах Кавказа, в Сибири и на Дальнем Востоке может увеличиться, в связи с чем увеличивается частота и высота дождевых и снегодождевых паводков.

Адаптация может осуществляться путем строительства и реконструкции защитных сооружений, противопаводковых водохранилищ, создания противопаводковых емкостей на поймах, переселения людей с опасных участков на безопасные территории, в другие населенные пункты или регионы. Проектирование и проведение противопаводковых мероприятий требуют глубокого научного обоснования их эффективности и экономической целесообразности.

Одной из особенностей современных изменений водного режима рек России является увеличение межгодовой изменчивости стока, особенно сезонного (см. раздел 4), в результате чего возможны как аномально многоводные, так и аномально маловодные годы и сезоны. Материальный ущерб от маловодий иногда сопоставим с ущербом от наводнений. Малые расходы воды и ее низкие уров-

ни осложняют работу водозаборов, нарушают водоснабжение населенных пунктов и предприятий, уменьшают выработку гидроэлектроэнергии, затрудняют речное судоходство. Влияют маловодья и на качество воды рек. Летом 2013 г., в то время как над бассейном Амура шли проливные дожди, на Таймыре из-за аномального маловодья в Норильско-Паяинской водной системе возникла угроза водобез обеспечению г. Норильска и металлургического комбината “Норильский никель”.

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

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

Морская деятельность в Арктике

На хозяйственную деятельность в морской части Арктики наибольшее влияние может оказать сокращение протяженности и толщины морских льдов. Ввиду разнообразия природно-климатических и социально-экономических условий в российской Арктике ожидаемые экономические последствия могут быть как положительными, так и отрицательными.

Будущие климатические и ледовые условия на трассах Северного морского пути существенны для проектирования новых транспортных и ледокольных судов, выбора судоходных трасс, сохранения контроля Российской Федерацией над плаванием судов в пределах своей экономической зоны. Более доступными для плавания станут высокоширотные трассы, на которых появится возможность круглогодичной навигации. При этом сохранение морских льдов на трассах Северного морского пути большую часть года и вероятность возникновения сложных ледовых условий (рис. ТР6.16) потребуют

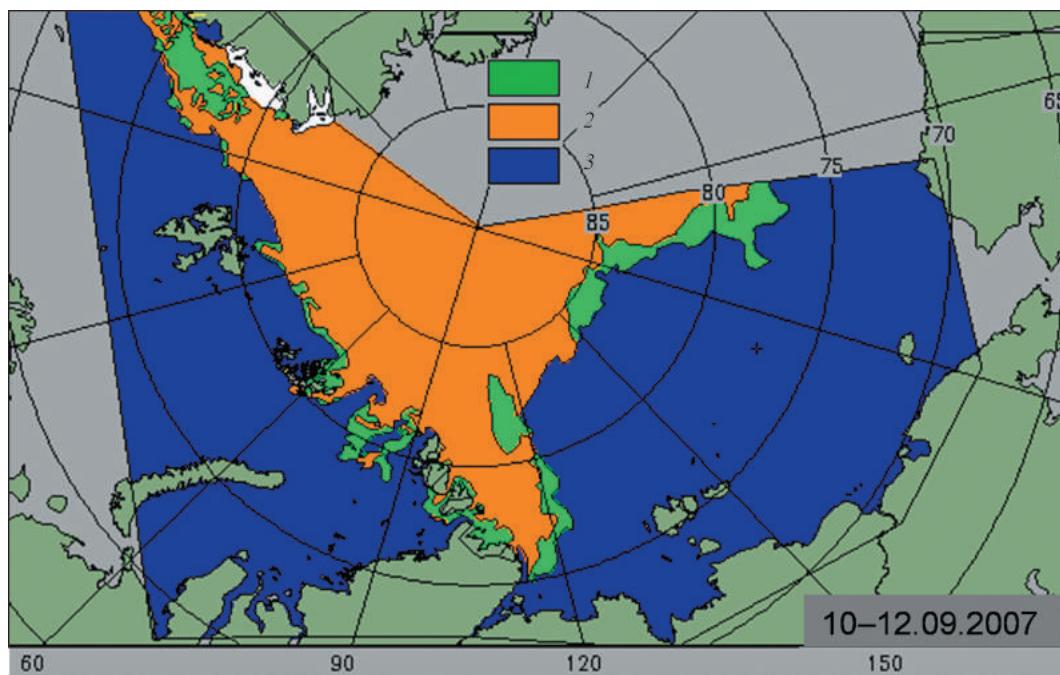


Рис. ТР6.16. Таймырский ледяной массив (выступ сплоченных льдов, протянувшийся из Арктического бассейна вдоль островов Северная Земля к побережью Таймыра) перекрывает Северный морской путь в условиях рекордно малой площади арктических льдов в сентябре 2007 г. Ледовая карта за 10–12 сентября 2007 г. (<http://www.aari.ru/projects/ECIMO/index.php>). 1) сплоченность льда 1–6 баллов; 2) 7–10 баллов; 3) чистая вода.

сохранения и развития российского ледокольного флота.

Сложные природно-климатические условия арктического шельфа создают большие риски для безопасности морской инфраструктуры, увеличивают стоимость проектов. Особенно серьезные риски обусловлены ледовыми явлениями (сильные ледовые сжатия, воздействия на сооружения крупных и гигантских ледяных полей и айсбергов, торосов, стамух, навалы льда на берег, ледовая экзарация дна, раннее ледообразование и другие). Дополнительные риски могут создавать деградация и разрушение многолетнемерзлых грунтов и берегов.

В условиях продолжающегося потепления необходимо более тщательно проводить перспективные оценки по учету указанных неблагоприятных тенденций. Целесообразно включить подобные рекомендации в нормативные документы, регламентирующие подготовку данных о параметрах окружающей среды для проектов по освоению арктического шельфа.

Современные научные данные пока не позволяют однозначно определить последствия ожидаемых изменений климата для продуктивности промысловых видов рыб и их кормовой базы в Арктике. В целом морские экосистемы хорошо адаптированы к многолетней изменчивости условий среды. Поэтому ситуация в рыбной отрасли зависит прежде всего от объемов добычи и перелова ценных видов рыб, а также от законодательного регулирования промысла. Климатический фактор играет в этом важную, но не решающую роль.

