ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА ПО ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИИ
И МОНИТОРИНГУ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ
(РОСГИДРОМЕТ)



# ТРЕТИЙ ОЦЕНОЧНЫЙ ДОКЛАД

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

**| ОБЩЕЕ РЕЗЮМЕ**

2022

ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА ПО ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИИ
И МОНИТОРИНГУ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ
(РОСГИДРОМЕТ)

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

## ОБЩЕЕ РЕЗЮМЕ

2022

УДК 551.58
ББК 26.237
Т66

Третий оценочный доклад об изменениях климата и их последствиях на территории Российской Федерации. Общее резюме. – СПб.: Наукоемкие технологии, 2022. – 124 с.

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

Руководитель Росгидромета И. А. Шумаков (председатель), заместитель Руководителя Росгидромета В. В. Соколов (заместитель председателя), А. И. Бедрицкий, Т. М. Дмитриева, В. А. Долгий-Трач, С. А. Журавлев, академик РАН А. Л. Иванов, И. В. Ивачев, академик РАН Н. С. Касимов, В. М. Катцов, В. С. Косых, А. С. Макаров, академик РАН И. И. Мохов, академик РАН Б. Н. Порфирьев, член-корреспондент РАН А. А. Романовская, И. Н. Шанина (секретарь)

**Головное научное учреждение Росгидромета по подготовке доклада:**
Главная геофизическая обсерватория им. А. И. Воейкова (Климатический центр Росгидромета)

«Третий оценочный доклад об изменениях климата и их последствиях на территории Российской Федерации» состоит **из основного тома и Общего резюме**.

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

Материалы для настоящего Общего резюме представили:

В. М. Катцов — научный руководитель работ по подготовке доклада
и ведущие авторы доклада:

Е. М. Акентьева, О. А. Анисимов, М. Ю. Бардин, С. А. Журавлев, В. М. Катцов, А. А. Киселев, М. В. Клюева, П. И. Константинов, В. Н. Коротков, А. Г. Костяной, О. Н. Липка, А. С. Макаров, В. П. Мелешко, В. Н. Павлова, Т. В. Павлова, А. А. Постнов, Е. Н. Разова, Б. А. Ревич, член-корреспондент РАН С. В. Рязанцев, Е. И. Хлебникова, И. М. Школьник, В. В. Ясюкевич

**Редакционная группа** А. А. Киселев, Е. Л. Махоткина, Т. В. Павлова

Картографическая основа представления материалов в основном томе доклада и Общем резюме соответствует положению на 1 сентября 2022 г.

ISBN 978-5-907618-14-5

© Росгидромет, 2022

# Содержание

ПРЕДИСЛОВИЕ ..... 5

1. ПРОИСХОДЯЩИЕ И ОЖИДАЕМЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ КЛИМАТА ..... 11
   1.1 Глобальные изменения климата ..... 13
   1.2 Изменения климата на территории Российской Федерации ..... 22

2. ВОЗДЕЙСТВИЯ ИЗМЕНЕНИЙ КЛИМАТА НА ПРИРОДНУЮ СРЕДУ, НАСЕЛЕНИЕ И ЭКОНОМИКУ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ ..... 31
   2.1 Природные системы ..... 33
   2.2 Население ..... 39
   2.3 Секторы экономики, виды экономической деятельности и инфраструктура ..... 45

3. РЕГИОНАЛЬНЫЕ ПОСЛЕДСТВИЯ ИЗМЕНЕНИЙ КЛИМАТА НА ТЕРРИТОРИИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ И НАПРАВЛЕНИЯ АДАПТАЦИИ К НИМ ..... 67
   3.1 Федеральные округа ..... 69
   3.2 Крупные города России ..... 106
   3.3 Арктическая зона Российской Федерации ..... 108

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ..... 115

Приложение. Основные сокращения ..... 121

# ПРЕДИСЛОВИЕ

# Предисловие



Проявления изменений климата на территории Российской Федерации характеризуются впечатляющим многообразием и неоднозначностью последствий для природной среды, экономики и населения нашей страны. Для России важен весь комплекс угроз, рисков и возможностей, обусловленных наблюдаемыми и ожидаемыми климатическими изменениями, что вносит специфические особенности в политику Российской Федерации в области климата как на федеральном, так и на региональном уровнях и что в определенной мере отличает нашу страну от большинства стран мира.

В текущем 2022 г. в нашей стране завершается реализация Национального плана мероприятий первого этапа адаптации к изменениям климата на период до 2022 года, утвержденного распоряжением Правительства Российской Федерации от 25 декабря 2019 года № 3183-р (НПА). По сути, первый этап адаптации носил подготовительный характер, был направлен на формирование соответствующих нормативно-методических основ и правового поля, а также на разработку планов адаптации в отраслевом и территориальном разрезах.

Росгидромет занимает особое место в реализации НПА – не только как главный источник информации о происходящих и ожидаемых изменениях климата на территории России, но и как федеральный орган исполнительной власти, на протяжении многих десятилетий обеспечивающий соответствующий аспект устойчивого развития нашей страны. В 2020 г. в качестве первого шага в направлении реализации НПА Климатическим центром Росгидромета был подготовлен «Доклад о научно-методических основах для разработки стратегий адаптации к изменениям климата в Российской Федерации (в области компетенции Росгидромета)», в котором представлены обобщенные результаты исследований и разработок в области научно-методического обоснования отраслевых и региональных стратегий адаптации к текущим и ожидаемым изменениям климата.

Важнейшей информационно-аналитической продукцией Росгидромета являются Оценочные доклады об изменениях климата и их последствиях на территории Российской Федерации. В этих Докладах – наряду с данными мониторинга климата – содержатся оценки будущих изменений климата и их воздействий на природные системы, население и отрасли экономики. Первый оценочный доклад Росгидромета (2008 г.) фактически послужил научной основой для разработки проекта Климатической доктрины Российской Федерации (утверждена Президентом Россий-

ской Федерации 17 декабря 2009 г.). Второй оценочный доклад (2014 г.) внес существенный вклад в информационно-аналитическое обоснование позиции Российской Федерации по Парижскому соглашению (2015 г.).

Подготовка Росгидрометом Третьего оценочного доклада этой серии была предусмотрена НПА. Это обстоятельство определило и ряд особенностей Третьего оценочного доклада, который – опираясь на выводы предыдущих оценочных докладов, сохраняющих свою актуальность, – ориентирован в значительной мере на информационно-аналитическое и научное обеспечение (в области компетенции Росгидромета) адаптации в отраслях и регионах.

Государственная наблюдательная сеть, Климатический центр Росгидромета, а также профильные научно-исследовательские институты позволяют Росгидромету осуществлять постоянные наблюдения за климатической системой и выполнять оценку и прогнозирование изменений климата и климатических воздействий, т.е., по сути, – формировать информационно-аналитическую и научную основу планирования адаптации к текущим и ожидаемым изменениям климата. Важно отметить, что разработка сценарных прогнозов изменений климата на территории Российской Федерации опирается на результаты весьма ресурсоемких в вычислительном отношении модельных исследований, проведение которых в последние годы стало возможным благодаря использованию суперкомпьютера Главного вычислительного центра Росгидромета.

Третий оценочный доклад Росгидромета, подобно предшествующим двум оценочным докладам, основывается на материалах рецензируемых научных статей и монографий, а также отечественных и международных оценочных докладов. В первую очередь, это относится к оценочным докладам Межправительственной группы экспертов по изменению климата (МГЭИК), в подготовке которых российские ученые участвуют с самого начала – уже на протяжении трех десятилетий. Последний – шестой – оценочный доклад МГЭИК был опубликован в 2021-2022 гг., и ряд его выводов детализирован в настоящем докладе для территории России.

Как и прежде, в авторский коллектив Третьего оценочного доклада Росгидромета вошли ведущие специалисты научно-исследовательских институтов Росгидромета и Минобрнауки России, а также высших учебных заведений. В рецензировании разделов и глав доклада приняли участие эксперты РАН, высшей школы, а также других организаций. Научно-координационный комитет по подготовке доклада состоял из представителей центрального аппарата Росгидромета, научно-исследовательских институтов Росгидромета и Минобрнауки России, высшей школы, Российского гидрометеорологического общества. Пользуясь этой возможностью, хочу поблагодарить всех участников процесса подготовки Третьего оценочного доклада Росгидромета за плодотворную совместную работу!

Наряду с представленными оценками происходящих и ожидаемых изменений климата, их воздействий на разные стороны нашей жизни, а также направлений адаптации к этим воздействиям, Третий оценочный доклад дает возможность сформулировать новые задачи, стоящие перед

научным сообществом нашей страны в области исследования климата и обеспечения адаптационных решений в отраслевом и региональном разрезе. Так, очевидна необходимость существенного расширения государственной системы климатического и экологического мониторинга и прогнозирования. Решению этих задач в значительной мере призвана содействовать Федеральная научно-техническая программа в области экологического развития Российской Федерации и климатических изменений на 2021-2030 годы (ФНТП), утвержденная Правительством Российской Федерации (постановление Правительства Российской Федерации от 8 февраля 2022 г. № 133) в соответствии с Указом Президента Российской Федерации от 8 февраля 2021 г. № 76 «О мерах по реализации государственной научно-технической политики в области экологического развития Российской Федерации и климатических изменений». Этой программе синергичен стартующий в настоящее время важнейший инновационный проект государственного значения, направленный на создание единой национальной системы мониторинга климатически активных веществ (ВИПГЗ) (распоряжение Правительства Российской Федерации от 2 сентября 2022 г. № 2515-р). Научно-исследовательским учреждениям Росгидромета в содружестве с институтами РАН и университетами предстоит принять самое активное участие в реализации ФНТП и ВИПГЗ.

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



Руководитель Росгидромета И. А. Шумаков

# 1.

# ПРОИСХОДЯЩИЕ И ОЖИДАЕМЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ КЛИМАТА

*Научные результаты, представленные в недавнем Шестом оценочном докладе Межправительственной группы экспертов по изменению климата (МГЭИК, 2021 г.), позволяют уверенно констатировать: (1) в атмосфере, океане, криосфере и биосфере произошли широкомасштабные и быстрые изменения; (2) масштабы недавних изменений в климатической системе в целом и нынешнее ее состояние во многих аспектах беспрецедентны на протяжении периодов от многих столетий до многих тысячелетий; (3) не вызывает сомнений, что разогрев атмосферы, океана и суши произошел под влиянием человека.*

*Антропогенное изменение климата уже влияет на многие экстремальные погодные и климатические явления во всех регионах земного шара. Доказательства наблюдаемых изменений для таких экстремальных явлений, как волны тепла, обильные осадки, засухи, тропические циклоны, а также их связи с человеческим фактором, со времени выхода Пятого оценочного доклада МГЭИК (2013 г.) стали более убедительными.*

*Со все возрастающей уверенностью можно утверждать, что человечество ожидает усугубление наблюдаемых антропогенных изменений климата и соответствующих климатических воздействий: при всех рассмотренных МГЭИК сценариях выбросов глобальная приземная температура будет продолжать повышаться, по крайней мере, до середины века. При этом в связи с усилением глобального потепления будут становиться более значительными такие изменения в климатической системе, как увеличение экстремально высоких температур и их повторяемости, волн тепла в океане и обильных осадков, сельскохозяйственных и экологических засух в некоторых регионах и доли интенсивных тропических циклонов, а также сокращение площади арктического морского льда, снежного покрова и многолетней мерзлоты. Ожидается, что продолжающееся глобальное потепление приведет к дальнейшей интенсификации глобального гидрологического цикла, включая его изменчивость, глобальные муссонные осадки и интенсивность влажных и засушливых явлений. При реализации сценариев с увеличением выбросов $CO_2$ поглотители углерода в океане и на суше будут менее эффективны с точки зрения замедления накопления $CO_2$ в атмосфере.*

# 1.1 Глобальные изменения климата

## Наблюдаемые изменения

### Парниковые газы

Атмосферные концентрации трех парниковых газов, имеющих как естественные, так и антропогенные источники, значительно выросли, начиная с доиндустриальной эпохи (рис. 1.1): $CO_2$ на 46%, $CH_4$ на 157% и $N_2O$ на 22%. Содержание фреонов первого поколения, CFC-11 ($CFCl_3$) и -12 ($CF_2Cl_2$), имеющих полностью антропогенное происхождение, начало снижаться в XXI веке в результате действия ограничений Монреальского протокола и его дополнений. Однако одновременно продолжали расти концентрации их заменителей, в том числе HCFC-22 ($CHClF_2$) и HFC-134a ($CH_2FCF_3$), время жизни которых 11,9 и 13,4 лет, соответственно. Ограничения на производство и использование этих химикатов были введены только в 2010-е гг. Несмотря на то что потенциал глобального потепления HCFC-22 и HFC-134a на три порядка выше, чем у $CO_2$, их современный вклад в усиление парникового эффекта невелик, поскольку их атмосферные концентрации на шесть порядков ниже, чем у $CO_2$.

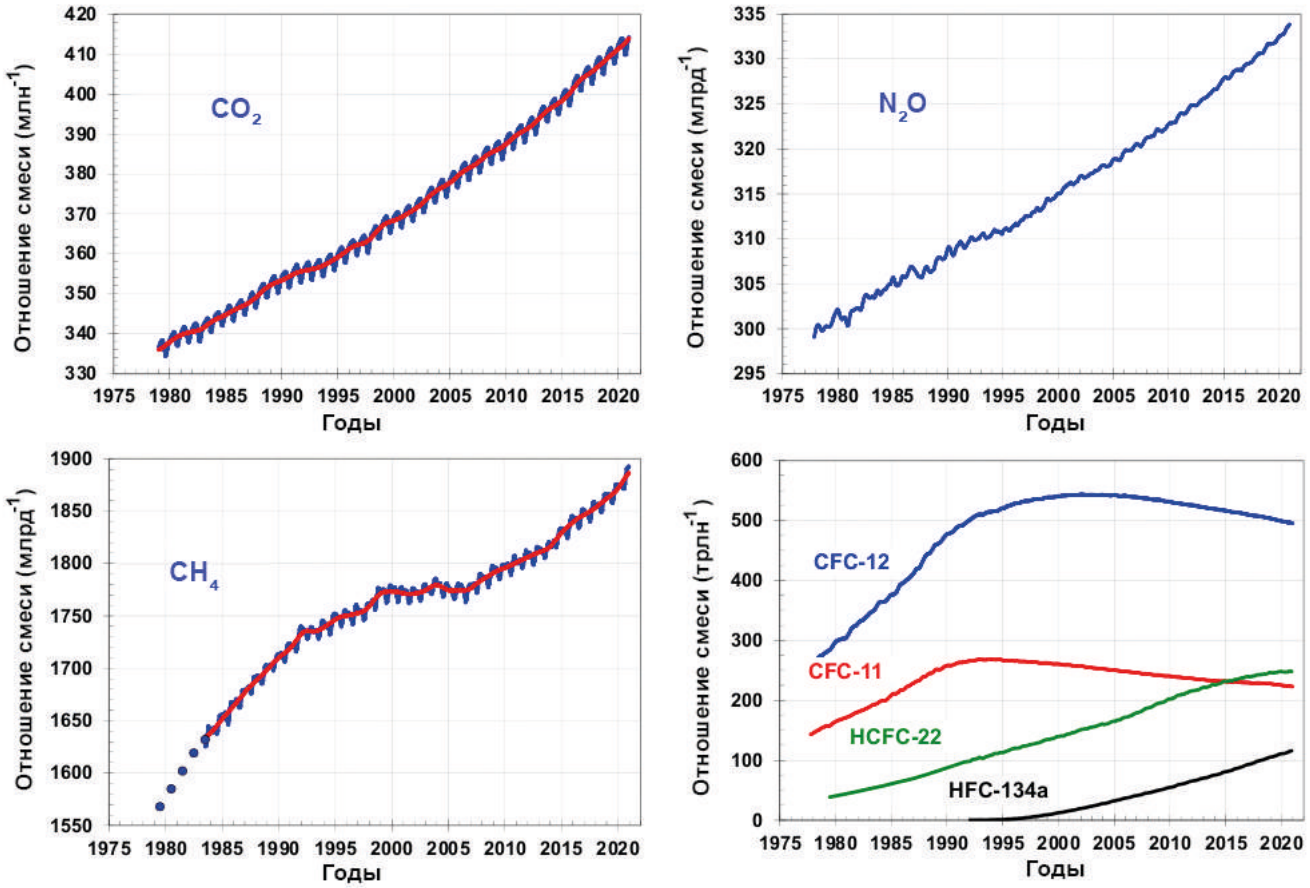



*Рис. 1.1 Среднее глобальное содержание основных хорошо перемешанных долгоживущих парниковых газов – двуокиси углерода, метана, закиси азота, CFC-12, CFC-11, HCFC-22 и HFC-134a – по данным глобальной сети отбора проб воздуха NOAA в 1979-2021 гг.*

**Температура приземного воздуха**

По данным Всемирной метеорологической организации (ВМО, 2020), период 2015-2020 гг. был самым теплым шестилетием, а 2011-2020 гг. – самым теплым десятилетием за всю историю наблюдений. Начиная с 1980-х годов каждое последующее десятилетие было теплее, чем любое предыдущее после 1850 года. Современная средняя глобальная температура приземного воздуха[1] составила примерно 14,9 °C, что на 1,2 °C выше, чем в доиндустриальную эпоху (рис. 1.2). Средние темпы потепления приземного воздуха в течение 1976-2020 гг. составили 0,18 °C/10 лет в глобальном масштабе, и только за этот период глобальная температура выросла на 0,8 °C. Особенно быстро температура повышалась в Северной полярной области, где за 30 лет (1991-2020 гг.) линейный рост среднегодовой температуры составил около 2,64 °C (Росгидромет, 2021)[2].

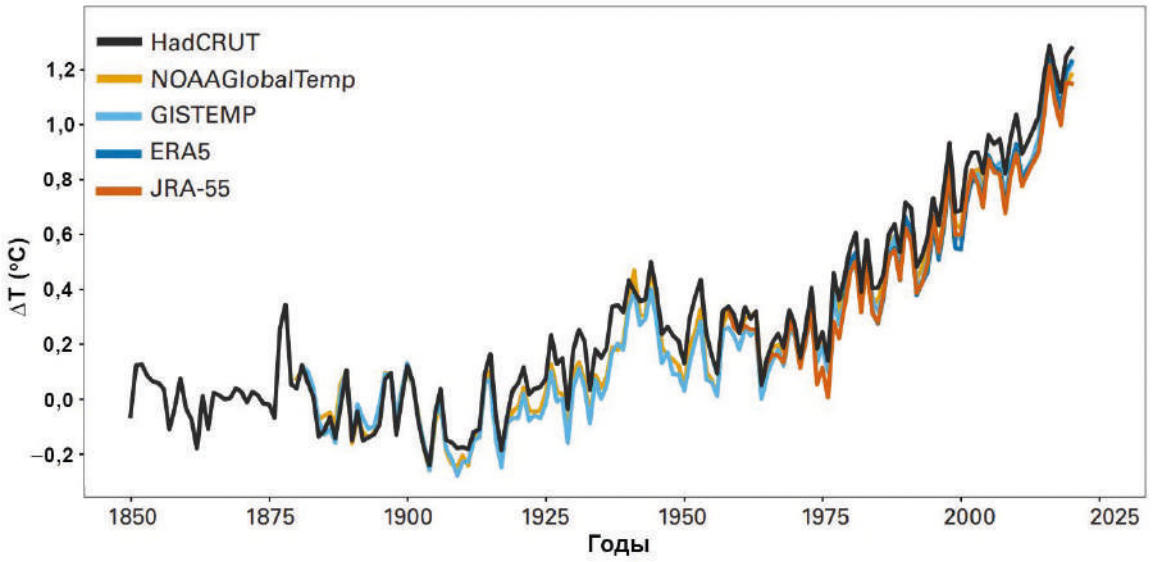



***Рис. 1.2*** *Отклонение среднеглобальной температуры приземного воздуха (°C) от среднеглобальной в доиндустриальный период (1850-1900 гг.) по данным пяти архивов: HadCRUT (Великобритания), NOAAGlobalTemp (NOAA, США), GISTEMP (NASA, США), ERA5 (ECMWF, Европейский Союз), JRA-55 (Япония) (ВМО, 2021).*

*Разброс между пятью комплектами данных в 2021 году равен 0,15 °C, при этом самое низкое (1,05 °C) и самое высокое (1,20 °C) значения превысили на 1 °C показатели доиндустриального базового периода*

**Осадки**

В последние десятилетия происходит увеличение количества глобальных осадков над сушей, причем его темпы увеличиваются. Этот прирост по разным источникам данных оценивается в 5-10 мм/год за десятилетие на фоне значительных межгодовой изменчивости и региональной неоднородности.

[1] Далее, если это специально не оговаривается, для температуры приземного воздуха используется термин «температура».

[2] Количественные оценки так называемого Арктического усиления глобального потепления существенно различаются в научной литературе. При этом зачастую различаются и рассматриваемые в этих оценках периоды времени, а также географические области в высоких широтах, для которых эти оценки получены. Указанные различия в сочетании с высокой собственной изменчивостью климата Арктики затрудняют сопоставление оценок из разных источников.

**Общая циркуляция атмосферы**

В Северном полушарии общее число внетропических циклонов увеличилось, причем число сильных циклонов сократилось; а в Южном полушарии число сильных внетропических циклонов возросло. Вероятно также, что произошло глобальное ослабление приземного ветра над сушей, особенно заметное в Северном полушарии.

**Криосфера суши**

С 1950 г. наблюдается сокращение весеннего снежного покрова в Северном полушарии. С высокой степенью достоверности температура верхнего слоя многолетней мерзлоты с начала 1980-х годов в большинстве регионов повысилась, хотя темпы потепления варьировались в зависимости от региона, что связано с повышением температуры воздуха и изменениями в снежном покрове.

Увеличение осаждения черного углерода от различных источников могло способствовать сокращению снежного покрова в высокогорной Азии и Южной Америке. В то же время в Арктике в последние десятилетия количество светопоглощающей сажи в снеге уменьшается, так что обусловленный ею нагрев, по-видимому, не входит в число основных причин наблюдаемых с 1980-х годов изменений снежного и ледяного покрова в этом регионе (рис. 1.3).

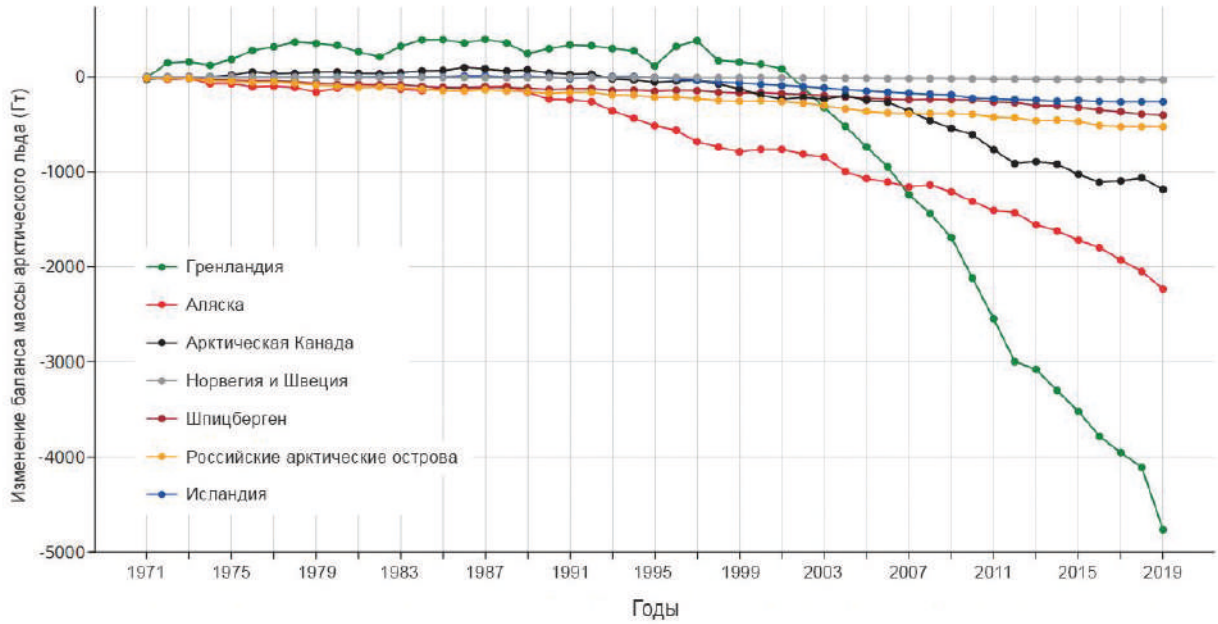



***Рис. 1.3*** *Изменение баланса массы арктического льда на суше в 1971-2019 гг. (AMAP, 2021)*

В глобальном масштабе в период с 1986-2005 по 2006-2015 гг. потеря массы ледников в среднем увеличилась на 30%. Скорость таяния ледниковых щитов Гренландии и Антарктиды быстро увеличивается. Деградация Гренландского щита в последние годы приводит к повышению среднего уровня моря примерно на 0,7 мм/год.

**Мировой океан**

Продолжается повышение температуры поверхности океана, которое распространяется и на его более глубокие слои.

Ускоряется подъем уровня Мирового океана: за весь XX век он составил примерно 17 см, и далее возрастал с 3,04 мм/год в период 1997-2006 гг. до 4,36 мм/год в 2007-2016 гг. С начала 1990-х годов средний уровень моря поднялся примерно на 90 мм (рис. 1.4).

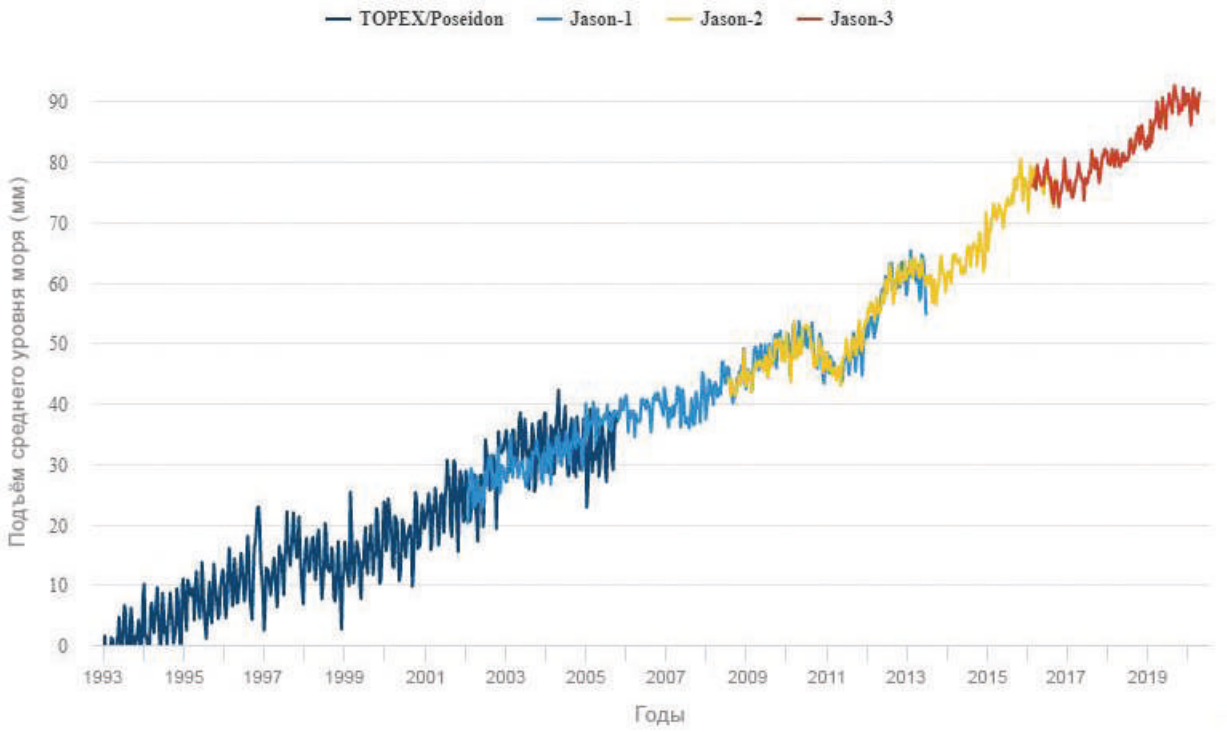



***Рис. 1.4*** *Повышение среднего глобального уровня моря на основе спутниковых данных NOAA (по результатам миссий TOPEX/Poseidon и Jason) с января 1993 года по настоящее время. Добавлена поправка на глобальный средний изостатический отскок 0,3 мм/год.*

*График Carbon Brief с использованием Highcharts*

В Северном Ледовитом океане продолжается уменьшение площади морского льда, наиболее интенсивное в сентябре, составившее в 2020 г. 13,1% за десятилетие[1] относительно среднего показателя 1981-2010 гг. Арктический морской лед становится в среднем моложе и тоньше (рис. 1.5).

В поверхностном слое океана водородный показатель pH снижается – в основном в результате поглощения углекислого газа. Согласно оценкам, сделанным на основе рядов наблюдений за 15 и более лет, скорость снижения pH (т.е. закисления вод Мирового океана) составила 0,017-0,027 единиц за десятилетие.

[1] В 2021 г. значение этого тренда понизилось до 12,7 % за десятилетие.

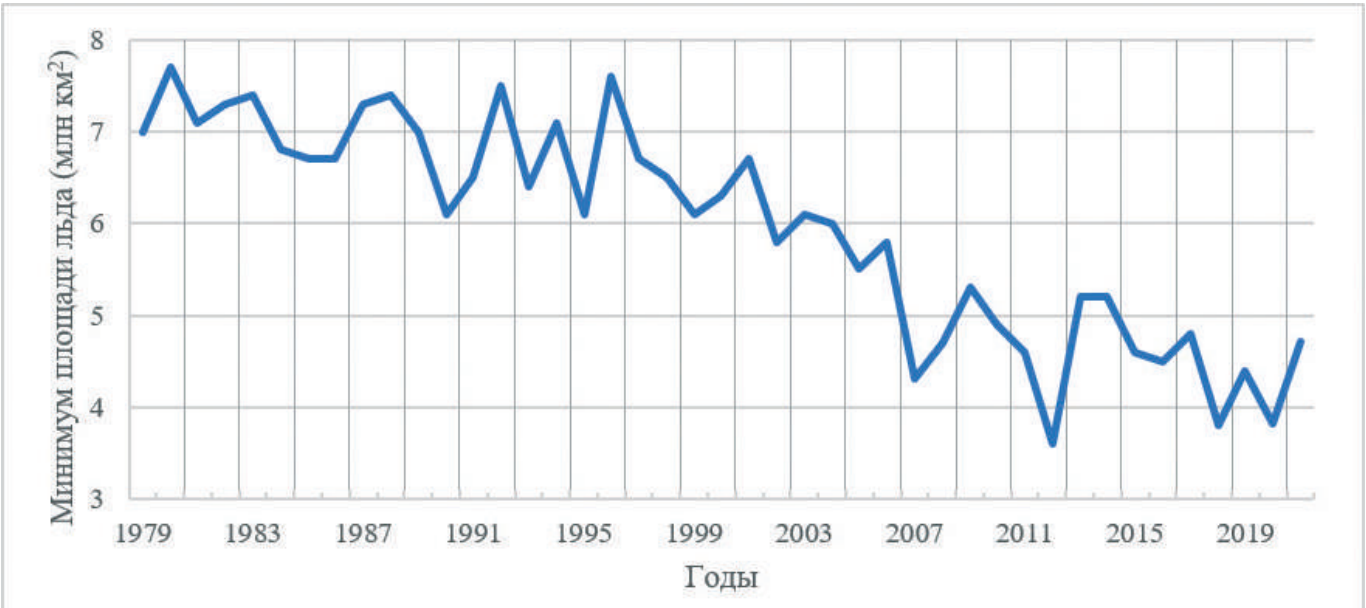



***Рис. 1.5*** *Минимальная в сезонном ходе (сентябрьская) площадь арктического морского льда в период 1979-2021 гг., по данным Национального центра данных по снегу и льду (NSIDC)*

**Экстремальность климата**

Сохраняется тенденция последних десятилетий к увеличению числа опасных гидрометеорологических явлений. При этом согласно статистике страховых агентств, оценивающих степень опасности по размеру нанесенного материального ущерба, основной вклад в такое увеличение вносят наводнения (осадки) и погодные катаклизмы, вызванные в первую очередь ветром (ураганы, штормы, смерчи, торнадо и пр.)[1].

В последние годы волны тепла стали причиной наибольшего количества смертей, вызванных опасными метеорологическими явлениями; максимальные экономические потери были связаны с тропическими циклонами. Наметилась тенденция к расширению зоны лесных пожаров: наряду с традиционными пожароопасными регионами – Австралией, Сибирью, лесами в бассейне Амазонки – они охватили беспрецедентно большие площади в Арктике, доселе не подвергавшиеся возгоранию.

## Сценарные прогнозы

**Температура приземного воздуха**

Согласно модельным расчетам, глобальная температура приземного воздуха будет повышаться в течение всего XXI века, если концентрация парниковых газов будет возрастать (рис 1.6а).

[1] Следует отметить, что к росту ущербов приводят не только изменения погодно-климатических воздействий, но и возрастающая уязвимость инфраструктуры. Это может быть связано с высокой степенью ее износа; несоблюдением строительных норм и правил; освоением территорий, находящихся в зоне повышенного погодно-климатического риска и др. (Росгидромет, 2017).

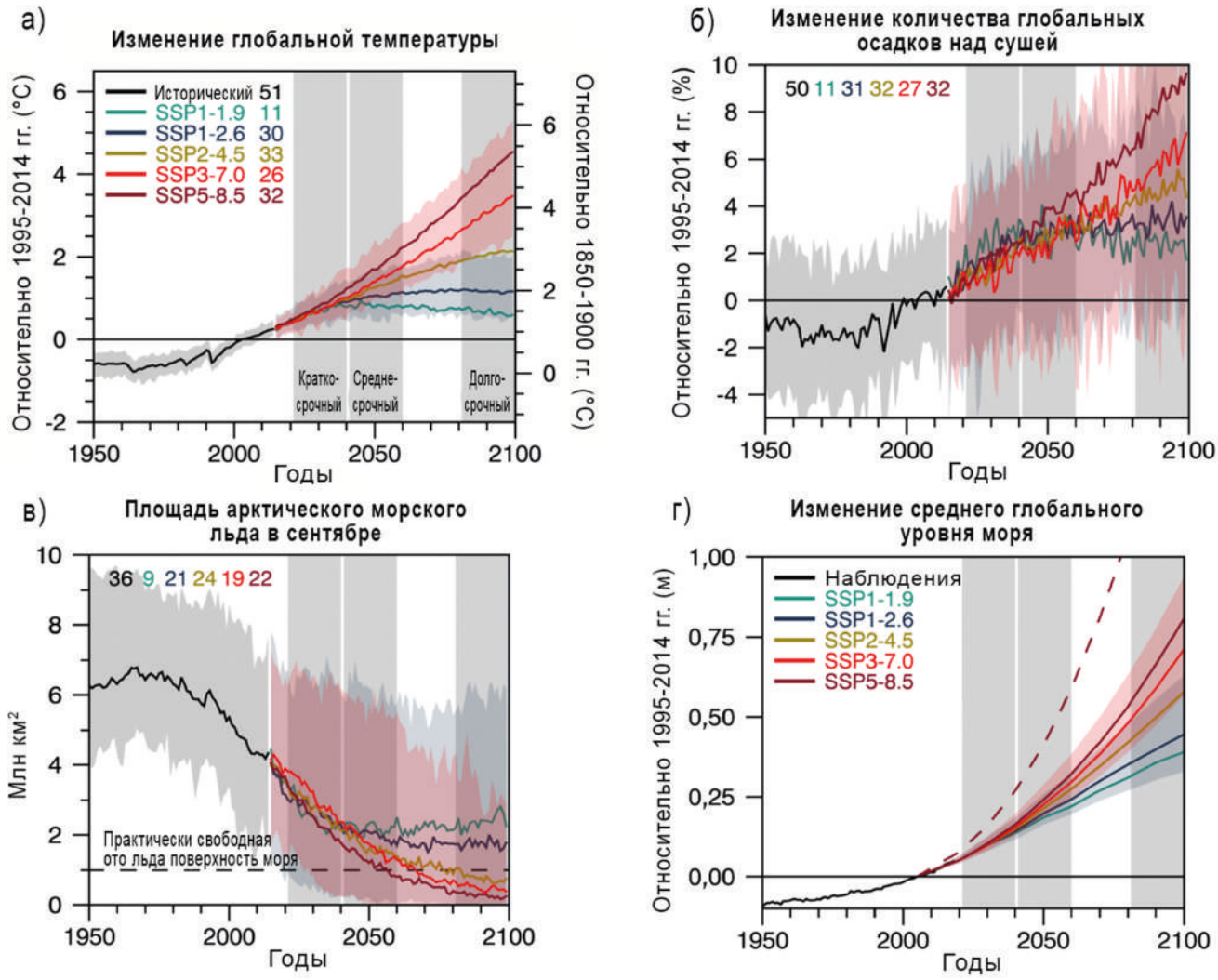



***Рис. 1.6*** *Некоторые индикаторы глобального изменения климата, полученные в ретроспективных (исторических) и сценарных расчетах с моделями CMIP6: (а) отклонение годовой глобальной температуры приземного воздуха от средней за 1995-2014 гг. (ось слева) и за 1850-1900 гг. (ось справа); (б) отклонение годового количества осадков на суше от среднего за период 1995-2014 гг.; (в) изменение площади арктического морского льда в сентябре; (г) отклонение глобального уровня Мирового океана от среднего за период 1995-2014 гг.*

*На рисунке показаны среднегодовые (а, б и г) и средние сентябрьские (в) отклонения; заштрихованные области по обе стороны кривых, соответствующих средне-модельным сценарным прогнозам SSP1-2.6 и SSP3-7.0, показывают процентили доверительного интервала от 5 до 95%; числа в левом верхнем углу рисунка соответствуют числу моделей, использовавшихся в расчетах для соответствующего сценария; вертикальные серые полосы соответствуют краткосрочному, среднесрочному и долгосрочному сценарному прогнозу. Представленные на панели (г) сценарные прогнозы учитывают вклад полученного непосредственно в модельных расчетах CMIP6 термического расширения воды Мирового океана, а также вклад таяния льда на суше, рассчитанного отдельно. Прерывистая кривая показывает маловероятный результат реализации сценария SSP5-8.5 – верхнюю границу межмодельного разброса, достигающую 1,7 м повышения глобального уровня Мирового океана к 2100 г. (по отношению к 1995-2014 гг.) и отражающую большие неопределенности в оценках потенциальной неустойчивости ледниковых щитов (IPCC, 2021)*

Из результатов модельных расчетов следует, что глобальные изменения температуры у поверхности превысят пороговые значения 1,5 °C относительно «доиндустриального» периода 1850-1900 гг. при реализации сценариев SSP2-4.5, SSP3-7.0 и SSP5-8.5 в среднем около 2030 года; 2,0 °C при реализации сценариев SSP3-7.0 или SSP5-8.5 – около 2043 года, и 3,0 °C при реализации сценария SSP5-8.5 – около 2062 года. При сценарии SSP1-1.9 результаты только 55 и 36% моделей превысят, соответственно, пороговые значения потепления 1,5 и 2,0 °C, а при сценарии SSP1-2.6 эти проценты увеличатся до 87 и 58%.

Повышение температуры на суше ожидается примерно на 50% большее по сравнению с океанами. Потепление в Арктике прогнозируется превосходящим глобальное более чем в 2,5 раза. Приповерхностное потепление к концу XXI века на континентах прогнозируется в диапазонах 0,3-2,0 °C и 3,5-7,6 °C при реализации сценариев SSP1-1.9 и SSP5-8.5. Соответствующие диапазоны изменения приповерхностной температуры в Арктике составляют 0,5-6,6 °C и 6,2-15,2 °C. Все сценарные прогнозы изменений температуры исходят из предположения, что в ближайшие десятилетия не будут происходить крупные вулканические извержения.

**Осадки**

С высокой степенью достоверности количество глобальных осадков на суше оказывается больше для периода 2081-2100 гг., чем для периода 1995-2014 гг., для всех рассмотренных сценариев (рис. 1.6б). Прогнозируется больший относительный рост осадков на суше, чем глобальных или над океанами. Пространственные распределения изменений количества осадков демонстрируют существенные региональные различия и сезонные контрасты. Количество осадков, весьма вероятно, увеличится в высоких широтах и над океанами в тропиках и, вероятно, в большинстве муссонных регионов, но уменьшится в значительной части субтропиков. Межгодовая изменчивость количества осадков во многих континентальных регионах увеличится с ростом глобальной температуры (средняя степень достоверности).

**Криосфера суши**

Для всех сценариев (и с незначительной зависимостью от сценария) все модели устойчиво демонстрируют уменьшение снежного покрова в Северном полушарии при росте глобальной температуры приземного воздуха в XXI веке. Практически не вызывает сомнений, что площадь и объем многолетней мерзлоты будут сокращаться по мере потепления глобального климата.

**Мировой океан**

С высокой степенью достоверности можно заключить, что в конце XXI века при реализации сценариев SSP2-4.5, SSP3-7.0 и SSP5-8.5 в сентябре (сезонный минимум площади морского льда) Арктика станет практически свободной от морского льда (рис. 1.6в), а в марте (сезонный максимум) площадь морского льда будет уменьшаться в гораздо меньшей степени (в процентном отношении), чем в сентябре.

Для любого из рассмотренных сценариев повышение глобального уровня Мирового океана будет продолжаться в течение всего XXI века (рис. 1.6г). Для сценариев SSP2-4.5, SSP3-7.0 и SSP5-8.5 прогнозируется ускорение роста глобального уровня Мирового океана в XXI веке.

**Экстремальность климата**

Экстремально высокие значения температуры у поверхности с очень высокой степенью достоверности будут наблюдаться чаще, а экстремально низкие – реже (как в глобальном масштабе, так и на большей части суши). С высокой степенью достоверности волны тепла будут возникать с большей частотой и будут иметь большую продолжительность по сравнению с предыдущими десятилетиями, а частота и продолжительность волн холода будут сокращаться. Наиболее заметно экстремально высокие температуры могут вырасти на суше умеренных широт; прогнозируемый рост температуры наиболее теплых дней в этих широтах существенно превысит изменение средней глобальной температуры. Ожидается, что на всех континентах Северного полушария экстремальные погодные явления летом чаще будут наблюдаться как непрерывные периоды жарких дней и ночей при сокращении интервалов между ними. Экстремальные значения температуры с повторяемостью один раз в 20 лет будут отмечаться, согласно модельным расчетам, на 80% чаще при глобальном потеплении на 1,5 °C и на 180% чаще при потеплении на 2 °C. Повторяемость случаев один раз в 100 лет вырастет при указанных повышениях температуры, соответственно, на 200% и более чем на 700%.

Особенности изменений экстремальных осадков в целом аналогичны тем, которые прогнозируются для средних сезонных осадков: это увеличение в большинстве регионов (за исключением некоторых субтропических районов). Однако в будущем рост экстремальных осадков возможен и там, где прогнозируется уменьшение среднего количества осадков. Как и в случае экстремальных температур, рост экстремальных осадков будет линейно зависеть от роста глобальной температуры, однако изменения повторяемости их выпадения будут происходить по-разному, причем больший рост ожидается для более редких событий. Так, при глобальном потеплении на 1,5 °C (2 °C) увеличение повторяемости экстремальных осадков с частотой один случай за 20 лет составит 10% (22%). Для осадков с повторяемостью один случай за 100 лет для указанных значений глобального потепления возможен рост, соответственно, на 20% и более чем на 45%.

Ожидается рост катастрофических наводнений более чем на половине территории суши земного шара (части южной и юго-восточной Азии, тропической Африки, северо-востока Евразии и Южной Америки) и уменьшение повторяемости таких наводнений в других частях мира. Результаты сценарных прогнозов, выполненные с привлечением региональных атмосферных и гидрологических моделей высокого разрешения, указывают на последовательное увеличение в будущем повторяемости высоких паводков при глобальном потеплении на 1,5, 2 и 4 °C во всех регионах, кроме Европы.

