



ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА ПО ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИИ
И МОНИТОРИНГУ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ (РОСГИДРОМЕТ)

КЛИМАТИЧЕСКИЙ ЦЕНТР РОСГИДРОМЕТА

ДОКЛАД

О СОСТОЯНИИ И ПЕРСПЕКТИВАХ
КЛИМАТИЧЕСКОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ
В РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ В УСЛОВИЯХ
ИЗМЕНЕНИЯ КЛИМАТА

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

КЛИМАТИЧЕСКИЙ ЦЕНТР РОСГИДРОМЕТА



**ДОКЛАД
О СОСТОЯНИИ И ПЕРСПЕКТИВАХ
КЛИМАТИЧЕСКОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ
В РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ В УСЛОВИЯХ ИЗМЕНЕНИЯ
КЛИМАТА**

САНКТ-ПЕТЕРБУРГ, 2025 Г.

УДК 551.583

ББК 26

Доклад о состоянии и перспективах климатического обслуживания в Российской Федерации в условиях изменения климата. – Санкт-Петербург. 2025 г. – 106 с.

***Посвящается 190-летию Российской гидрометслужбы и
175-летию Главной геофизической обсерватории им. А.И. Воейкова***

В настоящей публикации Климатического центра Росгидромета представлен анализ структуры климатического обслуживания на глобальном и национальном уровнях. Авторы предлагают свое видение ретроспективы, современного состояния и перспектив развития климатического обслуживания в России в условиях изменения климата, основанное, помимо прочего, на многолетнем опыте взаимодействия с потребителями климатической информации и продукции, и специализированного климатического обслуживания различных секторов социально-экономической сферы. Целевой аудиторией публикации являются производители и потребители климатической информации и продукции в различных областях применений, в том числе – федеральные и региональные органы исполнительной власти, представители частного сектора, научно-исследовательские и образовательные учреждения.

Под редакцией

доктора физико-математических наук В.М. Катцова

Авторский коллектив:

*Е.М. Акентьева, В.М. Катцов, М.В. Ключева, Е.И. Хлебникова, В.В. Стадник, Д.В. Фасолько,
И.М. Школьник, Е.П. Самойлова, Е.Н. Разова, В.А. Задворных*

ISBN 978-5-6053818-0-8

© Главная геофизическая
обсерватория им. А.И. Воейкова
(ФГБУ «ГГО»), 2025

ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение	стр. 4
1 История развития климатического обслуживания в России	стр. 7
1.1 Российская империя	стр. 7
1.2 Советский Союз	стр. 9
1.3 Российская Федерация	стр. 13
2 Современная структура климатического обслуживания на глобальном и национальном уровнях.....	стр. 19
2.1 Глобальная рамочная основа для климатического обслуживания (ГРОКО)	стр. 19
2.2 Национальные рамочные основы для климатического обслуживания (НРОКО)	стр. 25
2.3 Росгидромет как ключевой субъект российского сегмента ГРОКО	стр. 28
3 Климатическое обслуживание секторов экономики в системе Росгидромета	стр. 31
3.1 Здравоохранение	стр. 31
3.2 Добывающая промышленность.....	стр. 34
3.3 Сельское хозяйство	стр. 35
3.4 Водное хозяйство	стр. 39
3.5 Лесное хозяйство.....	стр. 42
3.6 Энергетический сектор.....	стр. 45
3.7 Транспортный сектор	стр. 51
3.8 Строительный сектор и ЖКХ	стр. 57
3.9 Туризм и рекреация.....	стр. 61
4 Роль климатического обслуживания в разработке и реализации национальных планов адаптации к изменениям климата на отраслевом и региональном уровнях	стр. 65
5 Перспективы развития климатического обслуживания в России в условиях изменения климата	стр. 71
Заключение	стр. 82
Список литературы.....	стр. 84
Приложение 1. Основные понятия и определения	стр. 97
Приложение 2. Основные сокращения, используемые в докладе	стр. 102

ВВЕДЕНИЕ

Климат и его изменения являются одним из определяющих факторов устойчивого развития государства в таких сферах, как здравоохранение, сельское хозяйство, водные ресурсы, энергетика, транспорт, строительство и других. Принятая в 2009 г. Климатическая доктрина Российской Федерации, обновленная затем в 2023 г.¹, отмечает (п.34): «Своевременные выявление и оценка связанных с изменением климата угроз устойчивому развитию и безопасности Российской Федерации, включая угрозы обороноспособности, экономике, окружающей среде, жизни и здоровью граждан, относятся к приоритетам климатической политики». В этих условиях роль качественного и высокотехнологичного климатического обслуживания (далее – КО) экономики и социальной сферы становится критически важной.