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 высоколатитной экономической зоне с ледовым покровом. Граница экономической зоны, внешняя граница континентального шельфа России отсчитываются от береговой линии. Увеличение продолжительности безледного периода в сочетании с интенсификацией ветро-волновой активности и повышением температуры воздуха ускорит отступание берегов, которое может достигать несколько 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 основным для регулирования Россией мореплавания в своей арктической исключительной экономической зоне.

Сохраняющаяся неопределенность оценок климата будущего составляет лишь малую часть неопределенности возможного развития региональной экономической системы. Гораздо большую неопределенность привносит социально-экономический компонент, например, связанный с добычей нефти и газа на шельфе.

Наблюдаемое и ожидаемое в будущем 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 от 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 происходят таяние многолетней мерзлоты и эрозия береговой линии.

Сельское хозяйство

Наблюдаемые на территории России изменения климата в период 1976—2012 гг. по-разному отразились на сельскохозяйственном производстве. Благоприятными факторами являются:

— увеличение теплообеспеченности (суммы среднесуточных значений активной температуры воздуха, превосходящих 10°C) во всех аграрных регионах России с наибольшей скоростью увеличения на ЕЧР (в среднем на 100°C · сут за 10 лет) и максимумом в Южном федеральном окру-

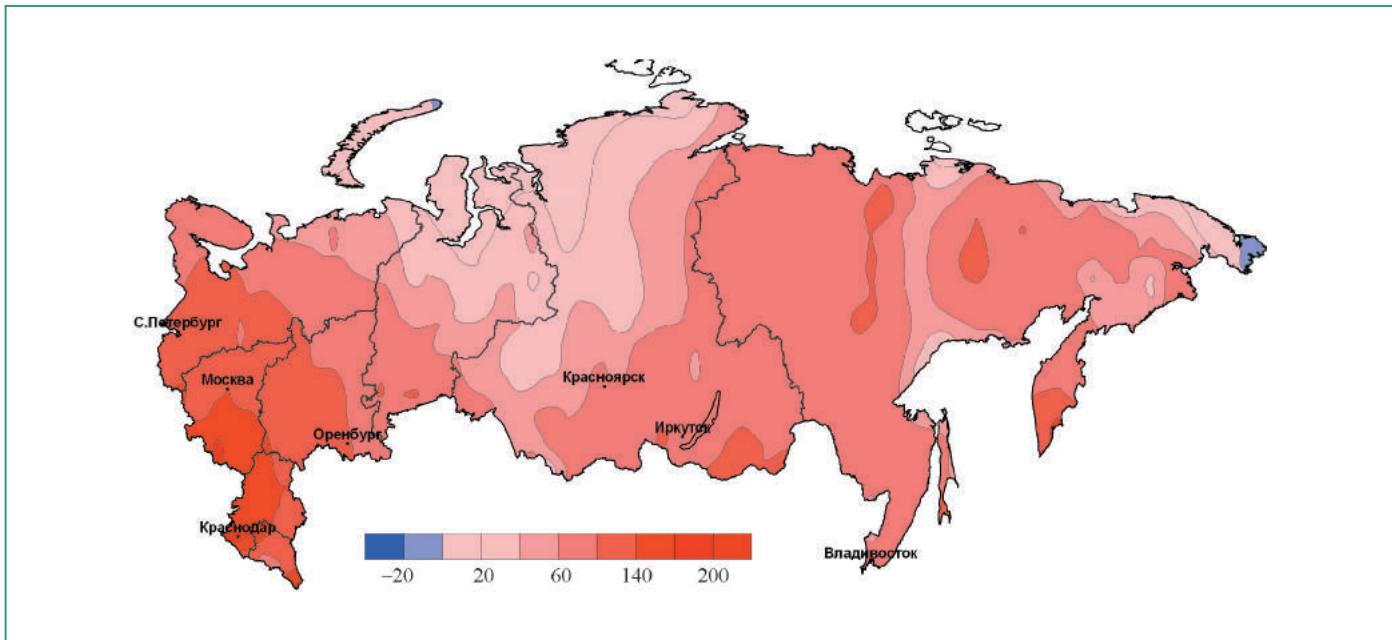


Рис. ТР6.17. Средняя скорость изменения (линейный тренд; $^{\circ}\text{C} \cdot \text{сут за 10 лет}$) годовых сумм среднесуточных значений активной температуры воздуха (с порогом 10°C) в 1976—2012 гг.

ге — $153^{\circ}\text{C} \cdot \text{сут за 10 лет}$; в Северо-Западном и Дальневосточном федеральных округах этот показатель несколько меньше, а именно: $63—84^{\circ}\text{C} \cdot \text{сут за 10 лет}$ (рис. ТР6.17);

- повышение средней температуры холодного периода года;

- увеличение продолжительности вегетационного периода со среднесуточной температурой выше 10°C в северных и северо-западных регионах России со средней скоростью 5 сут/10 лет.

Изменения увлажненности в целом благоприятны для аграрного производства Российской Федерации, кроме ряда районов Северо-Западного федерального округа и Центрального Черноземья. На значительной земледельческой территории Российской Федерации наблюдается увеличение осадков весной и осенью. Тренды осадков летом отрицательны во всех федеральных округах, за исключением Северо-Западного и Дальневосточного, где они составляют 4—6 мм/10 лет.

Негативным последствием наблюдаемого потепления климата является смещение границ ареалов и зон массового размножения вредителей и возбудителей болезней сельскохозяйственных растений в ставшие более пригодными для их обитания северные и восточные регионы России. Это связано:

- со смещением изолиний сумм среднесуточных значений активной и эффективной температуры воздуха и среднегодовой температуры, ограничивающих их распространение, а также с увеличением зимой температуры воздуха в Сибири и на севере России;

- с сокращением районов с многолетней мерзлотой и увеличением толщины снежного покрова в Сибири, что способствует большей выживаемости разных сельскохозяйственных вредителей и патогенов в зимний период.