С умеренной степенью достоверности прогнозируется увеличение суровости засух в некоторых регионах, включая южную Европу и Средиземноморье, центральную Европу, Центральную Америку и Мексику, северо-восток Бразилии и юг Африки. Отмечается низкая степень достоверности сценарных прогнозов засух в других регионах из-за большого межмодельного разброса и неопределенности механизмов формирования засух в этих регионах. Вероятность возникновения засухи повышается при росте глобального потепления от 1,5 до 2 °C. В будущем с высокой степенью достоверности при усилении глобального потепления испарение

с поверхности суши будет продолжать расти, что повлечет высыхание почвы. Прогнозы, основанные на оценках изменений дефицита влаги в почве, указывают на более значительный рост пространственных масштабов и интенсивности засух, по сравнению с прогнозами, основанными только на изменении дефицита осадков (умеренная степень достоверности).

**Причины наблюдаемых изменений климата**

Продолжающий расширяться круг исследований (см., например, Росгидромет, 2014), использующих формальные статистические методы выделения вклада отдельных внешних воздействий в наблюдаемое глобальное потепление, показывает, что вклад антропогенного роста атмосферной концентрации парниковых газов в температурный тренд с середины XX века был наибольшим (больше наблюдаемого тренда), а суммарное воздействие остальных факторов только ослабляло рост температуры. Гипотезы о доминирующей роли естественных климатических факторов в наблюдаемых температурных изменениях не находят надежных научных подтверждений (Росгидромет, 2014; 2017).

Согласно Шестому оценочному докладу МГЭИК (IPCC, 2021), не вызывает сомнений тот факт, что разогрев атмосферы, океана и суши произошел под влиянием человека. Антропогенное изменение климата уже влияет на многие погодные и климатические экстремальные явления во всех регионах земного шара. Доказательства происходящих изменений экстремальных явлений, таких как волны тепла, обильные осадки, засухи и тропические циклоны, и, в частности, связь этих изменений с антропогенным фактором, усилились со времени публикации Пятого оценочного доклада МГЭИК (IPCC, 2013).

# 1.2 Изменения климата на территории Российской Федерации

## Наблюдаемые изменения климата

### Потепление и его проявления

Современное глобальное потепление, отчетливо выраженное на территории России, имеет ряд важных особенностей. Потепление над сушей в целом происходит быстрее, чем над океаном: темп роста среднегодовой глобальной приповерхностной температуры (суша и море) составляет за период 1976-2020 гг. 0,179 °С за десятилетие, а температуры над сушей – более чем в полтора раза выше – 0,295 °С за десятилетие. Территория России теплеет еще почти вдвое быстрее, чем суша в целом: 0,51 °С[1] за десятилетие, причем каждое десятилетие с 1981-1990 гг. теплее предыдущего, а из 10 самых теплых лет 9 наблюдались в XXI веке (рис. 1.7).

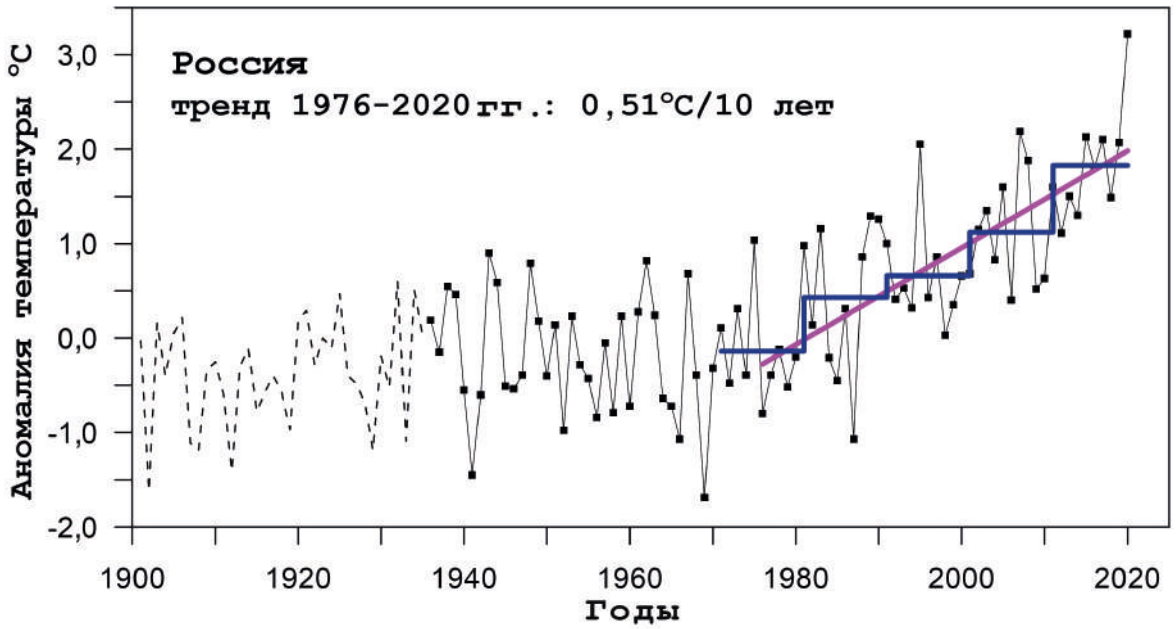



***Рис. 1.7*** *Изменения приповерхностной температуры на территории России в период с начала XX столетия. Показаны: среднегодовая аномалия относительно норм 1961-1990 гг. (до 1936 г. – пунктир, из-за слабой освещенности данными наблюдений АТР); средние десятилетние величины за 1971-1980, …, 2011-2020 гг.; линейный тренд за 1976-2020 гг.*

Некоторое похолодание наблюдалось между 2005 и 2015 гг. в осенние сезоны. Весной и особенно летом потепление практически монотонно. Наиболее быстрое потепление наблюдается в АЗРФ: 0,71 °С за десятилетие. Потепление происходит во все сезоны, однако на сезонные тренды накладываются значительные междесятилетние колебания, особенно выраженные зимой, когда после быстрого потепления между серединой 1970-х и серединой 1990-х произошло похолодание на большей части территории России, продлившееся до 2010 года и обусловленное изменениями атмосферной циркуляции атлантико-европейского сектора.

[1] В 2021 г. это значение понизилось – до 0,49 °С за десятилетие (Росгидромет, 2022).

Современные изменения климата проявляются не только в росте приземной температуры воздуха, но также и в других климатических характеристиках. Некоторые из этих проявлений достаточно очевидно, хотя и не всегда линейно, связаны с ростом температуры (например, агроклиматические характеристики теплообеспеченности сельскохозяйственных культур; температуры почвы на разных глубинах; ледовый покров Северного Ледовитого океана и др.). Ускоренная деградация ледников Северного Кавказа также находится в общем русле последствий потепления, хотя в динамике ледников важны и другие погодно-климатические факторы. Показатели экстремальности температурного режима в целом изменяются в соответствии с тенденцией потепления (включая особенности, связанные с междесятилетними изменениями атмосферной циркуляции). Наиболее значительные изменения произошли в статистике крупномасштабных летних волн тепла на ЕТР (эпизодов длительностью от 5 дней со средней температурой в регионе выше 90-го процентиля): если в период 1961-1980 гг. их наблюдалось всего три, то в период 2001-2020 гг. лишь одно лето 2004 г. прошло без таких волн. Для других климатических переменных эти связи достаточно сложны и носят существенно региональный характер.

Сокращение продолжительности залегания снежного покрова наблюдается в среднем по территории России (тренд 1976-2020 гг. –1,17 дня за 10 лет). Однако значимые отрицательные тренды обнаружены в основном на ЕТР, на юге Западной Сибири, севере Средней Сибири, а в ряде регионов наблюдался рост – преимущественно незначимый, но на ряде станций Кольского п-ова значимый на уровне 5%.

**Характеристики гидрологического цикла**

Общее потепление может оказывать влияние на изменения ряда других климатических характеристик посредством различных прямых и обратных связей в климатической системе. В частности, это касается различных характеристик гидрологического цикла, таких как средние сезонные осадки и показатели экстремальности режима осадков; облачность; характеристики сезонного снежного покрова; речной сток; замерзание и вскрытие рек.

Рост содержания водяного пара в атмосфере при повышении температуры потенциально способствует росту осадков, в особенности – экстремальных осадков. В среднем по территории России увеличение количества осадков диагностируется на интервале 1976-2020 гг. как для годовых сумм (рис. 1.8), так и для сумм осадков в отдельные календарные сезоны. Однако наиболее выраженные изменения обнаруживаются в весенний сезон, когда положительная тенденция выявляется не только в целом для территории России, но и для отдельных крупных физико-географических регионов. Рост суточных максимумов осадков и связанных с ними показателей экстремальности проявляется на значительной территории России в холодный сезон (за исключением северо-востока и прибрежных территорий Восточной Арктики). В летний сезон, в силу высокой изменчивости осадков, неопределенность оценок трендов на уровне отдельных регионов весьма высока. Летом в южных районах ЕТР отмечается убывание количества осадков, связанное с изменениями атмосферной циркуляции, приводящими к росту продолжительности эпизодов блокирования. Полученные оценки изменения режима атмосферных осадков согласуются с выводами об изменении ча-

стоты появления разных видов облачности. В частности, отмечается наиболее заметное проявление увеличения вклада конвективной облачности в весенний сезон и увеличение частоты облаков верхнего яруса летом. Диагностируется перераспределение вклада дождевой облачности разных типов, проявляющееся в росте доли кучево-дождевых облаков и уменьшении вклада слоисто-дождевой облачности.

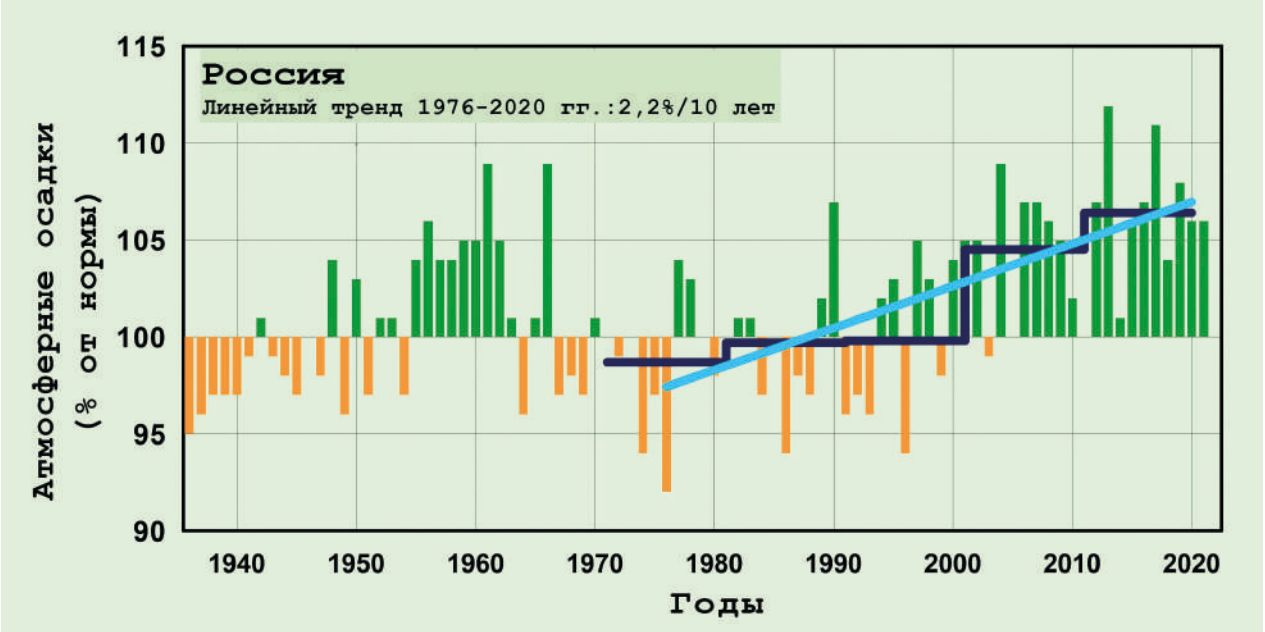



***Рис. 1.8*** *Изменения годовых сумм осадков на территории Российской Федерации (в % от нормы 1961-1990 гг.). Показаны также десятилетние средние и тренд за 1976-2020 гг.*

В период потепления по территории России в целом произошло увеличение суммарного стока рек. В период с 1961 по 1990 год объем речного стока составил в среднем 4290 км$^3$/год, в период с 1991 по 2020 год – 4490 км$^3$/год. Однако на равнинных реках юга ЕТР, на ряде рек бассейнов Оби и Енисея, крайнего северо-востока АТР и Камчатки происходило статистически значимое уменьшение годового стока. Изменения максимального стока для преобладающей части территории России незначительны. Снижение максимального стока характерно для рек южного и юго-западного районов равнинной части ЕТР. В бассейнах Нижней Волги, Дона, Днепра, а также южной части бассейна Оки на преобладающей части рек, начиная с 1979-1983 гг., произошло снижение максимальных расходов воды на 40-60%. Увеличение максимальных в году расходов воды, начиная с 1985-1986 гг., отмечено для отдельных рек Черноморского побережья, Северного Кавказа (в особенности Кубани), горных и предгорных районов юга Западной Сибири, Восточных Саян, бассейна Амура, где основным фактором формирования максимального стока являются дождевые осадки.

**Радиационные факторы изменения климата**

На всех фоновых станциях мониторинга парниковых газов России отмечается постоянно продолжающийся рост концентрации двух основных драйверов современного потепления: углекислого газа и метана. Скорость изменения концентрации $CO_2$ в последнее десятилетие (2,4 млн.$^{-1}$/год и 2,5 млн.$^{-1}$/год для станций Те-

риберка и Тикси) хорошо согласуется со значением средней глобальной скорости изменения (2,4 млн.$^{-1}$/год). Скорость роста концентрации углекислого газа увеличивается. На станции Териберка для десятилетия 2001-2010 гг. эта скорость была на 25% меньше, чем в последнее десятилетие. Средние межгодовые изменения концентрации метана составили за последние 5 лет 11,9 млрд.$^{-1}$/год для станции Териберка и 10,7 млрд.$^{-1}$/год для Тикси при сильной межгодовой изменчивости.

Общее содержание озона – после значительного уменьшения (в среднем по территории России с 360-370 единиц Добсона в 1970-е годы до минимального значения 325 единиц Добсона в 1993 г.) – к началу 2000-х частично восстановилось до уровня около 350 единиц Добсона и в последние два десятилетия колеблется около этого уровня.

Аэрозоли оказывают различные воздействия на радиационный баланс земной поверхности, ослабляя поток приходящей солнечной радиации и, с другой стороны, способствуя поглощению уходящей длинноволновой радиации. Аэрозольное ослабление солнечной радиации на Государственной наблюдательной сети в настоящее время оценивается косвенно на основе использования наблюдений за интегральной оптической плотностью атмосферы. По данным шести станций, расположенных в фоновых условиях на ЕТР и АТР, после периода высокого аэрозольного ослабления, продолжавшегося до начала 1990-х гг., при отсутствии мощных вулканических извержений и снижении промышленной активности произошло самоочищение атмосферы. В первые два десятилетия XXI века значения оптической плотности атмосферы практически везде были ниже средних многолетних величин.

Аэрозоли играют важную роль в возникновении выраженных междесятилетних вариаций приходящей радиации. В целом для территории России после значительного уменьшения прямой солнечной радиации с начала 1960-х до начала 1990-х гг., которое является региональным проявлением глобального затемнения (global dimming), последовало ее восстановление практически на всей территории России. Однако в Средней Сибири восстановление было частичным и продолжалось лишь до начала 2000-х гг., после чего возобновилось убывание. На ЕТР, в особенности в центральных и южных районах, сохраняется положительная тенденция в изменении прямой радиации. На фоне резкого снижения рассеянной радиации в начале 1990-х гг. суммарная радиация на ЕТР проявляет слабую, но значимую тенденцию к повышению.

**Атмосферная циркуляция и региональная климатическая изменчивость**

Изменения зонального переноса в Северном полушарии в зимний сезон в основном следуют вариациям Североатлантического колебания (САК). Однако достоверных свидетельств положительного тренда САК не имеется. В первые десятилетия потепления (до середины 1990-х гг.) САК совместно с другой циркуляционной модой атлантического сектора – Скандинавской – вносили значительный вклад в потепление западных регионов России в зимний сезон, а затем, до 2010 г., определяли похолодание зим на большей части территории России. Значительный интерес представляют изменения циркуляционной моды Восточная Атлантика – Западная Россия, в отрицательной фазе которой на ЕТР летом усиливается антициклоническая активность (в том числе резко – продолжительность режимов блокиро-

вания) и ослабляется циклоническая. Наблюдающаяся в последние десятилетия отрицательная тенденция атмосферной моды «Восточная Атлантика – Западная Россия» (ВАЗР) является важным фактором уменьшения летних осадков на ЕТР.

## Ожидаемые изменения

### Термический режим

Территория России является регионом Земли, в котором ожидаемое в XXI веке потепление климата существенно превышает среднее глобальное потепление для любого из рассматриваемых сценариев (рис. 1.9). Качественно этот результат согласуется с оценками моделей предыдущих поколений и при использовании ранее рассматривавшихся семейств сценариев. То же относится и к особенностям сезонного распределения изменений термического режима – с выраженной зональностью зимнего потепления, достигающего максимальных значений в АЗРФ, и с существенно отличным характером летнего потепления (рис. 1.10).

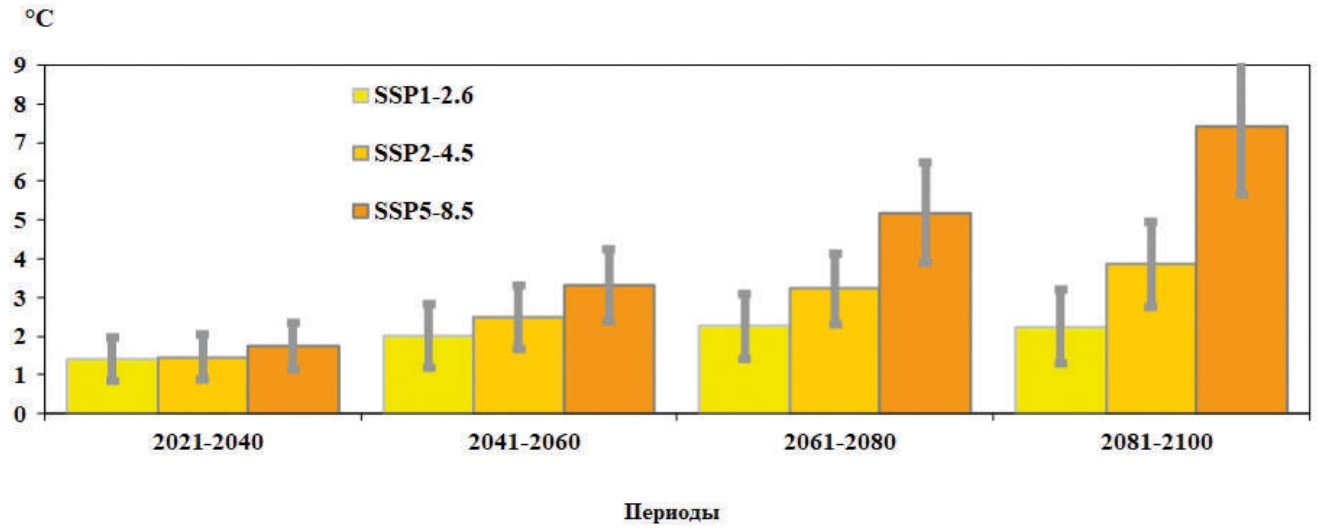



***Рис. 1.9*** *Изменение средней годовой температуры приземного воздуха (°C) на территории Российской Федерации в XXI веке (в среднем за каждое из четырех двадцатилетий: 2021-2040, 2041-2060, 2061-2080, 2081-2100 гг.) по отношению к базовому периоду 1995-2014 гг. для сценариев SSP1-2.6, SSP2-4.5 и SSP5-8.5 по оценкам ансамблей из 36, 36 и 37 моделей CMIP6 соответственно.*

*Вертикальными отрезками показаны средние квадратические отклонения, характеризующие межмодельный разброс в соответствующих ансамблях*

Рост средней температуры приземного воздуха на протяжении XXI века сопровождается ростом продолжительности волн тепла. При этом рост минимальной суточной температуры приземного воздуха на всей территории страны практически повсеместно опережает рост максимальной суточной температуры, что приводит к уменьшению средней годовой амплитуды экстремальной (разности максимальной и минимальной суточной) температуры приземного воздуха. Указанные тенденции особенно отчетливо проявляются на территории АЗРФ.

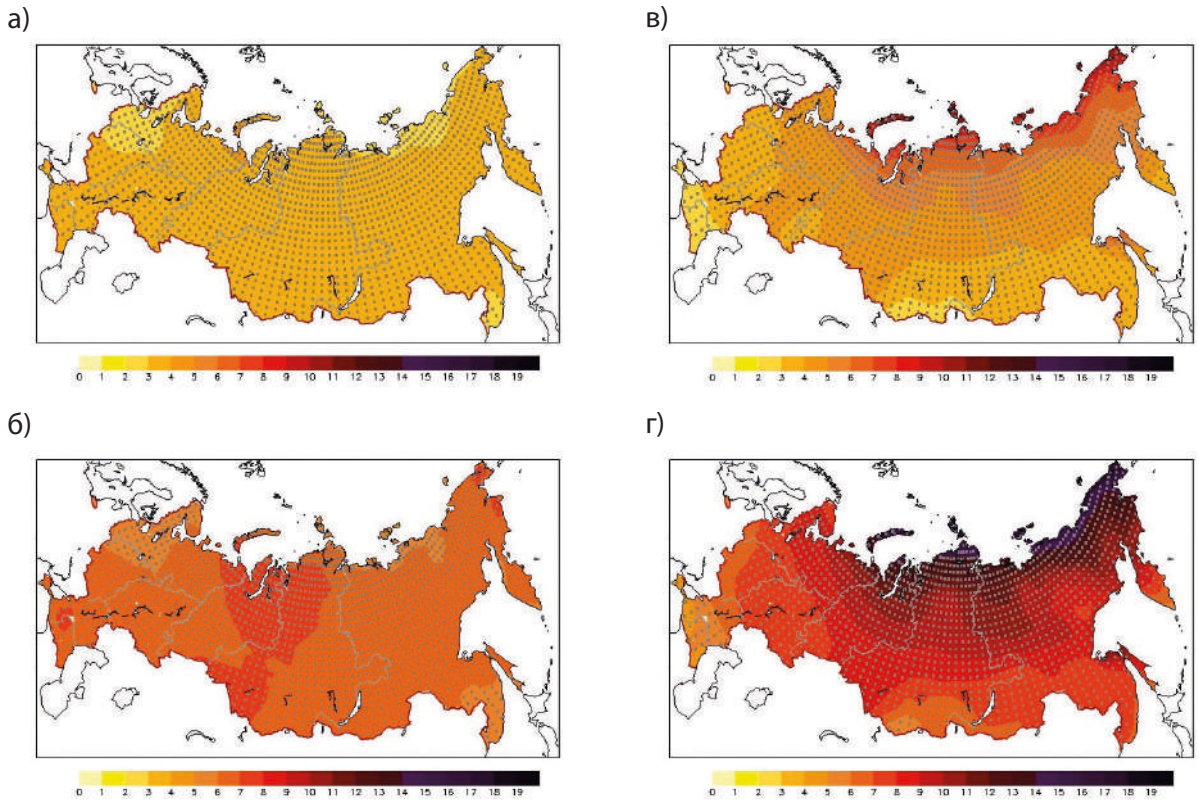



***Рис. 1.10*** *Изменение средней сезонной температуры приземного воздуха (°С) в период 2081-2100 гг. по отношению к периоду 1995-2014 гг. летом (а, б) и зимой (в, г) для сценариев SSP2-4.5 (а, в) и SSP5-8.5 (б, г) по оценкам ансамблей из 36 и 37 моделей CMIP6 соответственно.*
*Точками показаны регионы, где отношение среднего по ансамблю изменения характеристики и межмодельного разброса превышает единицу*

**Гидрологический режим**

Годовые суммы атмосферных осадков в среднем по территории Российской Федерации демонстрируют устойчивый рост для рассматриваемых сценариев антропогенного воздействия на климатическую систему (рис. 1.11). Скорость роста количества осадков на территории России и особенно в АЗРФ превышает скорость роста количества средних глобальных осадков.

На протяжении XXI века ожидается рост количества осадков зимой на всей территории Российской Федерации для всех сценариев (рис. 1.12). В летний сезон рост среднего количества осадков ожидается на большей части территории Российской Федерации, за исключением южных регионов, где прогнозируется противоположная тенденция.

Среди характеристик экстремальности гидрологического режима одними из часто используемых являются максимальная продолжительность непрерывных периодов с осадками менее установленного значения (например, менее 1 мм/сут.), а также максимальная сумма осадков за сутки. Увеличение длительности периодов с малыми суточными суммами осадков в теплое время года обычно указывает на рост засушливости климата, а увеличение максимальной суммы осадков приводит к росту опасности наводнений.

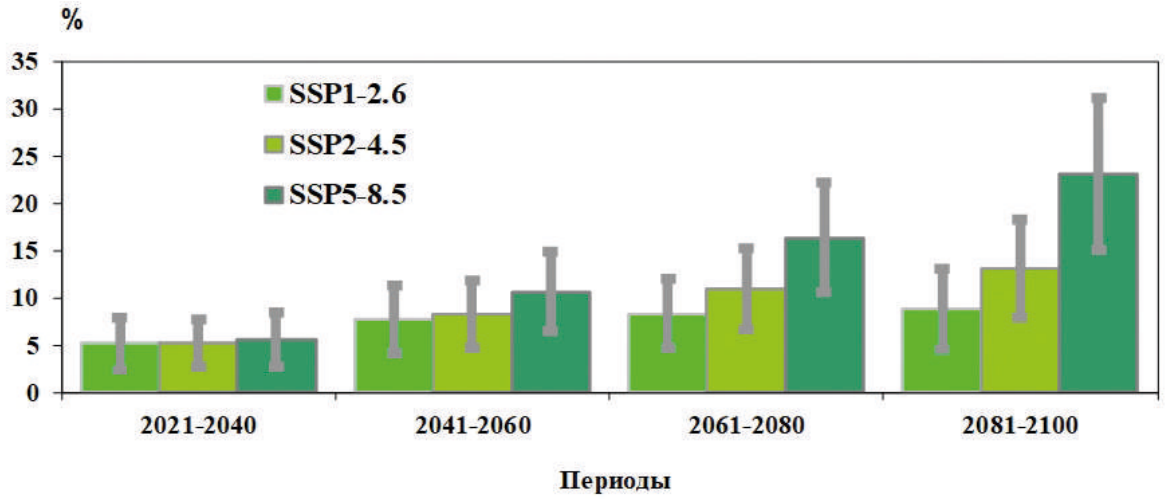



***Рис. 1.11*** *Изменение годовых сумм осадков (%) на территории Российской Федерации в XXI веке (в среднем за каждое из четырех двадцатилетий: 2021-2040, 2041-2060, 2061-2080, 2081-2100 гг.) по отношению к базовому периоду 1995-2014 гг. для сценариев SSP1-2.6, SSP2-4.5 и SSP5-8.5 по оценкам ансамблей из 36, 36 и 37 моделей CMIP6 соответственно.*

*Вертикальными отрезками показаны средние квадратические отклонения, характеризующие межмодельный разброс в соответствующих ансамблях*

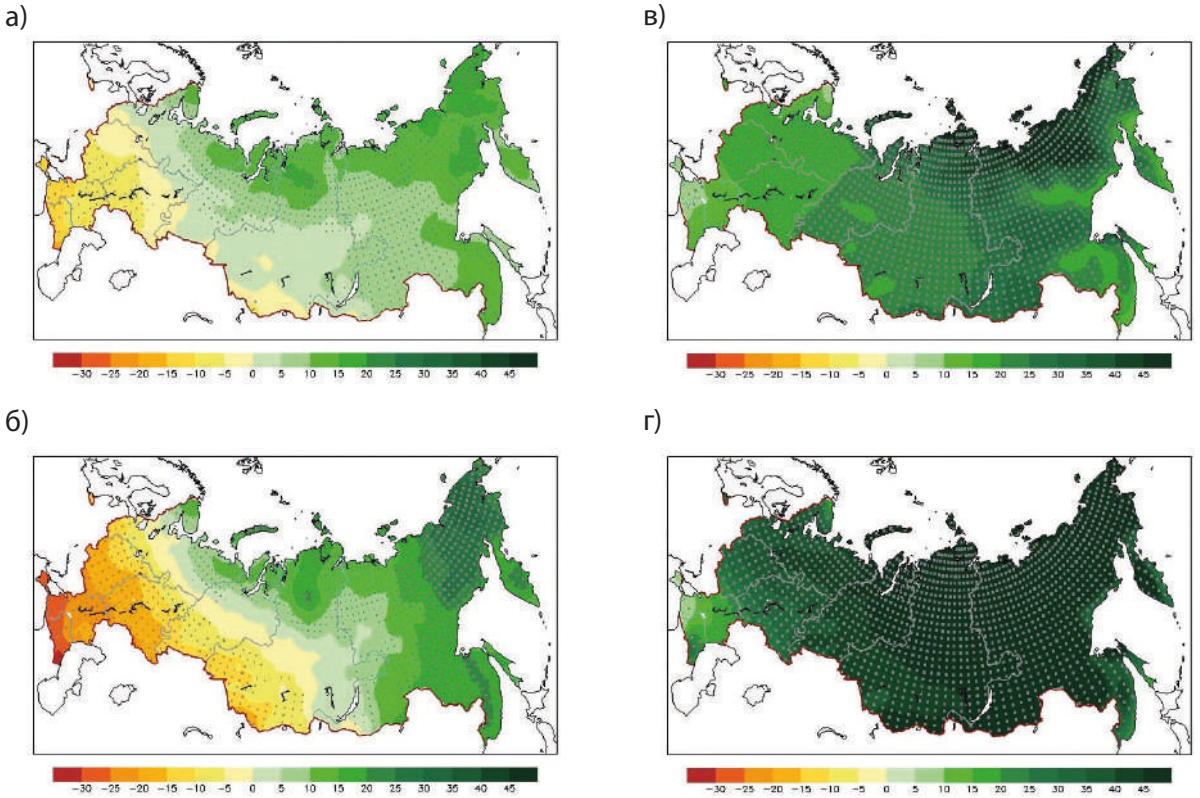



***Рис. 1.12*** *Изменение средних сезонных сумм осадков (%) в период 2081-2100 гг. по отношению к периоду 1995-2014 гг. летом (а, б) и зимой (в, г) для сценариев SSP2-4.5 (а, в) и SSP5-8.5 (б, г) по оценкам ансамблей из 36 и 37 моделей CMIP6 соответственно.*

*Мелкими точками показаны регионы, где более 66% моделей дают одинаковый знак изменений, крупными – районы, в которых ансамблевые оценки согласуются по знаку в 90% моделей*

На юге России увеличивается максимальная продолжительность сухого периода (непрерывных периодов с осадками менее 1 мм/сут.) как в середине XXI века, так и в более долгосрочной перспективе (рис.1.13). При этом на остальной части территории Российской Федерации, в особенности в Сибири, ожидаются противоположные тенденции – продолжительность таких периодов сокращается.

Сокращение сухих периодов для наиболее агрессивного сценария SSP5-8.5 в среднем по всей территории Российской Федерации составляет к середине XXI века два дня, к концу века – три дня, а для АЗРФ, соответственно, – три и шесть суток. На всей территории России ожидается рост максимальной в году суточной суммы осадков, особенно на Дальнем Востоке и в Восточной Сибири. В середине и в конце XXI века рост максимальных осадков в среднем по территории Российской Федерации составит, соответственно, 12 и 27% относительно их величин в базовом периоде. Для территории АЗРФ соответствующие оценки достигают 15 и 33%. При этом максимальные суммы осадков в южной части территории России могут возрастать в XXI веке на фоне уменьшения ее влагообеспеченности в летний сезон.

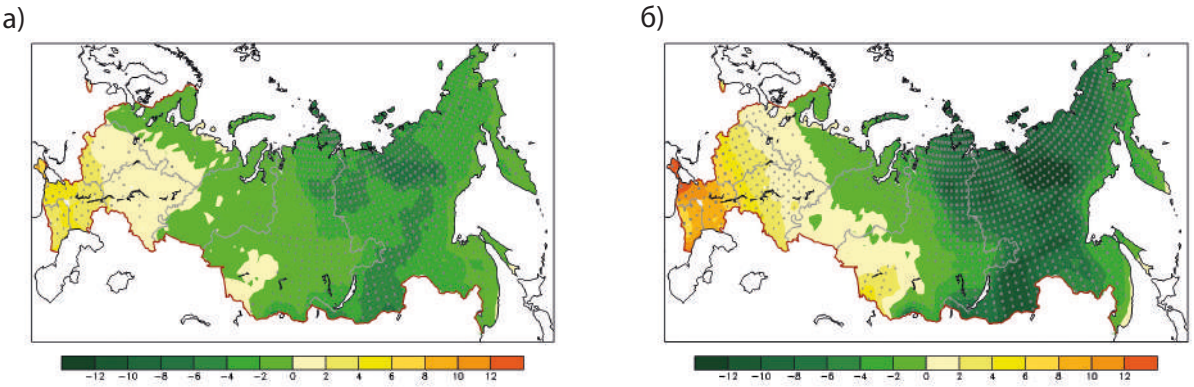



***Рис. 1.13*** *Изменение средней за 20 лет максимальной продолжительности сухого периода (дни) к середине (а) и концу (б) XXI века по отношению к периоду 1995-2014 гг. для сценария SSP5-8.5 по оценкам ансамбля из 28 моделей CMIP6.*

*Мелкими точками показаны регионы, где более 66% моделей дают одинаковый знак изменений, крупными – регионы, в которых ансамблевые оценки согласуются по знаку в 90% моделей*

На большинстве водосборов рек (частично или полностью находящихся на территории Российской Федерации) ожидаемые изменения стока к середине XXI века не превышают межмодельный разброс. Исключение составляют три водосбора – крупные водосборы Лены и Енисея, а также рек северо-востока АТР (Индигирка, Яна, Колыма, и Анадырь), на которых ожидается рост годового стока. К концу XXI века к водосборам, на которых средний рост локального стока превышает межмодельный разброс, по крайней мере для сценария SSP5-8.5, добавляется еще и совокупность северных рек (Мезень, Северная Двина, Онега и Печора). Что касается южных рек, то, несмотря на значительный межмодельный разброс на протяжении всего XXI века, в среднем они демонстрируют тенденцию к уменьшению локального стока.

**Криосфера**

Площадь снежного покрова суши на территории Российской Федерации в XXI веке по модельным

расчетам будет сокращаться, причем до середины века по разным сценариям скорость сокращения примерно одинакова. К концу столетия по сценарию SSP2-4.5 сокращение среднегодовой площади снега составит 13±4% по отношению к периоду 1995-2014 гг., при реализации сценария SSP5-8.5 - 25±7%. Уменьшение площади снега в марте составит 5±3% и 13±7%, в апреле – 13±6% и 28±10% соответственно. Повышение зимней температуры и увеличение количества зимних осадков приведут к тому, что зимой в более холодных регионах будет увеличиваться снегонакопление, а в менее холодных регионах оно будет уменьшаться, так как часть осадков будет выпадать в жидкой форме.

Площадь, занятая приповерхностной многолетней мерзлотой на территории Российской Федерации, сократится к середине XXI века по сравнению с периодом 1995-2014 гг. на 22±7% для сценария SSP2-4.5 и на 28±10% для сценария SSP5-8.5. В конце XXI века сокращение составит 40±15% и 72±20% соответственно.

К концу XXI века в арктических морях (Карское, Лаптевых, Восточно-Сибирское, Чукотское) морской лед в годовом минимуме (сентябрь) исчезает по оценкам подавляющего большинства (90%) представленных на рис. 1.14 моделей CMIP6 для сценария SSP5-8.5 и по оценкам, примерно, двух третей моделей при условии реализации сценария SSP2-4.5. Для сценария SSP1-2.6 лишь около трети моделей прогнозирует исчезновение морского льда в сентябре. При этом в зимний период сокращение площади морского льда в Арктике на протяжении XXI века существенно меньше.

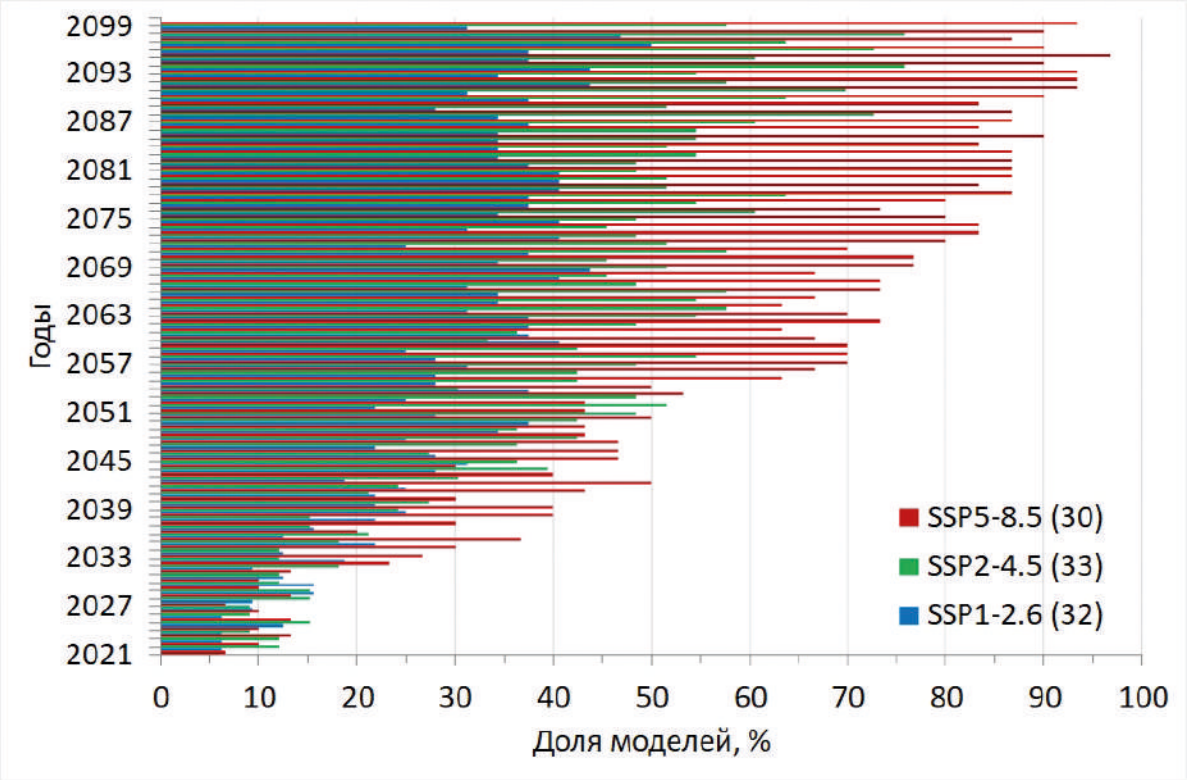



***Рис. 1.14*** *Доля моделей (в процентах от общего числа моделей в ансамбле) CMIP6, в расчетах которых в сентябре арктические моря (Карское, Лаптевых, Восточно-Сибирское, Чукотское) становятся безледными по данным 32 моделей для сценария SSP1-2.6, 33 моделей для сценария SSP2-4.5 и 30 моделей для сценария SSP5-8.5*

# 2.

# ВОЗДЕЙСТВИЯ ИЗМЕНЕНИЙ КЛИМАТА НА ПРИРОДНУЮ СРЕДУ, НАСЕЛЕНИЕ И ЭКОНОМИКУ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

*Согласно Шестому оценочному докладу МГЭИК (IPCC, 2022), антропогенное изменение климата, в том числе более частые и интенсивные экстремальные явления, вызвало широкомасштабные неблагоприятные воздействия и связанные с ними потери и ущерб для природы и людей, выходящие за рамки естественной изменчивости климата. Риски, связанные с изменениями климата, становятся все более сложными для управления. Ожидается возникновение многочисленных климатических и неклиматических рисков, взаимодействующих друг с другом, что приведет к усугублению общего риска и «каскадному» распространению рисков в секторах и регионах. При этом (с высокой степенью достоверности) некоторые меры реагирования на изменение климата могут привести к новым рискам.*

# 2.1 Природные системы

## Природные системы суши

В последние десятилетия изменения границ биомов во многих регионах России продолжают идти в направлении, определяемом глобальным потеплением – на север на равнине и вверх в горах. Подтверждения остаются фрагментарными, скорость изменений на ЕТР в среднем выше, чем для АТР. Хотя по климатическим показателям границы уже не соответствуют господствующему типу растительности, фактические их сдвиги происходят медленно. Наиболее очевидным явлением остается деградация ледников. Прогнозируется дальнейшее смещение климатически обусловленных границ биомов в тех же направлениях (рис. 2.1).

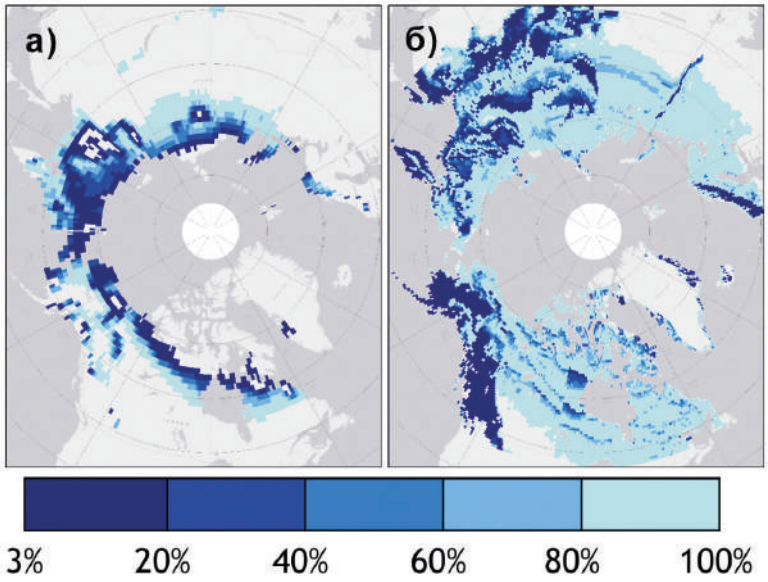



***Рис. 2.1*** *Вероятностный прогноз продвижения границы леса (а) и смены современных биомов (б) по климатическим показателям в середине XXI века*

Изменение ареалов видов происходит с различной скоростью как для систематических групп, так и для регионов; больше всего опубликовано информации об изменении ареалов птиц и насекомых. Не всегда динамика ареалов обусловлена исключительно климатическими воздействиями. Многие группы видов и регионы недостаточно изучены, данные по ним отсутствуют или нерепрезентативны.

Появилось значительное количество сведений об изменениях фенологических сроков в разные сезоны. Для большинства групп видов и процессов отмечается сдвиг весенних фаз на более ранние сроки, а осенних – на более поздние. В то же время примерно для трети исследуемых видов отклик на изменение климатических условий пока не наблюдается, а для некоторых отмечается несоответствие отклика. Потенциально рассинхронизация фенологических фаз у растений и опылителей считается существенной угрозой как для самих видов-опылителей, так и для зависящих от опыления отраслей растениеводства.

Уязвимость экосистем в российских регионах к изменениям климата связана с биотическим (вспышки размножений насекомых-вредителей и болезней леса) и с абиотическим воздействием (лесные пожары, продолжительные засухи и наводнения, экстремальные ветровые и снежно-ледовые режимы). Таяние мерзлоты усиливает процессы заболачивания и меняет пространственную структуру полигональных и бугристых болот. Повсеместно растет вероятность торфяных пожаров, особенно в случае заброшенных осушенных торфяников. Для водных экосистем наблюдается и прогнозируется не только изменение стока (годового, сезонного), режима питания рек, учащение экстремальных паводков и маловодий, но также изменение русел, увеличение мутности, повышение температуры и связанное с ним изменение состава и численности гидробионтов, внедрение инвазивных видов. Повышение температуры в сочетании с эвтрофикацией приводит к существенному снижению качества воды, озера в Арктике на фоне деградации мерзлоты дренируются и появляются на месте термокарстовых просадок. Озера на юге, особенно мелководные и солоноводные, пересыхают и повышается уровень их минерализации. Несколько одновременных или последовательных негативных воздействий могут давать кумулятивный или каскадный эффекты и приводить к значительным потерям биоразнообразия и экосистемных услуг. На ЕТР важными факторами уязвимости экосистем являются пожары, засухи и летние ветровые события, на АТР – деградация мерзлоты, лесные и торфяные пожары, воздействие насекомых-вредителей.