Под КО следует понимать создание информационной климатической продукции и предоставление ее потребителю с использованием тех или иных средств коммуникации и презентации (Катцов, 2015). При этом под климатической продукцией понимается климатическая информация (данные о прошлом, настоящем и будущем состояниях климатической системы² и внешних воздействий на нее) в преобразованном виде, пригодном для ее использования потребителем (от цифровых массивов и картографического материала до аналитических обзоров и рекомендаций). Климатическая информация основывается на данных климатического мониторинга и результатах моделирования – в сочетании со знаниями о климате.

Основной задачей КО является предоставление научно обоснованной информации для принятия решений, прежде всего (но не исключительно³), в отношении адаптации экономики и социальной сферы к текущим и будущим климатическим условиям.

По сравнению со многими другими странами, сложность и специфика организации КО в России обусловлены не только чрезвычайным разнообразием климатических условий – и проявлений изменения климата – на ее огромной территории, но и сложностью структуры и объемом ее экономики. Однако, несмотря на указанные особенности, КО в России сталкивается с многочисленными вызовами и проблемами, присущими многим другим странам мира, особенно в условиях меняющегося климата. Это предполагает существенную общность инструментов КО и подходов к обеспечению продуктивного взаимодействия производителей и потребителей КО, а значит – и важную роль международной координации и сотрудничества в этой сфере.

В 2009 г. на Третьей Всемирной Конференции по климату Всемирная метеорологическая организация (ВМО) представила Глобальную рамочную основу для климатического обслуживания (ГРОКО)⁴. Помимо национальных систем гидрометеорологических и других видов наблюдений, ГРОКО опирается на системы ранних предупреждений о неблагоприятных

¹ <http://publication.pravo.gov.ru/document/0001202310260009>

² В последнее десятилетие все шире используется понятие «земная система», подразумевающее включение в рассмотрение взаимодействия физических, химических и биологических процессов, действующих в климатической системе.

³ Климатическая информация включает информацию, которая необходима для принятия решений в отношении смягчения антропогенного воздействия на климатическую систему (т.н. «митигации»). Соответственно, задачи КО не исчерпываются обеспечением адаптации, тем более что в ряде случаев адаптация и «митигация» демонстрируют синергию (например, в возобновляемой энергетике). Однако, круг задач собственно адаптации к климатическим воздействиям и их изменениям, безусловно, шире. В настоящем докладе КО рассматривается именно в контексте научного и информационно-аналитического обеспечения адаптации.

⁴ <https://gfcs.wmo.int/site/global-framework-climate-services-gfcs>

и опасных явлениях, системы моделирования и прогнозирования климата, системы обеспечения климатической информацией самого широкого круга потребителей. ГРОКО нацелена на снижение уязвимости общества к погодно-климатическим воздействиям, в том числе за счет повышения эффективности предоставления климатической информации потребителям; активизации использования потребителями климатической информации в процессе принятия решений; усиления взаимодействия производителей и потребителей КО (ГРОКО, 2014).

На ранних этапах формирования ГРОКО, старт которому был дан Внеочередным Всемирным Метеорологическим Конгрессом 29-31 октября 2012 г. и непосредственно предшествовавшей ему международной конференцией «Диалог потребителей и производителей климатического обслуживания: в направлении реализации ГРОКО», подчеркивалось принципиальное отличие КО от, например, метеорологического (Катцов, 2015). Однако в настоящее время наметилась глобальная тенденция к интеграции климатического, метеорологического, гидрологического, экологического и других видов обслуживания, относящихся к окружающей среде. Эта тенденция, несмотря на различия во временных масштабах, инструментах и методах исследования, а также источниках данных, используемых в разных видах обслуживания, обусловлена объективными потребностями адаптации экономики и социальной сферы к погодно-климатическим воздействиям как комплексной задачи.

Одним из ярких примеров проявления этой тенденции является развитие систем интегрированного городского обслуживания (Baklanov et al., 2018). Вследствие размытости границ между различными видами обслуживания в контексте информационно-аналитического и научного обеспечения адаптации к погодно-климатическим воздействиям в настоящем Докладе, если это не оговаривается особо, понятие «КО» применяется в вышеуказанной расширительной трактовке.

КО может быть общедоступным и специализированным. Общедоступное КО в виде предоставления данных и продукции, полученных при государственном финансировании, является общественным благом, бесплатно и не подразумевает ограничений для потребителей.

Особое направление КО ориентировано на обеспечение органов государственной власти информацией о фактическом и прогнозируемом состоянии окружающей среды в целях принятия оптимальных решений в сфере национальной безопасности.

КО опирается на фундаментальные исследования, проводимые на основе существующих знаний о климате и его изменениях и о функционировании объектов социально-экономической сферы. Система КО формируется на основе гидрометеорологической и климатической информации, проходящей многостороннюю трансформацию и интеграцию с социально-экономическими данными через комплекс физических и экономических моделей.