Так, в последние годы значительно расширился в северном и восточном направлениях (Северо-Западный и Дальневосточный федеральные округа) климатический ареал опасного вредителя картофеля — колорадского жука (рис. ТР6.18).

Жаркая и засушливая погода последних лет (2008—2012 гг.) вызывала вспышки массового размножения саранчевых вредителей, которые достигали небывалой интенсивности (до 2000 особей/ м^2 и более), требуя введения в отдельных районах режима чрезвычайных ситуаций. Причем, помимо обычных для них южных регионов (Южный и Северо-Кавказский федеральные округа), саранчевые вредители значительно размножились и в других, более северных, районах России, ранее для них не характерных (Центральный, Поволжский, Уральский и Северо-Западный федеральные округа).

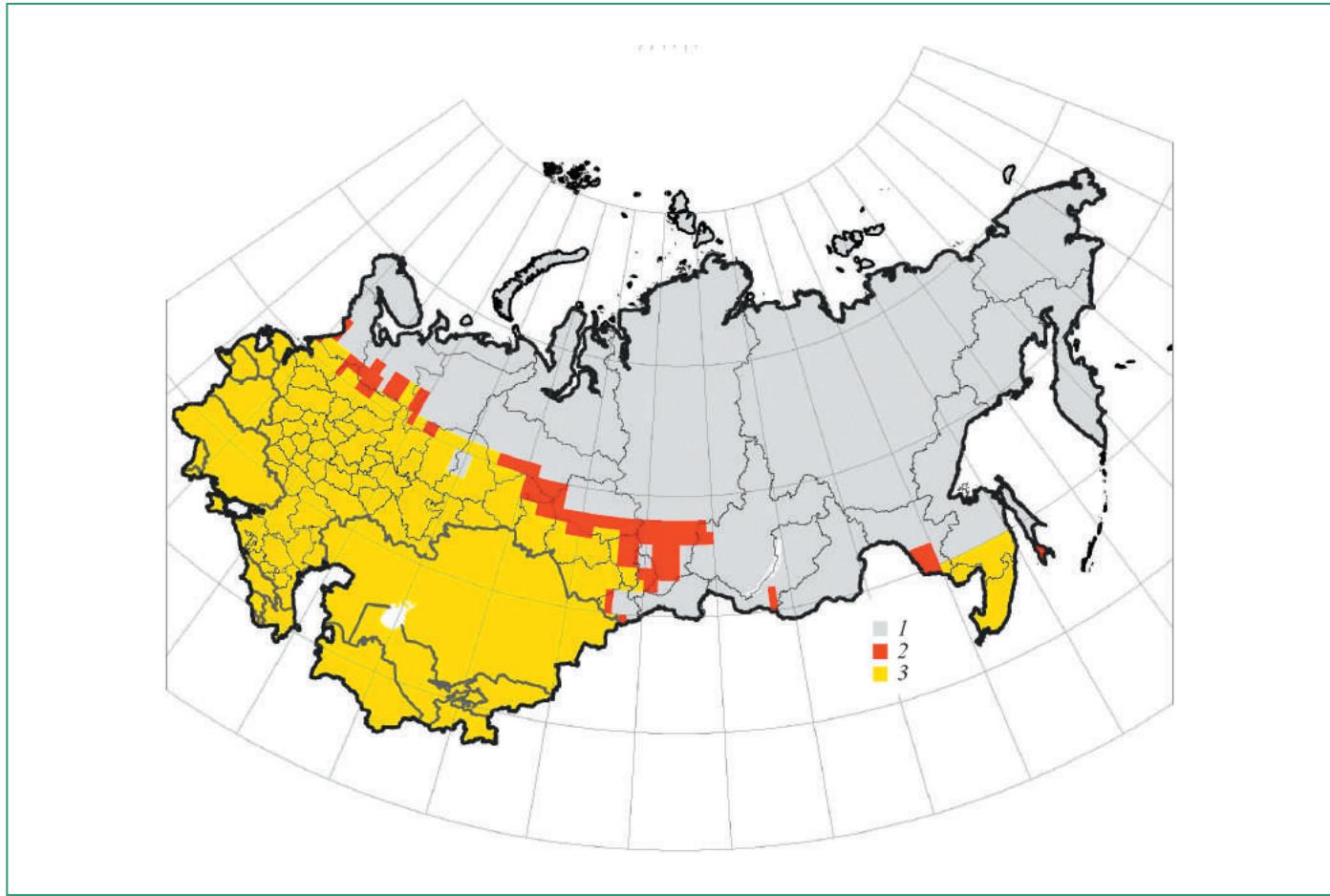


Рис. ТР6.18. Изменение климатического ареала колорадского жука (*Leptinotarsa decemlineata* Say) на территории России в 1991—2010 гг. по сравнению с 1951—1970 гг. 1 — территория вне границ ареала в оба периода; 2 — территория приращения ареала; 3 — территория ареала в оба периода.

Также при потеплении климата наблюдается увеличение агрессивности и вредоносности отдельных сельскохозяйственных вредителей и патогенов, связанное с изменением их экологических особенностей (смещением фаз развития на более ранние сроки, увеличением числа генераций за сезон на той же территории, сменой пищевых предпочтений).

Согласно перспективным оценкам, дальнейшее потепление при современном увлажнении и уровне плодородия почв к середине ХХI в. должно привести к увеличению биоклиматического потенциала (БКП) и продуктивности зерновых культур на территории России (рис. ТР6.19а). Однако в дальнейшем, к концу ХХI в., при продолжении увеличения среднегодовой температуры воздуха, БКП и продуктивность зерновых культур могут существенно уменьшиться по

сравнению с современным уровнем в отдельных районах Российской Федерации (рис. ТР6.19б).

К увеличению потерь сельскохозяйственной продукции также приведет ожидаемое на протяжении всего ХХI в. постепенное расширение в северном и восточном направлениях границ ареалов и зон массового размножения и вредоносности различных сельскохозяйственных вредителей и патогенов. На рис. ТР6.20 для примера представлен процесс расширения климатического ареала колорадского жука.