Ряд природоохранных мер способствует адаптации видов и экосистем к изменениям климата, хотя могут не признаваться официально адаптационными. Масштабы лесных пожаров указывают на значительный дефицит адаптации. Адаптация на основе экосистем наследует традиции российской и советской науки, применяется в сельском хозяйстве, градостроительстве. Вместе с тем возможности и значение экосистем для адаптации регионов, включая снижение рисков и ущербов от стихийных бедствий, недооценено. Например, защитные леса имеют значительный потенциал снижения скорости и магнитуды наводнений, последствий волн тепла и ряда других негативных климатообусловленных эффектов.

**Углеродный баланс почв**

Суммарные запасы органического и минерального углерода в почвах России оцениваются в 337 Гт С – для верхнего метрового слоя. Около трети запасов органического углерода сосредоточено в почвах среднетаежной зоны (111,3 Гт С), а суммарно в почвах таежных лесов и тундр содержится 87%, что связано с занимаемой ими площадью. Запасы органического углерода в метровом слое почв сельскохозяйственных угодий России составляют около 28 Гт С. Две трети запасов углерода на землях лесного фонда сосредоточены в почвах СФО и ДФО.

Средние величины гетеротрофного дыхания почв для России оцениваются в 2,7-3,0 Гт С/год. В соответствии с прогнозами изменений климата, гетеротрофное дыхание почв на территории Российской Федерации может увеличиться в среднем на 10-12% и достичь к 2050 г. 3,5 Гт С/год.

Изменения климата оказывают неоднозначное воздействие на баланс углерода в почвах: увеличение среднегодовой температуры воздуха может инициировать деградацию

органического вещества и приводить к отрицательному балансу, а увеличение количества среднегодовых осадков стимулирует повышение запасов органического вещества и соответствует положительному балансу углерода. Предполагается, что общие тенденции изменения климата приведут к суммарно положительному балансу (аккумуляции) углерода в почвах России.

Растущая повторяемость опасных и неблагоприятных гидрометеорологических явлений усиливает процессы деградации почв, обусловленные экзогенными процессами – водной и ветровой эрозией, дефляцией и др. На лесопокрытых землях одной из главных причин потерь почвенного углерода являются пожары. Пирогенные потери составляют 20% углерода при пожаре низкой интенсивности и до 75-80% – высокой.

Применение более рациональных систем землепользования на сельскохозяйственных землях России имеет значительный потенциал увеличения поглощения углерода. Международные оценки более осторожны: во всем мире методы управления почвенным углеродом вряд ли позволят сбалансировать более 5% годовых глобальных выбросов $CO_2$ в результате сжигания ископаемого топлива.

**Морские природные системы**

Глобальные и региональные изменения климата оказывают существенное влияние на состояние морских природных систем. Прежде всего это касается температуры воздуха и воды, рост которой (в среднем) отмечается во всех морях Российской Федерации за последние 40 лет. Температура воздуха растет со скоростью от 0,3 (Каспийское море, Японское море) до 0,7 °С/10 лет (Карское море) в зависимости от региона. Наиболее высокие аномалии температуры воздуха (до +5-6 °С) отмечаются в холодный период года. Во многих случаях именно за счет повышения зимних температур наблюдается значительный среднегодовой рост температуры воздуха.

Во всех морях российской Арктики наблюдаются значительные положительные аномалии температуры воды от поверхности до дна, что объективно подтверждает тенденцию к продолжающемуся потеплению Арктики. Аномалии температуры воды в арктических морях достигали +1,4-4,1 °С. Температура поверхности воды в российских морях растет со скоростью от 0,20 (Охотское море) до 0,52 °С/10 лет (Черное море) в зависимости от региона.

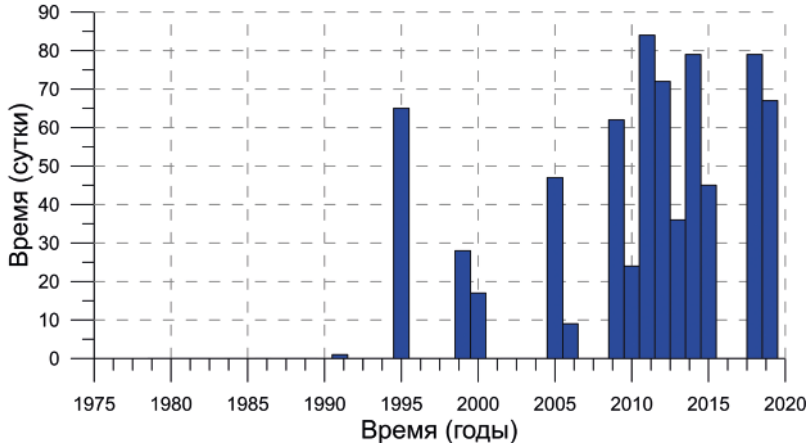



***Рис. 2.2*** *Продолжительность периода открытой воды (сплоченность льда меньше 15%) в море Лаптевых*

Увеличение температуры воздуха и воды во всех российских морях в зимний период приводит к неравномерному уменьшению площади ледяного покрова, толщины льда, и удлинению безледного сезона (см., например, рис. 2.2). Современная средневзвешенная толщина льда в российских арктических морях к концу холодного сезона уменьшилась примерно на 40 см (с 153 до 117 см) по сравнению с 1997-2003 гг. Одновременно с уменьшением общей площади ледяного покрова произошло смещение баланса между однолетним и многолетним льдом в сторону преобладания однолетнего льда и сезонности арктического ледяного покрова.

Уровень всех морей России (за исключением Каспия) продолжает расти со средней скоростью 2-4 мм в год, что соответствует средней величине роста уровня Мирового океана (+3,42 мм/год). С 2018 г. скорость падения уровня Каспия составляет 10 см/год. К концу 2020 г. уровень Каспия достиг отметки –28,5 м (Балтийская система высот уровня моря), и от минимума 1977 г. (–29 м) его отделяет всего лишь 0,5 м (рис. 2.3).

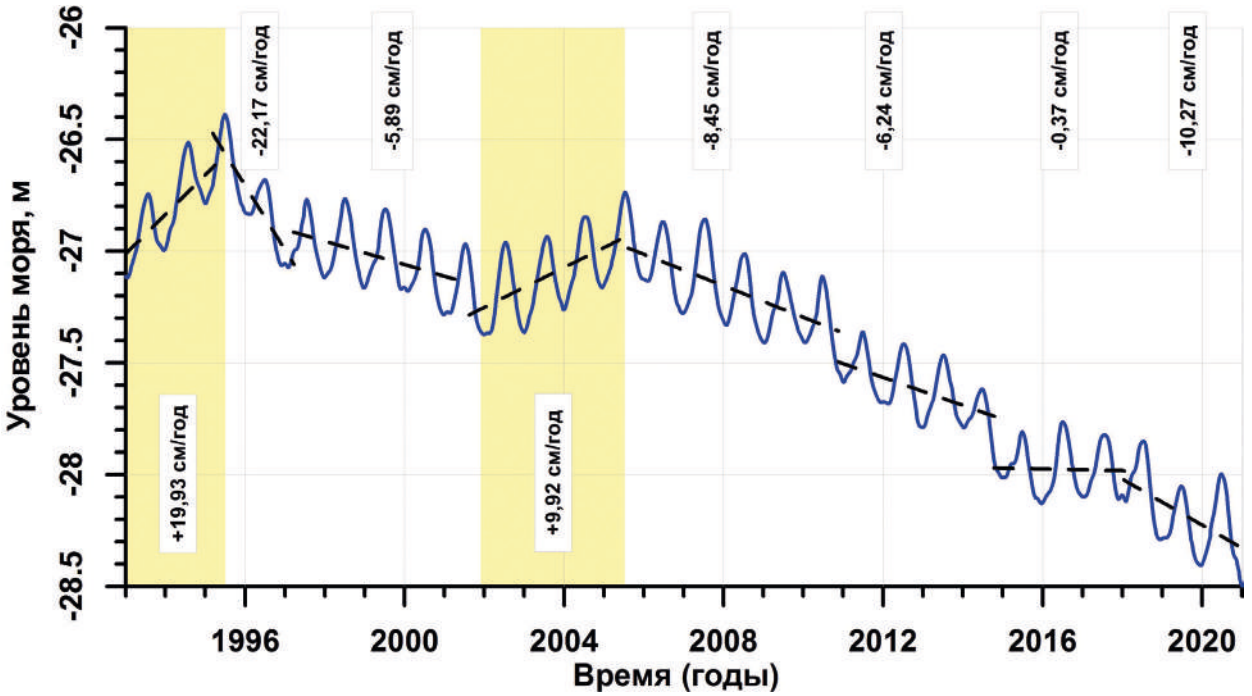



***Рис. 2.3*** *Уровень Каспийского моря (м) по данным альтиметрических измерений спутников T/P и J1/2/3: сезонная (сплошная линия) и годовая (пунктир) с января 1993 г. по декабрь 2020 г. по данным альтиметрических измерений спутников T/P и J1/2/3*

Изменения состояния экосистем и интенсивности промысла в морях России происходят в зависимости от меняющихся физических, химических и биологических характеристик конкретного моря. Так, в Баренцевом море после 2004 г. наблюдаются сокращение и смещение на север ареалов арктических видов рыб при общем снижении их численности и биомассы, обусловленные уменьшением площади и объема арктических вод в море. Одновременно происходит экспансия бореальных видов в его северную, арктическую, часть, а также в восточном направлении к архипелагу Новая Земля. В целом, адаптация экосистем морей России к изменяющимся климатическим условиям происходит в виде смещения ареалов обитающих

в них гидробионтов на север и в ряде случаев появления новых видов. Изменения видового состава повлекут за собой трансформацию трофической структуры природных сообществ, образование так называемых «новых» экосистем с пока неизученными свойствами. Увеличение температуры поверхности морей приведет к росту продукции фитопланктона, в том числе его вредоносных видов и связанных с ними неблагоприятных последствий.

В результате климатических изменений уменьшение поступления соленой и богатой кислородом воды из Северного моря оказало существенное влияние на состояние экосистемы Балтийского моря. За два десятилетия произошло пятикратное увеличение площади гипоксических и бескислородных областей в Балтике. Расширение таких областей (часто называемых «мертвыми зонами») может иметь множественное прямое и косвенное воздействие на водные организмы и целые экосистемы в морских, солоноватоводных и пресноводных местообитаниях. На фоне сохраняющейся тенденции регионального потепления происходят изменения в биологических сообществах, сдвиги в структуре пищевых цепей и продуктивности, происходит эволюция морских организмов от микроорганизмов до морских млекопитающих и птиц. В настоящее время (период 1991-2020 гг.) происходит адаптация водных биологических ресурсов Балтики к существованию в новых условиях функционирования различных компонентов экосистемы моря. Повысилась и вероятность экологических неопределенностей и рисков, связанных с использованием водных биологических ресурсов. Согласно климатическим прогнозам с использованием современных региональных климатических моделей, ожидается улучшение условий для доминирования теплолюбивых эвригалинных видов в экосистеме моря, которые в целом будут благоприятны для развития популяций шпрота, в меньшей степени – для сельди, а наиболее уязвимой в этом аспекте останется популяция трески.

Мощным драйвером современных изменений экосистем Азовского и Черного морей являются инвазии чужеродных видов. Рост температуры вод в Черном море негативно сказался на состоянии запасов холодолюбивых видов, в том числе шпрота. После 2011 г. численность базовых промысловых объектов Азовского и Черного морей (бычков, тюльки, азовской хамсы и шпрота) резко сократилась, что негативно сказалось на состоянии рыбодобычи.

Уменьшение солености и повышение температуры воды в Каспийском море в последние годы привели к снижению числа видов, приспособленных к высокой солености и низкой температуре, и, соответственно, увеличению доли тепловодных и мелкоразмерных форм планктона. Количественные характеристики планктона в последние десятилетия существенно не менялись. В фауне Каспийского моря и низовьев впадающих рек в последние годы получают развитие теплолюбивые формы, включая вселенцев, ранее в современном ареале не встречавшихся.

Потепление вод дальневосточных морей России, продолжающееся на протяжении последних 30 лет, оказало сильное влияние на морские экосистемы. Одним из заметных последствий потепления стала миграция тропических и субтропических видов хрящевых рыб (акул, скатов, химер) в не характерные для них районы Южных Курил и Сахалина. Около Сахалина и в прилегающих водах достоверно отмечается уже более 40 видов этих рыб. Современные из-

менения в макроэкосистеме Охотского и Японского морей соответствуют концепции перестройки субполярных экосистем под влиянием потепления климата в направлении уменьшения продуктивности при увеличении эффективности их функционирования. На основе анализа состояния биоресурсов различных районов дальневосточных морей утверждается, что современное потепление благоприятно отразилось на состоянии и устойчивости сырьевой базы морского промысла. Динамика численности трех основных видов промысла тихоокеанских лососей России (горбуши, кеты и нерки) тесно связана с изменчивостью средней годовой температуры воздуха над дальневосточным бассейном России.

Одной из серьезных угроз морской экосистеме, связанных с глобальными климатическими и антропогенными изменениями, являются растущая эвтрофикация вод и увеличение рисков воздействия вредоносного цветения водорослей на окружающую среду.

## 2.2 Население

**Демографическая ситуация и миграция**

Влияние изменения климата на демографические процессы может осуществляться как непосредственно, так и опосредованно. По оценкам, основанным на данных Росстата и прогнозах международных организаций, к 2030 г. природно-климатические изменения могут привести к росту смертности населения примерно на 0,1% и стать непосредственной причиной до 0,5% всех миграционных перемещений на территории России и через ее границы.

Прямое воздействие климатических изменений на репродуктивное поведение человека неочевидно, поскольку нивелируется решающим воздействием социально-экономических и социокультурных факторов. При этом изменение климата может воздействовать на рождаемость косвенно, через изменение социально-экономических условий. Вектор этого воздействия будет определяться изменениями в структуре экономики и на рынке труда. Однозначно негативное влияние на воспроизводство оказывает рост числа и масштабов опасных природных явлений, обусловленных изменением климата, поскольку приводит не только к прямым, но и к косвенным демографическим потерям.

Уже сегодня изменения климата наносят урон здоровью населения, что сказывается на показателях смертности. Помимо этого, непосредственно к гибели людей приводят опасные природные явления и бедствия, прежде всего гидрометеорологического характера, число и масштабы которых увеличиваются, а также обусловленные ими природно-техногенные катастрофы и аварии на инфраструктурных объектах, включая транспортные аварии.

Изменение природно-климатических условий и экологической обстановки ведет к трансформации миграционных потоков, как в границах Российской Федерации, так и за ее пределами. Рост температур ухудшает условия жизни и хозяйственной деятельности в климатически неблагоприятных регионах Крайнего Севера, Сибири и Дальнего Востока, и ведет к интенсификации миграционного оттока населения с этих территорий, и без того страдающих от депопуляции, главным образом обусловленной миграцией. Согласно официальной статистике, климатические условия сегодня являются причиной порядка 0,3% всех миграционных перемещений населения России, но высока вероятность недоучета. Население может принимать решение о миграции, с одной стороны, непосредственно под воздействием природно-климатических факторов, как в случае вынужденных переселений во время стихийных бедствий. Они стали причиной эвакуации более 142 тыс. человек в России за 2010-2020 гг. С другой стороны, причиной миграции может стать ухудшение социально-экономических условий в регионе, которое было вызвано воздействием климатических изменений на объекты инфраструктуры, экономику и рынок труда. В подобном случае миграции могут быть трансграничными, поэтому можно прогнозировать также рост доли мигрантов, переезжающих в Россию из соседних стран.

Особенно большую угрозу изменения климата представляют для сохранения традиционной культуры коренных малочисленных народов Севера, Сибири и Дальнего Востока России, по-

скольку их уклад жизни основан на таких формах хозяйственной деятельности, как оленеводство, рыболовство и охота.

Все это свидетельствует о важности своевременной реализации мер по адаптации к изменению климата, которые должны быть направлены не только на сокращение выбросов парниковых газов, призванное замедлить рост глобальной температуры, но и на повышение адаптационного потенциала в различных сферах жизни общества.

**Трудовые ресурсы и занятость**

Изменения климата, как и проведение политики, направленной на снижение рисков и смягчение их последствий, уже в ближайшем будущем (к 2030 г.) с большой вероятностью начнут оказывать ощутимое негативное влияние на рынок труда и занятость населения России.

Во-первых, уже сегодня происходят потери рабочего времени, вызванные опасными природными явлениями и стихийными бедствиями. Под воздействием глобального изменения климата их частота и масштабы будут увеличиваться.

Во-вторых, экстремальные погодные условия, главным образом волны тепла, заметно уменьшают производительность труда, в особенности физического, на открытом воздухе, но также и работ, выполняемых в помещениях, включая умственный труд. При условии реализации благоприятного сценария изменений климата и успешной адаптации к ним, снижение производительности труда, вызванное аномально высокими температурами, на территории России будет пренебрежимо мало (по оценкам, 0,01% от общего количества рабочих часов по стране к 2030 г.). Однако при реализации пессимистических сценариев эти потери будут возрастать. Снижение производительности труда может усугубляться эпидемиями болезней, таких как Covid-19, осложняемых последствиями изменений климата.

Наконец, необходимость реализации мер по сокращению выбросов парниковых газов приведет к существенным структурным сдвигам в экономике России и, как следствие, на рынке труда страны. По этой причине основные импортеры российской нефти, газа и угля будут сокращать свой спрос на ископаемое топливо, что создает риски как для экономики страны в целом, так и для ее рынка труда.

Российская Федерация должна выполнять свои обязательства в рамках Парижского соглашения и снижать выбросы парниковых газов внутри страны. Поэтому помимо сокращения доли углеводородного топлива, необходима ориентация на устойчивое сельское хозяйство, энерго- и ресурсоэффективную экономику. Шаги в этих направлениях приведут к развитию не только «чистой» энергетики, но и переработки отходов и вторсырья, что создаст спрос на новые рабочие места в этих сферах экономики, а также в строительстве, науке и образовании. Помимо этого, особые социальные программы могут способствовать сокращению бедности и амортизации негативных последствий «зеленого поворота» на рынке труда для уязвимых групп населения, к которым могут быть отнесены его беднейшие слои, сельские жители, рабочие-мигранты, женщины, коренные малочисленные народы, а также жители моногородов, где градообразующими являются предприятия нефтегазовой или угольной промышленности.

Вместе с тем структурные преобразования экономики несут в себе не только новые возможно-

сти, но и риски для российской экономики и общества. Мировой опыт показывает, что чем ниже исходный уровень структурно-технологической модернизации экономики страны, тем более значительным будет снижение темпов роста ВВП и уровня жизни населения при переходе к «зеленой экономике», и тем больше будут потери рабочих мест. Поэтому России в данном контексте необходимо отдавать приоритет инвестициям в основной капитал, развитию перерабатывающих отраслей и «экономики знаний» (науки, образования, здравоохранения, культуры).

**Климатические риски для здоровья населения**

В XXI веке изменение климата будет оказывать воздействие на здоровье человека с весьма высокой степенью достоверности, главным образом усугубляя уже существующие проблемы (Росгидромет, 2017).

Можно выделить три направления, по которым изменение климата влияет на здоровье человека. Во-первых, непосредственные (прямые) воздействия – из-за экстремальных погодных явлений, в увеличении повторяемости которых изменение климата играет определенную роль. С ними связаны гибель людей, рост травматизма, повышение уровня смертности от обострения хронических заболеваний. Во-вторых, косвенные воздействия, обусловленные изменением окружающей среды и экосистем. Они сопровождаются повышением уровня смертности и заболеваемости в связи с изменением условий распространения инфекционных заболеваний различными представителями фауны, с увеличением числа заболеваний, передающихся через воду, с ростом количества осадков, с увеличением поверхностного стока, с деградацией многолетней мерзлоты. В-третьих, косвенные воздействия, опосредованные изменениями в социальных системах, последствиями которых могут стать недоедание, нервные и психические расстройства, связанные как с ухудшением экономической ситуации, так и со стрессами из-за повышенной аномальности погоды и ряда других причин.

Для территории России риски прямого воздействия на здоровье зависят прежде всего от повторяемости таких опасных и аномальных явлений, как наводнения, лесные пожары, волны тепла. Крупные наводнения угрожают жизни людей, нарушают эпидемиологическую безопасность, являются причиной повышенного травматизма, вызывают психические заболевания. Дым от масштабных лесных пожаров, связанных, как правило, с высокой температурой воздуха, для людей, страдающих бронхо-легочными заболеваниями, может стать причиной летального исхода. Еще одна опасность – совокупное воздействие аномальных температур и высокого уровня загрязнения атмосферного воздуха, вызывающее негативные изменения в центральной нервной системе, сердце, почках, печени. Выраженное негативное воздействие на здоровье населения оказывают волны тепла. Продолжительная жаркая погода вызывает увеличение числа смертей и заболеваний системы кровообращения.

Обусловленное изменением окружающей среды и экосистем косвенное воздействие изменений климата на здоровье человека сопряжено с повышением температуры воздуха, которое приводит к расширению ареалов переносчиков инфекционных болезней человека. Изменение климата повышает риск заболеваемости инфекциями с водно-пищевым путем заражения паразитарными, бактериальными и вирусными инфекциями.

Примером косвенных воздействий, опосредованных изменениями в социальных системах, могут служить последствия деградации и опустынивания земель, сопровождающиеся недостаточностью питания, ростом числа болезней, передающихся через недоброкачественные воду и пищевые продукты, и дополнительной смертностью, особенно от сердечно-сосудистых и респираторных заболеваний, вызванных увеличением количества пыли, перемещаемой с пустынных и полупустынных территорий.

Кроме того, гибель близких, утрата имущества из-за прямых воздействий ведет к росту психических и нервных заболеваний. Рост температуры выше нормы также негативно влияет на нервную систему человека и даже может приводить к росту суицидов. Душная погода провоцирует рост алкогольных психозов.

**Погодные экстремумы и здоровье населения**

Для адекватной защиты здоровья населения от воздействия тепловых аномалий необходимы знания о порогах температуры воздуха, при превышении которых следует осуществлять комплекс профилактических мероприятий. В рамках доказательной медицины такой температурный порог может быть определен с помощью численного критерия риска здоровью на основе эколого-эпидемиологических исследований и использования процентилей многолетнего распределения среднесуточных температур в летнее время. Для практических целей защиты населения оправдан выбор порога на уровне 97 процентиля, по достижении которого в течение 5-7 последовательных дней (короткие волны) или более 7 дней (длинные волны) происходит достоверное увеличение избыточной смертности. За последние 25 лет по сравнению с предыдущим периодом значительно возросли как средние летние температуры, так и значения 97-го процентиля. Избыточная метеозависимая смертность при превышении среднесуточными температурами пороговой величины возрастает и в европейских городах с умеренным климатом на 1,1-3,7% на 1 °С, а в городах с субтропическим муссонным климатом – на 2,8-3,0% на 1 °С.

Прогнозируемый рост числа дней с экстремально высокой температурой в Арктическом макрорегионе чреват дальнейшими нарушениями традиционного природопользования коренных народов Севера, разрушением мест хранения продуктов на территориях многолетних мерзлых грунтов. Снижение зимней смертности по абсолютной величине значительно превышает одновременное повышение летней смертности вследствие потепления климата в XXI веке. Результирующее относительное снижение смертности в российской Арктике может быть в несколько раз более значимым, чем в Се-

верной Европе, при этом доверительные интервалы полученных оценок близки по величине.

Ожидаемое увеличение экстремально высоких температур и их повторяемости окажет наибольшее негативное воздействие на здоровье жителей крупных городов. Продолжающаяся аридизация территорий южных областей России увеличит поступление пыли в атмосферный воздух населенных мест и может ухудшить доступность и качество питьевой воды, что негативно скажется на показателях здоровья населения и осложнит эпидемиологическую обстановку.

Для успешной адаптации к местным проявлениям изменений климата существенное значение имеет планирование развития городских территорий, так как значительная часть климатических рисков приходится на городские районы. Продолжающаяся миграция сельского населения и городских жителей из небольших городов в более крупные, особенно в южных регионах страны, приводит к увеличению соответствующих популяционных рисков. При этом именно в мегаполисах с их относительно широкими (по сравнению с другими территориями) финансовыми возможностями наиболее реально осуществление мер адаптации к изменениям климата всего городского хозяйства, в том числе его социального блока, посредством эффективных действий городских властей, поддерживаемых грамотным управлением на разных уровнях. Часть ущерба здоровью можно предотвратить, своевременно оповещая население, в частности, о наступлении тепловых аномалий, и проводя определенные профилактические мероприятия.

При прохождении волн холода необходимо применение комплекса профилактических мер на индивидуальном и коллективном уровнях. Так, для гарантии безопасности при работе на открытом воздухе в условиях экстремально низких температур необходимы четкое планирование и организация передвижения транспорта и персонала в зависимости от ощущаемой температуры наружного воздуха, соблюдение режима работы и отдыха (обогрева в целях нормализации теплового состояния), обеспечение рабочих калорийным питанием и периодической сменой предметов одежды (обувь, носки, перчатки).

**Эпидемическая обстановка**

Инфекционные паразитарные болезни человека, в том числе и трансмиссивные, распространены практически повсеместно. Их известно несколько сотен, и большинство из них – климатозависимые. Потепление климата приводит к изменению условий их распространения. Для трансмиссивных заболеваний меняются условия существования популяций переносчиков и условия развития возбудителей в переносчике, условия существования различных позвоночных животных, которые в случае природно-очаговых заболеваний являются резервуарами инфекции (рис. 2.4). Для большинства членистоногих переносчиков болезней человека предполагается расширение периода активности, то есть более ранний выход из зимовки весной и более поздний уход в диапаузу осенью.

Для нетрансмиссивных природно-очаговых заболеваний изменения климата имеют значение для существования животных, являющихся резервуарами и источниками инфекции.

Несмотря на изменение климата, для большинства рассматриваемых заболеваний показатели заболеваемости в среднем по Россий-

ской Федерации остаются более или менее постоянными или снижаются. Это можно объяснить не только успехами современной медицины, но и повышением информированности населения, что можно считать мерой адаптации. Однако в ряде субъектов Российской Федерации заболеваемость выше средней в 5-10 и более раз.

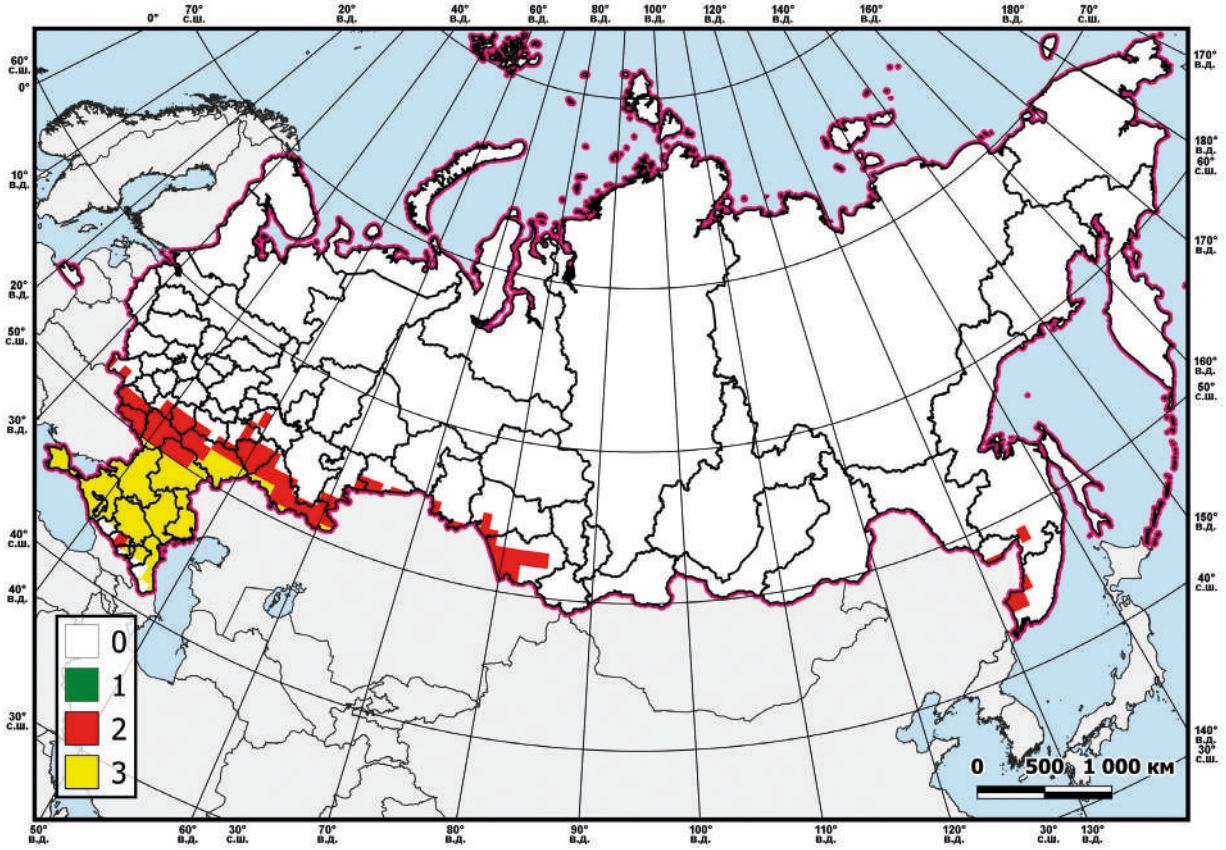



***Рис. 2.4*** *Предполагаемые изменения климатического нозоареала крымской геморрагической лихорадки в соответствии со сценарием умеренного антропогенного воздействия на климатическую систему Земли RCP4.5 для периода 2034-2053 гг., в сравнении с базовым периодом 1981-2000 гг. Обозначения: 0 – циркуляция вируса отсутствует; 1 – сокращение нозоареала (в данном случае не выявлено); 2 – потенциальное расширение нозоареала; 3 – циркуляция вируса возможна в период 2034-2053 гг.*

## 2.3 Секторы экономики, виды экономической деятельности и инфраструктура

**Добывающая промышленность**

Особенности воздействия климатических изменений на объекты и процессы в добывающей промышленности зависят главным образом от способа добычи полезных ископаемых (закрытого, т.е. с использованием скважин и шахт или открытого, т.е. карьерного), физических и химических свойств добываемого сырья и последствий для окружающей среды.

**Добыча нефти и газа**

Наибольшее развитие нефтегазовый сектор России получил в Арктической зоне. Наиболее значительные климатические риски для функционирования нефтегазового комплекса в этом регионе обусловлены экстремальными температурно-ветровыми условиями, а также медленными климатическими изменениями, приводящими к росту уровня моря, таянию многолетнемерзлых пород, разрушению берегов и прибрежной инфраструктуры. В большинстве районов добычи углеводородов примерно 60% аварий связано с метеорологическими факторами. Повышение температуры воздуха у поверхности в Арктической зоне России в целом благоприятно сказывается на работе отрасли, т.к. улучшаются условия работы на открытом воздухе, уменьшаются простои в работе, снижается величина эксплуатационных расходов, сокращается потребление энергии за отопительный период. Сокращение продолжительности периода с температурой ниже –30 °C к середине XXI века составит на территории Северной Евразии от 10 до 40 дней, а индекс потребления энергии сократится на 10-20%. Однако потепление климата высоких широт протекает на фоне большой временной изменчивости климатических характеристик. Поэтому низкие температуры воздуха по-прежнему возможны, но их вероятность уменьшается.

Увеличение температуры воздуха имеет и свои негативные последствия для нефтегазового сектора. Так, уменьшение ледовитости арктических морей приводит к усилению абразии берегов из-за более частого воздействия штормов, особенно на побережье Берингова и Карского морей, что угрожает портовым причалам. Более теплая погода провоцирует риски уменьшения добычи газа, т.к. рост повторяемости температуры воздуха выше 15 °C приводит к падению мощности компрессорных станций и к уменьшению добычи топлива. Рост температуры воздуха в теплый период года может увеличить вероятность лесных пожаров, угрожающих объектам нефтегазового комплекса, а также способствовать образованию смерчей. Более теплые условия способствуют несвоевременному таянию «зимников» (включая движение по рекам), часто являющихся основными дорогами в районах нефте- и газодобычи на севере и северо-востоке Российской Федерации. Изменение скорости ветра носит более сложный характер. При незначительном уменьшении средних скоростей максимальные скорости ветра в северных регионах Западной Сибири не уменьшаются или даже имеют тенденцию к возрастанию, что может негативно отражаться как на условиях работ на открытом воздухе, так и на величине ветровых нагрузок на буровые установки. Важными причинами снижения эксплуатационных ресурсов практически всех

видов оборудования для нефте- и газодобычи являются коррозионные повреждения. Наблюдаемое и прогнозируемое увеличение продолжительности выпадения жидких и смешанных осадков, а также периодов с относительной влажностью более 70% при температуре воздуха выше –1 °С являются основными факторами, определяющими возрастание коррозионной агрессивности атмосферы и интенсивности разрушения металлических конструкций. Последствия таяния многолетней мерзлоты носят комплексный характер и обуславливают транспортные риски (разрушение автомобильных и железных дорог, трубопроводов, ухудшение состояния взлетно-посадочных полос) и риски снижения производительности нефтяных скважин, т.к. при таянии мерзлоты скважины деформируются, а их последующее восстановление приводит к потерям на 10-20% добычи нефти. Особое значение имеют последствия изменений климата для состояния трубопроводов. В зоне сезонного промерзания грунтов аварийные разрушения трубопроводов часто происходят в районах со сложными гидрогеологическими условиями, для которых характерен высокий риск возникновения оползневых и селевых процессов. Поэтому ожидаемое увеличение сезонных сумм осадков и особенно их интенсивности в теплый сезон является серьезным дополнительным фактором риска, который необходимо принимать во внимание при эксплуатации существующих и проектировании новых трубопроводов.

**Добыча угля, металлических руд, алмазов**

Погодно-климатические риски, характерные для добычи полезных ископаемых в карьерах и шахтах, в значительной степени обусловлены изменением режима увлажнения. Так, частые дожди и связанное с ними усиление эрозии могут повлиять на устойчивость склонов карьеров. Увеличение сумм осадков и числа дней с жидкими и смешанными осадками, наблюдающееся во второй половине XX – начале XXI века во многих районах добычи каменного и бурого угля, приводит к дополнительному намоканию угля на открытых топливных складах. Это уменьшает тепловую экономичность энергоустановок, использующих это топливо, затрудняет его транспортировку.

Однако с ростом температуры воздуха растет и испаряемость, создавая в засушливые периоды угрозу высыхания и пыления хвостохранилищ и терриконов.

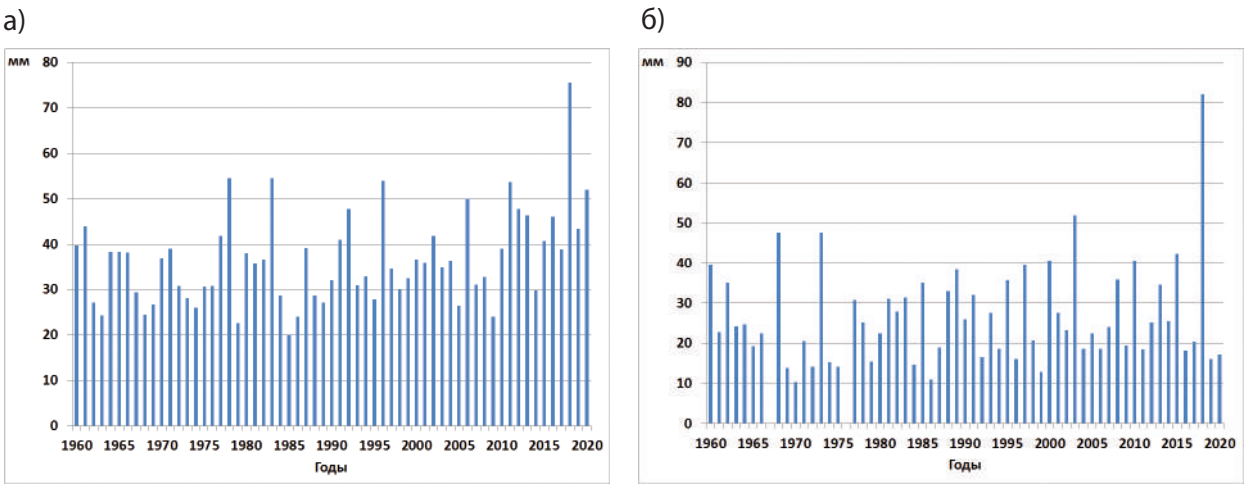



***Рис. 2.5*** *Суточный максимум осадков, мм, в 1960-2020 гг.: а) Ростов-на-Дону (Ростовская область); б) Мирный (Республика Саха)*

В последние десятилетия во многих регионах страны, в том числе и там, где добыча угля и других полезных ископаемых производится шахтным методом, наблюдается повышение интенсивности осадков (рис. 2.5). Интенсивные осадки, выпадающие за короткие интервалы времени, представляют значительную опасность для работы шахт и могут приводить к катастрофическим последствиям, т.к. шахтные дренажные системы были спроектированы с учетом состояния климатической системы в XX веке.

Изменение режима осадков и испарения необходимо также учитывать при проектировании и эксплуатации хвостохранилищ – гидротехнических сооружений, обуславливающих значительные экологические риски для окружающей среды. Риски, связанные с обильными осадками, включают: обрушение дамбы хвостохранилища, сброс загрязненной воды в водоемы, воздействие на здоровье и безопасность населения. Ожидается, что суточные максимумы осадков возрастут к концу XXI века на значительной территории России, прежде всего в Якутии и северо-восточных регионах страны на 10-20%.

Изменение климата заставляет горнодобывающие компании более детально оценивать риски, связанные с климатическими факторами, т.к. потери вследствие аварий практически всегда превышают затраты на обеспечение надлежащего уровня эксплуатационной безопасности и контроля для предотвращения инцидентов на объектах добывающей промышленности. Большинство инициатив по адаптации к изменению климата в горнодобывающей промышленности сосредоточены на физических (инфраструктурных) рисках, обусловленных изменениями климата. Менее развито детальное понимание репутационных и социальных рисков, которые постепенно приобретают все большее значение. Поэтому все более актуальными становятся инвестиции горнодобывающих компаний в комплексные программы управления водосборными бассейнами, улучшение местного водоснабжения, защиту существующих источников воды и окружающей среды в целом.

**Сельское хозяйство**

Как ожидается, Россия в ближайшие десятилетия останется одним из ведущих экспортеров на мировом рынке зерна, обеспечивая существенный вклад в удовлетворение мирового спроса на зерно. Экспортный потенциал и продовольственная безопасность России напрямую определяются способностью получать устойчивые урожаи в районах рискованного и критического земледелия, где расположен основной зерновой клин. На фоне продолжающегося потепления увеличивается степень засушливости на преобладающей части земледельческой зоны России, в частности, в основных регионах производства зерновых. К числу благоприятных факторов относится тенденция к росту весенних осадков, наблюдаемая практически на всей территории земледельческой зоны России.

В целом наблюдаемые тенденции к усилению засушливости, вероятно, приведут к росту уязвимости территорий и климатического риска крупных неурожаев зерновых культур в южных и юго-восточных регионах ЕТР.

Сельскохозяйственные районы ЕТР, и особенно ее южные области, более чувствительны к современному потеплению, чем районы Урала, Сибири и Дальнего Востока. Климатически обусловленная урожайность яровой пшеницы

за последние двадцать лет на ЕТР составила 75-80%, в то время как на АТР – 90-95% от уровня 1961-1990 гг. В среднем климатически обусловленная урожайность яровой пшеницы понизилась на ~12% с 1976 по 2015 год, т.е. темпы ее снижения составляют примерно 3% за десятилетие.

Ожидается, что будущие изменения погодно-климатических факторов вызовут рост аридности климата при прогнозируемом росте температуры в основных зернопроизводящих районах ЕТР, что приведет к усилению в XXI веке неблагоприятных погодно-климатических условий для выращивания зерновых. К середине XXI века потепление на ЕТР может привести к снижению климатически обусловленной продуктивности зерновых культур на 10±3% по сравнению с базовым периодом. При этом самые большие потери продуктивности в центрально-черноземных областях (–15±5%), наименьшие – в ПФО (–6±3%). К концу XXI века урожайность зерновых здесь может сократиться на треть в отсутствие адаптационных мер, включающих широкое внедрение современных сельскохозяйственных практик, которые снизят зависимость агросферы от изменений климата.

При сохранении современных темпов потепления отсутствие роста климатически обусловленной урожайности зерновых культур, вызванное аридизацией и напряженностью термического режима вегетационного периода зерновых культур, станет устойчивой тенденцией в земледельческой зоне России, если не будут приняты адаптационные меры, противодействующие последствиям изменений климата. Для преодоления негативных последствий изменений погодно-климатических факторов необходима эффективная стратегия адаптации аграрного сектора экономики России. Разнообразие природно-климатических условий России обеспечивает значительный потенциал адаптационных мер.

Значительный рост термических ресурсов имеет для отрасли скотоводства как положительные, так и отрицательные последствия. Увеличение продолжительности периода выпаса скота на летних пастбищах и сокращение периода стойлового содержания животных, рост продуктивности сенокосов и пастбищ в умеренной зоне, а также возможность уменьшения потребного запаса кормов на зимний сезон, являются положительным фактором.

В то же время высокие значения температуры летом и наблюдающаяся аридизация вегетационного периода, вероятно, приведут к росту тенденции выгорания травостоя на пастбищах и сенокосах, особенно в южных районах, что негативно отразится на кормовой базе и пастбищных ресурсах. В этих условиях эффективные адаптационные меры могут включать корректировку объемов заготовки кормов на зиму, расширение сеяных выпасов для использования их в форме зеленого корма в период выгорания пастбищ и смещение сроков начала и окончания пастбищного выпаса скота.

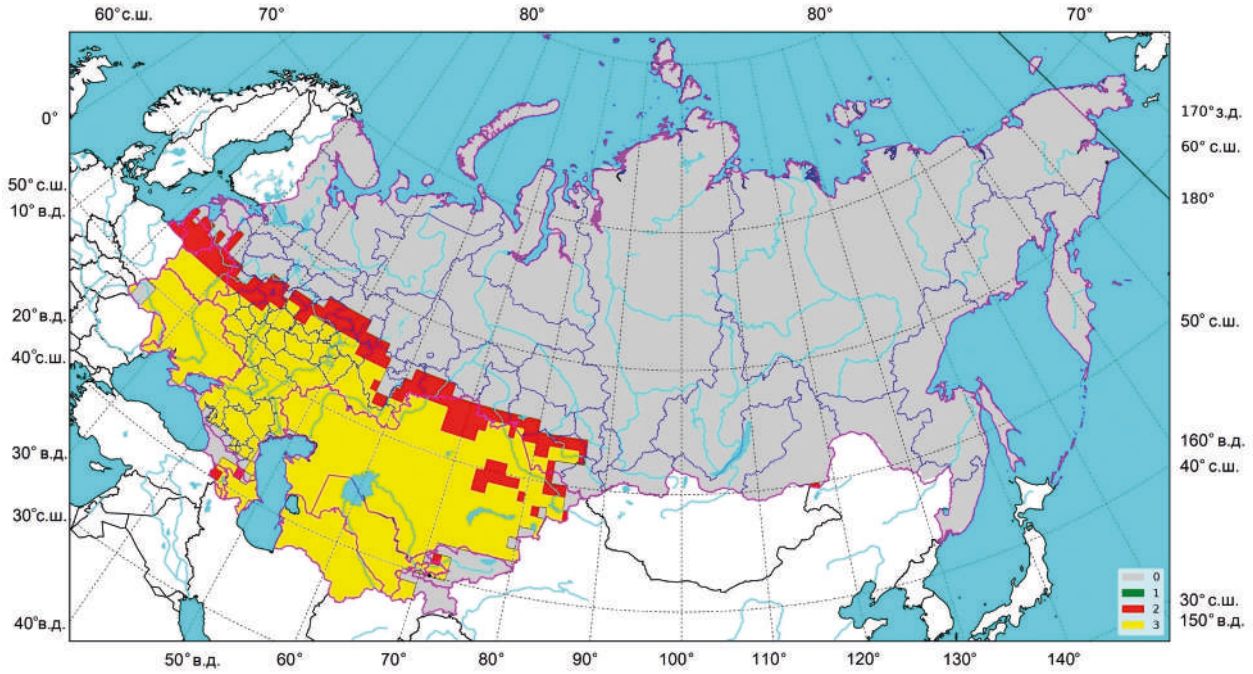



***Рис. 2.6*** *Изменение климатического ареала итальянского пруса на территории России и соседних стран в 1996-2015 гг. относительно периода 1956-1975 гг.: 0 – территория вне ареала в оба периода; 1 – территория сокращения ареала; 2 – территория приращения климатического ареала в период 1996-2015 гг.; 3 – климатический ареал в оба периода*

Наблюдаемые изменения экологических и фенологических особенностей приводят к расширению границ ареалов опасных вредителей и возбудителей болезней сельского хозяйства, что, в свою очередь, увеличивает риски значительного снижения урожаев сельскохозяйственных культур. В последние годы продолжают появляться свидетельства освоения вредителями растений новых районов на территории Российской Федерации. Так, согласно результатам моделирования с использованием усредненных модельных данных о будущем климате XXI века, климатический ареал опасного саранчового – итальянского пруса – будет существенно расширяться в северные и северо-восточные регионы нашей страны (рис. 2.6).