Развитие моделирования климата значительно улучшило понимание причин и факторов воздействия изменения климата на объекты экономики и социальной сферы. В результате появилась возможность использовать все более полную информацию о климатической системе как основу для активизации действий по уменьшению опасности бедствий и адаптации к изменению климата. Однако, для того чтобы быть полезной, климатическая информация должна быть интерпретирована в соответствии с запросами конкретных потребителей. Поэтому прикладные климатические исследования и их результаты являются адресными, т.е. ориентированными на выполнение конкретных задач в различных секторах экономики.

В России КО имеет уже более чем полуторавековую традицию, восходящую к усилиям Главной физической (впоследствии – геофизической) обсерватории по созданию Государственной наблюдательной сети (ГНС) и формировавшуюся по мере развития отечественной фундаментальной и прикладной климатической науки.

В целях придания развитию КО нового импульса в 2012 г. (в том числе, в контексте формирования национального сегмента ГРОКО) на базе Главной геофизической обсерватории им. А.И. Воейкова (ГГО) был создан Климатический центр Росгидромета, в деятельности которого участвует ряд институтов Росгидромета⁵. Наряду с другими видами информационной продукции, Климатический центр публикует доклады⁶, посвященные различным аспектам актуальной для нашей страны климатической проблематики, прежде всего относящейся к оценке климатических рисков и адаптации к изменению климата.

К такого рода продукции Климатического центра Росгидромета относится и настоящий доклад, предметом которого является оценка современного состояния и перспектив КО в Российской Федерации, а также решающей роли КО в процессе адаптации экономики и социальной сферы к изменению климата. Основное содержание доклада включает ретроспективный обзор развития КО в России со второй половины XIX в. до настоящего времени, анализ структуры КО на глобальном и национальном уровнях, а также описание особенностей подготовки и предоставления климатической информации для различных отраслей. Определенное внимание в докладе уделено роли КО в разработке и реализации Национального плана мероприятий первого и второго этапов адаптации к изменениям климата, а также перспективам развития КО.

В центре внимания настоящего доклада находится национальная гидрометслужба России (с ее научно-исследовательскими учреждениями и оперативными подразделениями) как ключевой производитель КО в нашей стране. При этом структура национального сегмента КО сложна и многоступенчата, подразумевает (и уже практикует) широкое междисциплинарное и межведомственное взаимодействие в своей научной составляющей (прежде всего, с научными коллективами РАН и Высшей школы), а также взаимодействие с частным сектором, прежде всего, в технологической сфере.

Настоящий доклад подготовлен в рамках Плана научно-исследовательских и технологических работ (НИТР) Росгидромета на 2023–2024 гг. по направлению «Исследования климата, его изменений и их последствий. Оценка гидрометеорологического режима и климатических ресурсов», темы 3.1 «Развитие методов и технологий климатического обслуживания, включая совершенствование моделей прогнозирования климата, методов оценки последствий изменения климата, климатического обоснования национальных адаптационных планов и мониторинга эффективности адаптаций». В докладе использованы результаты научных исследований и разработок, полученные в рамках реализации первого этапа (2022–2024 гг.) Важнейшего инновационного проекта государственного значения «Единая национальная система мониторинга климатически активных веществ», прежде всего консорциума НИУ Росгидромета и РАН «Суша: мониторинг и адаптация», возглавляемого ГГО.

⁵ <https://cc.voeikovmgo.ru/ru/>

⁶ <https://cc.voeikovmgo.ru/ru/publikatsii/doklady>, <https://cc.voeikovmgo.ru/ru/publikatsii/monografi>, <https://cc.voeikovmgo.ru/ru/publikatsii/fd>

1. ИСТОРИЯ РАЗВИТИЯ КЛИМАТИЧЕСКОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ В РОССИИ

Основы КО в России были заложены в середине XIX в. трудами А.И. Воейкова, М.А. Рыкачева и других выдающихся российских ученых. Таким образом, уже более полутора веков климатология служит экономике и населению страны. С течением времени меняются задачи, инструменты и способы представления климатической информации. Происходит изменение и самого климата, требуя от КО не только общих сведений о климатических условиях конкретных регионов, но и подробной информации, необходимой для адаптации экономики и социальной сферы России к текущему и будущему климату.

Историю развития КО в России можно условно разделить на три этапа:

1. Российская империя (период создания государственной наблюдательной сети и первых обобщений климатической информации в масштабах планеты и страны – с 1850-х до 1910-х гг.);
2. Советский Союз (период становления и развития основ и принципов развития КО экономики в эпоху «стационарного» климата – с 1920-х до 1990-х гг.);
3. Российская Федерация (период научного и информационно-аналитического обеспечения адаптации экономики и населения страны к текущему и ожидаемому изменению климата – с 1990-х гг. до настоящего времени).