Основными мерами адаптации сельского хозяйства России к изменениям климата в ХХI в. могут быть:

- развитие аграрного сектора экономики Нечерноземной зоны (Центральный и Северо-Западный федеральные округа);

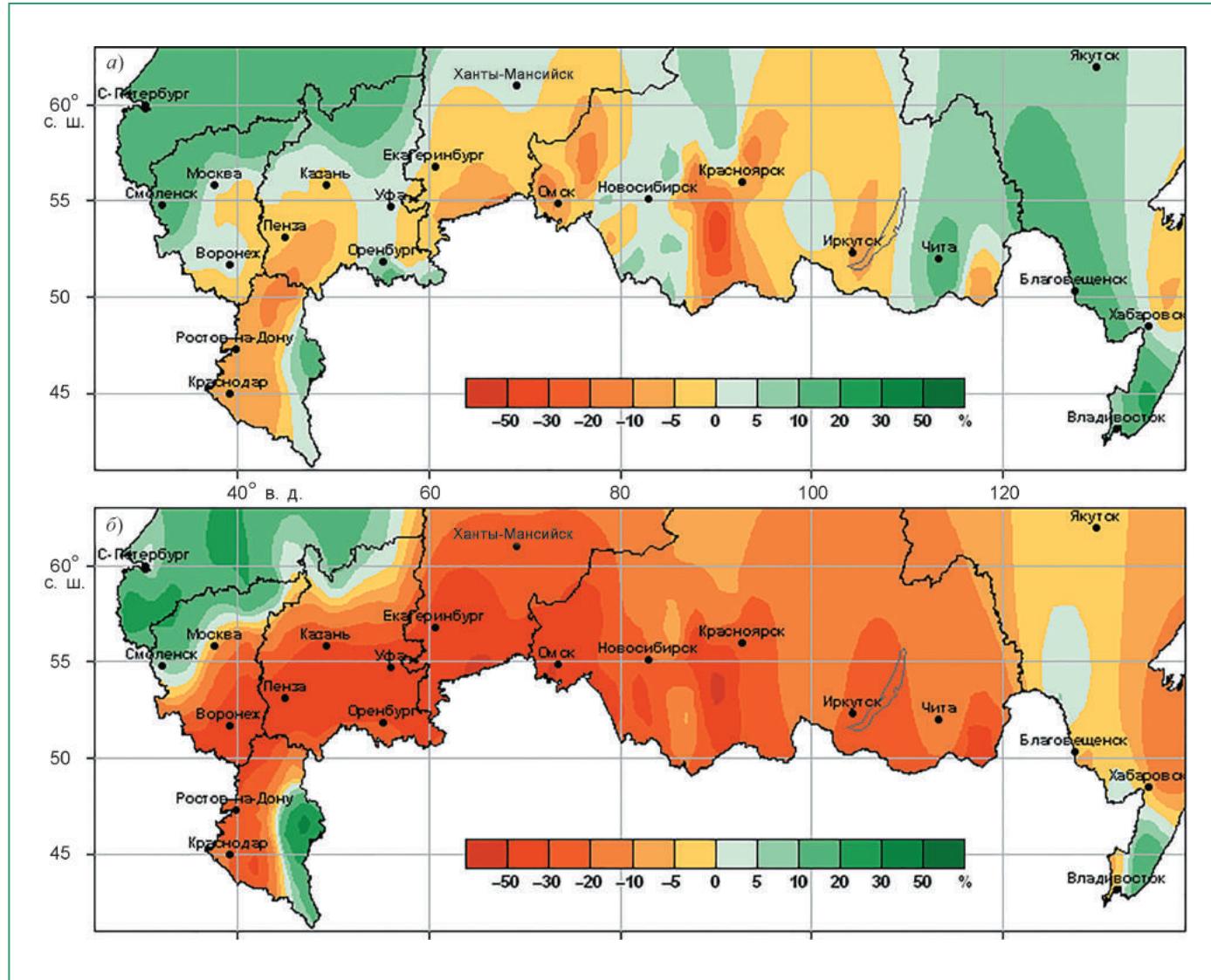


Рис. ТР6.19. Изменение продуктивности яровых зерновых культур (%) относительно базового периода 1981–2000 гг. на территории России в XXI в., рассчитанное для среднего климата по ансамблю моделей CMIP5 в условиях экстремального сценария RCP8.5 антропогенного воздействия на климатическую систему. а) 2011–2030 гг.; б) 2080–2099 гг.

- увеличение площадей озимых зерновых культур (пшеницы, ржи и ячменя) как более урожайных при потеплении климата;
- увеличение посевных площадей теплолюбивых высокоинтенсивных сельскохозяйственных культур: кукурузы, подсолнечника, сахарной свеклы, сои и др.;
- увеличение посевов пожнивных и энергетических культур;
- расширение площадей садовых насаждений;
- внедрение влагосберегающих технологий и расширение площадей орошаемого земледелия;

- увеличение площади посевов засухоустойчивых культур;
- усиление и развитие деятельности федеральной и региональных служб карантина и защиты растений, особенно на границах современных ареалов распространения основных климато-зависимых вредителей и возбудителей болезней сельскохозяйственных культур;
- усиление научно-исследовательской работы в области изучения экологических свойств сельскохозяйственных вредителей и патогенов и выявления изменений этих свойств под действием меняющихся климатических условий.