Основными задачами в сфере сельскохозяйственного производства, направленными на сохранение будущего урожая, должны стать усиленный мониторинг и моделирование распространения и изменения экологических свойств наиболее опасных вредителей и возбудителей болезней сельскохозяйственных растений.

**Водное хозяйство**

В бассейнах Волги и Дона в последние десятилетия отмечается увеличение летне-осеннего и зимнего притока в водохранилища, а также его уменьшение в период весеннего половодья. Значительно увеличилась межгодовая изменчивость притока в крупные водохранилища ЕТР. Для водохранилищ АТР в среднем за последние десятилетия годовой приток был выше (за исключением Новосибирского водохранилища), чем в предшествующий многолетний период. Для них также отмечается увеличение притока в зимние месяцы, при резком возрастании амплитуды его колебаний.

Большинство водохранилищ страны регулируется по устаревшим правилам использования. Так, для водохранилищ Волжско-Камского каскада эти правила разработаны в начале 1980-х годов и не учитывают изменений в режиме притока речных вод, произошедших в последние 40 лет.

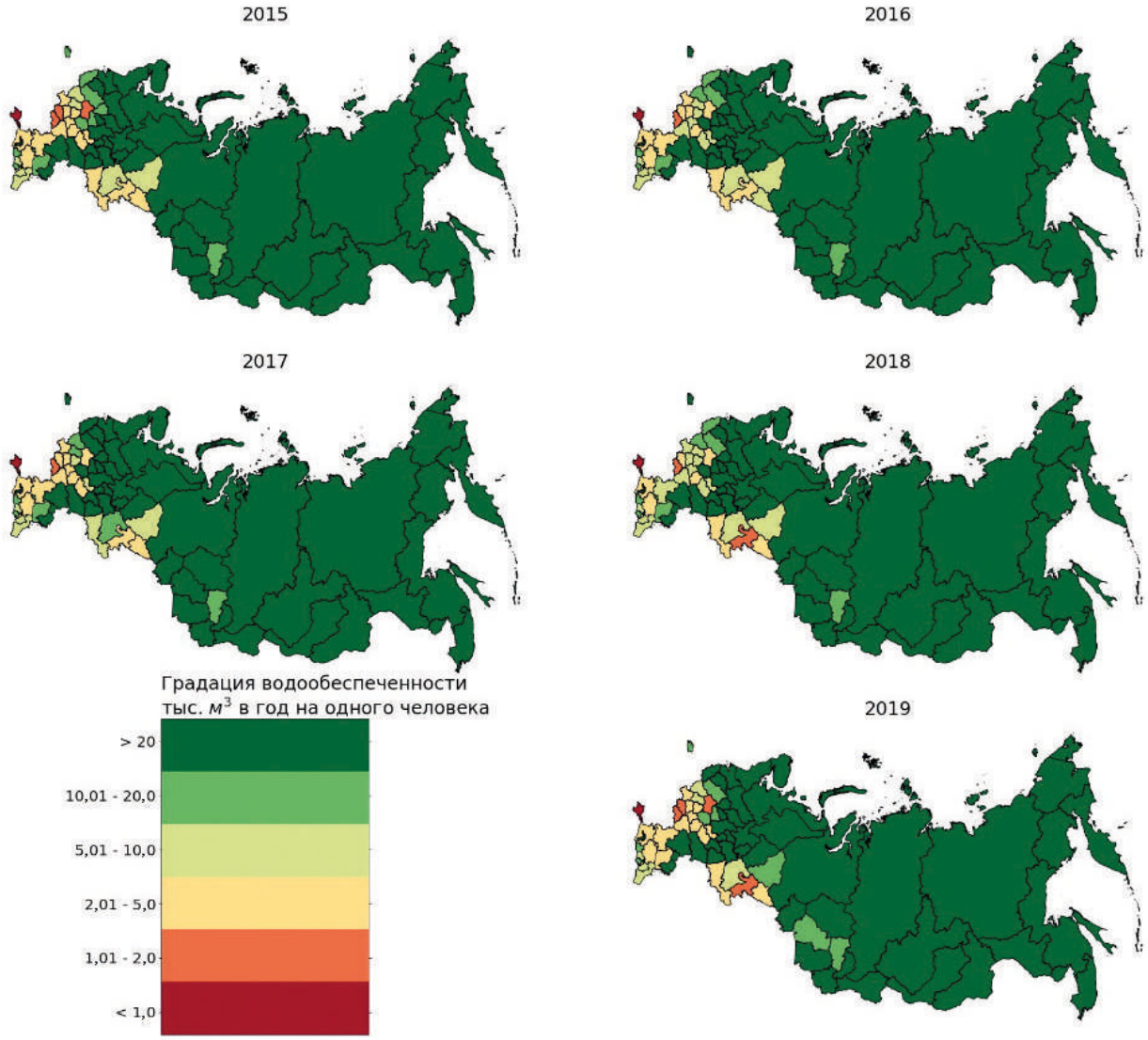



***Рис. 2.7*** *Водообеспеченность регионов Российской Федерации, 2015-2019 гг.*

Дефициты водных ресурсов для обеспечения нужд питьевого и хозяйственно-бытового водоснабжения, усугубляющиеся в периоды малой водности, регулярно возникают в Республике Калмыкия, Белгородской и Курской областях, Ставропольском крае, отдельных районах Южного Урала и юга Сибири, для обеспечения сельскохозяйственных нужд – на территории Саратовской, Астраханской, отдельных частях Волгоградской и Оренбургской областей, на Северном Кавказе. С учетом тенденций изменения годового стока рек в последние десятилетия и возможных его изменений в перспективе высока вероятность усугубления проблемы водообеспеченности ряда южных регионов ЕТР, которая уже в настоящее время является низкой, а может стать катастрофически низкой (рис. 2.7).

Устранение или в значительной мере смягчение дефицита водных ресурсов должно быть осущест-

влено за счет комплекса мероприятий по сокращению потерь воды в системах водоснабжения и мелиоративных сетях, переходу на водосберегающие технологии полива, замещение водоемких производств маловодоемкими, а также дополнительному регулированию стока.

Общее число всех опасных гидрологических явлений (ОГЯ) за последнее десятилетие (2011-2020 гг.) по сравнению с предыдущим десятилетием (2001-2010 гг.) увеличилось на 13% (711 и 620 ОГЯ соответственно). Число опасных наводнений в половодье увеличилось на 38%, заторных наводнений – на 15%, опасных паводков – на 13,7%. Число опасных нагонных наводнений уменьшилось на 40%, а селей – на 35,8%. При детализации ОГЯ по их типам в субъектах Российской Федерации по пятилетним периодам следует отметить тенденции возрастания числа наводнений, обусловленных дождевыми паводками, и числа случаев низкой межени.

Оценки ожидаемых к середине XXI века изменений стока демонстрируют повышение притока к водохранилищам в Сибири и на Дальнем Востоке.

Изменения климата в течение XXI века будут проявляться в уменьшении частоты ОГЯ, обусловленных интенсивным снеготаянием (ЕТР), и в повышении рисков, связанных с экстремальными дождевыми паводками и продолжительными засухами. В числе факторов, связанных с увеличением ущербов от наводнений, следует рассматривать естественные, обусловленные климатической изменчивостью, и антропогенные, связанные с интенсивным хозяйственным использованием прибрежных территорий и проводимыми мероприятиями в руслах и на поймах рек, снижающими их пропускную способность.

Адаптационные мероприятия в области гидрологического мониторинга должны включать в себя повышение плотности сети наблюдений, особенно в регионах, где последствия изменений климата будут сопровождаться повышением рисков возникновения опасных гидрологических явлений (Северный Кавказ, юг Сибири, Приморье), разработку и адаптацию современных методов гидрологических расчетов и прогнозов, систем раннего предупреждения, систем поддержки принятия решений в области водного хозяйства, а также интеграцию региональных, ведомственных и корпоративных сетей мониторинга. Целесообразна приоритизация мероприятий по защите от негативного воздействия вод с учетом ожидаемых изменений экстремального стока, а также внедрение водосберегающих технологий в регионах с ожидаемым повышением частоты продолжительных засух, особенно в ЮФО и в южных областях ЦФО и ПФО.

**Лесное хозяйство**

Проблемы сохранения и рационального использования лесов становятся все более многообразными и сложными. Увеличиваются усиленные последствиями изменений климата угрозы гибели лесов от пожаров, вредных организмов и других неблагоприятных факторов, риски утраты лесами биологического разнообразия.

Прогнозы показывают, что в результате потепления возрастает чистая первичная продуктивность в связи с увеличением продолжительности вегетационного периода и с повышением содержания $CO_2$ в атмосфере. Однако остается высокой неопределенность в отношении того, будет ли повышение продуктивности продолжительным и в какой степени перечисленным тенденциям могут противодействовать неблагоприятные факторы.

К основным факторам, влияющим на уязвимость лесного сектора при возможном изменении климата, относятся природные пожары, болезни и вредители леса, экстремальные погодные явления. По данным государственной статистики, в 2014-2017 гг. повреждения в лесах России были вызваны лесными пожарами (63%), насекомыми-фитофагами (15%), воздействием неблагоприятных погодных условий (11%), болезнями (10%) и другими факторами, такими как промышленное загрязнение (~1%).

Увеличение частоты и площади лесных пожаров, а также вспышек массового размножения насекомых вызвано целым рядом причин, в том числе: 1) неудовлетворительной охраной лесов от пожаров и биогенных нарушений в связи с недостаточным финансированием, а также с недостатками управления и организации охраны лесов; 2) общим снижением уровня управления лесами; 3) преобладанием характеризующихся повышенной пожарной опасностью хвойных лесов; 4) повышением риска пожаров, вызванных грозовыми разрядами, особенно на малонаселенных отдаленных территориях.

Из-за повышения среднегодовых значений температуры ожидается увеличение продолжительности вегетационного периода, что может привести к смещению границ таежной зоны на север. Одновременно ожидается увеличение числа дней с высокой горимостью в среднем на девять дней в году. Последствием подобных изменений станет замещение хвойных пород лиственными насаждениями и увеличение среднегодового прироста в диапазоне от 13 до 23% в зависимости от сценария радиационного воздействия. При этом произойдет перераспределение товарной структуры насаждений таким образом, что большим запасом древесины будут обладать лиственные породы. Такие изменения наиболее вероятны в условиях экстенсивного лесного хозяйства без достаточных мер по воспроизводству хозяйственно ценных хвойных пород, в том числе на заброшенных сельскохозяйственных землях.

В связи с наблюдаемыми изменениями климата могут появиться и дополнительные возможности для развития лесного сектора. Так, например, снижение антропогенных выбросов парниковых газов возможно за счет декарбонизации экономики, в которой лесной сектор может играть важную роль благодаря замещению углеродоемких продуктов, получаемых из невозобновляемого ископаемого сырья, на продукцию из древесины. Повышение поглощения парниковых газов лесами может осуществляться за счет лесоразведения на заброшенных сельскохозяйственных землях, а также с помощью лесовосстановления, нацеленного на трансформацию доминирующих в настоящее время монодоминантных одновозрастных лесов в полидоминантные разновозрастные леса.

Совершенствование процессов адаптации лесного хозяйства к изменению климата требует реализации мероприятий в следующих приоритетных областях:

- разработки научно-методического руководства по оценке уязвимости лесных экосистем и инфраструктуры лесного хозяйства к наблюдаемым и ожидаемым климатическим изменениям (на уровне субъектов Российской Федерации) и сопряженного ранжирования адаптационных мероприятий по степени их приоритетности в лесном хозяйстве;
- осуществления региональных программ и планов мероприятий по адаптации к климатическим изменениям;

- совершенствования системы мониторинга показателей защищенности лесного сектора от неблагоприятных последствий изменений климата, а также мониторинга эффективности реализованных мер.

В настоящее время становится очевидной необходимость разработки и внедрения адаптационных мер в лесном хозяйстве, что находит отражение в документах стратегического планирования и отраслевых программах, однако существующая отчетность в области использования, охраны, защиты и воспроизводства лесов пока еще не включает в себя полный перечень адаптационных мероприятий, что свидетельствует о необходимости ее совершенствования.

**Энергетика**

***Производство энергии на атомных и тепловых электростанциях***

Влияние климата на производство энергии, вырабатываемой на ископаемом топливе, связано главным образом с эффективностью цикла генерации, требованиями к системам безопасности, включая охлаждение энергоблоков, и условиями рассеивания примесей. Особенности систем охлаждения энергоблоков электростанций делают функционирование АЭС и ТЭС в значительной степени зависимым от температуры и влажности наружного воздуха, от наличия охлаждающей воды и ее температуры. От совершенства системы охлаждения АЭС и ТЭС зависит величина удельных расходов топлива и выбросов в окружающую среду газов, негативно влияющих на окружающую среду. Чем ниже температура охлаждающей воды, тем меньше удельный расход топлива и выбросы в атмосферу. Значительные риски для агрегатов электростанций и для обеспечивающей их функционирование транспортной инфраструктуры также обусловлены ростом повторяемости и интенсивности опасных погодных явлений (смерчей, ливней, экстремальных скоростей ветра и т.д.).

Важным условием для эффективного охлаждения агрегатов электростанций является количество и качество воды, используемой в большинстве систем, что делает их крайне уязвимыми в условиях ограниченности водных ресурсов и конкуренции с другими водопользователями. С изменением климата производство электроэнергии на основе сжигания угля будет в большей степени связано с необходимостью улавливания и хранения двуокиси углерода, что увеличит спрос на воду для очистки и сжатия $CO_2$. Кроме того, рост температуры воздуха приведет к повышению температуры воды, что отрицательно влияет на эффективность охлаждения установки и ведет к увеличению спроса на водные ресурсы.

Комплексный анализ влияния на работу АЭС и ТЭС наблюдаемых и прогнозируемых изменений интенсивности, продолжительности и повторяемости волн тепла и засушливых периодов, выполненный в Климатическом центре Росгидромета, показал, что к середине XXI века в зоне наибольших рисков для функционирования АЭС и ТЭС окажутся центральные и южные районы ЕТР и юг Западной Сибири, т.е. районы с наиболее развитой энергетической инфраструктурой. Если в XX веке экстремально жаркие периоды длительностью более 5 суток наблюдались в этих районах один раз в 5-10 лет, то к середине XXI века они могут отмечаться практически ежегодно. В этой ситуации для повышения надежности и эффективности работы электростанций необходим комплексный подход к адаптации, включающий технологические, поведенческие и институциональные меры.

**Использование возобновляемых источников энергии**

Возобновляемые источники энергии (ВИЭ) являются одной из основных альтернатив ископаемому топливу для реализации целей сокращения выбросов парниковых газов в секторе энергетики. Для России их развитие рассматривается в качестве меры по предотвращению климатических изменений и охраны окружающей среды, а также в рамках обеспечения энергоснабжения в удаленных и труднодоступных районах.

Оценки ожидаемых изменений годового стока позволяют предположить, что до 2060 года будет увеличиваться выработка электроэнергии на ГЭС, расположенных в основном в Сибири и на Дальнем Востоке. Суммарное увеличение выработки на ГЭС к середине XXI века оценивается в среднем по России в 4%.

Наиболее перспективными районами для развития гелиоэнергетики являются Приморский край, южная часть Хабаровского края и Амурской области, где годовая продолжительность солнечного сияния составляет 2000-2600 часов, суммарная солнечная радиация, приходящая на земную поверхность за год, – более 1100 кВт·ч/м$^2$. В настоящее время в России насчитывается 49 действующих СЭС с установленной мощностью от 5 до 105 МВт, две изолированные энергосистемы – Батагай (Якутия) и Менза (Забайкалье), проектируется и строится 28 СЭС.

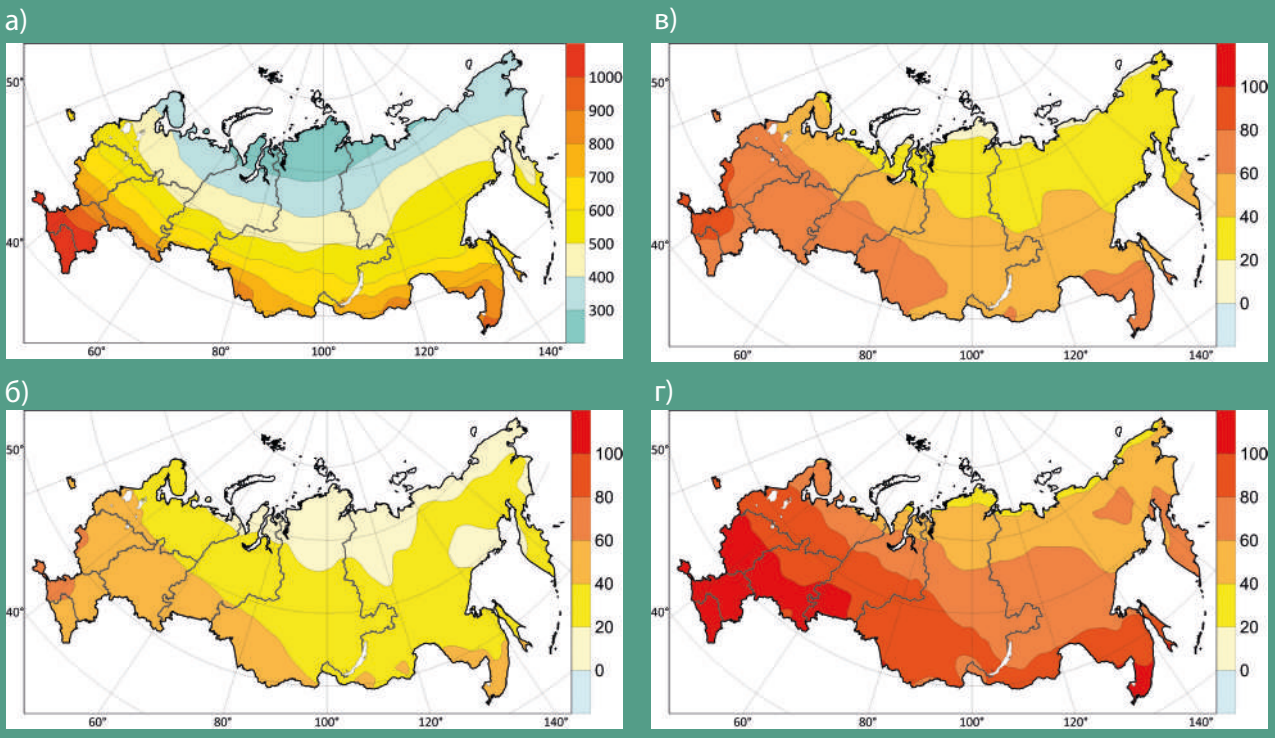



***Рис. 2.8*** *Удельная годовая выработка тепловой энергии плоским солнечным коллектором за базовый период 1991-2010 гг. (кВт•ч/м$^2$) (а) и ее изменения (кВт•ч/м$^2$) для периодов 2021-2040 гг. (б), 2041-2060 гг. (в) и 2080-2099 гг. (г) по отношению к базовому периоду, рассчитанные по ансамблю моделей CMIP6 в условиях сценария SSP2-4.5*

В течение XXI века в России ожидается формирование обширных летних положительных аномалий суммарной солнечной радиации. Снижение прихода радиации в зимний период практически на всей территории страны, а в весенний и осенний сезоны на АТР в общем годовом приходе проявятся слабо. В настоящее время и в близкой перспективе в России наиболее реальным направлением практического использования солнечной энергии является теплоснабжение. Рост температуры воздуха в XXI веке будет способствовать увеличению выработки тепловой энергии плоскими солнечными коллекторами в безморозный период, особенно в западных и южных районах России. Даже в северных и северо-восточных районах АТР рост температуры перекроет прогнозируемое уменьшение солнечной радиации, и использование солнечных коллекторов в режиме горячего водоснабжения может стать рентабельным (рис. 2.8).

Российская Федерация занимает первое место в мире по ветроэнергетическому потенциалу. На ЕТР перспективными для развертывания системной ветроэнергетики являются районы Кольского полуострова, прибрежные территории Белого моря, мелководья Финского залива, прибрежные части акватории Ладоги, предгорья Северного Кавказа, прибрежная часть Каспия, междуречье Волги и Дона; на АТР – южная часть Приморского края.

Одним из многообещающих возобновляемых источников в настоящее время признается органическая биомасса. Максимальным суммарным энергетическим потенциалом биомассы обладают Иркутская область, юг Красноярского края, Вологодская, Архангельская, Кировская, Ленинградская области, Пермский край, Республика Коми.

Во многих исследованиях, посвященных чувствительности возобновляемых источников к изменению климата, отмечается, что изменение ресурсного потенциала солнечной, ветровой и биоэнергии будет носить преимущественно региональный характер.

Россия обладает большими запасами подземных термальных вод, которые находятся на Камчатке и Курильских островах, в Западно-Сибирском нефтегазоводоносном бассейне, в Дагестане, Чечне, Ингушетии, Северной Осетии, Ставропольском и Краснодарском краях. В настоящее время введены в эксплуатацию Паужетская (18 МВт), Верхне-Мутновская ГеоТЭС (12 МВт), полностью автоматизированная Мутновская ГеоТЭС мощностью 50 МВт и две ГеоТЭС на Курильских островах. В последнее время широкое распространение получило использование низкопотенциального тепла Земли на базе тепловых насосов, которые могут применяться в различных типах зданий и сооружений для отопления, горячего водоснабжения, кондиционирования (охлаждения) воздуха и др.

**Передача электроэнергии**

Воздушные линии электропередач особенно подвержены влиянию климатических воздействий из-за их протяженности. Гололедные и ветровые нагрузки являются причинами наиболее серьезных и трудноустранимых неполадок, так как они носят не точечный характер, а воздействуют на протяженные участки воздушных линий. Гололедно-ветровые нагрузки вызывают не только

обрывы проводов, но и разрушение несущих опор. В летний период особую опасность представляют грозы и волны тепла, так как при высоких температурах воздуха происходит растяжение проводов, при этом возможны их провисание и контакт с соседними проводами, вызывающий короткое замыкание. Наблюдаемый рост температуры воздуха в целом негативно сказывается на функционировании линий электропередач. Увеличение числа суток с экстремально высокими значениями температуры воздуха в летний сезон отрицательно влияет на процесс передачи электроэнергии, приводит к уменьшению исходной передаваемой мощности. При повышении температуры воздуха более +35 °С возникает опасность аварийных ситуаций при перегреве ЛЭП, что может вызвать прекращение передачи электроэнергии. Повышения температуры воздуха в зимний период и увеличение случаев выпадения жидких осадков, в том числе переохлажденного дождя, приведут к росту рисков опасного гололедообразования и аварий на ЛЭП. Важным мероприятием, направленным на предотвращение ущерба от ветровых нагрузок, является вырубка деревьев вдоль ЛЭП. Еще одной необходимой адаптационной мерой является выполнение регламентов по обслуживанию и эксплуатации элементов системы электроснабжения. Своевременная замена предаварийных опор и проводов не только повысит надежность ЛЭП, но и будет экономически выгодна, поскольку затраты на адаптацию не будут превышать прогнозируемые ущербы. Кроме того, в условиях меняющегося климата важно своевременно уточнять и актуализировать карты климатического районирования, используемые при проектировании линий электропередач.

**Транспорт**

Климат и его изменения оказывают значительное воздействие на состояние наземной транспортной инфраструктуры (автомобильные и железные дороги, мосты, тоннели, портовая инфраструктура и пр.), обеспечение организации движения и эффективность функционирования транспорта (расходы на содержание объектов, безопасность движения, скорость транспортных потоков и пр.). Рост зимних температур воздуха и сокращение холодного периода благоприятны для увеличения сроков эксплуатации машин, периода навигации на морях и реках, снижения расходов на строительные и ремонтные работы. Однако потепление сопровождается частыми перепадами температуры, которые способствуют ускоренному разрушению покрытия автомобильных дорог. Особенно интенсивно процесс разрушения материалов происходит при частых переходах температуры воздуха через 0 °С, повторяемость которых особенно возрастет в западной части России и на Дальнем Востоке. Увеличение количества жидких осадков, сопровождающих оттепели, является дополнительным фактором, усиливающим процесс разрушения. Влияние этих эффектов наглядно проявляется на состоянии автодорог уже в настоящее время. При этом увеличиваются расходы на так называемый «ямочный» ремонт.

Повышение температуры также провоцирует таяние многолетнемерзлых грунтов, вызывая негативные воздействия на транспортную инфраструктуру, включая аэродромы, автомобильные дороги. Увеличение мощности сезонного протаивания и деградация многолетней мерзлоты уже приводят к росту числа случаев деформации и разрушения трубопроводов. Будут усиливаться и такие опасные процессы, как оползни на оттаивающих склонах и медленное течение талого грунта (солифлюкция). К негативным последствиям роста температуры воздуха относится и сокращение эксплуатацион-

ных сроков и пропускной способности зимних (ледовых) дорог.

Значительное негативное влияние окажет прогнозируемое к середине XXI века увеличение максимальной интенсивности и суточного максимума осадков как в теплый, так и в холодный периоды года. Сильные дожди в теплый период сопровождаются наводнениями и паводками, которые наносят существенный ущерб транспортным коммуникациям. Особенно значительными по масштабу и ущербу являются вызванные тайфунами ливневые наводнения в Приморском крае и Амурской области. В холодный период года возрастет повторяемость сильных снегопадов, которые могут затруднить автомобильное и железнодорожное движение, увеличится и риск схода снежных лавин, воздействию которых наиболее подвержены автодороги Северо-Кавказского и Дальневосточного регионов.

Последствия изменения климата, вызванные ростом температуры, изменением режима осадков и повышением уровня моря, окажут значительное влияние на внутреннее судоходство. Увеличение повторяемости засух вызовет снижение уровня воды и скорости течения, что будет создавать препятствия для навигации и приводить к росту числа аварий (посадок на мель) и увеличению потребления топлива. Рост числа половодий приведет к приостановке судоходства, изменениям в режимах и морфологии процессов осадкообразования в реках и повреждениям береговых дорог, самих берегов и противопаводковых сооружений.

На воздушный транспорт значительное влияние оказывают увеличение повторяемости высоких температур воздуха, усиление штормов, увеличение количества осадков, подъем уровня моря, угрожающий инфраструктуре аэропортов, расположенных на побережьях на небольшой высоте над уровнем моря. Например, рост температуры воздуха в сочетании с повышенными значениями удельной влажности может значительно повлиять на максимально допустимую взлетную массу самолета. Уже сейчас в России иногда закрываются аэропорты в связи с затоплением взлетной полосы. Возможное возрастание повторяемости опасных явлений, таких как ураганные ветры, туман, град, песчаные бури, может увеличить число задержек и отмен полетов, связанных с погодными условиями. Надежность авиатранспортной системы во многом зависит от характеристик средств связи и навигации в системе воздушного пространства, а эти объекты подвержены отключениям из-за атмосферных явлений, таких, например, как молнии.

В целом, параметры работы всех видов транспорта (включая материальные/инженерно-технические решения, условия эксплуатации, используемые горюче-смазочные и иные расходные материалы), а также адекватность общественным нуждам (условия предоставления услуг, надежность, своевременность, безопасность и комфорт пассажиров, качество обслуживания и перевозки грузов) можно в текущем порядке адаптировать к меняющимся природным условиям. Адаптация к изменению климата может осуществляться поэтапно, главным образом в отношении транспортной инфраструктуры, создаваемой в расчете на длительный срок службы (например, 100 лет). Сложнее адаптироваться к росту повторяемости опасных явлений, что требует разработки новых подходов к оценке климатических параметров, особенно на стадии проектирования.

Таким образом, наблюдаемые и ожидаемые климатические изменения термического режима и режима увлажнения оказывают в целом негативное воздействие на состояние и функционирование наземной транспортной инфраструктуры. Основные виды неблагоприятных воздействий, обусловленных происходящими климатическими изменениями, проявляются уже в настоящее время. Эта информация должна быть учтена при проектировании транспортных устройств и сооружений, принятии конструктивно-технических и организационно-технологических решений, определении уровня приемлемых рисков, разработке мероприятий по смягчению последствий от изменения климата для транспортной инфраструктуры.

**Строительство и ЖКХ**

Одним из существенных проявлений изменений климата на территории России является тенденция сокращения продолжительности отопительного периода (до 5 сут/10 лет на севере ЕТР) и уменьшения градусо-суток отопительного периода, являющегося основным расчетным параметром при проектировании ограждающих конструкций. Такие изменения способствуют увеличению тепловой эффективности существующих зданий и в перспективе могут привести к заметному уменьшению уровня энергопотребления в зимний период (на ЕТР – на 12-15%). Однако в настоящее время процесс потепления сопровождается массовыми «перетопами» и «недотопами», снижающими уровень комфортности жилых зданий и препятствующими энергосбережению. Уже к середине XXI века в 5-7 раз увеличится частота зим, связанных с высоким избыточным теплопотреблением, вероятность которых в конце XX века составляла лишь 5% (рис. 2.9). Для извлечения потенциальных выгод необходимо внедрение современных технологий производства энергии и теплоснабжения.

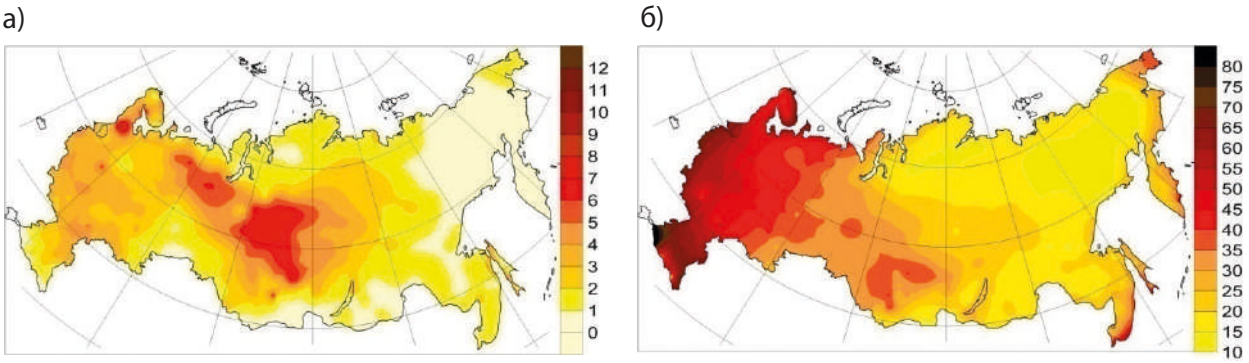



***Рис. 2.9*** *Изменение эффективности функционирования системы теплоснабжения: а) мультипликатор частоты редких (возможных 1 раз в 20 лет) экстремумов числа дней с избыточным теплопотреблением в 2050-2059 гг. по отношению к 1990-1999 гг.; б) доля (%) числа дней с избыточным теплопотреблением от общей продолжительности отопительного периода в 2090-2099 гг.*

В условиях потепления важной задачей становится поддержание теплового комфорта в зданиях не только в холодный, но и в теплый сезон. Рост дефицита холода, являющегося индексом потенциального энергопотребления в теплое время года, на большей части территории России проявляется по данным наблюдений уже в настоящее время, причем не только на ЕТР, но и на АТР. В связи с этим особую актуальность приобретает задача проектирования

и внедрения эффективных систем кондиционирования, максимально полно учитывающих необходимые климатические характеристики и их изменения.

Ожидаемое по мере потепления климата изменение режима выпадения осадков может оказать значительное воздействие на функционирование систем водоснабжения и водоотведения. Рост экстремальности осадков будет проявляться как в увеличении их интенсивности (на разных временных масштабах), так и в изменении продолжительности периодов с дефицитом осадков. Согласно модельным оценкам, к середине XXI века ожидается увеличение непрерывной продолжительности засушливых периодов в центральных и южных районах ЕТР и прилегающих районах Западной Сибири, а также в Приамурье, Приморье и на Камчатке. К концу века на юго-востоке ЕТР могут отмечаться засушливые периоды экстремальной продолжительности, превышающей современные средние значения более чем на 1 месяц. Вместе с тем рост суточных экстремумов осадков (рис. 2.10), сочетающийся с увеличением их интенсивности, приводит к проблемам с водоотведением. Уже в настоящее время становится актуальной модернизация систем водоотведения на основе использования новых нормативных значений интенсивности осадков. Рост суточных максимумов осадков в холодный сезон оказывает также неблагоприятное воздействие на функционирование городского транспорта и приводит к существенным дополнительным затратам на поддержание нормальных условий городской среды.

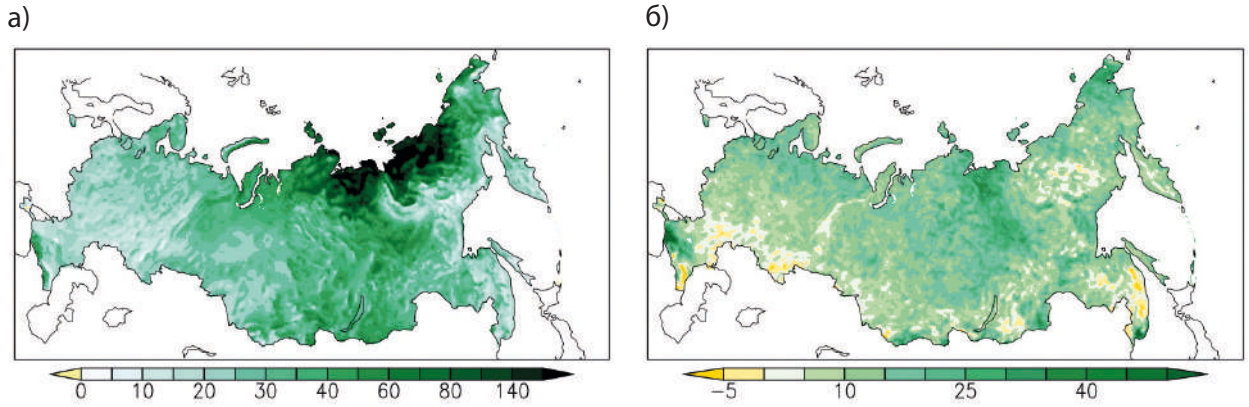



***Рис. 2.10*** *Изменение (в %) сезонных максимумов суточных сумм осадков в 2050-2059 гг. по отношению к 1990-1999 гг. для холодного (а) и теплого (б) сезонов*

В последние десятилетия сохраняется тенденция к ускоренному старению ограждающих конструкций зданий. Это обусловлено повышением температуры зимнего сезона и ростом числа дней с переходом температуры воздуха через 0 °С (рис. 2.11), заметно проявляющимся на ЕТР и в южных регионах Сибири и Дальнего Востока. Дополнительным фактором, усиливающим процесс старения, является увеличение общего количества зимних осадков и в особенности количества жидких и смешанных осадков, сопровождающих оттепели. При строительстве новых и ремонте существующих объектов целесообразно использовать конструктивные решения, направленные на уменьшение увлажнения стен зданий, а также материалы, имеющие надлежащую стойкость в отношении циклов замораживания и оттаивания.

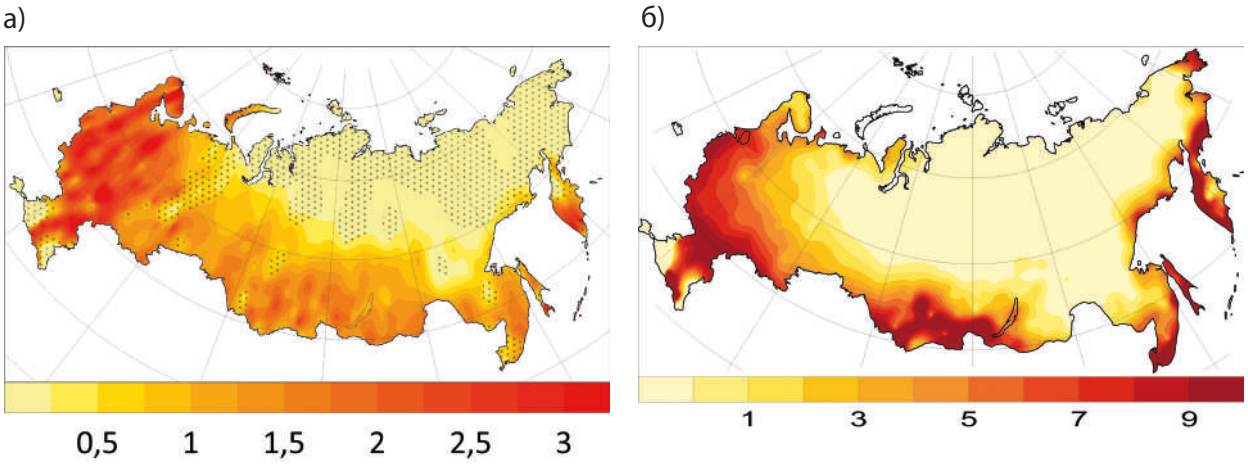



***Рис. 2.11*** *Изменение климатических факторов долговечности сооружений по данным наблюдений (слева) и результатам моделирования (справа): а) скорость изменения (дни/10лет) числа дней с переходом температуры воздуха через 0 °С (ноябрь – март) на интервале 1961-2020 гг.; б) изменение числа дней с переходом температуры воздуха через 0 °С (ноябрь – март) в 2050-2059 гг. по отношению к 1990-1999 гг.*

В условиях меняющегося климата для обеспечения безопасности зданий и сооружений необходимо учитывать особенности изменения температурных климатических воздействий, для характеристики которых используются редкие экстремумы минимальной и максимальной температуры воздуха. Вероятностный анализ изменения годового максимума температуры воздуха показывает, что в 1991-2020 гг. значения этой величины, превышающие 50-й процентиль для периода 1961-1990 гг., в некоторых районах наблюдались практически ежегодно (частота таких случаев в последнее тридцатилетие увеличилась по отношению к периоду 1961-1990 гг. более чем в 1,8 раза). Одновременно частота появления в 1991-2020 гг. значений годового максимума приземной температуры, превышающих 90-й процентиль для периода 1961-1990 гг., увеличилась в южных районах ЕТР и АТР в 5-6 раз.

С точки зрения надежности функционирования различных конструкций, объектов инфраструктуры и систем жизнеобеспечения принципиальным является соответствие реальных климатических условий тем нормативам экстремальности, которые задавались при их проектировании. Выбор критериев для определения требуемой жесткости нормативов с учетом изменений климата целесообразно осуществлять на основе анализа рисков критических воздействий на выбранном временном интервале (т.е. вероятности наступления критического события в течение выбранного периода). Оценка рисков экстремальных температурных воздействий, превышающих расчетную температуру наиболее жарких суток для базового периода (рис. 2.12), показывает, что к середине XXI века вероятность сохранения уровня риска на большей части территории России пренебрежимо мала. В то же время с вероятностью 0,50 на значительной территории (на юге ЕТР, в Приморье и прилегающих регионах) соответствующие риски увеличатся примерно в 5 раз, что означает практически неизбежное наступление рассматриваемого неблагоприятного события.

Результаты оценки прикладных климатических показателей, в том числе характеристик экстремальности, по данным наблюдений и результатам моделирования наглядно показывают, что обновление нормативных параметров, основанное только на исторических данных, не может считаться достаточной мерой для адаптации к изменениям климата, особенно если речь идет о строительстве объектов с длительным сроком эксплуатации. Необходимо тесное взаимодействие специалистов-климатологов и представителей заинтересованных отраслей с целью выработки новых подходов к определению нормативов экстремальности на основе вероятностных оценок ожидаемых изменений и с учетом интересов конкретных потребителей.

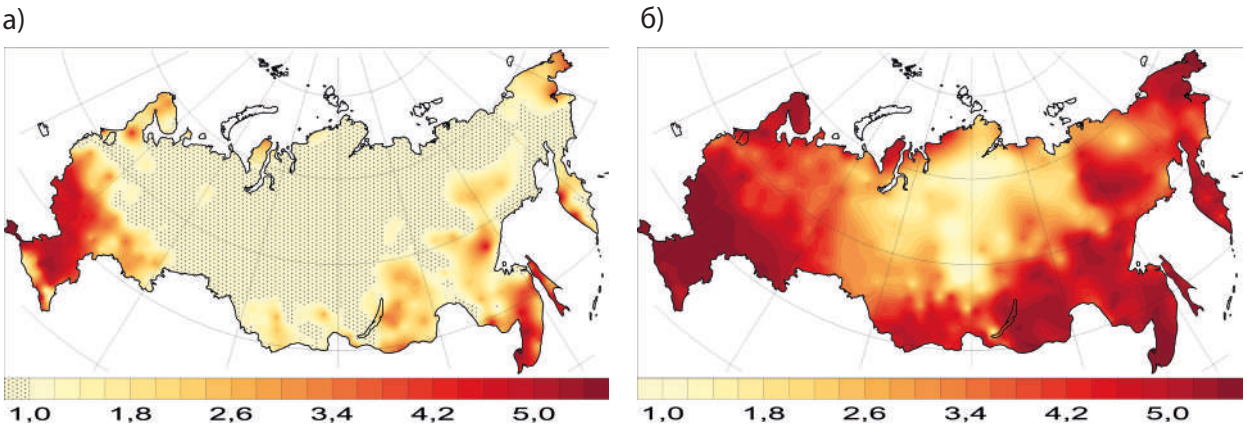



***Рис. 2.12*** *Вероятностные оценки мультипликатора риска экстремально высокой температуры в 2050-2059 гг. по отношению к 1990-1999 гг.: а) 5-й процентиль; б) 50-й процентиль. Оценки получены при задании в качестве критического уровня базовых параметров температуры наиболее жарких суток 98%-ной обеспеченности*

**Инфраструктура в зоне многолетней мерзлоты**

В России многолетнемерзлые грунты распространены более чем на 60% территории страны. В последнее десятилетие температура многолетнемерзлых грунтов в Северном полушарии увеличилась на 0,39±0,15 °С в зоне сплошного и на 0,20±0,10 °С в зоне прерывистого распространения, почти повсеместно увеличилась мощность сезонно-талого слоя. Такие изменения уменьшают несущую способность мерзлоты и создают риски для построенных на ней сооружений. Трубопроводы и большинство точечных жилых и промышленных объектов в криолитозоне построены на свайных фундаментах и опорах. Несущая способность свайных фундаментов уже уменьшилась повсеместно на 20-40% (рис. 2.13), притом что запас прочности по СНиП должен быть не менее 40%. В ближайшее десятилетие на большей части криолитозоны он будет превышен, а к середине XXI века этот показатель будет превышен повсеместно.

Перспективные оценки рисков для инфраструктуры показывают, что к середине XXI века в зону высокого риска попадают экономически важные объекты, в том числе 1590 км трубопровода «Восточная Сибирь – Тихий океан»; 1260 км магистральных трубопроводов в ЯНАО; 280 км железной дороги Обская – Бованенково. В зону наибольшего риска попадают города Воркута и Новый Уренгой.