1.1 РОССИЙСКАЯ ИМПЕРИЯ

Основой для КО являются данные сети метеорологических станций. До XVIII в. в России не было инструментальных наблюдений за погодой, которые могли бы стать основой для изучения климата. Информация о погодно-климатических особенностях территорий поставлялась землепроходцами и мореходами. В 1725 г. по указу Петра I начали проводить первые инструментальные наблюдения в Санкт-Петербурге. Спустя два года в городе была создана первая городская сеть метеостанций. В 1733 г., во время Второй Камчатской экспедиции, которую возглавил В. Беринг, была организована первая русская инструментальная метеорологическая сеть от Казани до Охотска, Большерецка и Нижнекамчатска, включившая 24 наблюдательных пункта. А.И. Воейков писал: «Первые метеорологические наблюдения в России начались около половины XVIII столетия. Пунктов наблюдения было мало. Они были рассеяны очень нерегулярно по территории и использовали для наблюдений разнородные приборы и разные методы». Результаты этих наблюдений невозможно было использовать для каких-либо научных обобщений (Кароль, 1988).

В 1834 г. в Санкт-Петербурге указом императора Николая I при Горном институте была учреждена Нормальная магнитно-метеорологическая обсерватория. С этого времени берет начало российская Гидрометеорологическая служба, создание которой способствовало увеличению числа наблюдательных станций и вводу единообразных методов наблюдений и однотипных инструментов. Первым руководителем Гидрометеорологической службы был назначен академик А.Я. Купфер. По его инициативе указом Николая I на базе Нормальной обсерватории 1 апреля 1849 г. в Санкт-Петербурге была создана Главная физическая обсерватория (ГФО, ныне Главная геофизическая обсерватория – ГГО), на которую возлагалось «производство физических наблюдений и испытаний в обширном виде и вообще для исследования России в физическом отношении» (Положение, 1850). Это стало важнейшим событием для последующего развития как климатологии в целом, так и КО в нашей стране. ГФО вплоть до 1929 г. (до образования Гидрометеорологического

комитета при СНК СССР) выполняла функции Гидрометеорологической службы сначала Российской империи, а затем и СССР.

Собираемые и публикуемые обсерваторией материалы наблюдений способствовали развитию климатологических исследований. Этот период отмечен целым рядом работ, заложивших в дальнейшем основы КО. В 1857 г. вышел обширный труд К. С. Веселовского «О климате России» (Веселовский, 1857). Задачей этого труда было «точнейшее изучение свойств климата России, по отношению к человеку и его деятельности». Именно К.С. Веселовский впервые использовал архив ГФО, где хранились результаты метеорологических наблюдений за 10–20 лет по сети, включающей около 100 станций. С точки зрения КО, эта работа важна тем, что в ней большое внимание уделялось влиянию климата на экономику России, в особенности на сельское хозяйство. Труд К.С. Веселовского «О климате России» был удостоен Большой золотой Константиновской медали Императорского Русского Географического общества.

Во второй половине XIX в. А.Я. Купфером были сформулированы основные направления развития отечественной метеорологии, которые остаются актуальными и по сей день. А.Я. Купфер ввел понятие статистической метеорологии, задачу которой он видел в изучении ущерба, приносимого обществу опасными гидрометеорологическими явлениями.

В 1870-х гг. благодаря работам русских ученых М.А. Рыкачева, П.И. Броунова, Б.И. Срезневского, А.И. Воейкова российская метеорологическая наука стала одной из самых передовых в мире. Монография А.И. Воейкова «Климаты Земного шара, в особенности России» (Воейков, 1884) признана классическим трудом в области климатологии (рис. 1.1).



Рисунок 1.1 Климаты Земного шара, в особенности России, 1884 г.

Под руководством А.И. Воейкова в 1899 г. к 50-летию юбилею ГФО был издан «Климатический атлас Российской империи» (Атлас, 1900) (рис. 1.2), который в настоящее время справедливо считается началом современного КО в России. Среди исследований А.И. Воейкова были работы, которые имели практическую направленность. Так, в 1908 г. А.И. Воейков указывал на необходимость использования вод бассейна Арала в маловодные годы для искусственного орошения (Воейков, 1908), так как это, по его мнению, должно

было изменить местный климат. Он стал и основоположником отечественной курортологии, в публичных выступлениях и статьях А.И. Воейков подчеркивал необходимость тщательного изучения климата «лечебных местностей» (Воейков, 1915).