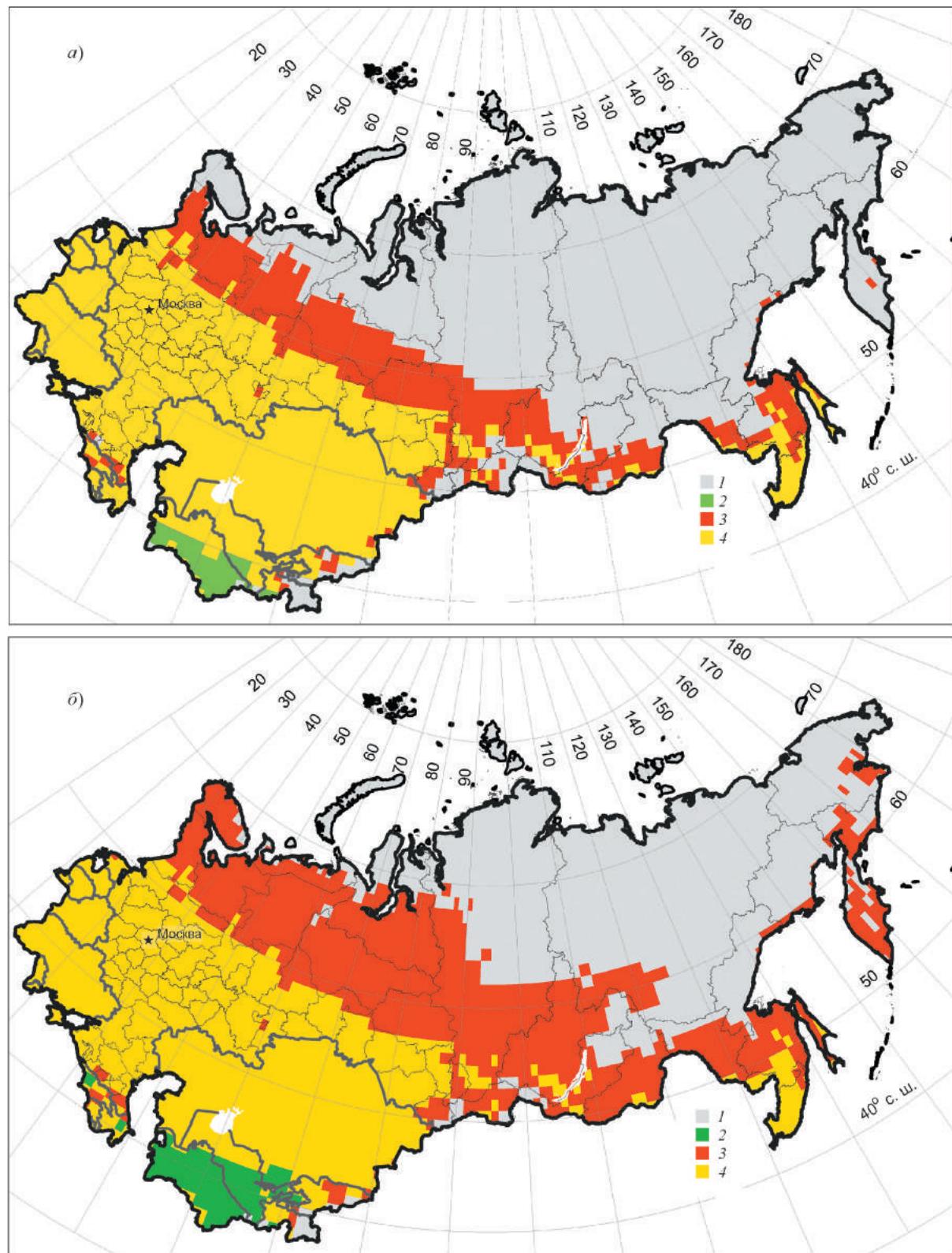


Рис. ТР6.20. Возможное расширение климатического ареала колорадского жука на территории России относительно базового периода 1981—2000 гг., рассчитанное для среднего климата по ансамблю моделей CMIP5 в условиях экстремального сценария RCP8.5 антропогенного воздействия на климатическую систему для периодов 2041—2060 (а) и 2080—2099 гг. (б). 1 — территория вне границ ареала в оба периода; 2 — сокращение ареала; 3 — приращение ареала; 4 — территория ареала в оба периода.

Лесное хозяйство

Климат в значительной степени определяет границы распространения и характер лесной растительности. В результате естественных процессов и антропогенных воздействий ежегодно в России погибает около 300 тыс. га леса (рис. ТР6.21). Наибольшие площади гибели леса выявлены в Сибирском и Дальневосточном федеральных округах, примерно 50.2% площади погибающего леса по стране.

В период 1992—2008 гг. более 70% (по площади) гибели древостоев происходило из-за лесных пожаров. За 2003—2012 гг. от пожаров погибло 2531.6 тыс. га леса, что составило около 60% площади всех погибших лесов в Российской Федерации за этот период.

Возникновение и развитие лесных пожаров возможно только при длительной сухой погоде, но возгорание происходит более чем в 90% случаев по вине человека. Потери леса от пожаров оценивают объемом сгоревшей древесины. На рис. ТР6.22 показаны объемы сгоревшего леса по годам. В целом на территории РФ наибольшие потери леса наблюдались в 1998, 2003, 2010 и 2012 гг. В эти годы выгорало более 60 млн. м³ древесины.

В современных условиях примерно 15% леса (по площади) погибает вследствие прямого воз-

действия экстремальных условий погоды — гибель при ураганном ветре, усыхание после сильных морозов зимой и т. д. Еще примерно столько же усыхает под воздействием вредных насекомых и болезней. Следует отметить, что лес оказывается наиболее чувствительным к болезням и вредным насекомым, когда он ослаблен неблагоприятными экстремальными условиями погоды.

Долговременное постепенное потепление является одним из факторов, теоретически влияющих на продуктивность древостоев. Однако по данным наблюдений пока не выявлено по всеместного увеличения продуктивности леса. Потепление климата создает предпосылки для смещения границ леса к северу, но для полной реализации такого смещения нужно значительное время (десятки — сотни лет). Формирование древесной растительности и достижение лесом возраста, при котором он имеет значение для лесного хозяйства, занимает гораздо большее время, чем тот интервал лет, на котором произошли современные существенные изменения климата.