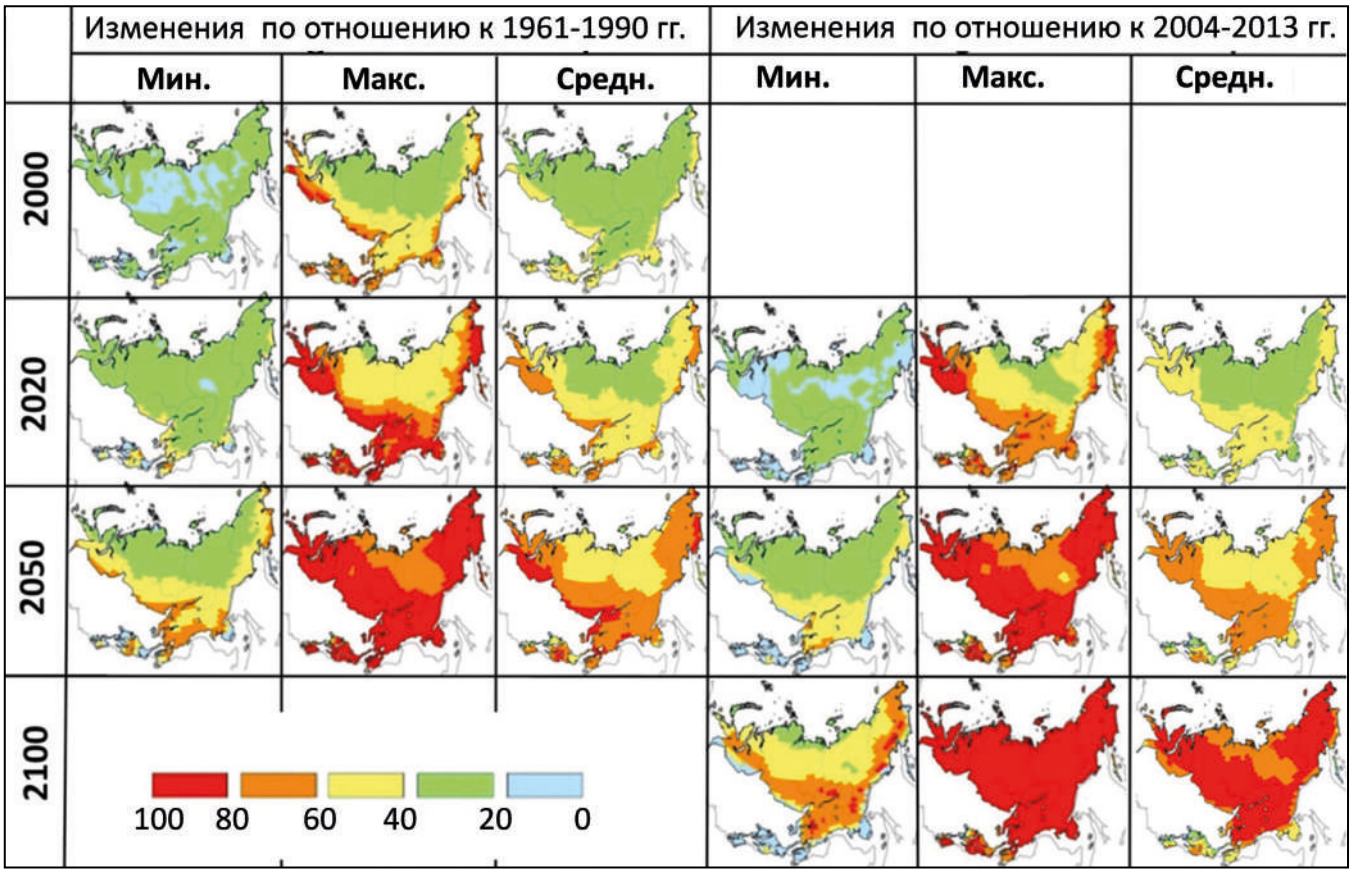



***Рис. 2.13*** *Относительные изменения (%) несущей способности свайных фундаментов, обусловленные увеличением температуры многолетней мерзлоты. Расчет по ансамблевому климатическому сценарному прогнозу CMIP5 для сценария RCP8.5*

Уменьшить ущерб можно за счет инженерных мер адаптации существующей инфраструктуры и изменения норм строительства новых объектов с учетом ослабления несущей способности мерзлоты.

**Морская деятельность**

Изменения климата оказывают значительное влияние как на безопасность, так и на экономическую эффективность всех видов морской деятельности. Особенно большие погодно-климатические риски характерны для арктических морей.

В будущем в результате изменения климата ожидается увеличение повторяемости сильного ветра и интенсивности штормового волнения на Черном, Азовском и дальневосточных морях, а на Баренцевом море, напротив, его уменьшение. Штормовое волнение ведет к уменьшению скорости судна, создает угрозу сохранности грузов. Сильный ветер уменьшает эффективность и безопасность погрузочно-разгрузочных работ в портах, вызывает сгонно-нагонные явления и быстрые изменения уровня моря, создающие угрозу для безопасности судовождения.

Подъем среднего уровня моря отмечается на всех морях, но интенсивность его невелика и в первой половине XXI века, скорее всего, он не будет представлять угрозы. В более поздний период в Черном и особенно в Азовском морях уровень моря может вырасти на 0,5-1,0 м и купирование негативного влияния такого роста

уровня на портовую инфраструктуру и условия прибрежного плавания станет актуальным. Наибольшие проблемы уже в настоящее время создают изменения уровня Каспийского моря, не связанного с Мировым океаном.

В будущем на всех морях и особенно на дальневосточных можно ожидать увеличения повторяемости туманов в зимне-осенний период из-за увеличения площади чистой воды и повышения ее температуры. Туманы и ливневой снег могут привести к уменьшению скорости судов в целях обеспечения безопасности мореплавания и, как следствие, дополнительным затратам судового времени.

Будущее воздействие изменения климата на рыболовную отрасль будет связано с изменением ареалов распространения рыб и замещением одних видов рыб другими в традиционных районах лова. При этом в разных районах эти процессы могут носить как негативный, так и позитивный характер.

При сохранении существующего тренда климатических изменений ледовые условия на трассах Северного морского пути заметно изменяются. Наблюдающееся сокращение льда наиболее ярко проявляется в окраинных арктических морях в летний сезон вплоть до полного очищения ото льда в конце теплого периода года. Однако, в зимний период лед будет повсеместно. Перспективные оценки изменений ледовых условий в XXI веке показывают, что ледяной покров будет присутствовать на акватории Северного морского пути более шести месяцев в году, что является основанием для регулирования Российской Федерацией мореплавания в своей арктической исключительной экономической зоне. Поэтому развитие ледокольного флота рассматривается как необходимое условие круглогодичного функционирования Северного морского пути в будущем.

Морские проекты по освоению арктического шельфа в сложных природно-климатических условиях подвержены высоким природным рискам, что увеличивает их стоимость. Низкие температуры, сильные ветры, плохая видимость, атмосферное обледенение, морское волнение, штормовые нагоны, ледовые сжатия, воздействия на сооружения крупных и гигантских ледяных полей и айсбергов, торосов и стамух, навалы льда на берег, ледовая экзарация дна, ранее ледообразование являются источниками погодно-климатических рисков.

Повышение уровня моря, рост числа и интенсивности штормов, увеличение продолжительности безледового периода в прибрежной зоне будут способствовать более интенсивному разрушению берегов, сложенных рыхлыми и льдистыми породами, что угрожает прибрежной инфраструктуре и ведет к изменению внешних границ территориальных вод, исключительной экономической зоны и континентального шельфа Российской Федерации.

Климатические изменения морской среды оказывают влияние на миграции промысловых рыб и, как следствие, на географию рыбного промысла с возможным последующим конфликтом интересов двух ключевых секторов арктической экономики (коммерческого рыболовства и добычи углеводородов).

С учетом возможных изменений климата и их негативного воздействия на различные виды морской деятельности могут быть предложены следующие меры по адаптации к ним. В условиях ожидаемого увеличения повторяемости опасных явлений погоды (штормового волне-

ния, сгонно-нагонных явлений) потребуется проведение дополнительных работ по укреплению (увеличению высоты) существующих волнозащитных сооружений в портах. В мелководных районах с легкоподвижными донными отложениями (в частности, у восточного побережья Азовского моря) потребуется расширение парка земснарядов и других технических средств для дноуглубительных работ. Темпы роста среднего уровня моря на акваториях российских морей (кроме Каспийского) невелики. Однако во второй половине века скорее всего потребуется наращивание высоты причальных стенок во избежание их затопления. Целесообразно учитывать это обстоятельство уже сейчас при проектировании новых и модификации старых портовых сооружений. Одним из средств защиты от штормовых нагонов являются защитные сооружения с воротами, закрывающимися при угрозе возникновения нагонов и интенсивного ветрового волнения. Единственным примером такого рода в Российской Федерации является комплекс защитных сооружений через Невскую губу в районе Санкт-Петербурга. Для безопасного движения судов на подходах и акваториях портов в сложных гидрометеорологических условиях целесообразно оборудовать порты и прилегающие к ним прибрежные акватории современными средствами слежения за гидрометеорологической обстановкой (ветром, видимостью, волнением, уровнем моря, течениями) с тем, чтобы оперативно и обоснованно принимать управленческие решения в ходе проведения портовых операций.

Изменение климата, вероятнее всего, приведет к изменению ареалов распространения биоресурсов, что может повлечь за собой изменение районов морского промысла. Если новые районы промысла окажутся на большем удалении от российских берегов, чем традиционные, их освоение потребует существенной перестройки логистики (увеличатся затраты на переход рыболовных судов к новым районам лова и доставку пойманной рыбы потребителям, придется осваивать новые рынки сбыта пойманной рыбы и других морепродуктов и т.п.). Возможное изменение ареалов распространения видов рыб и морских млекопитающих, составляющих традиционное питание жителей арктических территорий, необходимо учитывать и при разработке мер по социально-экономической адаптации коренных народов Севера к изменению климата.

Морская деятельность в АЗРФ, подверженная погодным и климатическим рискам, в свою очередь, является источником возникновения экологических рисков, которые необходимо оценивать и учитывать заранее. Разработка и транспортировка углеводородного сырья создает риски аварий, при этом суровые климатические и погодные условия, а также удаленность месторождений от существующей инфраструктуры затрудняют выполнение рекультивационных работ. Особо сложной проблемой являются разливы нефти на лед и подо льдом. Объемы неконтролируемых выбросов парниковых газов при глубоководном бурении намного превосходят те, что имеют место при разработке месторождений на суше и при малой глубине моря в силу существенно больших энергетических затрат. К тому же чем дальше от берега находится буровая установка, тем больше затраты на перевозку побочных продуктов для последующей утилизации.

**Рекреация и туризм**

Туристская отрасль очень уязвима к изменению климата. Прямые угрозы для сектора – это

потеря биоразнообразия и утрата достопримечательностей в туристских районах, а также усиливающиеся экстремальные погодные явления. Косвенные – увеличение расходов на страхование и обеспечение безопасности, нехватка и качество воды. Влияние изменения климата может привести к разным последствиям для индустрии туризма в зависимости от географического положения, местоположения и вида деятельности. Поэтому необходимы исследования на региональных уровнях – федеральных, областных, в месте расположения курорта.

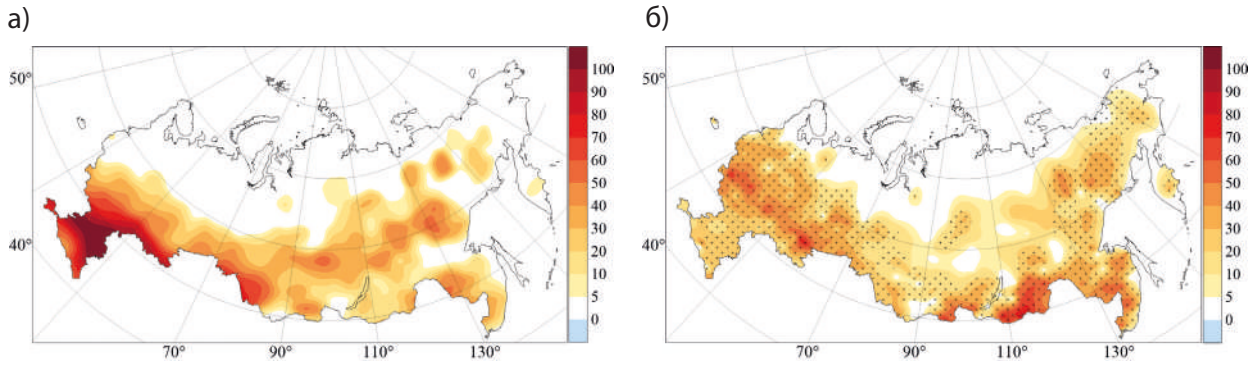



***Рис. 2.14*** *Продолжительность комфортных для рекреации (категория – «городской туризм») периодов (дни). а) 1981-2010 гг. б) Ожидаемые изменения (в среднем по ансамблю) к середине XXI века. Сценарий RCP8.5 МГЭИК*

Прогноз возможного влияния будущих изменений регионального климата на существующую пространственную структуру центров развития летнего туризма для территории России показал, что в целом изменение климата к середине XXI века благоприятно скажется на развитии летних видов рекреации в регионах, которые традиционно рассматривались как климатически-дискомфортные для летнего туризма (рис. 2.14).

В России существуют все предпосылки для развития экологического туризма. Огромная малозаселенная территория, разнообразие природных зон и ландшафтов, 29 объектов, находящихся в списке Всемирного наследия ЮНЕСКО, ежегодно привлекают все больше местных и иностранных туристов, стремящихся посетить уникальные природные регионы. По состоянию на 01.01.2019 г., в стране насчитывается 12 тыс. особо охраняемых природных территорий общей площадью 232,5 млн. га с учетом водных акваторий. В 2020 году национальные парки посетили более 8,5 млн. туристов, а к 2024 году планируется увеличить поток до 10 млн. человек в год. Оценки продолжительности комфортного периода для данного направления в базовом периоде, среднесрочной и долгосрочной перспективах на севере ЕТР, в Сибири и на Дальнем Востоке показали, что тенденция изменения термического комфорта для экотуризма в целом благоприятна: в середине столетия продолжительность комфортного сезона увеличится в среднем на месяц на Европейском севере, а к концу столетия в Мурманской области, в Республике Карелия и на юге Приморского края – на 2-3 месяца.

Изменения климатических условий создают благоприятные возможности и для развития зимнего отдыха. Оценки трендов температуры воздуха в дневные часы в Уральском и Сибирском регионах показали сокращение числа

дней в диапазоне от –25 °С до –15 °С, но увеличение их в диапазоне от –10 °С до –5 °С. При этом растет и число дней с высотой снега более 20 см. Все это значительно улучшает комфортность пребывания на открытом воздухе в холодный период года в Сибири. Комплексная оценка изменения природно-климатических горнолыжных ресурсов для территории Дальнего Востока, в которой учитывалась мощность и продолжительность залегания снежного покрова и воздействие окружающей среды на комфортное теплоощущение человека в холодное время года, также показала, что в последнее десятилетие этот регион характеризуется наиболее благоприятными биоклиматическими условиями зимнего туризма и рекреации и имеет хорошие перспективы для их дальнейшего развития.

Тем не менее при развитии туристской отрасли на территории страны необходимо учитывать и негативные последствия изменения климата, такие как увеличение повторяемости и интенсивности опасных и неблагоприятных явлений погоды, влияющих как на качество отдыха, так и на безопасность туристов: рост летней температуры в южных курортных областях, увеличение повторяемости сильных осадков и связанных с ними паводков (например, на территории Кавказского-Черноморского туристского района), увеличение повторяемости штормов; рост повторяемости селей, лавин и оползней, связанных с деградаций ледников (в горных туристских районах) и т.п. Расширение ареалов ряда инфекционных болезней, переносимых насекомыми (малярия, клещевой энцефалит), возрастание деструктивных послепожарных воздействий на лесные экосистемы и ландшафты и утрата биоразнообразия также снижают привлекательность туристских объектов для природных видов туризма и т.д.

Современные технологии, позволяющие создать необходимые условия для туристской деятельности, могут помочь туристским компаниям адаптироваться к изменению климата. С точки зрения адаптации перспективно также развитие направлений, альтернативных массовому туризму. Эти мероприятия потребуют дополнительных вложений от государства для поддержания сектора туризма в условиях климатических изменений.

# 3.

# РЕГИОНАЛЬНЫЕ ПОСЛЕДСТВИЯ ИЗМЕНЕНИЙ КЛИМАТА НА ТЕРРИТОРИИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ И НАПРАВЛЕНИЯ АДАПТАЦИИ К НИМ

*Шестой оценочный доклад МГЭИК (IPCC, 2022 г.), отмечая прогресс в планировании и осуществлении адаптации во всех секторах и регионах мира, констатирует, что прогресс этот распределяется неравномерно и с очевидными пробелами, и обращает внимание на инициативы, которые, отдавая приоритет немедленному и краткосрочному снижению климатических рисков, уменьшают тем самым возможность «трансформационной» адаптации. Кроме того, задокументированная эффективность адаптации конкретных секторов и регионов к изменениям климата, согласно МГЭИК, будет снижаться по мере усиления глобального потепления.*

*МГЭИК связывает возможность повышения эффективности адаптации во многих секторах с «интегрированными, многосекторальными решениями, направленными на устранение социального неравенства, дифференцирование ответов на климатические риски и охват разных систем». С другой стороны, с усилением глобального потепления потери и ущерб будут увеличиваться, и большее число антропогенных и природных систем достигнет пределов адаптации (причем в некоторых экосистемах «жесткие» пределы адаптации уже достигнуты). Кроме того, МГЭИК указывает на появление все большего количества свидетельств неудачной или неэффективной адаптации во многих секторах и регионах.*

# 3.1 Федеральные округа

## Центральный федеральный округ

***Природные системы. Баланс почвенного углерода.*** Ожидается существенное изменение границ природных зон: сдвиг на север хвойно-широколиственных лесов с сокращением их площади. Широколиственные леса будут занимать большую часть территории, уступив место на юге лесостепям и степям. Аридизация климата и рост повторяемости экстремальных погодных явлений представляют сегодня основные факторы климатообусловленных изменений в экосистемах ЦФО.

В качестве мер по адаптации экосистем целесообразно снижение и снятие антропогенной нагрузки, в том числе через создание и расширение существующих ООПТ для формирования экологических коридоров. Необходимо усиление профилактики пожаров, восстановление водного режима осушенных торфяников. Экосистемные функции лесов целесообразно применять для создания благоприятного микроклимата, защиты от водной и ветровой эрозии, поддержания гидрологического режима рек.

Баланс углерода в почвах в засушливые годы может быть положительным и приводить к увеличению запасов углерода за счет снижения минерализационных потерь, однако в следующие за ними более влажные годы потери углерода в результате усиления минерализации могут увеличиться, и общий баланс в почвах будет отрицательным. Изменение баланса углерода за более длительные промежутки времени может быть совсем незначительным, поскольку реагировать на изменение погодных условий в первую очередь будет активный пул почвенного углерода, доля которого в общем пуле невелика.

***Водные ресурсы.*** В период 1978-2020 гг. общие водные ресурсы были на 11%, а местные – на 9% больше, чем в предшествующий многолетний период (1936-1977 гг.). Удельная водообеспеченность ЦФО местными и общими водными ресурсами является низкой. Сравнивая два указанных периода, необходимо отметить, что водообеспеченность общими водными ресурсами в большинстве субъектов не меняется, за исключением Москвы и Московской области, где она снижается. Водообеспеченность местными водными ресурсами за второй период снижается в Белгородской, Брянской, Владимирской, Воронежской, Тамбовской и Тульской областях. Сток большинства рек ЦФО в зимний и летне-осенний периоды увеличился, соответственно, на 50-100% и 25-50%, а сток в период весеннего сезона снизился на 20-40%. В результате существенно снизились риски опасных гидрологических явлений, связанных как с сформированием очень высоких расходов воды в период весеннего половодья, так и низких расходов в меженные периоды. Только в северо-восточной части ЦФО в последние десятилетия отмечается увеличение повторяемости высоких расходов воды в период весеннего половодья.

Адаптационные мероприятия в сфере водохозяйственного комплекса в ЦФО должны включать разработку актуализированных, учитывающих произошедшие изменения водного режима схем комплексного использования

и охраны водных объектов для бассейнов Оки, Волги, Западной Двины, Дона и Днепра, и, соответственно, правил использования водных ресурсов крупных водохранилищ в пределах этих бассейнов. Для всех субъектов ЦФО, характеризующихся обилием малых антропогенно-нагруженных водных объектов и особенно для Москвы и Московской области, актуальными являются мероприятия по разработке и реализации индивидуальных и бассейновых программ по реабилитации и восстановлению водных объектов, направленных, в том числе, на снижение диффузионного загрязнения водных объектов. Дополнительные мероприятия по защите от негативного воздействия вод, кроме уже намеченных либо запланированных, должны быть проанализированы на обоснованность с учетом ожидаемого снижения максимального стока весеннего половодья.

***Сельское хозяйство.*** Теплообеспеченность сельскохозяйственных культур в ЦФО увеличивается. Температура периода вегетации (T>5 °C) за последние десятилетия повысилась на 0,6-1,2 °C при максимуме роста в летние месяцы (1,3-2,2 °C) относительно базового периода. Отмечается положительная тенденция роста весенних осадков практически на всей территории.

В сельском хозяйстве увеличение сумм температур воздуха за период активной вегетации сельскохозяйственных культур позволяет перейти от выращивания раннеспелых сортов пшеницы, ячменя и других зерновых к их позднеспелым сортам, более урожайным и более эффективно использующим запасы продуктивной влаги в ранневесенний период вегетации.

***Добывающая промышленность.*** В горнодобывающей отрасли следствием более интенсивных осадков могут стать усиление оползней и обвалов в карьерах и шахтах, их затопление из-за сбоев в работе систем водоотведения, нарушение гидрологического режима хвостохранилищ. Более частые засушливые периоды способствуют высыханию и пылению терриконов и хвостохранилищ. Увеличение числа дней без осадков в сочетании с ростом температуры в теплый период года приводит к возрастанию пожароопасности, что обусловливает значительные риски для торфоразработок и прилегающих к ним территорий и населенных пунктов.

***Транспорт.*** Значительную угрозу для транспортной инфраструктуры ЦФО представляет прогнозируемый рост летних температур и, соответственно, повторяемости и интенсивности периодов с экстремально высокими температурами. Наиболее пострадают от роста экстремальных температур южные области региона (Курская, Брянская, Воронежская). В условиях большой загруженности автодорог, характерной для данного региона, такие температуры вызовут их быстрое разрушение, увеличение колейности. Для железнодорожного транспорта жара – также достаточно опасное явление, требующее ограничения скорости поезда, что приводит к значительным сбоям в расписании (пока это единственный способ снижения риска схода с рельсов из-за искривления железнодорожного полотна). Ожидается рост повторяемости гололедно-изморозевых отложений на дорогах, связанных с повышением зимних температур, увеличением числа случаев перехода температуры воздуха через ноль и количества осадков холодного периода. В настоящее время почти вся территория ЦФО, за исключением Костромской и Ярославской областей, находится в зоне высокой опасности и риска образования гололедно-изморозевых отложений. На фоне сокращения количества осадков теплого периода в центральных и южных областях ЦФО отмечается тенденции к увеличению интенсив-

ности осадков, в частности, к возрастанию суточного количества жидких осадков. Северным областям округа (Смоленской, Тверской и Ярославской) угрожает рост паводковой опасности в связи с увеличением здесь количества осадков в летний период.

Для адаптации транспортной отрасли необходима разработка новых температурных нормативов для дорожных покрытий и расширительных швов мостов, а также укрепление кромок дорожных насыпей, использование стальной арматуры при строительстве дорог, повышение уровня размещения дорог, мостов и туннелей выше уровня паводковых наводнений.

***Производство и передача энергии.*** Ведущая роль в производстве электроэнергии в ЦФО принадлежит тепловым электростанциям. Изменение климата оказывает значительное влияние на безопасное и эффективное функционирование АЭС и ТЭС. Наиболее уязвимыми к изменению температурно-влажностного режима оказываются системы охлаждения энергоблоков электростанций. Увеличение интенсивности, продолжительности и повторяемости волн тепла и периодов без осадков может привести к уменьшению выработки электроэнергии и даже остановке энергоблоков. В связи с изменением температурно-влажностного режима на территории ЦФО возрастет вероятность высокой пожароопасности и смерчей, представляющих значительную угрозу для агрегатов электростанций и ЛЭП, осуществляющих внешнее электроснабжение станций. Прогнозные оценки показывают, что к середине XXI века ожидается усиление указанных тенденций.

В электроэнергетике особое значение приобретают обновление или модернизация всей системы энергогенерирующих объектов, включая улучшение рабочих характеристик теплообменников и систем охлаждения ТЭС и АЭС, установку кондиционеров и дополнительных охлаждающих модулей в системы вентиляции, а также резервных систем охлаждения, работающих на дизельном топливе. Для бесперебойной эксплуатации ЛЭП необходимы постоянный контроль за возникающими метеорологическими нагрузками вдоль высоковольтных линий и уточнение климатических параметров в районах эксплуатации и проектирования новых ЛЭП с учетом данных наблюдений последних лет по репрезентативным метеостанциям.

***Жилищно-коммунальное хозяйство. Строительство.*** Изменения климата оказывают неоднозначное воздействие на функционирование ЖКХ в регионе. В настоящее время величина градусо-суток отопительного периода, являющаяся индексом теплопотребления, уменьшается в регионе со скоростью 100-150 °С•сут/10 лет. Потепление в зимний сезон сопровождается увеличением числа дней с переходом температуры через 0 °С, которое приводит к ускоренному старению ограждающих конструкций зданий и росту эксплуатационных расходов на их содержание. Летом ожидается значимое увеличение числа жарких дней и такого показателя, как дефицит холода, являющегося индексом энергопотребления в летний сезон и свидетельствующего о перегреве зданий и ухудшении комфортности жилища при отсутствии кондиционирования. Наибольшее увеличение дефицита холода ожидается в Белгородской и Воронежской областях (300 °С•сут и более). Изменение режима атмосферных осадков на территории ЦФО (рост экстремумов, увеличение продолжительности периодов с дефицитом осадков) негативно отразится на функционировании городского хозяйства.

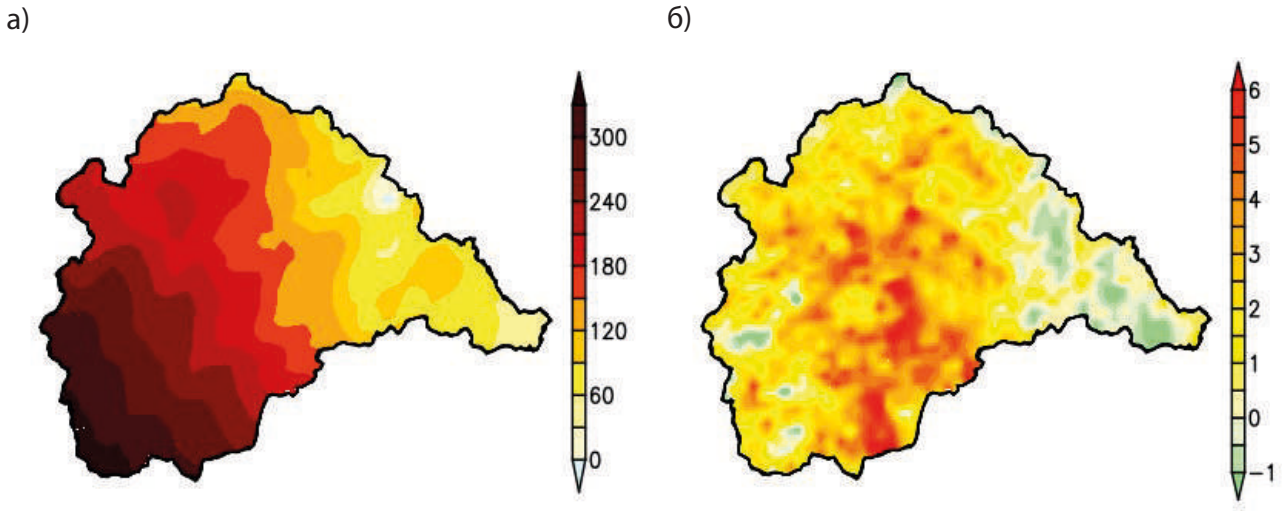



***Рис. 3.1*** *Изменение специализированных климатических показателей на территории ЦФО в 2050-2059 гг. по отношению к 1990-1999 гг.: а) дефицит холода (°С•сут); б) максимальная продолжительность непрерывного периода с осадками меньше 5 мм/сутки для теплого сезона (дни). Сценарий RCP8.5 МГЭИК*

В силу высокой плотности населения в регионе одной из наиболее актуальных адаптационных задач является технологическая модернизация систем теплоснабжения, которая может позволить извлечь выгоду, связанную с потеплением, путем уменьшения уровня потребления энергии в холодный сезон на 15% и более. Для поддержания оптимального микроклимата в помещениях необходимо повышение уровня инженерного обеспечения зданий с учетом роста экстремальных температур и энергопотребления в летний сезон. Особую актуальность приобретает задача проектирования и внедрения эффективных систем кондиционирования, максимально полно учитывающих особенности климатических условий региона. Изменение режима атмосферных осадков потребует обновления соответствующих нормативных параметров и модернизации системы водоотведения, а также принятия мер, направленных на повышение эффективности водопотребления.

***Рекреация и туризм.*** Повышение температуры воздуха окажет негативное влияние на качество основного в столичном регионе культурно-познавательного вида рекреации. Увеличение повторяемости и продолжительности волн тепла летом в сочетании с растущим числом дней с пожарной опасностью приведет к значительному сокращению периода, благоприятного для посещения столицы и культурных городских центров – Владимира, Ярославля и др. Изменения климата окажут влияние и на зимние виды отдыха. В настоящее время северо-восточные области (Владимирская, Костромская и Ярославская) имеют преимущества для развития зимних видов спорта. Здесь наиболее продолжительный, с ноября по начало апреля, период с высотой снежного покрова более 20 см, наибольшее число дней с комфортным для активного зимнего отдыха диапазоном температур. Однако начавшаяся в середине 1980-х гг. тенденция уменьшения высоты снежного покрова и продолжительности его залегания уже к середине века лишит указанные регионы рекреационных преимуществ.

Для туристской деятельности актуальна разработка мероприятий быстрого реагирования по защите отдыхающих и туристов от воздействия аномально высоких температур в туристских центрах региона.

## Северо-Западный федеральный округ

***Природные системы. Баланс почвенного углерода.*** Ожидается дальнейшее изменение границ природных зон СЗФО. Площади территорий, соответствующих современным условиям высокоарктических тундр и полярных пустынь, могут сократиться до минимума на островах, южная часть округа будет пригодна для южной тайги, а на западе появятся фрагменты, благоприятные для развития смешанных и широколиственных лесов. Прогнозируется дальнейшее увеличение продуктивности экосистем, связанное со сменой биомов.

В качестве мер по адаптации экосистем целесообразно снижение и снятие антропогенной нагрузки, в том числе через создание и расширение существующих ООПТ для формирования экологических коридоров и климатических убежищ. Необходимы усиление профилактики пожаров, контроль численности насекомых-вредителей и своевременная борьба с ними, восстановление водного режима нарушенных торфяников. Поддержание высокой степени залесенности территории важно для снижения риска наводнений и ущерба от них, а также как мера защиты от водной эрозии.

Рост температуры воздуха и уменьшение количества осадков могут приводить к уменьшению запасов углерода за счет усиления минерализационных потерь. Аналогичное влияние на баланс углерода в почвах будут оказывать и увеличивающиеся риски пожаров, и расширение масштабов поражения лесов насекомыми-вредителями.

***Водные ресурсы.*** В среднем за период 1978-2020 гг. общие и местные водные ресурсы, удельная водообеспеченность территории и населения были на 9% больше, чем в предшествующий многолетний период. Во всех субъектах, за исключением Ленинградской и Калининградской областей, в современный период водообеспеченность увеличилась за счет увеличения стока и снижения численности населения. Категория водообеспеченности в СЗФО – очень высокая.

В сфере управления водными ресурсами целесообразны мероприятия по защите населения и объектов экономики от негативного воздействия вод, особенно в бассейне Северной Двины, а также развитие региональных систем гидрологического и гидрохимического мониторинга в регионах с повышенной антропогенной нагрузкой на водные объекты (г. Санкт-Петербург, Ленинградская область).

***Сельское хозяйство.*** В СЗФО наблюдаются рост теплообеспеченности сельскохозяйственных культур, увеличение продолжительности периода вегетации (T>5 °C) и увеличение сумм температур воздуха за период с температурой, превышающей 10 °C. При сохранении наблюдаемых темпов потепления в регионе должны улучшаться условия для животноводства в результате роста кормовой базы и сокращения периода стойлового содержания скота. Ожидается повышение продуктивности сенокосов и пастбищ, в том числе и за счет увеличения продолжительности безморозного периода.

В сельском хозяйстве увеличение доз органических удобрений для улучшения питания рас-

тений и воспроизводства плодородия почв будет способствовать увеличению урожайности сельскохозяйственных культур.

***Добывающая промышленность.*** Производственные процессы нефте- и газодобычи в СЗФО уязвимы к воздействию как опасных явлений (экстремальных температур, осадков, ветровых и гололедных нагрузок), так и медленных климатических изменений (роста уровня моря, разрушения морских побережий, деградации многолетнемерзлых пород). Наблюдаемое и ожидаемое в будущем повышение температуры воздуха способствует улучшению условий для работ на открытом воздухе и снижению затрат на отопление. Однако связанное с потеплением таяние льдов может привести к росту айсберговой и штормовой активности в Арктическом бассейне, что затруднит добычу полезных ископаемых на шельфе. Рост температуры воздуха обуславливает увеличение пожароопасности, что создает дополнительные риски для нефте- и газодобычи. Деградация многолетнемерзлых пород увеличивает вероятность аварий на шахтах в результате обрушения горных пород. Погодно-климатические риски при открытом способе добычи полезных ископаемых обусловлены усилением оползневых процессов в карьерах из-за возрастания количества осадков и повторяемости значительных (более 1 мм) суточных сумм осадков, а также удлинения периода формирования оползней в связи с увеличением числа дней с положительной температурой воздуха и почвы.

Адаптационные мероприятия в добывающей отрасли должны включать создание инфраструктурных объектов по защите водных ресурсов, уменьшению береговой эрозии, снижению рисков наводнений и подтоплений карьеров и шахт.

***Транспорт.*** В транспортной отрасли наиболее благоприятно изменения климата скажутся на функционировании внутреннего водного транспорта. Прогнозируемое увеличение среднегодовой температуры повлечет за собой удлинение навигации на всех реках севера региона в пределах одного месяца. В целом на севере региона ожидаются благоприятные условия и для морского судоходства в связи с уменьшением ледовитости Белого и Баренцева морей и увеличением ежегодного периода с открытой водой, свободной ото льда, что будет определять удешевление морских перевозок в Арктике. К неблагоприятным факторам относятся сокращение времени использования зимних дорог («зимников») на севере региона; более частое возникновение гололедицы на дорогах, связанное с увеличением чередования оттепелей и заморозков и, как следствие, повышение числа аварий, снижение пропускной способности и больший износ дорог; рост повторяемости сильных паводков и ледовых заторов, вызывающих разрушение дорог и мостов, рост повторяемости и интенсивности волн тепла неблагоприятно скажется на состоянии и условиях эксплуатации автомобильных и железных дорог в Новгородской и Псковской областях.

Адаптационные мероприятия для транспорта включают регулярное проведение профилактических мер с целью предотвращения зимней скользкости на дорожном покрытии; развитие системы погодного мониторинга и оценки состояния дорожного покрытия для целенаправленного выбора стратегий работ по зимнему содержанию дорог и превентивных мероприятий при угрозе образования скользкости на покрытии.

***Производство и передача энергии.*** В энергетическом секторе генерирующие мощности СЗФО

определяются тепловыми, атомными и гидроэлектростанциями. При изменении климата основными угрозами для ТЭС и особенно АЭС являются выход из строя оборудования станций, снижение их КПД из-за аномально высоких температур воздуха и чрезмерного нагрева воды, используемой для охлаждения энергоблоков. Согласно результатам сценарного прогнозирования, на территории СЗФО ожидается увеличение продолжительности волн тепла. К середине XXI века в южной части округа длительность наиболее продолжительных волн тепла может увеличиться на восемь-девять дней. Кроме того, к концу XXI века ожидается увеличение числа суток с высоким классом пожарной опасности от 6 до 11 суток. В СЗФО имеются области с недостаточно развитой системой линий электропередач и транспортных коммуникаций. Энергетические потребности этих районов могут быть удовлетворены за счет имеющихся ветровых ресурсов побережий Финского залива, Ладожского озера, Балтийского, Белого и Баренцева морей. В настоящее время идет активное проектирование и строительство ветропарков и ветроэнергетических станций. С вводом в эксплуатацию Мурманской ВЭС мощностью 200 МВт в округе появится самый крупный ветропарк за Полярным кругом.

Для адаптации энергетического сектора необходимо совершенствование конструкций ТЭС и АЭС с учетом наблюдаемых и прогнозируемых изменений значений специализированных климатических характеристик с целью снижения рисков аварий и повышения эффективности генерации энергии, внедрение возобновляемых источников энергии, прежде всего биоэнергетических и ветровых. Для повышения надежности ЛЭП целесообразно использование усовершенствованных систем мониторинга гололедообразования и принятие мер по ликвидации снегоналипания.

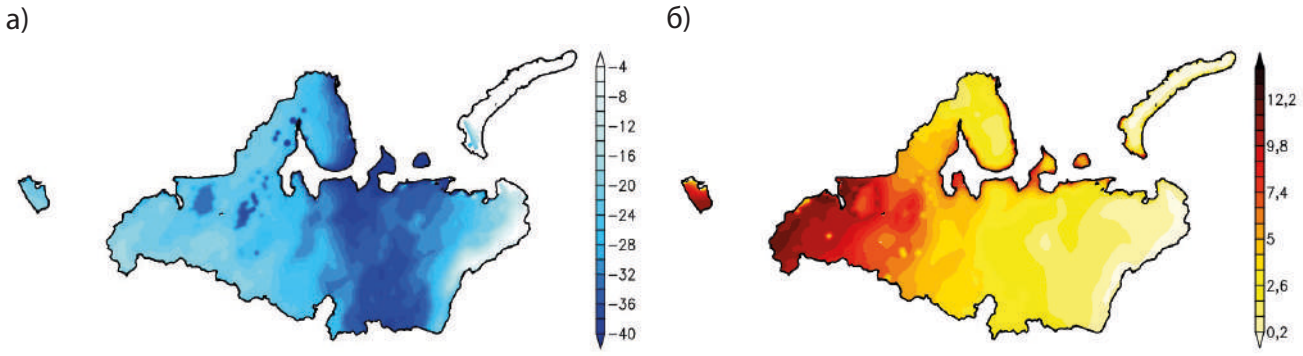



***Рис. 3.2*** *Изменение специализированных климатических показателей на территории СЗФО в 2050-2059 гг. по отношению к 1990-1999 гг.: а) продолжительность отопительного периода (дни); б) число дней с переходом температуры воздуха через 0 °С (дни). Сценарий RCP8.5 МГЭИК*

***Жилищно-коммунальное хозяйство. Строительство.*** На востоке СЗФО (в Ненецком АО, в Республике Коми) в настоящее время отмечается наибольшая для территории России скорость уменьшения продолжительности отопительного периода (до 5 сут/10 лет). Ожидаемое сохранение этой тенденции может способствовать уменьшению уровня потребления энергии в холодный период года. На западе СЗФО процесс потепления сопровождается массовыми «перетопами» и «недотопами», снижающими уровень комфортности жилых зданий. Увеличение в зимний сезон числа дней с переходом температуры воздуха через 0 °С приведет к ускоренному старению ограждающих конструкций зданий и дополнительным расходам

на их эксплуатацию. Рост экстремумов осадков, сочетающийся с увеличением их интенсивности, также негативно отразится на функционировании городского хозяйства.

Одной из первоочередных задач адаптации является модернизация систем теплоснабжения и тепловых сетей, обеспечивающая возможность качественного регулирования параметров теплоносителя в зависимости от метеорологических условий и способствующая реальному сокращению энергопотребления в холодный сезон. В условиях роста экстремальности осадков актуальна также модернизация системы водоотведения на основе использования новых нормативных значений интенсивности осадков. В западных районах СЗФО для уменьшения влияния температурно-влажностных деформаций на ускоренное старение зданий важно обеспечить при строительстве новых объектов использование материалов, имеющих надлежащую стойкость в отношении циклов замораживания и оттаивания и повышенную коррозийную устойчивость различных элементов, а также конструктивные решения, исключающие повышение влагосодержания строительных конструкций за счет атмосферных воздействий. Специальное внимание должно быть уделено мониторингу эволюции многолетнемерзлых грунтов в регионе. Для уменьшения ущерба, связанного с высокими геокриологическими рисками на северо-востоке СЗФО, необходимы изменение норм строительного проектирования с учетом ослабления несущей способности многолетнемерзлых грунтов, а также применение инженерных мер адаптации существующей инфраструктуры.

***Рекреация и туризм.*** К середине XXI века ожидается, что большая часть территории будет относиться к условно неблагоприятной туристской зоне, а условия крайнего дискомфорта сохранятся только на севере Архангельской области и Ненецкого автономного округа. Основной вклад в снижение уровня дискомфортности вносит рост зимних температур. В Мурманской, Вологодской, на юге Архангельской областей и в Карелии складываются благоприятные условия для развития горнолыжного туризма. К середине столетия наиболее благоприятные условия прогнозируются для Мурманской области, единственного региона СЗФО с положительной динамикой роста высоты снежного покрова. В то же время горнолыжные курорты Ленинградской области, расположенные на высотах до 200 м, уже сейчас испытывают влияние изменения климата. Основной негативный вклад вносит состояние снежного покрова: уменьшение числа дней с высотой снега 20 см и более, увеличение частоты и интенсивности жидких осадков зимой. В летний период практически вся территория округа находится в зоне теплового комфорта и субкомфорта, что позволяет развивать здесь любые виды рекреации. В прибалтийских регионах СЗФО (Ленинградская и Калининградская области), где развивается пляжный туризм, к середине столетия купальный сезон увеличится на 15-20 дней в году. В связи с повышением температуры воздуха, здесь могут сложиться дополнительные возможности для развития активных водных видов туризма. Климатическими рисками для пляжного сезона в этом регионе служит развитие гипоксийно-аноксийных условий в Финском заливе Балтийского моря, в значительной степени связанных с повышением температуры воды.

Для адаптации в сфере туризма и рекреации целесообразно развитие горнолыжных курортов в Мурманской области и в Карелии; диверсифи-

кация туристских продуктов зимней рекреации на территории Ленинградской области; разработка правил поведения для сектора арктического туризма и обеспечение контроля за их соблюдением для защиты хрупких экосистем Арктического бассейна.

## Приволжский федеральный округ

***Природные системы. Баланс почвенного углерода.*** Уязвимость экосистем ПФО к изменению климата связана в первую очередь с лесными пожарами, засухами и летними ветровыми событиями, в меньшей степени – с биогенными факторами. К наиболее частым явлениям, усиливающимся на территории ПФО в результате изменения климата, относится засуха. Результатом засушливых климатических условий являются деградация и опустынивание земель и, как следствие, изменение баланса углерода почв. Возможные направления адаптации видов и экосистем и использования экосистемных услуг для адаптации аналогичны предложенным для ЦФО. Основными адаптационными мерами по снижению воздействия климатических явлений на процессы деградации почв являются введение систем прогнозирования засухи и посадка противоэрозионных лесных насаждений.

***Водные ресурсы.*** Основные реки ПФО – Волга, Кама, Белая, Урал, зарегулированы водохранилищами. Во внутригодовом распределении стока рек с естественным водным режимом в последние десятилетия произошли изменения, характеризующиеся, прежде всего, увеличением зимнего и летне-осеннего стока. Наиболее значительный его рост по сравнению с периодом до 1977 года наблюдается на реках южной и юго-западной части ПФО, соответственно, на 100-150% и 50-100%. Здесь же отмечается и существенное, на 40-60%, снижение стока в весенние месяцы. Напротив, в восточной части ПФО на реках, сток которых формируется на склонах Уральских гор, а также на севере территории, весенний сток в последние десятилетия увеличился. Здесь возрастает повторяемость опасных максимальных расходов воды весеннего половодья, что повышает риски наводнений. Вместе с тем на всей территории ПФО уменьшилась опасность формирования низких расходов воды редкой повторяемости в меженные периоды.

Управление водными ресурсами ключевой водохозяйственной системы ПФО – Волжско-Камского каскада водохранилищ целесообразно осуществлять интегрированно, с учетом произошедших и ожидаемых изменений в составляющих водного и водохозяйственного балансов отдельных водохранилищ каскада.

***Сельское хозяйство.*** Поволжье – самая засушливая территория земледельческой зоны России, зона рискованного земледелия, на которую приходится около 22% валового сбора зерновых и зернобобовых культур в целом. За последние десятилетия повсеместно наблюдается рост теплообеспеченности сельскохозяйственных культур как в теплый период года, так в период перезимовки сельскохозяйственных культур. Рост зимних температур, в том числе в январе, критическом для зимующих культур, достигает 1,0-1,2 °С за десятилетие, что свидетельствует об улучшении условий перезимовки озимой пшеницы, которая дает примерно половину валового сбора зерновых и зернобобовых в этом регионе. Наблюдается положительная тенденция к росту весенних осадков за последние десятилетия, которая оценивается величиной 7-10% за 10 лет.