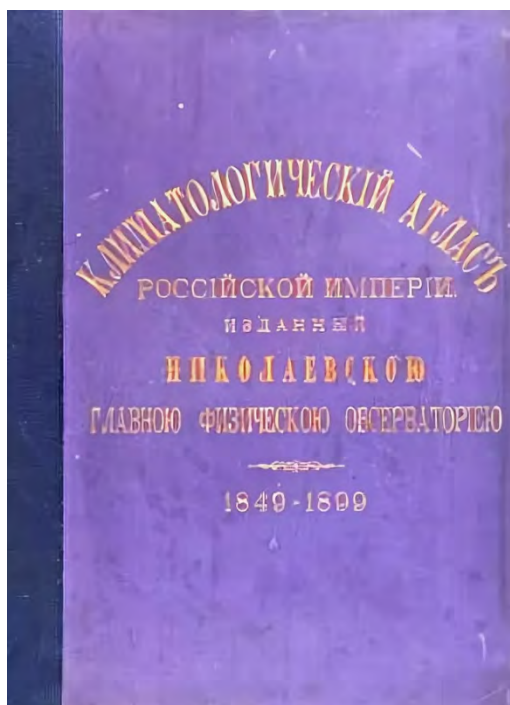


Рисунок 1.2 Климатологический Атлас Российской империи 1900 г.

До 1913 г. в России отсутствовала государственная сеть метеорологических наблюдений, использовались лишь данные наблюдений, проводившихся различными ведомствами для своих целей. В 1913 г. по представлению директора ГФО академика М.А. Рыкачева Государственным советом был подготовлен закон, которым предусматривалось создание 150 постоянных и 50 опорных новых станций. Впоследствии число станций регулярно возрастало, увеличивался и объем регулярно издаваемой обсерваторией Летописи наблюдений.

В начале XX в. в ГФО активно развивались прикладные отрасли климатологии — сельскохозяйственная, морская и курортная климатология. Во время Первой мировой войны (ГФО в то время возглавлял академик Б.Б. Голицын) при ГФО было создано Главное военное управление (Главмет), от которого ведут свое начало Гидрометеорологическая служба Вооруженных сил страны и гидрометеослужбы отдельных родов войск. Впоследствии, в годы Второй мировой войны, военная метеорология получила особое развитие как самостоятельная дисциплина (Бедрицкий и др., 1997; 2005).

1.2 СОВЕТСКИЙ СОЮЗ

После Октябрьской революции роль ГФО (ГГО) как центрального органа страны по научно-исследовательскому и научно-методическому руководству всеми метеорологическими наблюдениями в стране была определена декретом 1921 г. «Об организации метеорологической службы в РСФСР». Это постановление сформировало направление дальнейших работ в области КО для ГГО: с 1920-х гг. здесь стали проводиться исследования, связанные с климатологическим обеспечением многочисленных запросов отраслей народного хозяйства. В 1919 г. был создан отдел климатологии, как самостоятельное структурное подразделение ГФО. С этого момента ГФО становится центром специализированного КО.

Сразу после окончания гражданской войны в связи с переходом страны к плановому развитию сельского хозяйства особенно большие требования со стороны советского правительства предъявлялись к агроклиматологии. Работы основоположников сельскохозяйственной климатологии А.И. Воейкова и П.И. Броунова были продолжены А.А. Каминским, Г.Т. Селяниновым, Ф.Ф. Давитая, И.А. Гольцберг, С.А. Сапожниковой и др. Их исследования агроклиматических ресурсов страны позволили приступить к решению ряда важных сельскохозяйственных проблем, связанных с мелиорацией, освоением новых земель, научным обоснованием возможности разведения новых культур. В конце 1920-х гг. в ГГО начались планомерные исследования заморозков, засух, суховеев и других явлений, опасных для сельскохозяйственных культур.

В 1924 г. на совещании при Госплане СССР было принято решение о «необходимости опубликования ежемесячных данных о температуре и давлении воздуха за отдельные годы». Работа по подготовке таких данных была выполнена в ГГО, и в 1926 г. был опубликован первый климатический справочник «Климат Союза Советских Социалистических Республик» (Часть I) под редакцией Е.С. Рубинштейн (Справочник, 1926-1933) (рис. 1.3).



Рисунок 1.3 Справочник «Климат Союза Советских Социалистических Республик» 1926 г.

В 1931-1932 гг. был подготовлен еще один климатический справочник в двух частях (Хайруллин, Образцова, 2020).

В 1921 г. был принят план ГОЭРЛО, где были сформулированы основные направления развития электроэнергетического хозяйства страны. Важнейшие фундаментальные исследования в эти годы были связаны с проектированием, строительством и эксплуатацией первенцев Плана ГОЭРЛО – Волховской, Свирской и Днепровской ГЭС. Эти исследования, выполненные в Государственном гидрологическом институте (ГГИ), явились крупным вкладом в развитие гидрологической науки, в создание оперативной Службы гидрологической информации и прогнозов для обеспечения различных отраслей экономики. Первый Водный кадастр, подготовленный ГГИ в 1933–1940 гг. сыграл большую роль в гидрологическом обеспечении запросов народного хозяйства СССР в годы первых пятилеток (Шикломанов, 2009).