Согласно существующим перспективным оценкам, экстремальность климата будет усиливаться в XXI в. В отдельные годы возрастут потери леса от прямых воздействий условий погоды и вредных насекомых и болезней, но наибольшие потери лесное хозяйство будет нести от пожаров. В условиях экстремального сценария RCP8.5

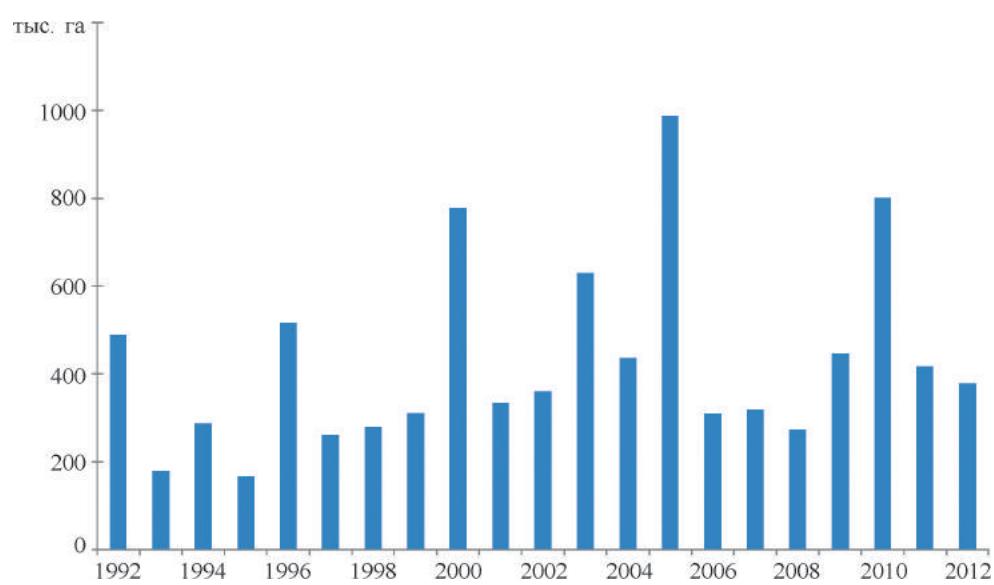


Рис. ТР6.21. Площадь погибших лесных насаждений в Российской Федерации.

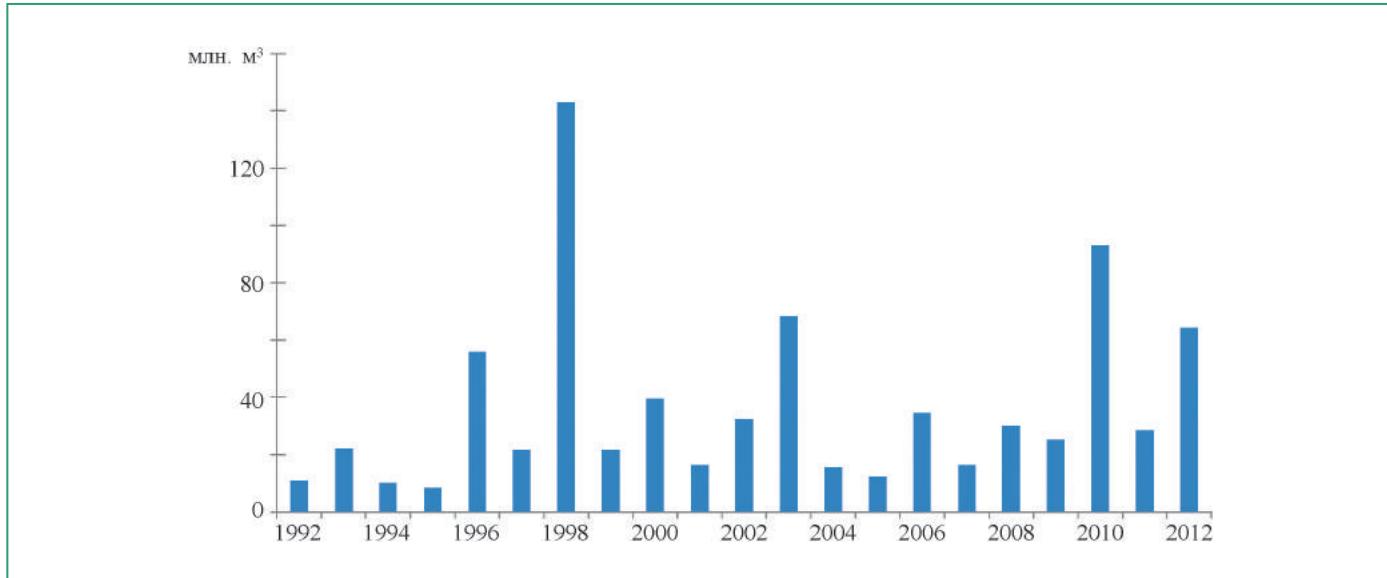


Рис. ТР6.22. Объем древесины деревьев, сгоревших на корню на территории Российской Федерации.

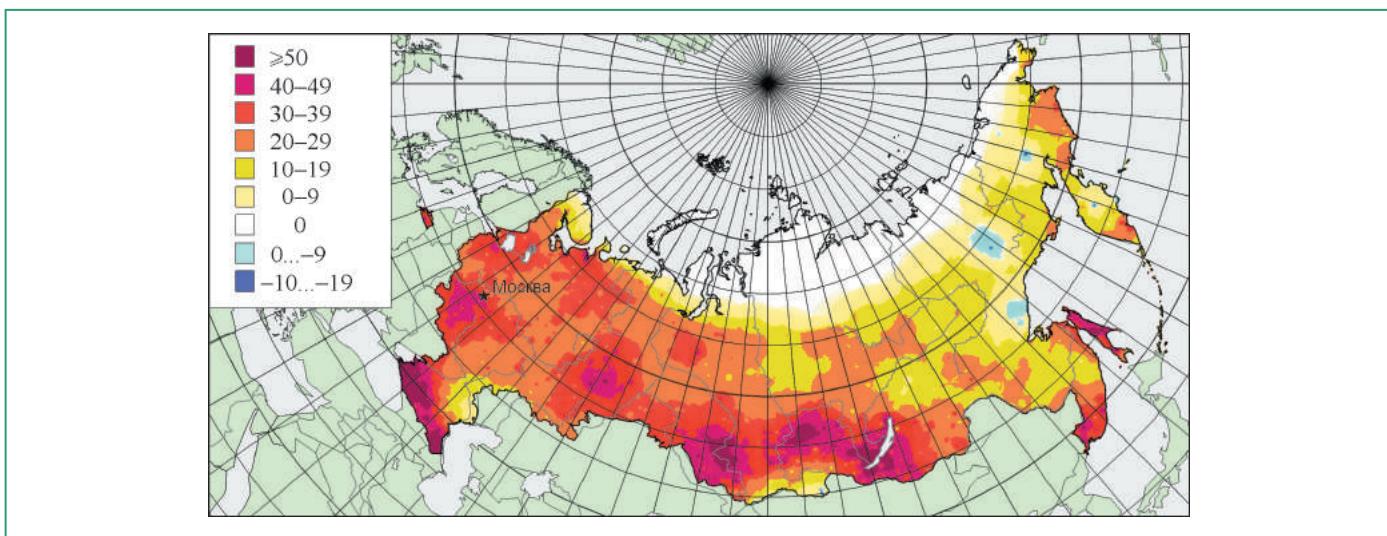


Рис. ТР6.23. Оценка изменения среднего числа пожароопасных суток (с индексом Нестерова $G > 1000$) в мае — сентябре в 2080—2099 гг. по сравнению с нормой за период 1981—2000 гг. в условиях сценария RCP8.5.