В самых засушливых областях, Оренбургской и Саратовской, в летние месяцы вегетационного периода количество осадков уменьшается, а скорость снижения составляет от –15% до –10% за десятилетие. На севере ПФО (Пермский край, Кировская область) значимых отклонений показателей влагообеспеченности относительно базового периода не наблюдается.

В сельском хозяйстве ПФО в качестве адаптационных мер целесообразны более широкое внедрение влагосберегающих технологий (снегозадержание, уменьшение непродуктивного испарения, ультраранние сроки сева и др.), расширение посевов засухоустойчивых культур, расширение посевов озимых культур, расширение орошаемых площадей. Необходимы постоянный мониторинг саранчовых вредителей, своевременное проведение агротехнических мероприятий, обработки инсектицидами, использование устойчивых сортов культурных растений.

***Добывающая промышленность.*** Наибольшее влияние на добывающую промышленность оказывают увеличение температуры воздуха и некоторое уменьшение осадков в теплый период года, особенно на юге ПФО. Эти факторы приводят к росту пожароопасности, что обуславливает значительные риски для добычи нефти и газа. Более теплая погода ведет к уменьшению добычи газа, т.к. рост повторяемости температуры воздуха выше 15 °С приводит к падению мощности компрессорных станций. Наблюдаемая тенденция увеличения месячных и суточных сумм осадков на северо-востоке округа, в предгорьях Урала может создавать угрозу для добычи полезных ископаемых в шахтах и карьерах, вызывая оползни, осыпи, обрушения по бортам действующих и отработанных карьеров, а также провоцируя риски затопления шахт. По результатам климатического моделирования, к середине XXI века ожидается усиление наблюдаемых тенденций изменения температурно-влажностного режима.

***Транспорт.*** Влияние изменения климата на работу транспортной инфраструктуры в этом регионе будет связано прежде всего с ростом опасных метеорологических явлений, таких как сильный ветер, град, грозы и т.д. Изменения температурно-влажностного режима теплого периода будут наиболее заметно влиять на функционирование наземного транспорта на юге региона, где ожидается рост температур в среднем на 2-3 °С. В Оренбургской, Самарской и Саратовской областях продолжительность периодов с температурой выше 30 °С увеличится почти на месяц и, следовательно, увеличится число дней с ограничением движения для большегрузов по дорогам федерального значения, возможен сбой в расписании движения поездов на Куйбышевской железной дороге. Функционирование водного транспорта в настоящее время затруднено в связи с маловодностью рек Волжско-Камского бассейна. Рост температуры воздуха на фоне уменьшения осадков теплого периода на большей части ПФО уменьшит летний сток. Снижение водности рек усилит аккумулятивные процессы в них и вызовет их дополнительное обмеление. Все эти процессы будут оказывать негативное влияние на судоходство. Начиная с 2003 г. идет снижение минимального (летне-осеннего) стока и в Башкирии. Наиболее благоприятный прогноз на севере округа – увеличение количества зимних осадков, подъем температуры холодного периода, поздний ледостав приведут к росту зимнего стока и увеличению водности реки Кама.

Для безопасной работы транспорта необходимо создание защитных мер по предотвращению образования снежных заносов путем устройства постоянных или временных средств

снегозащиты. Необходима разработка мероприятий по повышению пропускной способности инфраструктуры внутренних водных путей Волжско-Камского бассейна и обеспечению глубин, необходимых для судоходства.

***Производство и передача энергии.*** Электроэнергетика ПФО представлена всеми видами электростанций: тепловыми, атомными и гидроэлектростанциями. Наблюдаемый рост максимальных температур воздуха и повторяемости жарких дней создает угрозу для эффективного охлаждения энергоблоков АЭС и ТЭС из-за роста температуры охлаждающей воды. К середине XXI века на территории ПФО ожидаются рост летних экстремумов температуры и увеличение средней непрерывной продолжительности засушливых периодов, что может обусловить значительные риски для систем охлаждения энергоблоков.

ПФО является одним из лидеров по реализации программы по развитию возобновляемой энергетики. Наибольшими солнечными ресурсами обладают районы Оренбургской области и Башкортостан, где действует более пятнадцати солнечных электростанций. По установленной мощности СЭС ПФО занимает в России второе место после ЮФО.

Территория ПФО расположена в зоне централизованного энергоснабжения Российской Федерации. На перебои в работе сетевой инфраструктуры оказывают влияние сильные ветры и ежегодно наблюдающиеся ледяные дожди, которые приводят к образованию больших гололедных нагрузок на провода воздушных линий на обширных территориях. Для территории ПФО характерно образование смерчей. Наиболее часто они наблюдаются в Нижегородской, Пензенской областях, Республике Башкортостан и Чувашской Республике. Все упомянутые явления создают риски аварий и отключений на линиях электропередач, которые необходимо предотвращать.

Для адаптации энергетической отрасли необходим детальный учет наблюдаемых и прогнозируемых изменений значений климатических параметров при проектировании новых АЭС и ТЭС и модернизации уже существующих энергетических объектов с целью повышения надежности и эффективности их функционирования в ближней и дальней перспективе, развитие всех видов ВИЭ (солнечных, ветровых, малых ГЭС, биоэнергетики), мониторинг состояния ЛЭП.

***Жилищно-коммунальное хозяйство. Строительство.*** К середине XXI века величина градусо-суток отопительного периода, являющаяся индексом теплопотребления, согласно модельным расчетам, уменьшится в регионе на 1000-1600 °С•сут. Потепление в зимний сезон сопровождается увеличением числа дней с переходом температуры через 0 °С, которое приводит к ускоренному старению ограждающих конструкций зданий и росту эксплуатационных расходов на их содержание. Эта тенденция наиболее выражена на юго-западе ПФО – в Саратовской и Оренбургской областях. Летом прогнозируется значимое увеличение числа жарких дней и такого показателя как дефицит холода, являющегося индексом энергопотребления в летний сезон и свидетельствующего о перегреве зданий и ухудшении комфортности жилища при отсутствии кондиционирования. Наибольшее увеличение дефицита холода ожидается в Саратовской области (300 °С•сут и более). Изменение режима атмосферных осадков на территории ПФО (рост экстремумов, увеличение продолжительности периодов с дефицитом осадков) может привести к проблемам с водоотведением и водообеспечением.

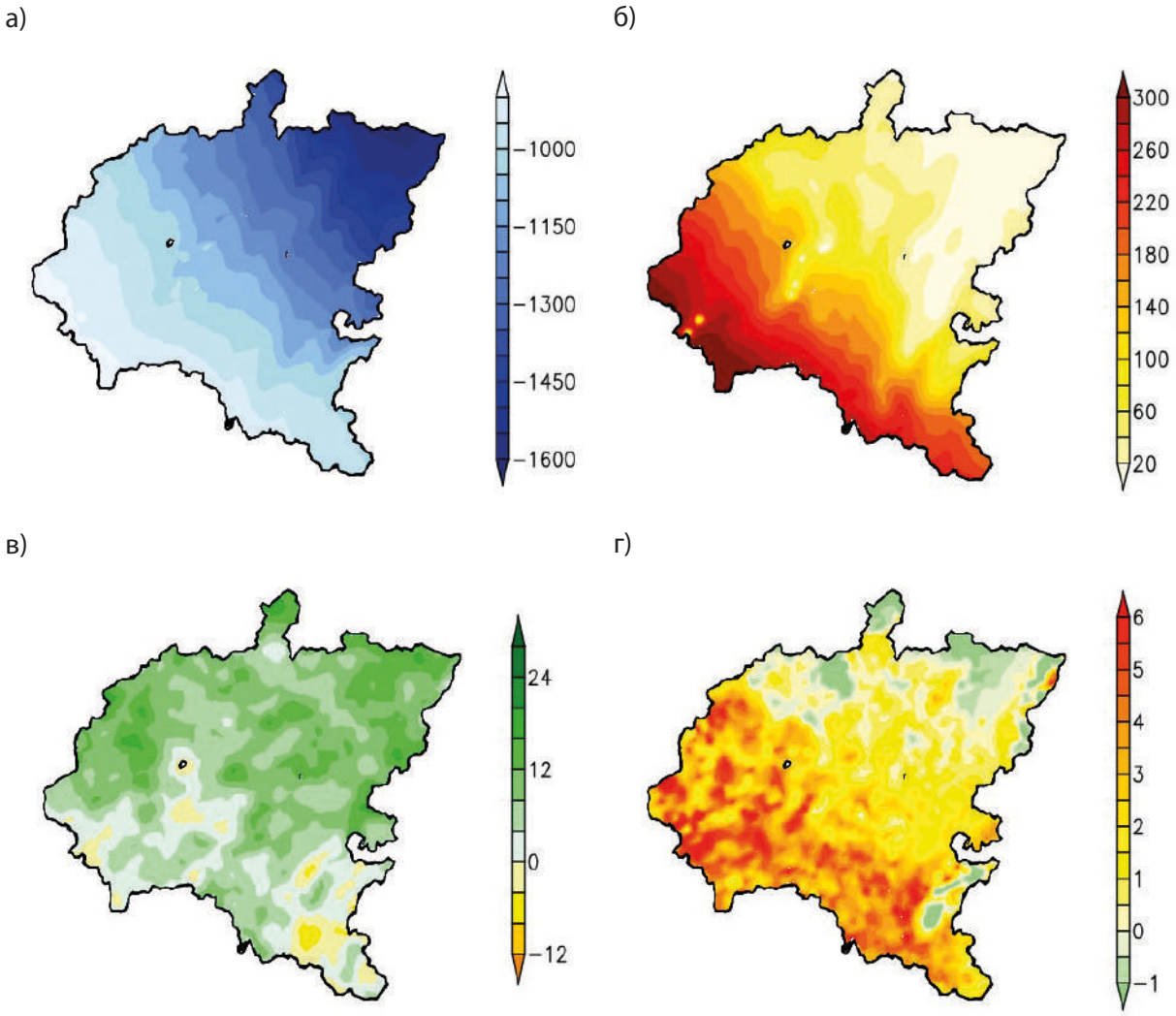



***Рис. 3.3*** *Изменение специализированных климатических показателей на территории ПФО в 2050-2059 гг. по отношению к 1990-1999 гг.: а) градусо-сутки отопительного периода (°С•сут); б) дефицит холода (°С•сут); в) суточный максимум осадков теплого сезона (%); г) максимальная продолжительность непрерывного периода с осадками меньше 5 мм/сутки для теплого сезона (дни). Сценарий RCP8.5 МГЭИК*

Одной из первоочередных задач адаптации является модернизация систем теплоснабжения, которая может привести к уменьшению энергопотребления в холодный сезон более чем на 15% по отношению к базовым значениям конца XX века. Для поддержания оптимального микроклимата в помещениях во все сезоны года необходимо повышение уровня инженерного обеспечения зданий с учетом роста экстремальных температур и энергопотребления в летний сезон. На юго-западе ПФО – в Саратовской и Оренбургской областях – с целью уменьшения влияния температурно-влажностных деформаций на ускоренное старение зданий в зимний сезон важно обеспечить при строительстве новых объектов использование материалов, имеющих надлежащую стойкость в отношении циклов замораживания и оттаивания и повышенную коррозийную устойчивость различных элементов. Для предотвращения критических ситуаций с водоснабжением в условиях увеличения продолжительности периодов с дефицитом осадков желательно принятие превентивных мер, направленных на повышение

эффективности водопотребления населением, а также в промышленном производстве и сельском хозяйстве. В контексте обеспечения надежности и безопасности зданий и сооружений особого внимания требует оценка рисков, обусловленных несоответствием стандартов проектирования реальным климатическим условиям. В первую очередь это относится к анализу возможных атмосферных нагрузок (снеговых, ветровых, гололедных), а также критических температурных воздействий, связанных с длительным воздействием экстремально-высоких температур.

***Рекреация и туризм.*** В Кировской и Нижегородской областях, в Республике Татарстан и в Пермском крае на фоне уменьшения числа дней с экстремально низкими температурами произойдет заметное увеличение числа дней с относительно благоприятной погодой, которая способствует рекреационной деятельности. Повышение средних температур теплого периода также вызовет некоторое увеличение продолжительности комфортного периода для летнего туристского сезона и приток туристов в северных и центральных областях округа, но в южных областях региона рост температуры, увеличение продолжительности на 10-20 дней периода с температурой выше 30 °C на фоне сокращения количества осадков будут сопровождаться значительным увеличением числа дней с сухим дискомфортом.

Для туристской деятельности необходимы формирование и реализация стратегий маркетинга для развития зимних видов рекреации в Кировской и Нижегородской областях, в Республике Татарстан и в Пермском крае.

## Южный федеральный округ

***Природные системы. Баланс почвенного углерода.*** На территории ЮФО прогнозируется расширение зоны пустынь. На равнинной части округа иссушение степей и расширение пустынь приведут к сокращению продуктивности экосистем, а также потере накопленного углерода. Будет усиливаться деградация сохранившихся степных болот.

В качестве мер по адаптации экосистем предлагается снижение чрезмерной пастбищной и другой антропогенной нагрузки, в том числе через создание и расширение существующих ООПТ для формирования экологических коридоров и климатических убежищ. Необходимо усилении мер по защите от пожаров, сохранению и восстановлению водно-болотных угодий, защите от роста численности насекомых-вредителей, предотвращение нарушения растительного покрова на крутых горных склонах.

Целесообразно использование защитных лесов для стабилизации склонов и уменьшения риска селей, склоновой эрозии. В равнинной части округа возможно использование экосистемных услуг в озеленении городов, использование лесополос и защитных лесов для сельского хозяйства. Предотвращение потерь углерода в почвах может быть достигнуто путем внедрения современных углеродосберегающих технологий в сельском хозяйстве.

***Водные ресурсы.*** В среднем за 1978-2020 гг. водные ресурсы ЮФО были на 11% выше, чем за предшествующий многолетний период (1936-1977 гг.). Водообеспеченность местными водными ресурсами является низкой

в Краснодарском крае и катастрофически низкой в Астраханской, Волгоградской, Ростовской областях и в Республике Крым – ниже 1 тыс. $м^3$/чел. в год. В последние десятилетия произошло увеличение удельной водообеспеченности на 7% общими водными ресурсами, а водообеспеченность местными водными ресурсами осталась практически неизменной. В горной и предгорной частях территории ЮФО в условиях происходящих изменений климата возросла опасность наводнений в результате дождевых паводков, в том числе быстроразвивающихся.

С учетом учащения экстремальных явлений гидрологического характера (наводнения, быстроразвивающиеся паводки, продолжительные маловодья) адаптационные мероприятия ЮФО должны включать развитие системы гидрологического мониторинга, раннего предупреждения и оповещения об опасных гидрологических явлениях (Краснодарский край, Республика Крым), проведение комплекса мероприятий по обеспечению безопасной жизнедеятельности в потенциально затапливаемых прибрежных территориях и гарантированному водообеспечению. Для ключевого водного объекта ЮФО – Цимлянского водохранилища – требуется комплекс мероприятий как по экологическому оздоровлению, так и по актуализации Правил использования водохранилища с учетом вероятного учащения продолжительных периодов маловодий.

***Сельское хозяйство.*** ЮФО играет ведущую роль в производстве зерна в России (около 25% валового сбора зерновых и зернобобовых культур в целом). За последние 20 лет тенденция к росту урожайности озимой пшеницы в Краснодарском крае, по данным Росстата, оценивается величиной 5-7 ц/га за десятилетие. Достигнутый уровень урожайности озимой пшеницы в этом регионе показывает, что применение новых технологий возделывания сельскохозяйственных культур позволяет получать высокие урожаи и в условиях роста засушливости климата. Эти технологии включают агротехнические и агрономические мероприятия – приемы обработки почвы, внесение удобрений по научно-обоснованным нормам, подготовку семян к посеву, посев, уход за посевами, борьбу с болезнями и вредителями и др. Использование новых засухоустойчивых сортов – один из наиболее эффективных путей адаптации зернового хозяйства к изменению климата в этом регионе.

***Добывающая промышленность.*** Рост температуры приземного воздуха способствует росту пожароопасности, что обусловливает значительные риски для добычи как нефти и газа, так и угля. Более теплая погода может вызывать уменьшение добычи природного газа из-за падения мощности компрессорных станций. С ростом температуры воздуха возрастает риск высыхания и пыления терриконов, что может негативно повлиять на экологическую ситуацию в районах угледобычи в Ростовской области. Интенсивные осадки, выпадающие за короткие интервалы времени, представляют значительную опасность для работы шахт и могут приводить к катастрофическим последствиям. Изменение температурно-влажностного режима в Астраханской и Волгоградской областях способствует нарушению водно-солевого баланса озер Эльтон и Баскунчак, где добывается до 90% поваренной соли в России. В перспективе такие процессы могут дестабилизировать добычу соли в этом регионе. К середине XXI века вероятно усиление указанных тенденций климатических изменений.

В секторе горнодобычи целесообразно проводить мониторинг климатических воздействий на объекты добывающей промышленности на протяжении всего жизненного цикла, начиная от разработки проектов до вывода объектов из эксплуатации. В условиях повышения температуры воздуха необходим поиск новых решений для эффективного охлаждения подземных сооружений шахт.

***Транспорт.*** Прогнозируемые повышение зимней температуры у поверхности и рост количества зимних осадков увеличат повторяемость условий возможного образования гололедно-изморозевых отложений к середине XXI века. Особенно резко возрастет число дней с такими условиями в северных районах Ростовской и на всей территории Волгоградской областей. На фоне прогнозируемого роста температуры, увеличения периодов без осадков и уменьшения осадков теплого периода на 5-10% к середине XXI века на всей территории ЮФО, за исключением районов Черноморского побережья Кавказа, ожидается рост повторяемости пыльных бурь. Прогнозируемый рост максимальной суточной интенсивности осадков в Азовско-Черноморском регионе представляет большую опасность для автомобильного и железнодорожного транспорта, т.к. влечет за собой повышение вероятности ливневых наводнений и, как следствие, разрушение объектов транспортной инфраструктуры.

Для адаптации транспортной отрасли актуальны разработка высококачественных инновационных вяжущих материалов для строительства и капитального ремонта дорожного покрытия; внедрение современных методов логистики для регулировки интенсивности движения; повышение высоты мостов, защита туннелей и сквозных подъездных путей; создание берегозащитных сооружений вдоль железнодорожного пути Туапсе – Сочи, проходящего непосредственно вдоль моря.

***Производство и передача энергии.*** Энергетический комплекс ЮФО представлен несколькими видами генерации, среди которых преобладают тепловые электростанции. Наряду с тепловыми станциями в округе энергию также генерируют ГЭС. Самой мощной из них является Волжская ГЭС, которая входит в Волжско-Камский каскад и является крупнейшей на Волге и на всей территории европейской части России. Атомная энергетика представлена Ростовской АЭС. Эффективность и безопасность работы тепловых и атомных электростанций напрямую зависят от температуры наружного воздуха и доступности воды для охлаждения энергоблоков. В связи с глобальным потеплением на юге ЕТР заметно возросли интенсивность, повторяемость и длительность волн тепла, а также число дней с температурой воздуха выше 30 °С, обусловливающие значительные погодно-климатические риски для энергетического комплекса ЮФО. По результатам сценарного прогнозирования характеристик температурно-влажностного режима ожидается дальнейшее усиление наблюдаемых тенденций, что может стать фактором, ограничивающим мощности ТЭС и АЭС.

Оптимальным решением проблем энергодефицита ЮФО являются развитие альтернативной энергетики, максимальная экономия всех видов энергетических и водных ресурсов, а также интенсивное внедрение энергосберегающих технологий. ЮФО имеет экономический потенциал по всем видам ВИЭ. Согласно оценкам будущих изменений климата, прогно-

зируемые в ЮФО увеличение прихода суммарной солнечной радиации и рост температуры положительно скажутся на работе солнечных коллекторов.

Большой ущерб ЛЭП наносят ветровые и гололедные нагрузки, повторяемость которых увеличивается. По гололедным нагрузкам территория округа относится к особо опасным гололедным районам. Экстремальные значения веса гололедных отложений на проводах воздушных линий могут достигать 4 кг. Согласно прогнозным оценкам, увеличение числа переходов среднесуточной температуры через 0 °С в ЮФО приведет к росту и повторяемости числа дней с гололедными образованиями и отложениями мокрого снега, и следовательно, к увеличению аварий на ЛЭП.

Для адаптации энергетического сектора следует повышать надежность систем охлаждения энергоагрегатов АЭС и ТЭС, развивать использование всех видов ВИЭ: солнечной, ветровой, геотермальной энергии, гидроэнергии малых рек, запасов биомассы и местных видов топлива, проводить модернизацию электросетевого оборудования и мониторинг состояния ЛЭП.

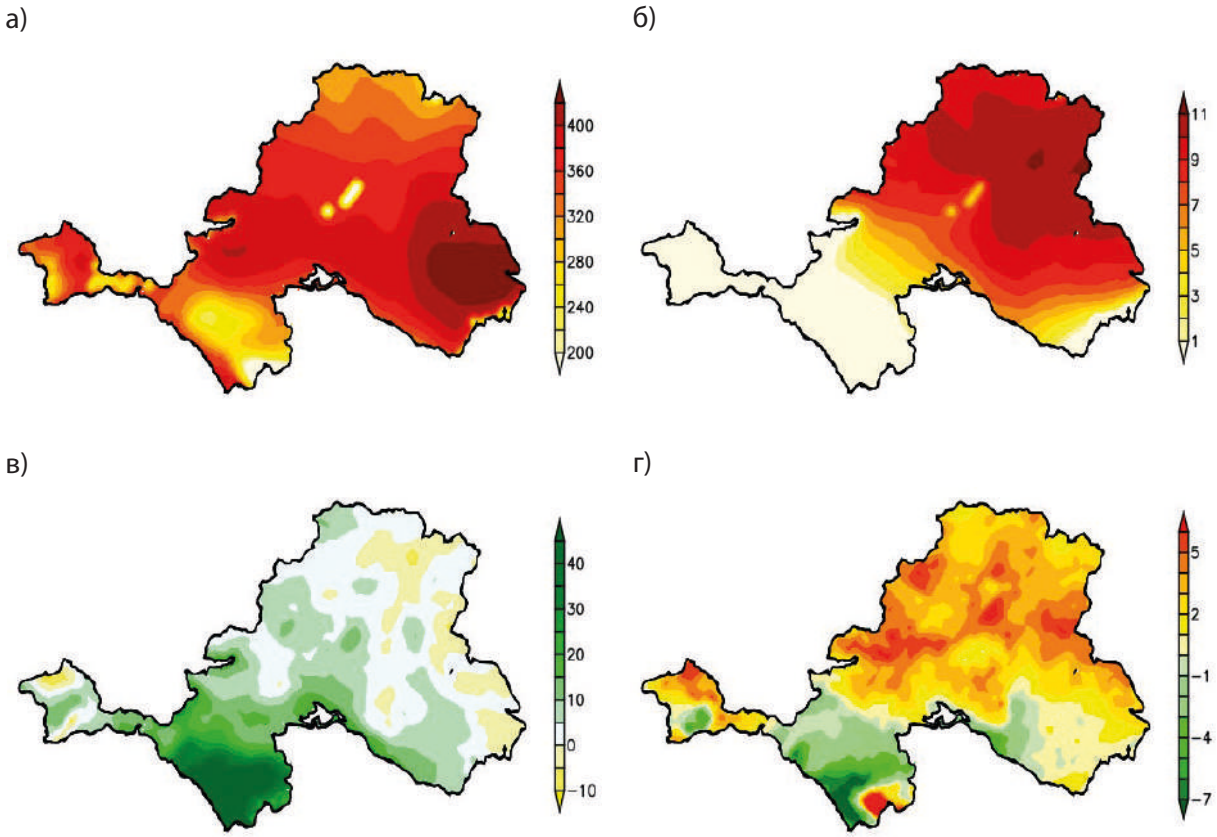



***Рис. 3.4*** *Изменение специализированных климатических показателей на территории ЮФО в 2050-2059 гг. по отношению к 1990-1999 гг.: а) дефицит холода (°С•сут); б) число дней с переходом температуры воздуха через 0 °С (дни); в) суточный максимум осадков теплого сезона (%); г) максимальная продолжительность (дни) непрерывного периода с осадками менее 1 мм/сутки (теплый сезон)*

***Жилищно-коммунальное хозяйство. Строительство.*** Изменения климата оказывают преимущественно отрицательное воздействие на функционирование в регионе ЖКХ, опреде-

ляющего условия жизнедеятельности человека. При современных темпах потепления существующий уровень инженерного обеспечения зданий не в полной мере позволяет поддерживать необходимый уровень комфортности жилища и среды обитания в целом. В настоящее время число дней с максимальной температурой воздуха выше +30 °С увеличивается со скоростью 4-5 дней/10 лет на всей территории ЮФО. К середине XXI века наибольшее увеличение такого показателя как дефицит холода, свидетельствующего о перегреве зданий и ухудшении комфортности жилища при отсутствии кондиционирования, ожидается в Астраханской области и Республике Калмыкия (до 400 °С•сут и более). Зимой прогнозируется увеличение числа дней с переходом температуры через 0 °С на территории Ростовской, Астраханской и Волгоградской областей, а также в Республике Калмыкия, что приведет к ускоренному старению ограждающих конструкций зданий и росту эксплуатационных расходов на их содержание. Изменение режима атмосферных осадков на территории ЮФО негативно отразится на функционировании городского хозяйства. В холодный сезон рост суточных экстремумов осадков ожидается на всей территории ЮФО; в теплый сезон – на территории Краснодарского края и Адыгеи. На территории Ростовской, Волгоградской и Астраханской областей, а также в Республике Калмыкия, в теплый сезон ожидается увеличение длительности периодов с дефицитом осадков.

К числу первоочередных задач адаптации относится повышение уровня инженерного обеспечения зданий с целью поддержания оптимального микроклимата в помещениях с учетом роста экстремальных температур и энергопотребления в летний сезон. При строительстве новых объектов важно обеспечить использование материалов, имеющих надлежащую стойкость в отношении циклов замораживания и оттаивания и повышенную коррозийную устойчивость различных элементов, а также конструктивные решения, исключающие повышение влагосодержания строительных конструкций за счет атмосферных воздействий. В условиях увеличения продолжительности периодов с дефицитом осадков желательно принятие превентивных мер, направленных на повышение эффективности водопотребления населением, а также в промышленном производстве и сельском хозяйстве.

***Рекреация и туризм.*** К середине столетия ожидается, что климатические ресурсы пляжного туризма возрастут на всех южных побережьях, но к концу века региональные прогнозы воздействия изменения климата на показатели климатического комфорта для рекреации свидетельствуют об интенсификации неблагоприятных термических условий из-за повышения максимальных температур выше критических уровней. В восточных областях ЮФО рост летних температур вызовет сокращение числа комфортных для рекреации дней. Кроме того, на фоне уменьшения числа суток с умеренной пожароопасностью, прогнозируется заметное увеличение (на 8-10 сут.) числа дней с экстремально высокой пожароопасностью. Этот модельный прогноз следует рассматривать как весьма тревожный для экологических видов туризма. Ожидаемые изменения количества атмосферных осадков к середине XXI века также неблагоприятны для региона – повышение их в Кавказско-Черноморской зоне, где и сейчас их выпадает 400 мм за лето, приведет к падению туристского спроса, а уменьшение осадков в засушливых районах станет дополнительной причиной снижения здесь турист-

ского потока из-за потери привлекательности ландшафтов.

Для адаптации туристской деятельности целесообразна разработка методов стабилизации береговой линии. Необходимо внедрение новых технологий системы управления ливневыми потоками, которые позволяют регулировать перегрузку дренажных систем и понизить ущерб природным ресурсам. Требуется обеспечение рекреационных зон пунктами выдачи воды и пунктами отдыха, оснащенными кондиционерами.

## Северо-Кавказский федеральный округ

***Природные системы. Баланс почвенного углерода.*** Общие тенденции в изменении границ природных зон аналогичны тенденциям в ЮФО. Отмечается быстрая деградация ледников Центрального и Восточного Кавказа. На месте отступающих ледников в нивально-гляциальном поясе образуются озера. Установлено, что площадь озер, потенциально угрожающих объектам инфраструктуры, может достичь 1,7 км$^2$, а объем – 130 млн. м$^3$. Возможные направления адаптации видов и экосистем и экосистемных услуг для адаптации аналогичны предложенным для ЮФО, за исключением меньшего риска вспышек численности насекомых-вредителей. Около четверти почвенного покрова СКФО представлено черноземами и лугово-черноземными почвами с наибольшими в регионе запасами углерода. Вторыми по значимости являются разнообразные почвы горных лесов, в которых запасы органического углерода в метровой толще варьируют от очень низких (менее 40 т/га) до высоких (200-300 т/га). Многолетняя история освоения территории привела к значительным потерям почвенного углерода, которые продолжаются в настоящее время в результате регулярного распахивания, пастбищной дегрессии, водной и ветровой эрозии. В качестве мер адаптации будут эффективны почвосберегающие стратегии, которые способствуют накоплению углерода.

***Водные ресурсы.*** В среднем за период 1978-2020 гг. общие и местные водные ресурсы, удельная водообеспеченность СКФО были на 2% больше, чем в предшествующий многолетний период. Наибольший дефицит водных ресурсов отмечается в Республике Ингушетия и в Ставропольском крае. В СКФО во всех субъектах отмечается тенденция снижения водообеспеченности в течение периода 1978-2020 гг. за счет увеличения численности населения при стабильности водных ресурсов. В последние десятилетия на отдельных реках СКФО возросла повторяемость больших расходов воды при прохождении дождевых паводков.

Управление водными ресурсами в СКФО должно включать развитие инфраструктуры по предотвращению и снижению ущербов от быстроразвивающихся паводков и селевых потоков.

***Сельское хозяйство.*** На Северном Кавказе наблюдается повсеместный рост теплообеспеченности сельскохозяйственных культур. Тенденции изменений условий тепло- и влагообеспеченности сельскохозяйственных культур в регионе во многом сходны с их изменениями в ЮФО.

Целесообразны более широкое внедрение влагосберегающих технологий; расширение посевов засухоустойчивых культур; расширение посевов озимых культур; расширение орошаемых площадей. При росте термических ресурсов может быть поставлен вопрос о дальнейшем развитии в регионе зоны субтропического зем-

леделия, возобновлении возделывания хлопчатника, расширении площадей посевов сои, дальнейшем развитии виноградарства.

***Добывающая промышленность.*** В добывающей отрасли наблюдаемый рост температуры воздуха во все сезоны года обусловливает риски уменьшения добычи природного газа, т.к. более теплая погода приводит к падению мощности компрессорных станций. Повышение интенсивности осадков представляет значительную опасность для работы шахт из-за устаревших дренажных систем. Интенсивные осадки могут также усилить эрозионные процессы, ведущие к обрушению склонов карьеров. По результатам климатического моделирования ожидается интенсификация наблюдаемых изменений температурно-влажностного режима.

В горнодобывающей отрасли для обеспечения безопасной работы шахт и карьеров необходимы модернизация дренажных систем с учетом наблюдаемых и прогнозируемых изменений температурно-влажностного режима, мониторинг состояния хвостохранилищ с целью минимизации ущерба от их разрушения, от фильтрационных потерь.

***Транспорт.*** Прогнозируемые изменения термического и влажностного режимов на территории СКФО в целом будут оказывать негативное влияние на транспортную отрасль региона. Повышение температуры в летний сезон приведет к росту числа дней с экстремально высокими температурами. Возможна деформация железнодорожных путей Северо-Кавказской железной дороги, особенно на участках Ставрополь – Элиста и Кизляр – Олейниково. Ожидаемые изменения режима осадков также скажутся крайне негативно на транспортной отрасли, особенно в горах и предгорьях округа. Повысится опасность образования селевых потоков, разрушающих объекты транспортной инфраструктуры. Наибольший ущерб от селевых процессов ожидается в Кабардино-Балкарии и в Северной Осетии, где прогнозируется увеличение количества летних осадков до 30%. В Ставропольском крае увеличится паводковая опасность. Зимой прогнозируется увеличение сумм осадков вдоль всего хребта Большого Кавказа. Обильные снегопады обусловят еще большую опасность схода снежных лавин.

Для обеспечения бесперебойной работы Северо-Кавказской железной дороги необходимо расширить сеть снеголавинных станций, дополнив ее автоматическими метеорологическими станциями в высокогорных районах, усовершенствовать методы прогноза лавин, а также создать более эффективную систему предупреждения населения о лавинной опасности. В Ставропольском крае необходимо разрабатывать моделирование транспортных потоков в летнее время.

***Производство и передача энергии.*** В структуре электроэнергетики СКФО, кроме тепловых электростанций, значительную часть в системе генерации округа занимают ГЭС. Рост температуры воздуха, увеличение длительности и повторяемости периодов с жаркой погодой, которые будут наблюдаться в течение XXI века, могут негативно сказываться на функционировании тепловых станций. Из-за увеличения испарения и более частых засушливых периодов в этом регионе возможно возникновение рисков нехватки воды с температурой, необходимой для охлаждения агрегатов ТЭС, а следовательно, снижение КПД электростанций.

Энергобезопасность высокогорных и отдаленных районов СКФО может быть повышена

за счет более широкого использования возобновляемых источников энергии. Проблема использования альтернативной энергетики в регионе чрезвычайно актуальна также в связи с необходимостью повышения экологичности топливно-энергетического комплекса региона, где располагается много туристских и санитарно-курортных зон.

СКФО обладает большими ресурсами солнечной энергии, однако широкого применения ее в настоящее время нет. В округе действуют две солнечные электростанции – в Каспийске и Ставропольском крае, ведутся работы по проектированию еще нескольких СЭС. В Дагестане, Ингушетии и особенно в Ставропольском крае имеется большой потенциал для развития ветроэнергетики.

СКФО характеризуется наибольшим для территории России числом опасных явлений – гроз, сильных ветров, гололедных отложений, наносящих большой ущерб для воздушных линий. Интенсивная грозовая деятельность и низкая грозоупорность высоковольтных линий приводят к перебоям в поставках электроэнергии. Опасные явления, связанные с ветром и гололедом, наблюдаются в округе ежегодно. За последние 30 лет отмечается рост повторяемости этих явлений.

Для адаптации энергетической отрасли, с учетом высокого уровня изношенности электросетей и оборудования объектов генерации, необходима масштабная модернизация энергетической инфраструктуры, включая повышение надежности систем охлаждения ТЭС. Целесообразно более широкое использование ВИЭ: малых ГЭС, ветро- и гелиоустановок. Мерами адаптации ЛЭП могут служить повышение грозоупорности высоковольтных линий; борьба с гололедообразованием (применение систем плавок гололеда).

***Жилищно-коммунальное хозяйство. Строительство.*** Изменения климата оказывают преимущественно отрицательное воздействие на функционирование в регионе ЖКХ, определяющего условия жизнедеятельности человека. При современных темпах потепления существующий уровень инженерного обеспечения зданий не в полной мере позволяет поддерживать необходимую комфортность жилища и среды обитания в целом. Число дней с максимальной температурой воздуха выше +30 °С в Ставропольском крае на интервале 1961-2020 гг. увеличивается со скоростью более 5 дней/10 лет. К середине XXI века увеличение числа таких жарких дней составит на равнинной территории СКФО около 25 суток. При этом вырастет такой показатель, как дефицит холода, который можно рассматривать как индекс потенциального энергопотребления в теплый сезон. Наибольшее увеличение этого показателя (до 350 °С•сут), свидетельствующего о перегреве зданий и ухудшении комфортности жилища при отсутствии кондиционирования, ожидается на территории Ставропольского края. На территории Ставропольского края и в Карачаево-Черкессии ожидается также увеличение суточных максимумов осадков как в холодный, так и в теплый сезоны, что может привести к проблемам с водоотведением и вызвать затопление инфраструктуры.

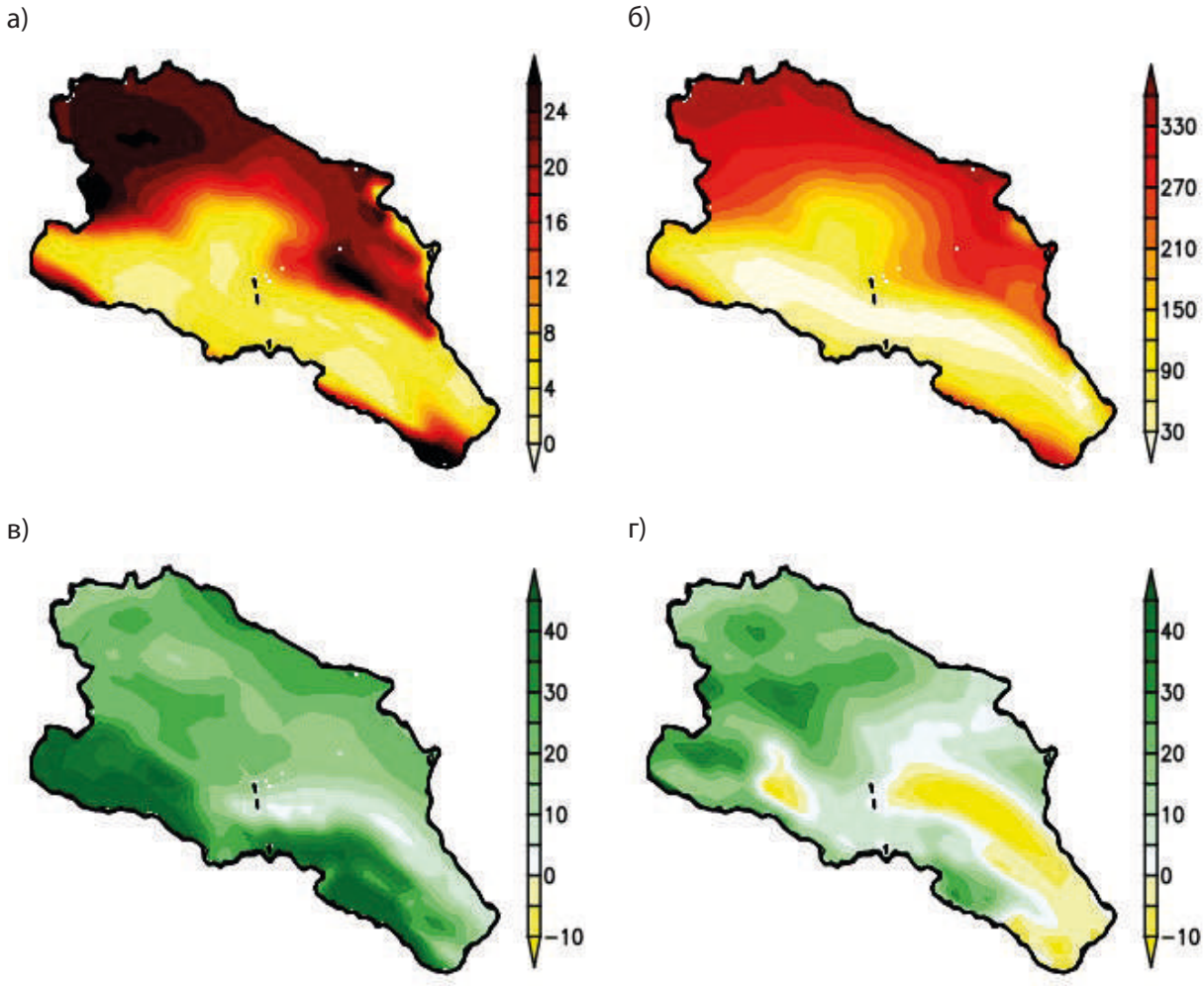



***Рис. 3.5*** *Изменение специализированных климатических показателей на территории СКФО в 2050-2059 гг. по отношению к 1990-1999 гг.: а) число дней с суточной максимальной температурой воздуха выше +30 °С (дни); б) дефицит холода (°С•сут); в) суточный максимум осадков холодного сезона (%); г) суточный максимум осадков теплого сезона (%). Сценарий RCP8.5 МГЭИК*

Для адаптации ЖКХ к изменениям климата – в особенности на территории Ставропольского края – необходимо повышение уровня инженерного обеспечения зданий для поддержания оптимального микроклимата в помещениях с учетом роста экстремальных температур и энергопотребления в летний сезон. В связи с ростом суточных экстремумов осадков на территории Ставропольского края и в Карачаево-Черкессии для предотвращения затопления инфраструктуры актуальна модернизация систем водоотведения на основе обновленных нормативных значений интенсивности осадков. В контексте обеспечения надежности и безопасности зданий и сооружений особого внимания требует оценка рисков, обусловленных несоответствием стандартов проектирования реальным климатическим условиям. В первую очередь это относится к анализу возможных атмосферных нагрузок (снеговых, ветровых, гололедных), а также критических температурных воздействий, связанных с длительным воздействием экстремально-высоких температур.

***Рекреация и туризм.*** Изменение климата в СКФО будет негативно влиять на индустрию туризма. В летние месяцы из-за роста температуры воздуха, в условиях недостаточного увлажнения, ожидается снижение туристской

привлекательности на курортах региона Кавказских Минеральных Вод и пляжного туризма на берегах Каспийского моря в высокий туристский сезон. В высокогорных областях северного склона Большого Кавказа повышение температуры вызовет увеличение скорости деградации ледников и, следовательно, увеличение продолжительности селеопасных периодов, повторяемости селей и увеличение их объемов. Ожидаемый к середине XXI века рост количества атмосферных осадков (до 30%) в зимний период в горных районах Кавказа вызовет широкое распространение новых лавиноопасных участков, а летний рост количества осадков в юго-восточной и юго-западной частях Северного склона обусловит возрастание селевой опасности. Многие из имеющихся маршрутов и районов расположения существующих и вновь создаваемых горно-туристских комплексов находятся под угрозой проявления этих опасных природных процессов.

Для обеспечения безопасности туристов в условиях роста числа опасных явлений в регионе необходима разработка мероприятий для повышения готовности к чрезвычайным ситуациям, внедрение и усовершенствование системы предупреждения и эвакуации туристов, а также создание инфраструктуры предотвращения лавин. Целесообразно закрепление побережий Каспийского моря «биологическим» методом, основой которого является культивирование влаголюбивых растений в прибрежной зоне.

## Уральский федеральный округ

***Природные системы. Баланс почвенного углерода.*** Под влиянием потепления климата происходят существенные изменения экосистем УФО. Восточная граница распространения широколиственных пород деревьев на южном Урале постепенно сдвигается на восток. Устойчиво сокращаются ледники на Полярном Урале. На равнине прогнозируется смещение биомов на север, в том числе отступание границы лесной зоны на юге и значительное продвижение в тундру. Уязвимость экосистем к изменению климата связана в первую очередь с лесными пожарами, в меньшей степени – с ветровыми событиями и биогенными факторами. В будущем ожидается умеренный рост данных воздействий.

Из-за широкого распространения торфяных болот на территории УФО результатом изменения климата является увеличение числа торфяных пожаров, которые достигают наибольших масштабов в лесной зоне. Как следствие, происходит изменение углеродного баланса почв.

Приоритетным направлением адаптации экосистем являются меры по борьбе с пожарами во всех биомах, от степных до тундровых. Целесообразно снижение и снятие антропогенной нагрузки, в том числе через создание и расширение существующих ООПТ для формирования экологических коридоров и климатических убежищ. Также важно уделять внимание минимизации нарушений горных склонов для снижения эрозии и поддержанию целостности растительного покрова в зоне распространения многолетнемерзлых пород.

***Водные ресурсы.*** Динамика средних многолетних водных ресурсов УФО характеризуется наличием положительного, статистически значимого линейного тренда. Водообеспеченность населения в целом в УФО высокая, однако проблемы водообеспеченности имеют место в Курганской и Челябинской областях. Для всех субъектов УФО характерна стабильность в величинах водообе-

спеченности без каких-либо значимых изменений. Для южной части территории УФО, на реках бассейна Тобола в последние десятилетия отмечается тенденция увеличения максимальных расходов воды, в том числе малой обеспеченности.

Адаптационные мероприятия в УФО требуются для снижения ущербов от наводнений, которые являются основным фактором негативного воздействия вод в бассейнах Тобола, Туры и Иртыша. Такие мероприятия включают в себя строительство защитных сооружений и дамб обвалования, организационные мероприятия по безаварийному пропуску половодий и паводков на водосбросных сооружениях водохранилищных гидроузлов. Учитывая значительную заболоченность территории УФО, целесообразными являются мероприятия по охране и защите водно-болотных угодий, в том числе восстановление осушенных болотных экосистем путем их вторичного обводнения. Помимо этого, в районах интенсивного освоения нефтегазовых месторождений (ЯНАО) требуется развитие региональных, ведомственных и корпоративных программ гидрологического мониторинга с целью повышения надежности гидрологического обоснования водохозяйственных мероприятий и обеспечения безопасности эксплуатации месторождений и трубопроводов.