В 1920-1930-х гг. в СССР была развернута широкая программа правительственных мероприятий по изучению и освоению Крайнего Севера. В 1920 г. президиум Высшего совета народного хозяйства РСФСР утвердил положение о Северной научно-промысловой экспедиции (Севэкспедиции; с 1925 г. – Институт по изучению Севера, с 1958 г. – Арктический и антарктический научно-исследовательский институт – ААНИИ). Перед ней была поставлена задача координации всех научно-исследовательских работ в Арктике.

В 1920-х — начале 1930-х гг. в ГГО были выполнены первые практически важные работы по метеорологическому обеспечению авиации (П.А. Молчанов, Т.Н. Кладов и Н.Ф. Накоренко). Позднее авиационная климатология развивалась в ГГО П. А. Воронцовым, Е. С. Селезневой, В.М. Михелем и др. В их работах дан ряд основных характеристик климата свободной атмосферы, наиболее важных для авиации и разработаны методические основы климатического описания авиационных трасс.

В 1930-х гг. продолжали развиваться исследования в области биоклиматологии, связанные с использованием климата для лечебных целей (климатотерапия) и с выбором мест для курортов (курортология). В ГГО они проводились под руководством Н.Н. Калитина. В дальнейшем эти разделы биоклиматологии человека получили развитие во многих институтах Министерства здравоохранения СССР и в медицинских высших учебных заведениях.

Во время Великой Отечественной войны специалисты ГГО подготовили аэроклиматические характеристики районов, в которых велись военные действия. Е.С. Селезневой и М.В. Завариной были выполнены первые исследования по пространственно-временной изменчивости ветра и температуры воздуха на разных высотах, которые характеризовали структуру метеорологических полей свободной атмосферы и имели большое значение для авиации. В осажденном Ленинграде и в Свердловске, куда была эвакуирована большая часть сотрудников ГГО, все силы климатологов были направлены на удовлетворение запросов фронта. С этой целью был составлен ряд подробных климатических описаний отдельных районов. За эти работы ведущие климатологи ГГО (О.А. Дроздов, Е.С. Рубинштейн и др.) получили высокие правительственные награды (Заварина, 1967). Сотрудники ААНИИ вели научно-оперативную деятельность по обеспечению морских операций на Северном морском пути. В Ленинграде, в условиях блокады, сотрудники ГГО обеспечивали гидрологическими данными функционирование «Дороги жизни» через Ладогу.

В послевоенные годы специалисты отраслей народного хозяйства (энергетика, транспорт, строительство, сельское и лесное хозяйство, угольная промышленность, ведущая добычу открытым способом) стали более широко учитывать в своей работе климатическую информацию. Значительно возросли требования и к качеству информации.

В связи с этим в конце 1950-х гг. Гидрометслужбой СССР были приняты меры для дальнейшего расширения работ по прикладной климатологии в ГГО в других институтах. На базе филиалов ГГО и некоторых региональных обсерваторий были созданы пять новых региональных научно-исследовательских институтов - в Киеве (УкрНИГМИ), Ташкенте (САНИГМИ), Владивостоке (ДВНИГМИ), Тбилиси (ЗакНИГМИ) и Алма-Ате (КазНИГМИ) (Бедрицкий и др., 2002).

В апреле 1963 года в Главное управление Гидрометеослужбы при Совете министров СССР был передан Институт прикладной геофизики (ИПГ) совместно с филиалом в г. Обнинске. Из недр ИПГ вышли и продолжают успешно работать шесть институтов Росгидромета: Высокогорный геофизический институт (1960 г.), Всероссийский научно-исследовательский институт гидрометеорологической информации — Мировой центр данных (1964 г.),

Всероссийский научно-исследовательский институт сельскохозяйственной метеорологии (1977 г.), Институт экспериментальной метеорологии (1968 г.), на базе которого в 1986 году было создано научно-производственное объединение «Тайфун» (НПО «Тайфун») и Центральное конструкторское бюро гидрометеорологического приборостроения (в 2006 г. присоединено к НПО «Тайфун»).

В 1963 г. постановлением Правительства СССР из Главного управления Северного морского пути в подчинение Главного управления гидрометеорологической службы (ныне Росгидромет) был передан АНИИ с сетью полярных станций, дрейфующими станциями «Северный полюс» и полярными радиометеоцентрами. В 1965 г. Центральный институт прогнозов и Объединенный вычислительный центр Академии наук СССР и Главного управления гидрометслужбы были объединены в одно учреждение – Гидрометеорологический научно-исследовательский центр СССР (с 1992 г. – Гидрометцентр России).

С этого времени многочисленные задачи КО решались в профильных институтах Росгидромета.

ГГО стала методическим центром и ведущим институтом Росгидромета в области разработки методов расчета специализированных климатических показателей. В середине 1970-х гг. в обсерватории был создан отдел прикладной климатологии, главной задачей которого стало изучение закономерности как прямого влияния погодно-климатических факторов на экологическую, социальную и экономическую сферы, так и обратного воздействия человеческой деятельности на климат на локальном, региональном, глобальном уровнях.