антропогенного воздействия на климатическую систему на всей ЕЧР, в Западной и, частично, в Восточной Сибири к концу ХХI в. ожидается увеличение пожароопасного периода на 20–29 суток, а на некоторых участках — на 30–50 суток (рис. ТР6.23).

В условиях умеренного сценария RCP4.5 к концу ХХI в. увеличение числа пожароопасных суток будет менее выражено. Типичное увеличение составит 10–14 суток, в некоторых местах достигнет 15–20 суток.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В опубликованном в 2008 г. первом “Оценочном докладе об изменениях климата и их последствиях на территории Российской Федерации”, помимо собственно оценок современной ситуации и перспективы на XXI в., были сформулированы те направления науки о климате, развитие которых необходимо в приоритете для совершенствования процесса оценки изменения климата и его последствий, а также для обоснования стратегии адаптации. Эти направления впоследствии нашли свое отражение в Климатической доктрине Российской Федерации* и после широкого обсуждения на VI Всероссийском метеорологическом съезде в 2009 г.** легли в основу “Комплексного плана научных исследований погоды и климата”***. Существенной особенностью этого плана является рекомендованная решениями Всероссийского метеорологического съезда многомерная интеграция национальных исследований погоды и климата, в том числе интеграция фундаментальных и прикладных исследований, а также интеграция национальных исследований в международные программы.

Научные исследования в области климатологии призваны, в конечном итоге, служить обеспечению научной базы процесса *принятия решений* в области взаимодействия общества и климатической системы. Для такой страны, как Россия, это подразумевает потребность в полном цикле исследований климата — фундаментальных и прикладных (при всей условности границы между ними), который завершается исследованием проблем *интерпретации* климатической информации и *выработки рекомендаций* по ее использованию конечным потребителем (органами власти, отраслями экономики, бизнесом, обществом).

Основой любых оценок состояния климата, его изменений в прошлом, настоящем и будущем являются данные наблюдений за параметрами

климатической системы и физико-математические модели, описывающие процессы, происходящие в климатической системе, их естественные и антропогенные составляющие.

Можно с удовлетворением отметить, что в России в системе Росгидромета продолжает работать система мониторинга климата, позволяющая получать данные наблюдений с государственной сети гидрометеорологических станций. Основной информационный продукт, создаваемый на базе этих данных, — ежегодные доклады об особенностях климата на территории Российской Федерации, выпускаемые Росгидрометом. Для выполнения более широких в географическом отношении оценок климата привлекаются данные гидрометеорологических служб стран СНГ, а также глобальные данные. Возможность их получения обеспечивается развитым международным сотрудничеством России в области гидрометеорологии, в том числе по линии СНГ и в рамках ВМО.

Что касается физико-математического моделирования, то в последние годы количество научных публикаций, посвященных исследованию климата модельными методами увеличивалось лавинообразно. Этому способствовало, в частности, совершенствование международной координации в организации крупных многоцелевых проектов сравнения глобальных и региональных климатических моделей — таких как CMIP (<http://cmip-pcmdi.llnl.gov/>) и в самые последние годы CORDEX (<http://wcrp-cordex.ipsl.jussieu.fr/>). Одним из результатов этих усилий стало то, что Всемирная программа исследований климата (ВПИК), являющаяся инициатором разработки этих проектов, выдвинула шесть так называемых “гранд-вызовов” мировой фундаментальной климатической науке (<http://www.wcrp-climate.org/index.php/grand-challenges>), каждый из которых является приоритетом в российской науке о климате:

- облака, циркуляция и чувствительность климата;
- криосфера в изменяющемся климате;

* Утверждена Президентом Российской Федерации 17 декабря 2009 г.

** Катцов В. М. и Мохов И. И., 2011, Приоритеты российских исследований в области метеорологии, Труды VI Всероссийского метеорологического съезда, СПб, Росгидромет, с. 27—35.

*** Утвержден распоряжением Правительства Российской Федерации № 730-р от 25 апреля 2011 г. “О комплексном плане реализации Климатической доктрины Российской Федерации до 2020 года”. Полный текст КПНИПК опубликован в работе “Оценка макроэкономических последствий изменения климата на территории Российской Федерации на период до 2030 года и дальнейшую перспективу”, под ред. В. М. Катцова, Б. Н. Порфириева, Росгидромет, 2011, с. 251.

- экстремальные климатические явления;
- региональная климатическая информация;
- региональный подъем уровня моря;
- водные ресурсы.

В то же время ряд физико-географических, экономических, социальных и других особенностей нашей страны, в том числе выраженная климатическая и социально-экономическая неоднородность территории, делают необходимым определение **приоритетов национальных исследований** в области воздействия изменения климата на природные и хозяйствственные системы, на здоровье населения. Это исследования в области оценки последствий погодно-климатических воздействий на территории Российской Федерации, погодно-климатических рисков разной природы (экономические, социальные, демографические, geopolитические и т. д.) и уязвимости, потенциала использования положительных последствий изменения климата, а также возможностей адаптации к специфическим для территории России воздействиям, смягчения антропогенного воздействия на климат, климатических ресурсов. Следует отметить и некоторые конкретные проблемы, важность которых становится все более очевидной в последнее время.