***Сельское хозяйство.*** Показатели теплообеспеченности сельскохозяйственных культур на территории УФО за последние десятилетия росли менее быстрыми темпами по сравнению с ЕТР. Климатически обусловленная урожайность яровых зерновых культур практически не изменилась за последние десятилетия относительно базового периода.

Адаптация сельского хозяйства к изменению климата в этом регионе может заключаться в расширении посевных площадей озимых зерновых культур (пшеницы, ржи и ячменя) как более урожайных. Увеличение теплообеспеченности округа и усиление засушливости южной его части способствует размножению саранчовых вредителей. Необходимы своевременный мониторинг и проведение агротехнических мероприятий.

***Добывающая промышленность.*** Повышение температуры воздуха в целом благоприятно сказывается на работе нефтегазового комплекса УФО, т.к. улучшаются условия работы на открытом воздухе, уменьшаются простои в работе, снижается величина эксплуатационных расходов, сокращается потребление энергии за отопительный период. Однако рост температуры воздуха и уменьшение числа дней с отрицательными температурами обусловливают увеличение пожароопасности в этом регионе, а также сокращение периода использования «зимников» и ледовых морских и речных причалов, что создает дополнительные трудности для развития нефтегазовой отрасли. Негативным фактором является деградация многолетнемерзлых пород, нарушающая целостность инфраструктурных объектов, включая нефтяные скважины, трубопроводы и др. Изменения температурно-влажностного режима усиливают и коррозионную агрессивность атмосферы, сокращающую эксплуатационный ресурс нефтегазового оборудования. Кроме того, более теплая погода провоцирует риски уменьшения добычи газа из-за падения мощности компрессорных станций. В условиях климатических изменений, в частности увеличения количества и интенсивности осадков, происходит интенсификация осыпей, оползней и обрушений в действующих и отработанных карьерах, возрастают риски затопления шахт и ранее осушенных и благоприятных для хозяйственной деятель-

ности территорий. К середине XXI века ожидается усиление указанных процессов.

Для защиты подтапливаемых территорий необходимы строительство дренажных сооружений, прочистка открытых водотоков и других элементов естественного дренирования, предупреждение утечек из водонесущих коммуникаций, регулирование стока поверхностных вод, возобновление шахтного и карьерного водоотлива для поддержания уровня подземных вод на проектных отметках.

***Транспорт.*** В транспортной отрасли изменения климата будут оказывать скорее негативное, чем положительное воздействие. Безусловно, сокращение числа дней с температурой воздуха ниже –25 °С приведет к уменьшению простоев в работе и положительно отразится на величине эксплуатационных расходов, но потепление сопровождается здесь, прежде всего, процессами, связанными с деградацией многолетней мерзлоты. Увеличение средней глубины сезонного оттаивания многолетнемерзлой породы понижает устойчивость железнодорожной и автомобильной насыпи и вызывает деформации в опорах системы магистральных трубопроводов, увеличение расходов на ликвидацию ущерба. Для автомобильного транспорта серьезной проблемой станет сокращение продолжительности действия «зимников», уменьшающее транспортную связность территории. Ожидаемый рост количества зимних атмосферных осадков увеличит повторяемость метелей, которые на территории Ямала могут продолжаться больше суток, блокируя работу наземного и авиационного транспорта.
Для транспортной системы южных районов УФО изменения температурно-влажностного режима могут привести к увеличению повторяемости паводковых наводнений в Тюменской, Свердловской и Курганской областях, интенсивных снегопадов, а также к росту опасности экстремальных гололедно-изморозевых отложений, характерных для данного региона.

Для транспортной инфраструктуры необходим мониторинг состояния автомобильных дорог общего пользования, проходящих по территории распространения многолетнемерзлых грунтов в пределах криолитозоны. Необходимо приведение в нормативное состояние искусственных сооружений на дорогах, находящихся в зоне потенциального подтопления.

***Производство и передача энергии.*** В энергетике рост максимальных температур воздуха и числа дней с жаркой погодой в центре и на юге УФО создает риски нарушения нормальной работы систем охлаждения энергоблоков, что может привести к снижению выработки электроэнергии вплоть до остановки электростанций в периоды длительной аномально жаркой погоды. Кроме того, значительную угрозу для работы ТЭС и АЭС представляют участившиеся опасные погодные явления (сверхнормативные гололедно-ветровые нагрузки, смерчи, пожароопасные условия). В результате их воздействия могут возникнуть аварийные ситуации на ЛЭП и нарушиться внешнее энергоснабжение электростанций. Изменение ветрового режима, выражающееся, в частности, в увеличении повторяемости штилей, может привести к накоплению радиоактивных веществ в ближайших окрестностях АЭС. Прогнозные оценки показывают, что к середине XXI века ожидается усиление указанных тенденций.

Для снижения уязвимости объектов энергетики УФО необходимо обеспечить дополнительные возможности для охлаждения рабочих блоков электростанций, провести модерни-

зацию ЛЭП в соответствии с изменяющимися климатическими условиями, а также сделать более надежной работу очистительных систем, чтобы свести к минимуму возможное загрязнение воздуха. Целесообразно развитие ВИЭ, особенно в децентрализованном секторе энергоснабжения, который занимает значительную северо-восточную часть округа.

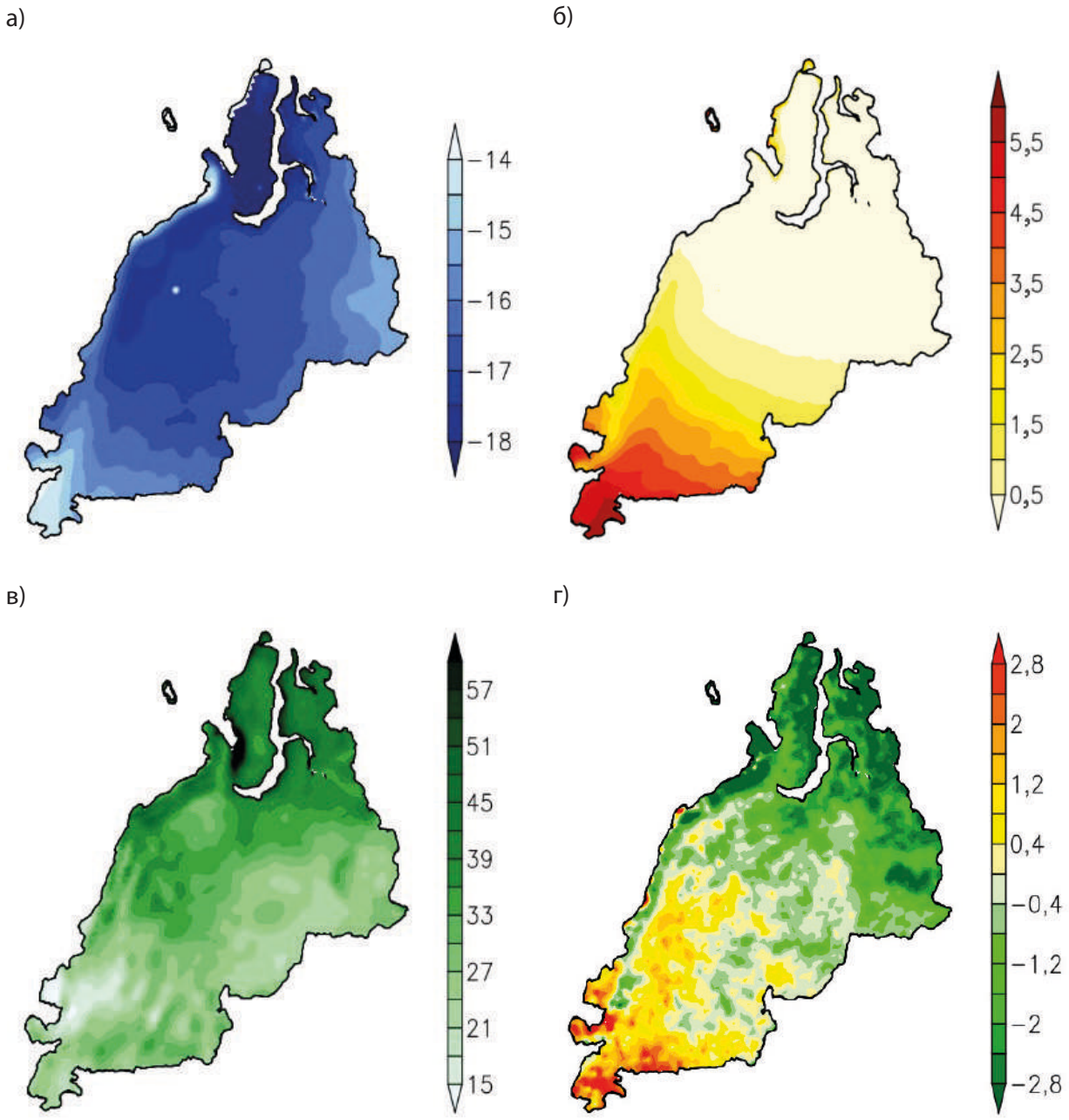



***Рис. 3.6*** *Изменение специализированных климатических показателей на территории УФО в 2050-2059 гг. по отношению к 1990-1999 гг.: а) градусо-сутки отопительного периода (%); б) число дней с переходом температуры воздуха через 0 °С (дни); в) суточный максимум осадков холодного сезона (%); г) максимальная продолжительность непрерывного периода с осадками меньше 5 мм/сутки для теплого сезона (дни). Сценарий RCP8.5 МГЭИК*

***Жилищно-коммунальное хозяйство. Строительство.*** Наблюдаемое и ожидаемое к середине XXI века уменьшение величины градусо-суток отопительного периода (на территории ЯНАО и Ханты-Мансийского АО – на 15-18%) создает предпосылки для уменьшения энерго-

потребления в холодный период года и делает актуальным проведение адекватной технологической модернизации систем теплоснабжения. В южных районах УФО (Челябинской, Курганской, Екатеринбургской и Тюменской областях) в зимний сезон отмечается ускоренное старение ограждающих конструкций зданий, обусловленное ростом числа дней с переходом температуры воздуха через 0 °С, а также увеличением количества жидких и смешанных осадков, сопровождающих оттепели. Рост суточных экстремумов осадков, сочетающийся с увеличением их интенсивности, может привести к проблемам с водоотведением и существенным дополнительным затратам на поддержание нормальных условий городской среды. В южных районах УФО изменение режима выпадения осадков будет сопровождаться увеличением продолжительности периодов с дефицитом осадков и ухудшением условий водообеспеченности в регионе.

В рамках адаптации к изменениям климата первоочередное внимание должно быть уделено мониторингу эволюции многолетнемерзлых грунтов в регионе. Для уменьшения ущерба, связанного с высокими геокриологическими рисками на территории ЯНАО и в других районах УФО, необходимы изменение норм строительного проектирования с учетом ослабления несущей способности многолетнемерзлых грунтов, а также применение инженерных мер адаптации существующей инфраструктуры. В южных районах УФО для уменьшения влияния температурно-влажностных деформаций на ускоренное старение зданий важно обеспечить при строительстве новых объектов использование материалов, имеющих надлежащую стойкость в отношении циклов замораживания и оттаивания и повышенную коррозийную устойчивость различных элементов, а также конструктивные решения, исключающие повышение влагосодержания строительных конструкций за счет атмосферных воздействий. В связи с ростом экстремальности осадков на всей территории УФО приобретает актуальность модернизация систем водоотведения на основе обновленных нормативов интенсивности осадков. В южных районах, в связи с увеличением продолжительности периодов с дефицитом осадков при высоких летних температурах, желательно принятие превентивных мер, направленных на повышение эффективности водопотребления.

***Рекреация и туризм.*** В настоящее время на большей части территории УФО наблюдается повышение температуры воздуха как летом, так и зимой, что благоприятно скажется на развитии разных видов рекреации. Прогноз на середину века подтверждает эту тенденцию. Негативные факторы для рекреации, связанные с изменением климата, ассоциируются прежде всего с увеличением риска инфицированности и заболеваемости трансмиссивными заболеваниями, переносимыми клещами (крымской геморрагической лихорадкой, клещевым энцефалитом) и аридизацией климата в теплый период года на юге Тюменской, в Челябинской и Курганской областях. Для развития летних видов рекреации необходимо усиление эпидемиологического контроля в туристских районах региона.

## Сибирский федеральный округ

***Природные системы. Баланс почвенного углерода.*** Ожидается, что степной биом в южной Сибири увеличит площадь за счет таежного биома, лесостепь будет замещена степью на нижней

границе леса. Деградация мерзлоты будет способствовать существенной перестройке ландшафтов с заменой в конечном итоге на более продуктивные. Ожидаются дальнейшее усиление ветрового воздействия, умеренный рост воздействия пожаров, которые уже сейчас ежегодно охватывают значительные площади.

Природное разнообразие и условия использования экосистем СФО определяют разнонаправленность соотношений между приходными и расходными составляющими баланса углерода в их почвенном звене. Ожидаемые климатические изменения, по-видимому, еще более усилят наблюдаемые различия в углеродном балансе почв СФО. В частности, для ненарушенных торфяных болот округа прогнозируется устойчивое увеличение скорости накопления углерода.

Возможные направления адаптации видов и экосистем аналогичны рекомендованным для ЦФО и СЗФО, с особым вниманием мерам по предотвращению нарушения целостности растительного покрова в зоне распространения многолетнемерзлых пород. Целесообразны использование экосистемных услуг лесов для снижения риска и последствий наводнений, а также применение лесозащитных полос в степной и лесостепной зонах.

***Водные ресурсы.*** В современном климате водные ресурсы СФО, удельная водообеспеченность территории и населения стали незначительно выше, чем в период 1936-1977 гг. СФО с плотностью населения 3,9 чел./км$^2$ имеет очень высокую водообеспеченность, которая за период с 1980 г. повышается в большинстве субъектов. Однако водообеспеченность местными водными ресурсами в двух субъектах – Новосибирской и Омской областях – составляет 2,0 и 3,2 тыс. м$^3$/чел. в год, что является очень низкой и низкой соответственно. Сток рек Енисей и Витим в 1978-2020 гг. был, соответственно, на 7 и 21% выше, чем в предшествующий период, при этом возросла его дисперсия. Сток реки Обь, наоборот, был на 14% ниже, а его дисперсия существенно уменьшилась. Снижение годового стока произошло и на реке Ангара (на 2%). На реках, расположенных в верхней части бассейнов Ангары и Иртыша, возросли риски опасных дождевых паводков. Примером этих опасных гидрологических явлений являются наводнения на реках бассейна Верхней Ангары, произошедшие в 2019 г.

Для горной и предгорной частей СФО, где ожидается повышение рисков опасных дождевых паводков, приоритетом являются мероприятия по развитию гидрометеорологического мониторинга в целях увеличения заблаговременности и точности прогнозов наводнений и по снижению их негативных последствий. Происходящие и ожидаемые изменения в водном режиме рек Енисей и Ангара требуют регулярной актуализации правил использования водными ресурсами Ангаро-Енисейского каскада водохранилищ.

***Сельское хозяйство.*** Самые заметные последствия изменений температурного режима для сельского хозяйства в регионе связаны со значительным потеплением в весенний сезон (1,7-2,0 °С). Сумма активных температур за период активной вегетации сельскохозяйственных культур повышается, но не такими быстрыми темпами, как на ЕТР. Потепление климата, которое в Западной и Восточной Сибири не сопровождается ростом засушливости, создает благоприятные условия для развития сельского хозяйства и ведет к повышению его продуктивности за счет более широкого внедрения позднеспелых культур, сортов и гибридов. По-

тепление может способствовать укреплению кормовой базы животноводства за счет многоукосных трав и пожнивных посевов.

Как меру адаптации к изменениям климата следует рассматривать расширение посевов озимых культур в степных районах Сибири.

***Добывающая промышленность.*** Рост температуры воздуха, числа экстремальных явлений и увеличение мощности сезонно-талого слоя многолетней мерзлоты оказывают существенное влияние на промышленные объекты и технологические процессы добывающей промышленности. Особенно негативное воздействие на инфраструктурные объекты оказывает деградация многолетнемерзлых пород, создавая риски для транспортной инфраструктуры, гидротехнических сооружений, включая хвостохранилища, а также функционирования шахт и карьеров. Изменение режима увлажнения, в частности, наблюдаемый в отдельных районах СФО рост суточного максимума осадков, создает угрозы затопления шахт и обрушения склонов карьеров. Однако с ростом температуры воздуха растет и испаряемость, создавая в засушливые периоды угрозу высыхания и пыления терриконов, что особенно характерно для Кемеровской области. К середине XXI века ожидается усиление отмеченных негативных климатических воздействий.

Для обеспечения эффективной работы объектов горнодобывающей промышленности должен быть разработан системный подход к управлению безопасностью объектов в течение всего их жизненного цикла «планирование – строительство – эксплуатация – закрытие – рекультивация» с учетом изменения климата.

***Транспорт.*** В условиях прогнозируемого увеличения годового и сезонного стоков на реках Сибири и изменения их ледового режима значительно возрастут нагрузки на подводные трубопроводы, особенно в Красноярском крае, Тюменской, Новосибирской, Омской, Томской и Иркутской областях, что вызовет рост вероятности аварийных повреждений трубопроводов (вплоть до их разрывов) с разливами нефти и выбросами газа, влекущими значительные экологические катастрофы. Основной проблемой для транспортной инфраструктуры рассматриваемого региона станет увеличение повторяемости и интенсивности опасных явлений погоды, таких как сели (Алтайский край и Республика Алтай), природные пожары как лесные (Иркутская область, Красноярский край), так и торфяные (Новосибирская, Омская и Томская области), половодья (весь юг региона), смерчи, вихри, шквалы, сильные ветры (Республика Тыва, Омская область), продолжительные и интенсивные метели (северные районы).

Для транспортной системы региона необходимо построение системы мониторинга состояния автомобильных дорог общего пользования, проходящих по территории распространения многолетнемерзлых грунтов в пределах криолитозоны. Кроме того, необходима организация эффективной системы мониторинга состояния трубопроводов во избежание наступления на них аварийных ситуаций; при прокладке новых трубопроводов через реки необходимо использовать современные технологии (например, метод наклонно-направленного бурения).

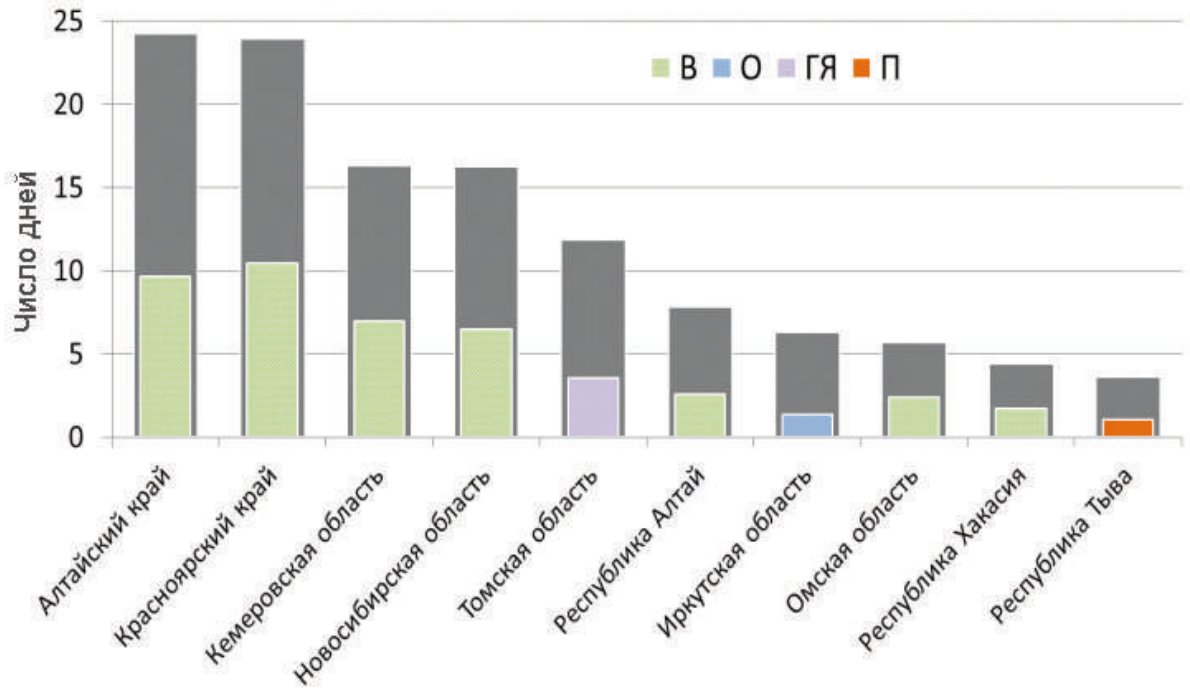



***Рис. 3.7*** *Среднее годовое число дней с опасными гидрометеорологическими явлениями, нанесшими ущерб на территории отдельных субъектов СФО в 1991-2020 гг. Цветом выделены явления, наиболее часто наносившие ущерб; В – ветер, ГЯ – гидрологические явления, О – осадки, П – чрезвычайная пожароопасность*

***Производство и передача энергии.*** Основная часть электростанций СФО (ТЭС и ГЭС) сосредоточена в южной части округа, прежде всего в Кузбассе и прилегающих к нему районах. Наблюдаемое изменение климата, одним из проявлений которого в этом районе является увеличение интенсивности, повторяемости и длительности волн тепла, может привести к снижению эффективности охлаждения энергоблоков ТЭС и уменьшению выработки электроэнергии. По результатам климатического моделирования к середине XXI века ожидаются дальнейший рост максимальных температур воздуха и увеличение максимальной длительности волн тепла на пять-шесть дней. Такое изменение температурного режима на территории СФО увеличит вероятность высокой пожароопасности и смерчей, представляющих угрозу как для агрегатов электростанций, так и для ЛЭП.

Большим солнечным потенциалом в СФО обладает Алтайский край. В крае действует несколько солнечных электростанций. На территории края могут успешно эксплуатироваться солнечные коллекторы различных типов. Согласно модельным прогнозам, ожидаемый к середине и концу XXI века рост суммарной радиации до 2-4% и температуры на 4-6 градусов будет способствовать увеличению выработки тепловой энергии солнечными коллекторами. На производительность фотоэлектрических батарей изменения практически не повлияют. Ветровая энергетика в СФО развита слабо по сравнению с солнечной, однако потенциал ветроэнергетики во многих регионах достаточен для ее развития. Наибольшим ветровым потенциалом характеризуется северная часть Красноярского края – Таймырский Долгано-Ненецкий муниципальный район. Этот огромный потенциал практически не используется, поскольку на данной терри-

тории нет крупных потребителей, способных принимать нагрузку от ВЭУ большой мощности. На сегодняшний день рекомендуемый для большей части Красноярского края диапазон мощностей ВЭУ составляет 1-1,5 МВт, которые могут покрыть нагрузку небольшого предприятия или крупного поселка с децентрализованным энергоснабжением.

Аварии на ЛЭП в СФО в основном связаны с сильными ветрами, смерчами, шквалами, грозами. В южных районах округа увеличивается интенсивность грозовой деятельности, в связи с этим возрастает риск аварийных отключений на высоковольтных линиях из-за низкой грозоупорности воздушных линий.

При проектировании и эксплуатации ТЭС и ЛЭП необходимо принимать во внимание наблюдаемое и ожидаемое изменение значений специализированных климатических параметров. Целесообразно принятие комплекса мер, направленных на существенное снижение негативного влияния деятельности предприятий энергетического сектора на окружающую среду. Актуальной задачей является развитие ВИЭ в связи с острым энергетическим дефицитом во многих регионах и наличием большого числа населенных пунктов без централизованного энергоснабжения.

***Жилищно-коммунальное хозяйство. Строительство.*** Современные изменения термического режима на территории СФО оказывают значительное влияние на условия функционирования ЖКХ. Повышение средней температуры отопительного периода к середине XXI века составит около 5 °С на Таймыре и около 2 °С – в южных областях СФО. Ожидаемое относительное изменение градусо-суток отопительного периода увеличивается с востока на запад – от 10% вблизи границы с Якутией до 15-18% в западных районах Красноярского края и южных густонаселенных областях СФО. Такие изменения создают предпосылки для уменьшения энергопотребления на региональном уровне в холодный период года. В то же время в южных районах СФО в зимний сезон ожидается рост числа дней с переходом температуры воздуха через 0 °С, который может привести к ускоренному старению зданий и потребовать повышения затрат на их эксплуатацию. На всей территории СФО ожидается значительное относительное увеличение количества осадков как в теплый, так и в холодный период. Это изменение сопровождается изменением режима выпадения осадков. Рост экстремумов осадков, сочетающийся с увеличением их интенсивности, может привести к проблемам с водоотведением и дополнительным затратам на поддержание нормальных условий городской среды. В то же время увеличение продолжительности периодов с дефицитом осадков, ожидаемое в Республике Тыва, Республике Алтай и Иркутской области, негативно отразится на водообеспечении и может потребовать разработки адаптационных мер.

В рамках адаптации к изменениям климата специальное внимание должно быть уделено мониторингу эволюции многолетнемерзлых грунтов в регионе. Для уменьшения ущерба, связанного с геокриологическими рисками, необходимы изменение норм строительного проектирования с учетом ослабления несущей способности многолетнемерзлых грунтов, а также применение инженерных мер адаптации существующей инфраструктуры. Рост суточных экстремумов осадков на всей территории СФО может привести к необходимости модернизации систем водоотведения на основе обновленных нормативных параметров интенсивности осад-

ков. В южных районах СФО – в Республике Тыва, Республике Алтай и Иркутской области – в связи с увеличением продолжительности периодов с дефицитом осадков при высоких летних температурах желательно принятие превентивных мер, направленных на повышение эффективности водопотребления. Для обеспечения безопасности зданий и сооружений при выборе жесткости критериев и задании нормативных значений различных атмосферных нагрузок и характеристик экстремальности необходимо опираться на результаты анализа рисков критических воздействий с учетом информации о современных и будущих климатических изменениях в течение всего расчетного периода эксплуатации проектируемого объекта.

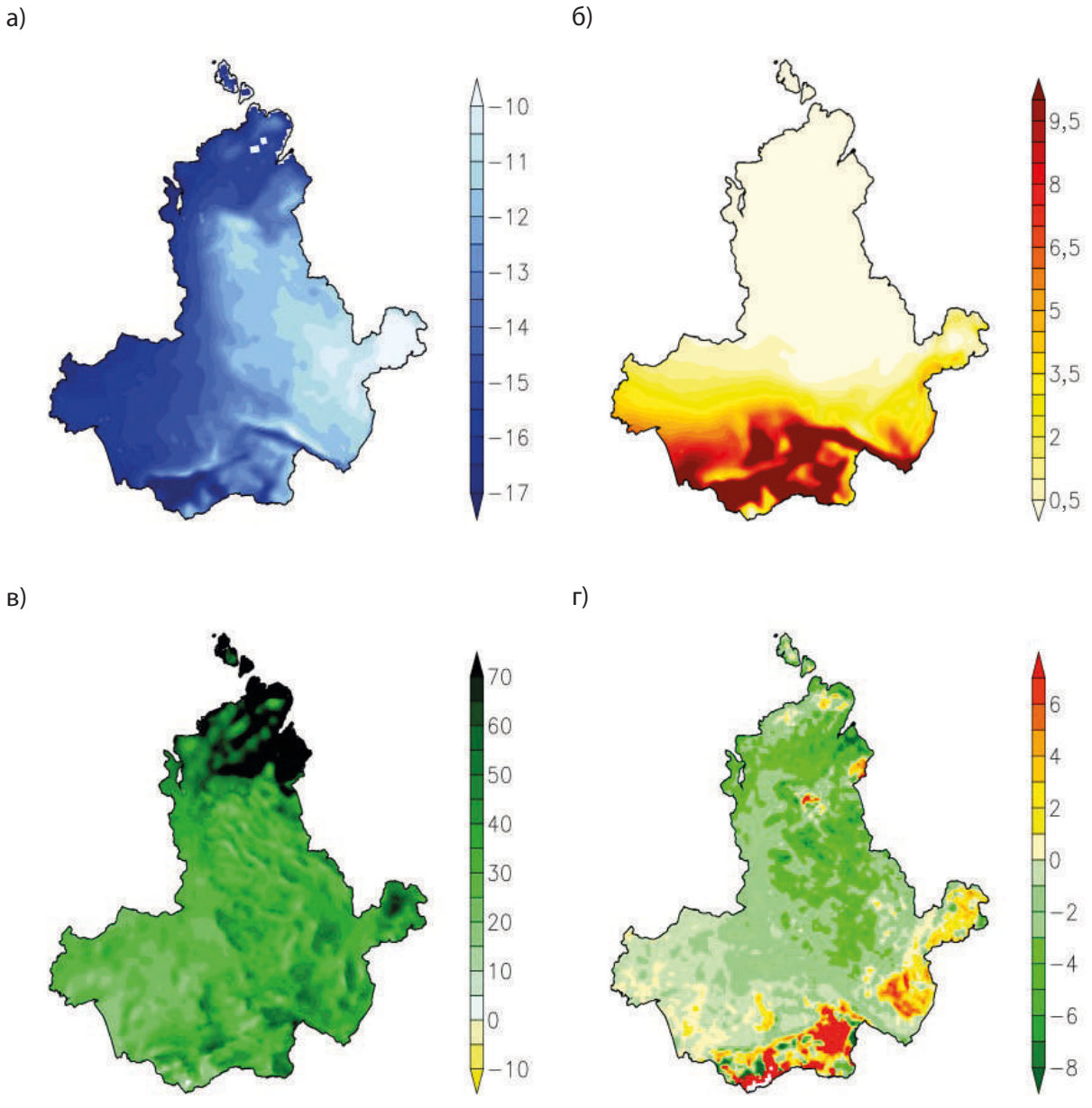



***Рис. 3.8*** *Изменение специализированных климатических показателей на территории СФО в 2050-2059 гг. по отношению к 1990-1999 гг.: а) градусо-сутки отопительного периода (%); б) число дней с переходом температуры воздуха через 0 °С (дни); в) суточный максимум осадков холодного сезона (%); г) максимальная продолжительность непрерывного периода с осадками меньше 5 мм/сутки для теплого сезона (дни). Сценарий RCP8.5 МГЭИК*

***Рекреация и туризм.*** Вероятные изменения ледяного покрова Северного Ледовитого океана создадут условия для увеличения продолжительности летней навигации и развития, в связи с этим, арктического туризма (включая экотуризм), в первую очередь по Северному морскому пути. Летом на севере СФО ожидается рост температуры воздуха, что, вероятно, окажет положительное влияние на развитие экстремального туризма в труднодоступных районах Арктики. В южных регионах СФО следует сделать акцент на развитии зимнего спортивного туризма. В настоящее время здесь отмечается увеличение повторяемости числа дней, комфортных для этого вида рекреации (температура воздуха в дневные часы от –15 °С до –5 °С, высота снежного покрова более 20 см), а к середине столетия, на фоне прогнозируемого здесь роста температур и количества осадков в зимний период, можно ожидать увеличение числа таких дней.

К угрозам, сопровождающим изменения климата и снижающим привлекательность туристских ресурсов региона, следует отнести рост пожароопасности, сокращение площади ледников в горных районах и, как следствие, возрастание сложности прохождения горных маршрутов, увеличение случаев заболеваний, связанных с распространением вредоносных насекомых и т.д.

Для туристской отрасли целесообразно развитие зимних видов рекреации в южных областях региона. Необходима разработка программы научных мониторинговых обследований туристских маршрутов для оценки изменений в экосистемах и принятия необходимых мер по защите наиболее уязвимых к последствиям изменения климата видов флоры и фауны, а также важных для туристской деятельности ландшафтов.

## Дальневосточный федеральный округ

***Природные системы. Баланс почвенного углерода.*** Отступление ледников отмечается для всех горных систем ДФО. Прогнозируются распространение тайги на северных пределах и в горах, где она будет активно наступать на альпийский пояс, а также перестройка ландшафтов, связанная с деградацией мерзлоты, и расширение степных биомов. Опубликованы многочисленные подтверждения изменения видового разнообразия и ареалов растений и животных. Как и в других регионах, отмечается сдвиг весенне-летних фенологических дат на более ранние сроки, а осенних – на более поздние у многих видов растений. Подтверждения зафиксированы во всех биомах, от Якутии до Командорских и Курильских островов. Продвижение лесных экосистем на север, а также увеличение глубины протаивания способствуют существенному повышению продуктивности таежных и тундровых биомов на равнине и в горах. Аридизация степных биомов, напротив, способствует сокращению продуктивности, хотя опустынивание не прогнозируется. Уязвимость экосистем к изменению климата связана главным образом с лесными пожарами и биогенными факторами.

С точки зрения углеродного баланса почв ДФО в целом является «плюсовым» и занимает по данному показателю второе место после СФО. Это достигается в первую очередь благодаря накоплению углерода в почвенном звене лесных экосистем, ежегодно секвестирующих в верхних 30 см профиля почв от 6 до 7 млн. т углерода. Наряду с деградацией многолетней мерзлоты наи-

более очевидным следствием глобальных климатических изменений, влияющим на углеродный баланс почв в масштабах округа, является увеличение повторяемости лесных и степных пожаров.

Для адаптации видов и экосистем тундровых биомов можно использовать меры, аналогичные тем, которые предложены для СЗФО и УФО, для адаптации лесных биомов – аналогичные предложенным для ЦФО, СЗФО и СФО, степных и горных – аналогичные предложенным для ЮФО и СКФО. Чрезвычайно важен контроль инвазивных видов.

***Водные ресурсы.*** В многолетних колебаниях водных ресурсов, из которых 80% формируются на территории ДФО, присутствует статистически значимый положительный тренд. В 1978-2020 гг. по сравнению с предшествующим периодом (1936-1977 гг.) водные ресурсы ДФО увеличились на 4%. Основной вклад в современное увеличение водных ресурсов вносят реки, относящиеся к бассейну Северного Ледовитого океана. При повышенной водности существенно увеличилась вариация колебаний годового стока этих рек. В отличие от северных рек, годовой сток реки Амур в последние десятилетия снизился на 8%. Снижение годового стока отмечается также на реках Забайкалья и крайнего северо-востока ДФО.

Ожидаемое увеличение водности рек на большей части территории ДФО повышает риски затопления их прибрежных территорий и требует проведения адаптационных мероприятий по обеспечению безопасности населения и объектов экономики. Необходима актуализация правил использования водных ресурсов Иркутского водохранилища в целях безусловного сохранения уникальной экосистемы озера Байкал и минимизации ущербов при значительных изменениях его уровня. Необходима разработка комплексных программ управления бассейнами, улучшения местного водоснабжения и защиты существующих источников воды.

***Сельское хозяйство.*** Наблюдаемый повсеместно рост теплообеспеченности сельскохозяйственных культур, а также увеличение продолжительности вегетационного периода являются положительными факторами развития сельского хозяйства региона. Увеличение повторяемости засушливых явлений в ряде районов не ведет к снижению продуктивности аграрного производства, благодаря высокой исходной увлажненности территории. Наблюдаемые изменения агрометеорологических условий территории региона в целом способствуют росту урожайности сельскохозяйственных культур.

В целях адаптации сельского хозяйства возможны увеличение площадей озимых культур, благодаря улучшению условий перезимовки, а также расширение посевов риса и сои в связи с ростом тепловых ресурсов. Повышение интенсификации производства (использование удобрений, химических средств защиты растений, семенного материала высоких репродукций) также один из эффективных путей адаптации к изменениям климата в регионе.

***Добывающая промышленность.*** Влияние климатических изменений на объекты и процессы горнодобывающей промышленности ДФО очень неоднородно на фоне разнообразия геологических, физико-географических и климатических условий региона. Одним из определяющих факторов является увеличение средней годовой температуры воздуха практически на всей территории округа за счет потепления как холодного, так и теплого периода года. Этот процесс имеет как отрицательные, так и положительные последствия для добычи полезных ископаемых. Повышение температу-

ры воздуха способствует улучшению условий для работ на открытом воздухе и снижению затрат на отопление. Однако в районах распространения многолетнемерзлых пород потепление климата приводит к уменьшению несущей способности мерзлого грунта. В области наибольшего геокриологического риска находятся Чукотка, бассейны верхнего течения Индигирки и Колымы, юго-восточная часть Якутии. В этих районах имеется развитая инфраструктура, в частности, Билибинская атомная станция и связанные с ней линии электропередачи, снабжающие электроэнергией многие горнодобывающие предприятия. Негативным фактором, связанным с изменением климата, является и рост повторяемости и интенсивности опасных погодных явлений, в частности, усиление пожароопасности на фоне длительных волн тепла и засушливых периодов. Пожароопасные ситуации создают значительные риски для добычи нефти, газа, бурого и каменного угля. В то же время в последние десятилетия на территории многих субъектов ДФО (Республики Саха, Амурской области и др.) отмечаются экстремальные суточные суммы осадков в отдельные годы. Следствием более интенсивных осадков может стать усиление оползней и обвалов в карьерах и шахтах, их затопление из-за сбоев в работе систем водоотведения, нарушение гидрологического режима хвостохранилищ. Согласно прогнозным оценкам, указанные тенденции изменения температурно-влажностного режима к середине XXI века на территории ДФО сохранятся.

В горнодобывающей отрасли требуется осуществление работ по геотехническому мониторингу криолитозоны в комплексе с анализом метеорологических данных – это позволит оценить современные изменения температуры верхних горизонтов многолетнемерзлых грунтов и определить условия и факторы, влияющие на формирование температурного режима грунтов.

***Транспорт.*** В транспортном секторе ДФО рост температуры воздуха позволит увеличить грузооборот в арктических морях по Северному морскому пути. Увеличится и период навигации внутреннего водного транспорта. Таяние многолетнемерзлых грунтов окажет негативное воздействие на всю транспортную инфраструктуру, включая аэродромы, автомобильные дороги. Интенсивное таяние ледников увеличит число селевых потоков, формирующихся в основном на северо-западе округа, и скажется на пропускной способности зимних (ледовых) дорог. Значительное негативное влияние окажет и прогнозируемое к середине столетия увеличение максимальной интенсивности и суточного максимума осадков во влажные периоды как теплого, так и холодного периодов года. В холодный период года возрастет повторяемость сильных снегопадов, которые оказывают парализующее действие на автомобильное и железнодорожное движение. Территория ДФО характеризуется высокой частотой и интенсивностью снегопадов на Сахалине, Курилах и Камчатке. Сильный ветер, характерный для прибрежных регионов ДФО, и обильные снегопады станут причиной увеличения повторяемости и интенсивности снежных заносов, при которых не работают аэропорты, прекращается автомобильное и железнодорожное сообщение.

Для адаптации транспортной инфраструктуры следует проводить мониторинг состояния автомобильных дорог общего пользования, проходящих по территории распространения многолетнемерзлых грунтов в пределах криолитозоны. Необходимо привести в нормативное состояние искусственные сооружения на дорогах, находящихся в зоне потенциального подтопления. В Приморском и Хабаровском краях и на Сахалине требуется обеспечение большей устойчивости железнодорожной сети

к воздействию обильных осадков (например, путем укрепления откосов, использования противоразмывных сооружений), сильных ветров (например, путем установки ветрозащитных ограждений и экранов, использования ветрозащитных лесонасаждений).

***Производство и передача энергии.*** Основные энергетические мощности Дальнего Востока сосредоточены в южной части региона, где они соединены в общую энергосистему. Энергосистемы северных территорий работают изолированно, обеспечивая локальных потребителей. В Чукотском автономном округе действует небольшая Билибинская АЭС. Это единственная атомная электростанция, построенная в зоне многолетней мерзлоты. Последствия таяния многолетней мерзлоты в районе расположения Билибинской АЭС обусловливают риски как для целостности самих агрегатов электростанции, так и для транспортной инфраструктуры, что может нарушить нормальное снабжение АЭС. По результатам сценарного прогнозирования ожидается рост температуры наиболее жаркого месяца, что может провоцировать дальнейшее усиление пожароопасности, несущей угрозу функционированию АЭС и ТЭС.

В энергетической отрасли необходим детальный учет наблюдаемых и прогнозируемых изменений климатических, гидрологических, геокриологических характеристик при строительстве новых энергетических мощностей и модернизации уже действующих электростанций и ЛЭП. Целесообразно дальнейшее совершенствование систем мониторинга и оповещения об опасных гидрометеорологических ситуациях, улучшение планирования противопожарных мероприятий (прежде всего меры по профилактике лесных пожаров и восстановлению лесов). Альтернативные источники энергии (малая гидроэнергетика, ветро- и гелиоэнергетика, сжигание биомассы и местные виды топлива) позволят решать проблему районов с децентрализованным электроснабжением, которые составляют более 75% территории Дальнего Востока.

***Жилищно-коммунальное хозяйство. Строительство.*** В зимний сезон на территории ДФО ожидается значительное повышение средней температуры отопительного периода. Наибольшие изменения, достигающие к середине XXI века 5 °С, ожидаются на прибрежных территориях арктических морей. При этом относительные изменения величины градусо-суток отопительного периода варьируют на территории ДФО в пределах 10-20%, достигая максимальных значений в северо-восточной части ДФО. Такие изменения создают предпосылки для уменьшения энергопотребления в холодный период года. В зимний сезон в южных районах ДФО (в Бурятии, Забайкальском крае, Амурской области, Приморье и на юге Хабаровского и Камчатского краев) наблюдается неблагоприятная тенденция к увеличению числа дней с переходом температуры воздуха через 0 °С, что приводит к ускоренному старению ограждающих конструкций зданий и росту эксплуатационных расходов на их содержание. Летом в южных районах ДФО прогнозируется значимое увеличение такого показателя как дефицит холода, свидетельствующее о перегреве зданий и ухудшении комфортности жилища при отсутствии кондиционирования. На фоне сравнительно слабого среднего изменения дефицита холода ожидаются периоды пиковой нагрузки на энергосистемы, связанные с длительными периодами экстремально высоких температур. Изменение режима атмосферных осадков на территории ДФО (рост экстремумов, увеличение продолжительности периодов с дефицитом осадков) может привести к проблемам с водоотведением и водообеспечением.