Крупным достижением в области КО стал «Справочник по климату СССР». (Справочник, 1964-1970), предназначенный для широкого круга специалистов различных отраслей народного хозяйства. Вышедший в 1990 г. Научно-прикладной справочник по климату СССР (НПС, 1987-2001), включал статистические показатели, позволяющие потребителю перейти к получению прикладных специализированных характеристик на основе базовой климатической информации. В настоящее время на базе ВНИИГМИ-МЦД создан справочник нового поколения – Научно-прикладной справочник «Климат России» (НПС, 2020)⁷. Справочник создавался под руководством ВНИИГМИ-МЦД и ГГО с участием территориальных управлений по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды (УГМС) Росгидромета. В Справочнике, кроме традиционных климатических параметров, представлены статистические характеристики, необходимые для проектирования и рационального использования климатических ресурсов (раздел «Специализированные климатические характеристики»).

В 1950-1990 гг. в ГГО развиваются строительная (Анапольская, Гандин, 1973; Заварина, 1976) и транспортная климатология (Кобышева и др., 2000; Михель, 1969; Копанев 1978). В 1960-1970 гг. в СССР проводятся и широкомасштабные исследования и в области биоклиматологии, направленные на оценку влияния климатических факторов на тепловое состояние человека в различных географических районах. Наиболее известные результаты были получены в биоклиматических исследованиях, выполненных М.И. Будыко и Б.А. Айзенштамом для районов Средней Азии. В 1966 г., в АНИИ был организован отдел полярной медицины под руководством А.Л. Матусова, в задачи которого входило проведение комплекса исследований по изучению адаптации человека в полярных областях, разработка научно обоснованных требований к жилищу, одежде, питанию, а также медицинский отбор участников полярных зимовок. В 1986 г. в Ленинграде состоялся международный симпозиум ВМО/ВОЗ/ЮНЕП «Климат и здоровье человека» (ЮНЕП, 1986 г.), на котором был отмечен высокий научный уровень докладов советских биоклиматологов.

⁷ <http://meteo.ru/svc/aisori-climspn/>

С 1970-х гг. стало развиваться направление, связанное с внедрением возобновляемых источников энергии (З.И. Пивоварова, М.М. Борисенко, В.В. Стадник). В 1997 г. в ГГО был подготовлен «Атлас ветрового и солнечного климатов России» (Атлас, 1997).

Научные исследования особенностей влияния климата на отрасли экономики сопровождались разработкой целого ряда методических рекомендаций по расчету специализированных климатических параметров как для строительства, так и для других отраслей экономики, включая здравоохранение (Руководство, 2008). В ГГИ был подготовлен единый нормативный документ по гидрологическим расчетам (Указания, 1972). Под руководством И.А. Шикломанова были выполнены оценки влияния комплекса факторов хозяйственной деятельности на водные ресурсы (Шикломанов, 2009).

Таким образом, в советский период была в основном сформулирована методология использования климатической информации для обслуживания отраслей экономики, изданы методические указания по расчету специализированных климатических характеристик, справочные издания, содержащие базовую климатическую информацию, нормативные документы, атласы. Участие специалистов ГГО в разработке СНиП и ГОСТ, содержащих климатическую информацию, позволили заложить основы тесного сотрудничества климатологов со специалистами в различных секторах экономики, что было крайне важно для выявления специфических особенностей климатических воздействий на инфраструктурные объекты и выработки оптимальных стратегий реагирования на эти воздействия.

Отечественная климатическая продукция на протяжении столетия задавала высокий стандарт для всего мирового сообщества.

1.3 РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ

Социально-экономический кризис 1990-х гг., распад СССР, переходные годы становления российского государства негативно сказались на деятельности институтов Росгидромета, состоянии климатологии в целом и КО, в частности. Сократилась наблюдательная сеть, снизилось качество наблюдений и резко уменьшились объемы научных исследований. С развитием высоких информационных технологий отечественное КО уступило лидирующие позиции в мире, по крайней мере, в оперативности и разнообразии (Катцов, 2015).

Вместе с тем, несмотря на значительное сокращение научных сотрудников в системе Росгидромета, в институтах продолжались научные исследования, направленные на совершенствование КО отраслей экономики страны: В 1997-1998 гг. была разработана новая версия СНиП «Строительная климатология». В ГГИ в 1990-е гг. под руководством И.А. Шикломанова был успешно выполнен международный проект ЮНЕСКО по оценке динамики мировых водных ресурсов. Подготовленная по его итогам фундаментальная монография «Мировые водные ресурсы на рубеже XXI века» в 1998 г. была представлена в ЮНЕСКО и признана, крупнейшим достижением в области гидрологии за последние 20 лет (Шикломанов, 2009). В ИГКЭ под руководством Г.В. Грузы развивалась система мониторинга климата, созданная в СССР по инициативе Ю.А. Израэля. Во ВНИИГМИ-МЦД была разработана Автоматизированная информационная система обработки режимной информации (АИСОРИ) для ЭВМ как универсальное программное обеспечение обработки данных Госфонда; создается отраслевая система режимно-справочных гидрометеорологических банков данных для решения научных задач и практического использования при гидрометеорологическом обслуживании потребителей. В ААНИИ в 1991-1995 гг. был создан единый технологический цикл сбора, анализа и передачи потребителям гидрометеорологической информации по Арктике.