Экстремальные явления погоды последних лет — волна жары лета 2010 г. на Европейской части России, катастрофические наводнения на Северном Кавказе (2012 г.) и на Амуре (2013 г.) — поставили вопрос о возможной связи постепенного глобального потепления с учащением и усилением таких явлений. Хотя в отдельных научных публикациях этот вопрос уже обсуждался, общепризнанной доказательной базы наличия такой связи пока не существует. В то же время очевидна практическая значимость этой проблемы — ведь ущерб от таких катастрофических явлений более значителен, чем непосредственно от постепенного, довольно медленного глобального потепления.

Для оценки последствий наблюдаемых и ожидаемых в будущем изменений климата для природных и хозяйственных систем и для населения также необходимы данные систематических наблюдений (мониторинга) и математические модели откликов на изменение климата. Однако разные системы, реакция которых на изменение климата важна с практической точки зрения, не в

равной мере обеспечены результатами наблюдений и расчетными моделями.

В России среди наиболее обеспеченных можно выделить водные системы суши (ведется гидрологический мониторинг), прибрежные и внутренние моря (в частности ведется мониторинг ледовой обстановки), континентальную многолетнюю мерзлоту (существует совокупность геокриологических стационаров), горное оледенение и оледенение арктических островов (ведутся многолетние наблюдения), леса (данные о состоянии лесного фонда систематически обновляются, ведется мониторинг лесных пожаров), агрокосистемы (ведется агрометеорологический мониторинг), здоровье населения (фиксируются климатозависимые заболевания). Соответствующие виды мониторинга ведутся различными ведомствами или научными организациями.

Однако получаемая в процессе мониторинга информация часто характеризует лишь состояние соответствующих систем, чувствительных к изменению климата, а общепринятые средства анализа причин изменений, выявления климатообусловленных составляющих развиты в недостаточной степени.

В еще меньшей степени наличествуют общепринятые (стандартизованные) математические модели воздействие — отклик, необходимые для оценки реакции разных систем на изменения климата в будущем. Те оценки, которые были получены и использованы при подготовке настоящего доклада, являются результатом специальных исследовательских проектов, а не расчетов с помощью общепринятых устоявшихся методов (как это происходит в системе мониторинга климата, которая фактически функционирует как “служба климата”). Такие проекты выполняются высококвалифицированными научными коллективами, часто являются пионерными разработками в соответствующих областях. Это положение сейчас характерно не только для отечественной, но и для мировой науки в целом.

Таким образом, развитие и унификация средств анализа причин изменений в разных системах, чувствительных к изменению климата, выявление климатообусловленных составляющих этих изменений, оценка будущих климатообусловленных изменений — несомненный приоритет современных научных исследований.

Еще одна важная проблема — развитие дистанционных методов наблюдений. Известно, что поддержание устойчивого функционирования и тем более расширение сетей мониторинга, на которых проводятся инструментальные наблюдения, — дело дорогостоящее. Поэтому в конце XX в. все большее развитие стали получать методы дистанционного мониторинга, в особенности спутникового. В некоторых направлениях исследования климатической системы они уже получили эффективное применение. В качестве примеров можно назвать исследования снежного и ледового покрова, температурного поля земной поверхности, продуктивности растительного покрова, изменчивости уровня моря. Их широкое внедрение в систему мониторинга климата и использование в мониторинге природных систем, чувствительных к изменению климата, весьма перспективно для существенного увеличения потока данных наблюдений при уменьшении стоимости наблюдений.

Состоявшаяся в 2009 г. Третья всемирная климатическая конференция (ВКК-3) оценила состояние знаний и возможностей мировой климатической науки и наметила среди важнейших целей развития следующие:

- разработка методов предсказания климата на временных масштабах от сезона до нескольких лет и, возможно, до десятилетий;

- создание Глобальной рамочной основы климатического обслуживания (ГРОКО), которая объединила бы прикладной потенциал науки о климате и возможности отраслей наук, отвечающих за важнейшие системы, подвергающиеся влиянию изменения климата (водное хозяйство, сельское хозяйство, здравоохранение и ряд других).

В порядке реализации этих решений ВКК-3 в России уже начался процесс формирования национального сегмента ГРОКО. В настоящее время научными институтами Росгидромета проводится соответствующее научное обоснование. Создан Климатический центр Росгидромета. При этом деятельность гидрометеослужбы не должна сводиться лишь к передаче потребителям данных о температуре, осадках и других погодно-климатических характеристиках. Необходимой составляющей этой деятельности являются разработка и внедрение рекомендаций по использованию климатической информации, учитывающих специфику каждого потребителя, деятельность которого в той или иной степени подвержена климатическим рискам*. Национальный сегмент ГРОКО должен функционировать на основе совместных усилий гидрометеослужбы страны и других ведомств и организаций, отвечающих за подверженные влиянию изменения климата системы жизнеобеспечения человека — выработку энергии, водные и продовольственные ресурсы, здоровье населения, защиту от опасных гидрометеорологических явлений и некоторых других.

Настоящий “Второй оценочный доклад Росгидромета об изменениях климата и их последствиях на территории Российской Федерации” является вкладом в работу национального сегмента ГРОКО, в обеспечение государственных органов, профильных научных и неправительственных организаций и общественности информацией, необходимой для обсуждения и выработки оптимальной стратегии реагирования на изменения глобального климата.

* Этой же теме была посвящена организованная Росгидрометом в 2011 г. широкомасштабная международная конференция “Проблемы адаптации к изменению климата” (ПАИК-2011).

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

Техническое резюме

На первой странице обложки — окрестности Беломорской биологической станции МГУ им. М.В.Ломоносова.

Автор фотографии А. А. Рудкова

Редактор *T. B. Лешкевич*

Корректоры *B. B. Борисова, E. E. Смирнова*

Компьютерная верстка *I. B. Ломакиной*

Рисунки *A. И. Гавриченкова*

Подписано в печать 20.06.2014. Формат 60x84 1/8.

Усл. печ. л. 5,88. Уч. изд. л. 9,42.

Тираж 600 экз. Индекс ММ-8. Заказ №

Набрано в ФГБУ “НИЦ “Планета”
123242, Москва, Б. Предтеченский пер., 7

Отпечатано в ЗАО “Группа Море”
101000, Москва, Хохловский пер., д. 7—9, стр. 3