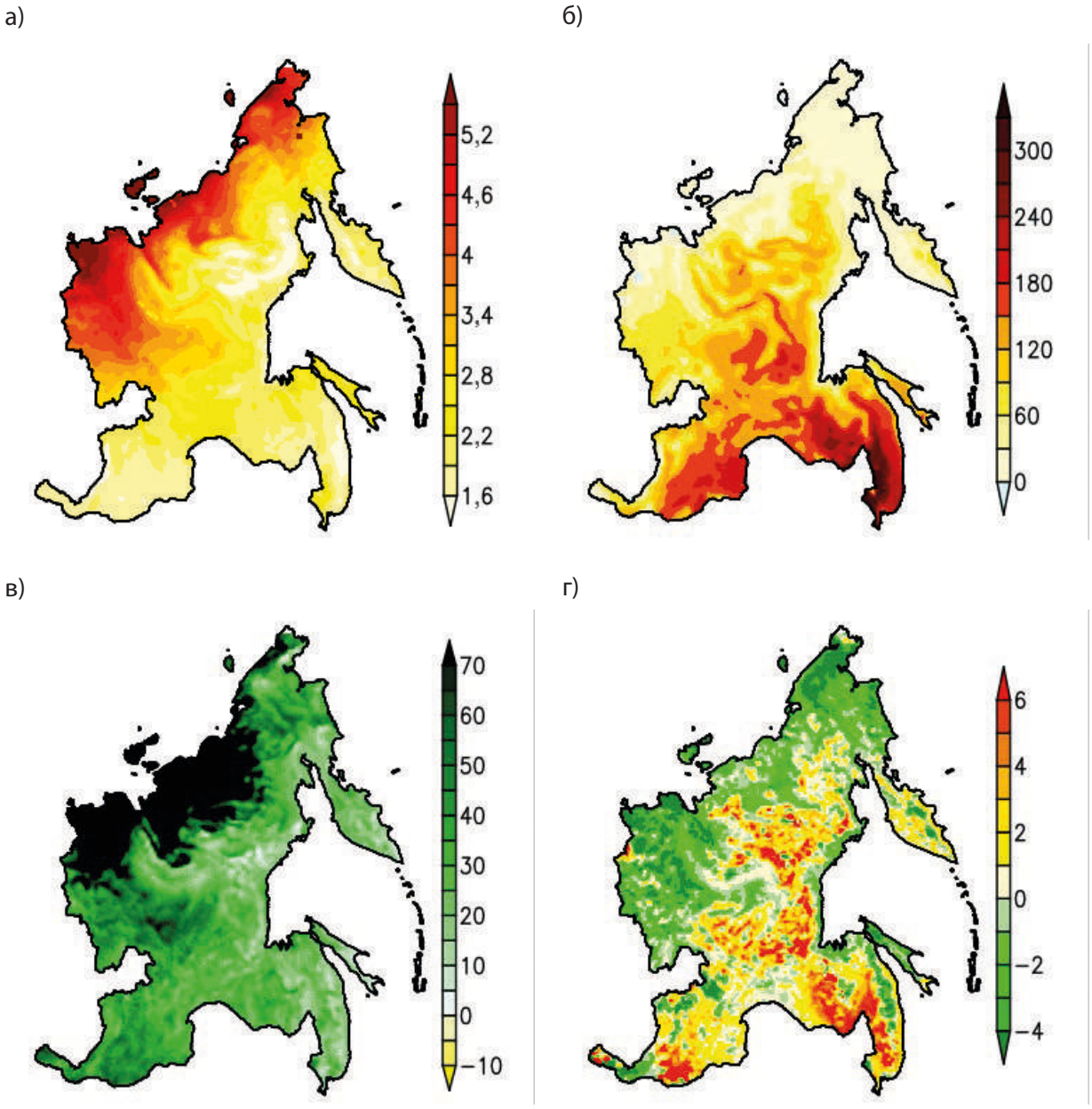



***Рис. 3.9*** *Изменение специализированных климатических показателей на территории ДФО в 2050-2059 гг. по отношению к 1990-1999 гг.: а) средняя температура отопительного периода (°С); б) дефицит холода (°С•сут); в) суточный максимум осадков холодного сезона (%); г) максимальная продолжительность непрерывного периода с осадками меньше 5 мм/сутки для теплого сезона (дни). Сценарий RCP8.5 МГЭИК*

В рамках адаптации к изменениям климата в южных районах ДФО (в Приморском крае, на юге Хабаровского края, в Еврейской АО и Амурской области) необходимо повышение уровня инженерного обеспечения зданий с целью поддержания оптимального микроклимата в помещениях с учетом роста экстремальных температур и энергопотребления в летний сезон. В зимний сезон на юге ДФО для уменьшения влияния температурно-влажностных деформаций на ускоренное старение зданий важно обеспечить при строительстве новых объектов использование материалов, имеющих надлежащую стойкость в отношении циклов замораживания и оттаивания и повышенную коррозийную устой-

чивость различных элементов. Рост суточных экстремумов осадков на всей территории ДФО может привести к необходимости модернизации систем водоотведения на основе обновленных нормативных параметров интенсивности осадков. Для обеспечения безопасности зданий и сооружений при выборе жесткости критериев и задании нормативных значений различных атмосферных нагрузок и характеристик экстремальности необходимо опираться на результаты анализа рисков критических воздействий с учетом информации о современных и будущих климатических изменениях в течение всего расчетного периода эксплуатации проектируемого объекта.

***Рекреация и туризм.*** В туристской отрасли в целом прогноз климатических условий на середину XXI века в ДФО благоприятный: смягчение суровости зимнего периода, положительный тренд числа дней с комфортными температурами, ожидаемое уменьшение на 10-12% количества атмосферных осадков теплого периода в Приморье и их рост в зимнее время – все это будет дополнительным стимулом для интенсификации развития туризма в регионе. Вместе с тем, изменение климата обусловит ряд дополнительных рисков для отрасли: повышение уровня пожароопасности в Забайкальском и Хабаровском краях несет угрозу природным объектам, служащим основным ресурсом для экотуризма, увеличение популяции клещей создает угрозы здоровью туристов, повышение повторяемости опасных явлений, таких как сильные снегопады и штормовые ветры, ограничивает как зимние, так и водные виды рекреации.

Для адаптации туристской деятельности в регионе необходимы разработка и внедрение механизмов устойчивого развития туризма. Прогнозируемое сокращение количества летних осадков и рост температуры теплого периода в Приморье благоприятны для развития пляжного туризма и курортно-санаторных учреждений, что потребует как обновления инфраструктуры, так и разработки программы подготовки кадров. Рост количества осадков зимнего периода предполагает развитие зимних видов рекреации на Камчатке, юге Сахалина, в Хабаровском крае и в Еврейской АО.

## 3.2 Города

В последние десятилетия воздействие изменения климата в российских городах проявилось в увеличении повторяемости экстремальных природных явлений, таянии многолетней мерзлоты, повышении уровня моря, загрязнении окружающей среды, увеличении рисков продовольственной безопасности. Особую проблему для жизни и здоровья населения городов представляет собой ухудшение условий жизнедеятельности, связанное с изменением термического комфорта в летний период.

На урбанизированных территориях единичное экстремальное природное явление может привести к каскадному эффекту, который породит новые бедствия, опасности и последствия, порой приводящие к широкомасштабному разрушению инфраструктуры города, часто из-за каскадирования вниз по последствиям или эффекта «домино». Некоторые положительные последствия изменения климата в основном коснутся лишь городов АЗРФ.

В городах России изменение температурного режима происходит заметно интенсивнее, чем на сопредельных фоновых территориях, благодаря четко выраженному эффекту «острова тепла». Последнее обстоятельство для Арктики, где темпы роста среднегодовой температуры на территории Российской Федерации особенно велики, может иметь и важное экологическое значение – именно на урбанизированных территориях за счет эффекта «острова тепла» уже сейчас появляются более южные представители флоры и фауны. Таким образом, города в АЗРФ – это своего рода «окна в будущее» региона, через которые уже сейчас можно видеть, что будет происходить с экосистемами Арктики через несколько десятилетий, когда общий фон температуры поднимется до современного «городского уровня». В городах-миллионерах, расположенных во внеарктических широтах, эффект «острова тепла» весьма опасен для населения – прежде всего из-за повышения ночных температур, связанного с волнами тепла.

Стратегия адаптации городов к изменению климата должна включать следующие требования (Cities IPCC, 2019):

- Расширение системы наблюдения за здоровьем и раннего предупреждения об опасных погодных событиях с использованием технологий и социальных сетей, особенно для пожилых, очень молодых и бедных;
- Уменьшение эффекта городского острова тепла с использованием пассивных подходов: посадка деревьев, зеленые и светоотражающие крыши и проницаемые тротуары;
- Разработка стратегий устойчивости водных и энергетических систем к изменению климата, играющих ключевую роль в защите населения во время и после экстремальных погодных явлений;
- Регулирование заселения в поймах рек и на побережьях морей для сведения к минимуму воздействия прибрежных штормов и наводнений на суше;
- Поддержание роста городов, ориентированных на использование экологически чистой энергии.

Важную роль в обеспечении устойчивого развития городов призваны сыграть интегрированные

(комплексные) системы городского метеорологического, экологического и климатического обслуживания. Цель состоит в том, чтобы создать городские службы, отвечающие особым потребностям городов, за счет сочетания плотных сетей наблюдений, прогнозов с высоким разрешением, систем раннего предупреждения о множественных опасностях, планов управления рисками, связанными со стихийными бедствиями, и климатического обслуживания.

## 3.3 Арктическая зона Российской Федерации

АЗРФ является одним из важнейших объектов долгосрочных стратегий адаптации к происходящим и ожидаемым изменениям климата. На территории АЗРФ в последние десятилетия отмечается снижение числа и продолжительности экстремально холодных периодов и повышение экстремально высоких температур. При этом растет частота и интенсивность событий, связанных с сильными осадками, затоплением внутренних водоемов, абразией морских побережий, лесными пожарами.

Уменьшение суровости климата, создающее предпосылки для более комфортного проживания населения в регионе, является наиболее выраженным в Восточной Арктике. В Западной Арктике потепление в холодный период года сопровождается негативными проявлениями: возрастает число дней с переходом температуры воздуха через 0 °С, уменьшается число зимних дней с благоприятными для рекреации температурными условиями. Рост летних экстремумов и увеличение числа дней с жаркой погодой приведет к ухудшению экологической обстановки в промышленных районах и отразится на состоянии здоровья населения. Высокие климатические риски для населения в регионе обусловлены также такими проявлениями изменения климата как усиление штормовой активности, повышение интенсивности осадков, наводнения и затопления, эрозия берегов, утрата территорий (в том числе и в результате таяния многолетней мерзлоты).

Согласно ансамблевым модельным оценкам, полученным на основе применения технологии регионального климатического моделирования высокого разрешения с использованием наиболее жесткого сценария RCP8.5 (рис. 3.10, к середине XXI века наибольшая скорость изменения приземной температуры ожидается на территории Ямало-Ненецкого и Ханты-Мансийского АО, а также в прибрежных районах азиатской части АЗРФ (до 1,5 °С/10лет). В летний сезон потепление гораздо более слабое. Наименее выраженное увеличение температуры воздуха – в среднем около 2 °С к середине XXI века – ожидается на территории Красноярского края. В зимний сезон на всей территории прогнозируется значительное (относительное) увеличение сумм осадков.

**Природные системы суши АЗРФ**

В АЗРФ изменение границ тундровых биомов охватывает как равнинные, так и горные экосистемы. В последние 50 лет процесс идет активнее на ЕТР, чем в Сибири, и сопровождается повышением продуктивности экосистем. Средние показатели запасов и продукции фитомассы выросли на 10-15% по сравнению с концом XX века. Наблюдается формирование продуктивных древесно-кустарниковых покровов в ряде мест российской Арктики. Происходит изменение видового разнообразия: выявлено исчезновение нескольких видов растений, отмечаются десятки новых видов птиц, ряд морских птиц расширяет ареал на север и восток, или продвигается на север вдоль Новой Земли. Проникновение в зону тундр бореальных видов (бурого медведя и рыси) усиливает межвидовую конкуренцию, что приводит к снижению численности песца и белого медведя, а также сокращению их ареалов.

Высокоарктические, арктические тундровые и гипоарктические тундровые биомы пре-

терпевают значительные изменения в связи с быстрым ростом температуры в Арктике, усиливающим таяние многолетней мерзлоты и связанную с ней динамику ландшафтов. Отмечаются: размывание берегов рек и морских побережий, засухи, наводнения, ураганы/штормы, пожары в тундре. Нарушение растительного покрова приводит к многократному усилению процессов деградации мерзлоты. Перестройки экосистем АЗРФ в результате совместного действия природных и антропогенных изменений в последние десятилетия охватили 10-20% площади.

На значительном протяжении арктического побережья наблюдается разрушение и отступание береговой линии со средней скоростью от менее 0,5 до 2-5 м/год, при этом максимальная скорость может достигать 100 м/год и более. Увеличение температуры многолетнемерзлых пород сказывается на устойчивости реликтовых гидратов газов. В зоне арктической тундры Западной Сибири в среднем проявляется тенденция роста площади озер, в субарктической тундре – тенденция ее сокращения, а в зоне лесотундры особенностей изменения площади озер во времени не выявлено. При этом образование новых озер в основном происходит в зоне сплошной мерзлоты, а исчезновение – в зоне прерывистой мерзлоты.

Прогнозируемые изменения климата создают благоприятные условия для потенциального развития лесной растительности на большей части АЗРФ, в том числе в горах. Океан исключает возможность отступания природных зон севернее, что может привести к сокращению биоразнообразия арктических видов. Архипелаги в будущем могут остаться единственными фрагментами равнинных тундр и полярных пустынь на территории России.

**Отрасли экономики**

Происходящие и ожидаемые изменения климата существенно влияют на перспективу развития ключевых региональных сегментов экономики, затрагивающих материковую часть российской Арктики.

***Добывающая промышленность.*** Развитие региона в ближайшие десятилетия в значительной степени связывается с освоением месторождений арктического шельфа и дальнейшей разработкой действующих месторождений территории. Потепление, сопровождаемое сокращением продолжительности зимнего сезона, уменьшением градусо-дней с отрицательной температурой воздуха и числа дней с экстремально низкой температурой воздуха, создает более благоприятные условия для производства буровых работ, приведет к уменьшению простоев в работе и положительно отразится на работоспособности оборудования и величине эксплуатационных расходов. Вместе с тем увеличение интенсивности зимних осадков окажет отрицательное воздействие на сооружения нефтегазодобычи и оборудование, особенно при работах на шельфе. Возможное усиление ветро-волновой активности также негативно отразится на эксплуатации морских платформ. С учетом увеличения высоты штормовых нагонов и интенсификации абразионных процессов, приводящих к размыву берегов, а также высоких экологических рисков, может возникнуть необходимость ужесточения требований к безопасности при проектировании объектов нефтедобычи. Опасные последствия изменений климата для нефтегазовой отрасли в АЗРФ связаны с деградацией многолетней мерзлоты. На фоне глобального потепления значительную роль в деградации играют техногенные составляющие регионального и локального масштабов.

***Энергоснабжение.*** Происходящие изменения климата уже к настоящему времени привели к существенному сокращению продолжительности отопительного периода, наиболее заметному в Западной Арктике. Согласно модельным оценкам, к середине XXI века на северо-востоке Европейского Севера уменьшение продолжительности отопительного периода по сравнению с концом XX века может достигнуть 40-50 дней. На территории Азиатского Севера более быстрыми темпами будет расти средняя температура отопительного периода, при этом максимальные изменения ожидаются на севере Таймыра. Совокупное влияние двух факторов – сокращения продолжительности и увеличения средней температуры отопительного периода – должно привести к значительному уменьшению дефицита тепла за отопительный период, величина которого может рассматриваться как индекс потребления энергии. Это уменьшение будет наиболее выраженным на Азиатском Севере – в малонаселенных районах с суровыми климатическими условиями. Относительное уменьшение будет наибольшим в Западной Арктике (до 30% к концу XXI века). Однако для полноценного извлечения выгод, связанных с потеплением, требуется широкое внедрение современных технологий производства энергии в сочетании с комплексной модернизацией системы теплоснабжения и тепловых сетей.

***Наземная транспортная инфраструктура.*** Учет региональных изменений климатического воздействия на объекты наземной инфраструктуры особенно актуален при реализации крупных проектов по развитию транспортной сети в регионе. Происходящие изменения термического режима являются благоприятными с точки зрения производства работ. Растет число дней с температурой воздуха выше –30 °C, приемлемых для работ на открытом воздухе. Уменьшается период с отрицательными значениями температуры воздуха, когда невозможно выполнение отдельных строительных работ («мокрых работ»). С точки зрения надежности существующих и проектируемых сооружений важной является адекватная оценка изменений характеристик экстремальности термического режима. В условиях российской Арктики низкие и высокие температуры воздуха, а в особенности – большие перепады температуры (в течение года или в течение суток), приводят к возникновению повышенных температурных деформаций и напряжений, которые ухудшают прочностные характеристики элементов сооружений и снижают их несущую способность.

Для оценки рисков и оптимизации принимаемых решений на региональном уровне важно знать величину будущих изменений различных показателей не только «в среднем», но и представлять, с какой вероятностью на выбранном временном интервале можно ожидать то или иное значение рассматриваемого индикатора. В практическом плане такой анализ представляет наибольший интерес для показателей экстремальности, будущие изменения которых могут существенно повлиять на надежность и безопасность проектируемых сооружений.

Важное проявление температурных воздействий на сооружения связано с частыми переходами температуры воздуха через 0 °C. Такие переходы, наряду с большими перепадами температуры воздуха, приводят к ускоренному старению материалов, из которых сделаны сооружения (дороги, мосты, тоннели, взлетно-посадочные полосы аэродромов, здания и др.) и как результат – к снижению срока их службы.

На протяжении XXI века этот отрицательный эффект потепления будет в наибольшей степени проявляться на Европейской территории и, в частности, в Западной Арктике.

Существенным негативным фактором, воздействующим на транспортную инфраструктуру, является увеличение количества и интенсивности осадков. Особенно высокие риски связаны с увеличением экстремальных суточных сумм осадков в теплый сезон, которые приводят к потере устойчивости склонов, возникновению оползней и разрушению объектов.

***Портовая инфраструктура.*** Стратегия развития Северного морского пути и перспектива его использования для перевозки грузов из Европы и России в страны Тихоокеанского региона требуют создания соответствующей портовой инфраструктуры, отвечающей современным требованиям климатической безопасности и обеспечивающей эффективное функционирование транспортного коридора. Морские порты в большой степени подвержены рискам, связанным с изменениями климата. Потепление климата приведет к значительному увеличению продолжительности теплого периода года, что улучшит условия эксплуатации портовой инфраструктуры (за счет меньшей частоты возникновения условий обледенения), а также уменьшит затраты на обработку и хранение грузов. Вместе с тем высокие летние температуры, число дней с которыми будет возрастать, оказывают прямое негативное воздействие на функционирование портов. В таких условиях увеличивается нагрузка на чувствительное к температуре оборудование, изготовленное из металла; растут энергозатраты на хранение грузов.

Сильный дождь является фактором риска для электрооборудования портовых кранов, причем в случае возникновения аварийных ситуаций ущерб может быть очень значительным. Ожидаемое усиление конвективных процессов, рост интенсивности летних осадков и продолжительности гроз приведут к увеличению простоев портовых кранов. Важно также отметить возрастание рисков разрушения портовой инфраструктуры, связанных с усилением штормо-волновой активности в арктических морях.

***Лесопромышленный комплекс.*** Воздействие изменений климата на древесную растительность в Западной Арктике, где лесозаготовка и обработка древесины занимают важное место в структуре экономики, не является однозначным. Наряду с позитивными факторами (уменьшение суровости зимних условий, увеличение продолжительности вегетационного сезона), определенные региональные особенности потепления оказывают негативное влияние на лесные сообщества. Следует отметить не только увеличение вклада экстремально-высоких летних температур и связанные с этим риски возникновения лесных пожаров, но и растущее число оттепелей в холодный период года. Рост интенсивности осадков в сочетании с увеличением доли жидких осадков в зимний сезон сопровождается такими негативными явлениями как снеголом, снеговал и др., которые ухудшают состояние лесов и приводят к рискам массового размножения вредителей и распространению болезней леса.

***Сельское хозяйство.*** Происходящие климатические изменения в теплый период года, особенно на северо-востоке АЗРФ, создадут более благоприятные возможности для развития растениеводства по сравнению с современными условиями. Для оленеводства

сокращение периода с отрицательными температурами воздуха, увеличение числа переходов температуры через 0 °С, а также рост количества осадков, могут иметь негативные последствия, проявляющиеся в затруднениях перемещения оленей между пастбищами и добывания корма из-за образования на снегу ледяной корки.

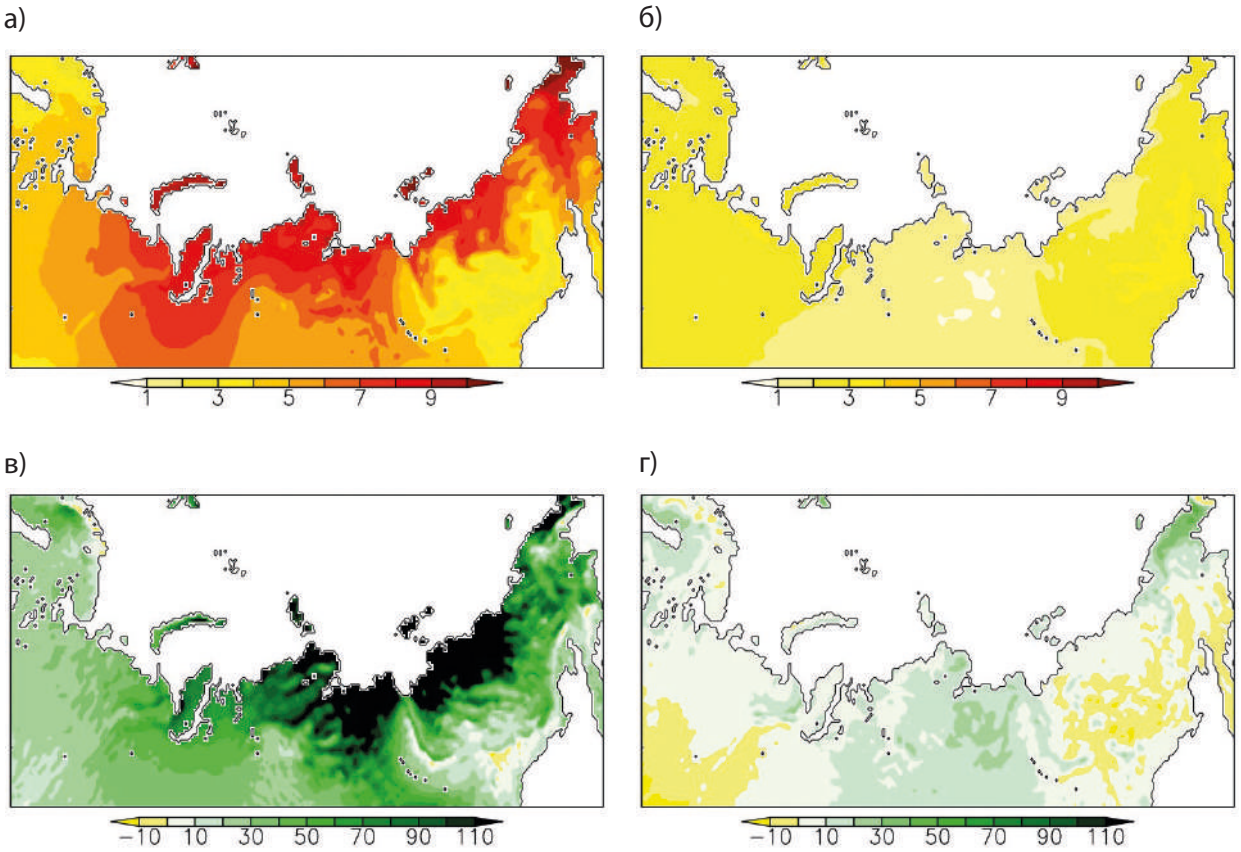



***Рис. 3.10*** *Изменение средней сезонной температуры воздуха у поверхности (°С) (а, б) и сумм атмосферных осадков (%) (в, г) для зимнего (а, в) и летнего (б, г) календарных сезонов к середине XXI века (для сценария RCP8.5) по отношению к концу XX века*

Адаптация к изменениям климата в регионе предполагает обеспечение безопасности населения и экосистем, а также устойчивости функционирования инфраструктуры и хозяйственных комплексов, в отношении негативных воздействий изменений климата и максимальное использование потенциала хозяйственного освоения арктических территорий, обеспечиваемого положительным влиянием изменений климата.

Ключевыми элементами адаптации в АЗРФ являются:

- защита населения от негативных последствий изменений климата (совершенствование системы здравоохранения, помощь при чрезвычайных ситуациях, разработка систем раннего оповещения о стихийных бедствиях и погодно-климатических аномалиях и другие меры по улучшению систем жизнеобеспечения и повышения качества жизни с учетом меняющихся, в том числе под влиянием изменений климата, условий);
- мониторинг и прогнозирование изменений погодно-климатических условий в АЗРФ,

включая стихийные бедствия и погодно-климатические аномалии;

- оценка рисков и определение приоритетов (ранжирование) рисков изменений погодно-климатических условий для населения и хозяйственных комплексов АЗРФ в отраслевом и территориальном (пространственном) разрезах;
- разработка и реализация отраслевых программ адаптации, направленных на защиту и повышение устойчивости хозяйственных комплексов АЗРФ к реальным (актуальным) неблагоприятным последствиям изменений климата (деградации многолетнемерзлых грунтов, абразии берегов, учащению лесных пожаров и т.д.);
- разработка и реализация отраслевых программ адаптации, направленных на (а) снижение ожидаемого ущерба хозяйственных комплексов от прогнозируемых климатических изменений, включая меры по минимизации ущерба природной среде и экосистемам, связанным с интенсификацией хозяйственной деятельности в АЗРФ с учетом тенденций смягчения климата, открытием доступа к новым месторождениям полезных ископаемых, более интенсивной эксплуатации Северного морского пути и других транспортных маршрутов; (б) эффективное использование указанными комплексами благоприятных возможностей, открывающихся в результате смягчения климата;
- охрана, в том числе от пожаров; снижение антропогенной нагрузки и предотвращение нарушения целостности растительного покрова для уменьшения скорости деградации многолетнемерзлых пород; с учетом планов расширения хозяйственного освоения АЗРФ и особой хрупкости арктических экосистем – расширение сети ООПТ до 20-30% от площади биомов;
- разработка и реализация региональных программ адаптации, направленных на обеспечение защиты населения, инфраструктуры и природных экосистем от последствий изменений климата (наводнений, пожаров и других стихийных бедствий, волн тепла и холода; деградации многолетнемерзлых грунтов, абразии береговых зон и т.д.);
- разработка и реализация образовательных и научных программ, обеспечивающих развитие базы данных и базы знаний в области географии, экологии, климата и социально-экономических процессов в АЗРФ с целью, в частности, повышения качества прогнозирования, оценки рисков и эффективности адаптационных мер в рамках стратегического планирования развития Арктического макрорегиона.

Конкретное содержание системы адаптационных мер существенно зависит от особенностей природно-климатических условий, социально-экономического положения и ресурсной обеспеченности конкретных территорий АЗРФ.

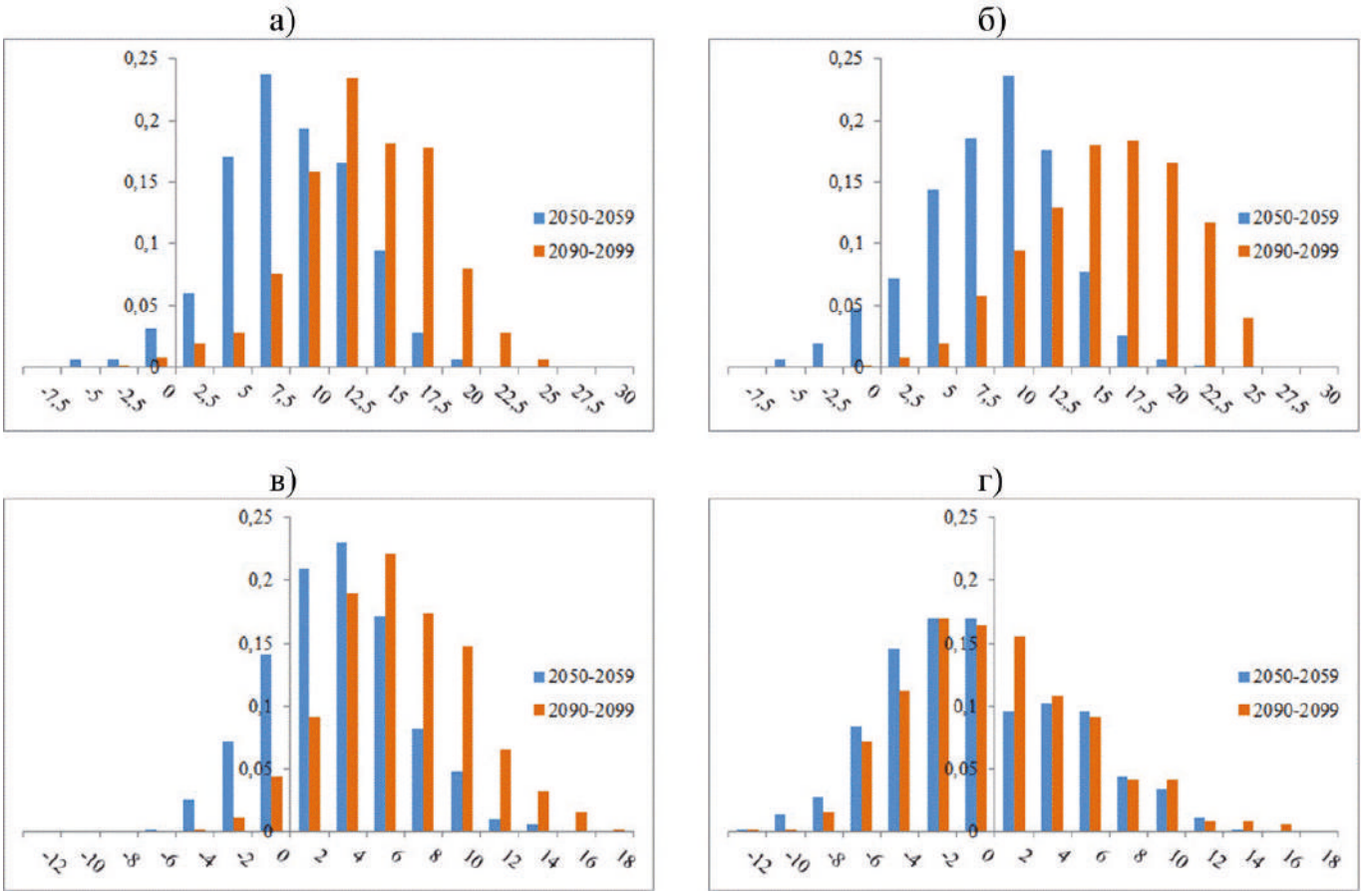



***Рис. 3.11*** *Вероятностные распределения годовых минимумов (а, б) и максимумов (в, г) средней суточной температуры воздуха в 2050-2059 и в 2090-2099 гг. (в отклонениях (°С) от их средних значений в 1990-1999 гг.) в различных регионах АЗРФ (а, в – Нарьян-Мар; б, г – Хатанга)*

# ЗАКЛЮЧЕНИЕ

*Настоящий доклад является третьим в серии оценочных докладов Росгидромета об изменениях климата и их последствиях на территории Российской Федерации. Как и два предыдущих доклада этой серии (Росгидромет, 2008; 2014), Третий оценочный доклад Росгидромета относится к одной из уже ставших традиционными форм климатического обслуживания Росгидрометом экономики и населения России. В связи с нарастающими климатическими угрозами, а также благодаря техническому прогрессу для климатического обслуживания – и в мире, и в нашей стране – наступил период интенсивного развития. Расширение круга задач климатического обслуживания (прежде всего в части адаптации к изменениям климата) неизбежно сказывается и на содержании оперативной деятельности Росгидромета, и на научно-исследовательской тематике его институтов, и на востребованности его информационно-аналитической продукции, включая оценочные доклады о климате.*

## Задачи и перспективы климатического обслуживания в Российской Федерации в условиях изменения климата

Под климатическим обслуживанием следует понимать создание информационной климатической продукции и предоставление ее потребителю с использованием тех или иных средств коммуникации и презентации. При этом под климатической продукцией понимается климатическая информация (данные о прошлом, настоящем и будущем) в преобразованном виде, пригодном для ее использования потребителем (от цифровых массивов и картографического материала до аналитических обзоров и рекомендаций).

Формирование Глобальной рамочной основы для климатического обслуживания (ГРОКО), старт которому был дан Внеочередным Всемирным метеорологическим конгрессом 29-31 октября 2012 г., начиналось на фоне усиления ряда глобальных тенденций в содержании климатического обслуживания:

- от смягчения антропогенного воздействия на климатическую систему – к адаптации к погодно-климатическим воздействиям;
- от ограниченного числа потребителей климатического обслуживания – ко многим;
- от глобальных оценок изменения климата на дальнюю перспективу – к региональным и субрегиональным на ближайшие десятилетия;
- от климата средних – к экстремальным и опасным явлениям;
- от докладов о состоянии климата, выпускаемых с определенной периодичностью, – к оперативному обслуживанию потребителей (в том числе, на основе бесшовного прогнозирования: от часов – до десятилетий).

В последние годы к этим тенденциям добавились новые, обусловленные интенсивным технологическим развитием. Это развитие прежде всего привело к резкому увеличению объемов данных – как наблюдений, так и модельных, – доступных для использования в климатическом и смежных с ним видах обслуживания. Национальные гидрометслужбы как основные производители климатического обслуживания столкнулись с вызовом, связанным с так называемыми «большими данными», который требует безотлагательного формирования соответствующих «цифровых» стратегий – как на национальном, так и на международном (ВМО) уровне.

Все отчетливее проявляется конвергенция между климатическим и смежными видами обслуживания. Примером такой конвергенции является интегрированное городское экологическое и климатическое (а также метеорологическое и гидрологическое) обслуживание.

На передний край выдвинулись также проблемы (и новые возможности) взаимодействия с частным сектором, который весьма активизировался, в особенности в обеспечении т.н. последней мили между производителем данных об окружающей среде и потребителем соответствующей продукции. В этой ситуации критически важным становится сохранение контроля со стороны национальных гидрометслужб над качеством предоставляемой потребителю информации, лежащей в основе климатической и смежных видов продукции. Доступность такой продукции для потребителя, привлекательность дизайна, удобство интерфейса, которые легко и умело могут быть обеспечены частным сектором, ни в коем случае не должны доминировать над качеством и достоверностью кли-

матических и других данных об окружающей среде, научной обоснованностью их анализа и интерпретации.

Наконец, по мере проникновения климатического обслуживания во все сферы жизни общества, включая отрасли экономики и органы власти разного уровня, эффективное и плодотворное взаимодействие между производителями и потребителями климатического обслуживания должно осуществляться с участием специалистов, обладающих надлежащими компетенциями. Потребность в таких специалистах, отвечающих, например, за создание, развитие и мониторинг эффективности отраслевых или региональных стратегий адаптации к изменениям климата, выдвигает на передний план проблему наращивания кадрового потенциала. Важно формирование образовательных программ, подготовка и повышение квалификации кадров, обеспечивающих межведомственное взаимодействие, направленное на климатическое обслуживание, включая совершенствование и реализацию стратегий и планов адаптации к изменениям климата.

На сегодняшний день в России главной задачей климатического обслуживания, очевидно, является научное и информационно-аналитическое обеспечение адаптации экономики и населения страны не только к текущему состоянию климатической системы, но и к ожидаемым его изменениям. Научное обеспечение процесса адаптации к изменениям климата должно позволить обществу лучше управлять соответствующими рисками и использовать новые возможности, связанные с изменениями климата.
Развитие системы климатического обслуживания в Российской Федерации ориентируется на следующие пять компонентов ГРОКО:

- Платформа взаимодействия с потребителями: формирование механизмов взаимодействия учреждений системы Росгидромета и РАН с потребителями климатической информации разного уровня;
- Информационная система климатического обслуживания: разработка механизмов регулярного сбора, хранения и обработки информации о климате (прошлом, настоящем и будущем) для подготовки продукции и обслуживания, которые определяют решения в рамках широкого круга чувствительных к климату видов деятельности;
- Наблюдения и мониторинг: обеспечение устойчивого функционирования, модернизация и расширение наблюдательных сетей, прежде всего – Государственной наблюдательной сети; обеспечение сбора, управления и распространения данных климатических наблюдений и других данных, необходимых для удовлетворения потребностей конечных потребителей, а также для поддержки этих данных соответствующими метаданными;
- Исследования, моделирование и прогнозирование: развитие методической и нормативной базы климатического обслуживания на основе исследований климата, включая моделирование и прогнозирование изменений климата и их воздействий, повышение качества климатической информации;
- Развитие потенциала: подготовка и повышение квалификации кадров в системе климатического обслуживания.

Данные наблюдений за состоянием климатической системы и ее изменениями служат ключевой информационной основой для выработки, практической реализации и последующей оценки результативности государственной климатической политики в отношении целей и путей, пределов и механизмов адаптации к изменениям климата. Эти же данные в их со-

вокупности необходимы для верификации современных физико-математических моделей климата, которые посредством сценарного прогнозирования состояния климатической системы позволяют, в частности, определить важнейшие потребности в упреждающей адаптации к возможным в будущем изменениям климата. В свою очередь сценарные прогнозы изменений климата «подсказывают» направления развития Государственной наблюдательной сети, ее собственной адаптации к ожидаемым изменениям климата. Так, например, в последние годы стали очевидны неотложность расширения мониторинга состояния многолетней мерзлоты на территории России; потребность в адаптации гидрологической наблюдательной сети, ориентированной на «гидрологические» риски, связанные с ожидаемым изменением климата; а также необходимость ряда других действий, направленных на усиление климатического мониторинга на суше и в океане, в том числе с использованием спутниковых технологий.

Для разработки и климатологического обоснования стратегий адаптации к ожидаемым изменениям климата в России необходимо опираться на количественные оценки изменения климатического воздействия на экономику и социальную сферу, полученные с использованием физико-математического моделирования. Предстоит большая работа по развитию возможностей, которые предоставляют физико-математические модели, прежде всего за счет повышения сложности и радикального улучшения пространственного разрешения этих моделей – в условиях непрерывного увеличения доступных для исследований и прогнозирования климата вычислительных ресурсов. Требуется также интенсивная разработка методов, моделей, технологий и стратегий (включая вышеупомянутые цифровые стратегии), обеспечивающих адекватное использование результатов мониторинга климатической системы и климатического моделирования.

Разработка, мониторинг эффективности и соответствующая корректировка адаптационных стратегий для хозяйствующих субъектов и социального сектора должны осуществляться с использованием международного опыта, включая современные методы, позволяющие учитывать неопределенности сценарных прогнозов климатических изменений и соответствующих воздействий.

Важнейшей составляющей научного обоснования рекомендаций по адаптации являются социоэкономические оценки. Именно социогуманитарные науки призваны дать ответы на ряд ключевых для планирования адаптации вопросов: о приемлемости тех или иных климатических рисков; о соотношении предотвратимого ущерба и затратности мер адаптации к ожидаемым климатическим воздействиям; о выборе оптимальной адаптационной стратегии, в том числе в отношении косвенных последствий климатических изменений и т.п.

Необходима конвергенция – широкое междисциплинарное взаимодействие – выработка общего языка и поддержание непрерывного диалога между профессиональными климатологами, представителями «отраслевых», а также социогуманитарных наук и субъектами адаптации.

Резюмировать сказанное можно следующими тезисами.

- Главной задачей климатического обслуживания в России, очевидно, является научное и информационно-аналитическое обеспе-

чение адаптации экономики и населения страны к текущему состоянию и ожидаемым изменениям климатической системы.

- Развитие национальной системы климатического обслуживания в России – на основе (1) высоких технологий, связанных с использованием быстро развивающихся систем мониторинга климатической системы и сложных физико-математических моделей; а также (2) научно обоснованной интерпретации для прикладных целей все возрастающих объемов климатических данных – остается остро актуальной задачей. Для решения этой задачи необходимы взаимодействие представителей различных областей науки и скоординированные усилия специалистов различных ведомств.
- Высококачественное климатическое обслуживание невозможно без глубоких фундаментальных и прикладных исследований. При этом ответственность климатологов в том, чтобы ответы на вопросы (и запросы) со стороны общества к климатическому обслуживанию (подчас некорректные) никогда не выходили за пределы современных научных знаний.

## Приложение.

## Основные сокращения

АЗРФ – Арктическая зона Российской Федерации
АТР – Азиатская территория России
АЭС – атомная электростанция
ВАЗР – Восточная Атлантика – Западная Россия (атмосферная мода)
ВВП – валовый внутренний продукт
ВИЭ – возобновляемые источники энергии
ВМО – Всемирная метеорологическая организация
ВЭС – ветровые электростанции
ВЭУ – ветровые энергетические установки
ГеоТЭС – геотермальная электростанция
ГРОКО – Глобальная рамочная основа для климатического обслуживания
ГЭС – гидроэлектростанция
ДФО – Дальневосточный федеральный округ
ЕТР – Европейская территория России
ЖКХ– жилищно-коммунальное хозяйство
КПД – коэффициент полезного действия
ЛЭП – линия электропередачи
МГЭИК – Межправительственная группа экспертов по изменению климата
ОГЯ – опасные гидрологические явления
ООПТ – особо охраняемые природные территории
ПФО – Приволжский федеральный округ
РАН – Российская академия наук
Росгидромет – Федеральная служба по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды
Росстат – Федеральная служба государственной статистики
САК – североатлантическое колебание
СЗФО – Северо-Западный федеральный округ
СКФО – Северо-Кавказский федеральный округ
СНиП – строительные нормы и правила
СФО – Сибирский федеральный округ
СЭС – солнечная электростанция
ТЭС – тепловая электростанция
УФО – Уральский федеральный округ
ФО – Федеральный округ
ЦФО – Центральный федеральный округ
ЮФО – Южный федеральный округ
ЯНАО – Ямало-Ненецкий автономный округ
AMAP – Arctic Monitoring and Assessment Programme (Программа мониторинга и оценки Арктики)
CMIP – Coupled Model Intercomparison Project (Проект сравнения объединенных моделей)
CMIP5 – пятая фаза проекта CMIP
CMIP6 – шестая фаза проекта CMIP
ECMWF – European Centre for Medium Range Weather Forecasting (Европейский центр среднесрочного прогноза погоды)
ERA5 – ECMWF reanalysis (Глобальный реанализ атмосферы Европейского центра среднесрочных прогнозов погоды)
GISTEMP – Goddard Institute for Space Studies Surface Temperature Analysis (Анализ поверхностной температуры Годдардского института космических исследований, США)
HadCRUT – Hadley Centre/Climatic Research Unit gridded surface temperature data set (массив сеточных данных поверхностной температуры Центра Хэдли/ Подразделения исследований климата, Университет Восточной Англии, Великобритания)
IPCC – Intergovernmental Panel on Climate Change (МГЭИК – Межправительственная группа экспертов по изменениям климата)
J1/2/3 – Спутники Jason 1, 2, 3
NASA – National Aeronautic and Space Administration (Национальное управление по

аэронавтике и исследованию космического пространства, США)

NOAA – National Oceanic and Atmospheric Administration (Национальное управление океанических и атмосферных исследований, США)

NSIDC – National Snow and Ice Data Center (Национальный центр данных о снеге и льде, США)

RCP – сценарий антропогенного воздействия на климатическую систему группы Representative Concentration Pathway (РТК – репрезентативные траектории концентраций)

RCP4.5 – сценарий группы RCP антропогенного воздействия на климатическую систему, при котором предполагаемое радиационное воздействие к 2100 году станет 4,5 Вт/м$^2$

RCP8.5 – сценарий группы RCP антропогенного воздействия на климатическую систему, при котором предполагаемое радиационное воздействие к 2100 году станет 8,5 Вт/м$^2$

SSP – вероятные альтернативные сценарии эволюции общества и экосистем в XXI веке группы Shared Socioeconomic Pathway; (Путь совместного социально-экономического развития)

SSP1 – сценарий группы SSP «Устойчивость (переход на зеленый путь)»

SSP1-1.9 – сценарий в структуре SSP-RCP, где первый индекс показывает путь социально-экономического развития (SSP1), а второй – величину радиационного воздействия, достигаемого в 2100 г., а именно 1,9 Вт/м$^2$ (RCP1.9)

SSP1-2.6 – сценарий в структуре SSP-RCP, где первый индекс показывает путь социально-экономического развития (SSP1), а второй – величину радиационного воздействия, достигаемого в 2100 г., а именно 2,6 Вт/м$^2$ (RCP2.6)

SSP2 – сценарий группы SSP «Центральная часть дороги»

SSP2-4.5 – сценарий в структуре SSP-RCP, где первый индекс показывает путь социально-экономического развития (SSP2), а второй – величину радиационного воздействия, достигаемого в 2100 г., а именно 4,5 Вт/м$^2$ (RCP4.5)

SSP3 – сценарий группы SSP «Региональное соперничество (каменистая дорога)»

SSP3-7.0 – сценарий в структуре SSP-RCP, где первый индекс показывает путь социально-экономического развития (SSP3), а второй – величину радиационного воздействия, достигаемого в 2100 г., а именно 7,0 Вт/м$^2$ (RCP7.0)

SSP4 – сценарий группы SSP «Неравенство (разделенная дорога)»

SSP5 – сценарий группы SSP «Развитие на базе ископаемых видов топлива (переход на магистраль)»

SSP5-8.5 – сценарий в структуре SSP-RCP, где первый индекс показывает путь социально-экономического развития (SSP5), а второй – величину радиационного воздействия, достигаемого в 2100 г., а именно 8,5 Вт/м$^2$ (RCP8.5)

T/P – Спутник TOPEX/Poseidon

Научное издание

**Третий оценочный доклад об изменениях климата и их последствиях на территории Российской Федерации**

Общее резюме

Редактор А. А. Киселев
Корректор Л. В. Бородина
Дизайн А. Б. Лукьянчук
Компьютерная верстка О. В. Аврах

Фото на обложке: «Гора Актуру, Республика Алтай, Россия». Автор Сергей Чуприн.

Издательство «Наукоемкие технологии»
ООО «Корпорация «Интел Групп»
https://publishing.intelgr.com
E-mail: publishing@intelgr.com
Тел.: +7 (812) 945-50-63

Подписано в печать 27.09.2022
Формат 60×84/8
Бумага офсетная. Печать офсетная
Объем 15,5 печ.л. Тираж 500 экз.

ISBN 978-5-907618-14-5



ISBN 978-5-907618-14-5