1990-е гг. – это период развития оперативного КО, основанного на предоставлении климатической информации для строительных организаций, транспорта, сельского хозяйства и др. в виде специализированных отчетов, выполняемых в УГМС и ЦГМС под методическим руководством ГГО. Специализированные нормативные режимно-справочные материалы по водным ресурсам подготавливаются отделами гидрологии УГМС и ГМЦ и обобщаются в ГГИ в соответствии с утвержденным регламентом; подготовкой режимных справок и обобщений по гидрометеорологическому режиму акваторий морей и береговой зоны занимаются отделы гидрометеорологии моря УГМС и ГМЦ.

Начало XXI в. ознаменовалось усилением внимания государства к отечественной науке и государственным информационным ресурсам в области изучения климата. В значительной мере это связано с осознанием происходящих изменений в глобальной климатической системе. В ГГО подготовлена монография «Климат России» (2001), разрабатываются новые подходы к оценке климата как ресурса (Энциклопедия, 2005).

В 2005 г. Росгидромет впервые выпустил Стратегический прогноз изменения климата до 2010-2015 гг. (Прогноз, 2005), в котором рассматривались тенденции изменения климата в различных регионах Российской Федерации для отдельных секторов экономики, а также содержались рекомендации по мерам для реагирования на эти изменения в экономической и социальной сферах. Проведенный после 2015 г. анализ положений Стратегического прогноза 2005 г. (Росгидромет, 2017б) показал, что в целом этот прогноз оказался удачной и, главное, своевременной попыткой описать последующее десятилетие с точки зрения ожидаемых изменений климата и соответствующих воздействий на экономику России.

В 2005 г. ГГО была разработана концепция Климатической доктрины Российской Федерации. В 2008 г. по поручению Президента Российской Федерации В.В. Путина Росгидромет, возглавляемый А.И. Бедрицким, возложил на ГГО организацию разработки проекта Климатической доктрины Российской Федерации. 17 декабря 2009 г. Президент Д.А. Медведев подписал Климатическую доктрину Российской Федерации.

В этот период круг задач КО значительно расширился. Наступила эпоха стратегического КО, ориентированного «на решение задач, сформулированных в Климатической доктрине Российской Федерации, для реализации действий в условиях неопределенности оценок будущих изменений климата и их последствий, по минимизации климатических рисков и разработке государственной стратегии адаптации экономики к изменениям климата» (Бедрицкий, 2020).

Важнейшим результатом деятельности Росгидромета в этом направлении является информационно-аналитическое обеспечение внутренней и внешней политики Российской Федерации в области климата в форме Оценочных докладов об изменениях климата и их последствиях на территории страны (Росгидромет, 2008; 2014; 2022) (рис. 1.4), а также ежегодного Доклада об особенностях климата на территории Российской Федерации. Эти материалы поступают в Правительство Российской Федерации, заинтересованные федеральные органы исполнительной власти, органы власти субъектов Российской Федерации для возможного учета в их практической деятельности.

В этих условиях появилась необходимость широкого междисциплинарного взаимодействия для выработки общего языка и поддержания непрерывного диалога между профессиональными климатологами, представителями отраслевых, а также социогуманитарных наук и субъектами адаптации (Катцов, 2015; Кобышева и др., 2015; Данилов-Данильян и др., 2020).

Для успешного развития такого взаимодействия, в том числе в рамках формирования национального сегмента Глобальной рамочной основы для климатического обслуживания

(см. раздел 2 настоящего доклада), 29 декабря 2012 г. приказом Росгидромета на базе ГГО был создан ведомственный Климатический центр⁸. В задачи Климатического центра Росгидромета входит подготовка материалов, содержащих оценки ожидаемых климатических изменений и их последствий; рекомендации по адаптации к условиям изменяющегося климата для органов государственной власти, бизнес-структур, населения; научно-методическое руководство работами учреждений и организаций Росгидромета в области КО.



Рисунок 1.4 Третий оценочный доклад об изменениях климата и их последствиях на территории Российской Федерации. 2022 г.

За период существования Климатического центра на его платформе подготовлены такие важные информационно-аналитические продукты Росгидромета, как доклады, посвященные оценке климатических рисков, разработке стратегий адаптации и др. (рис. 1.5).

⁸ <https://cc.voeikovmgo.ru/ru/>

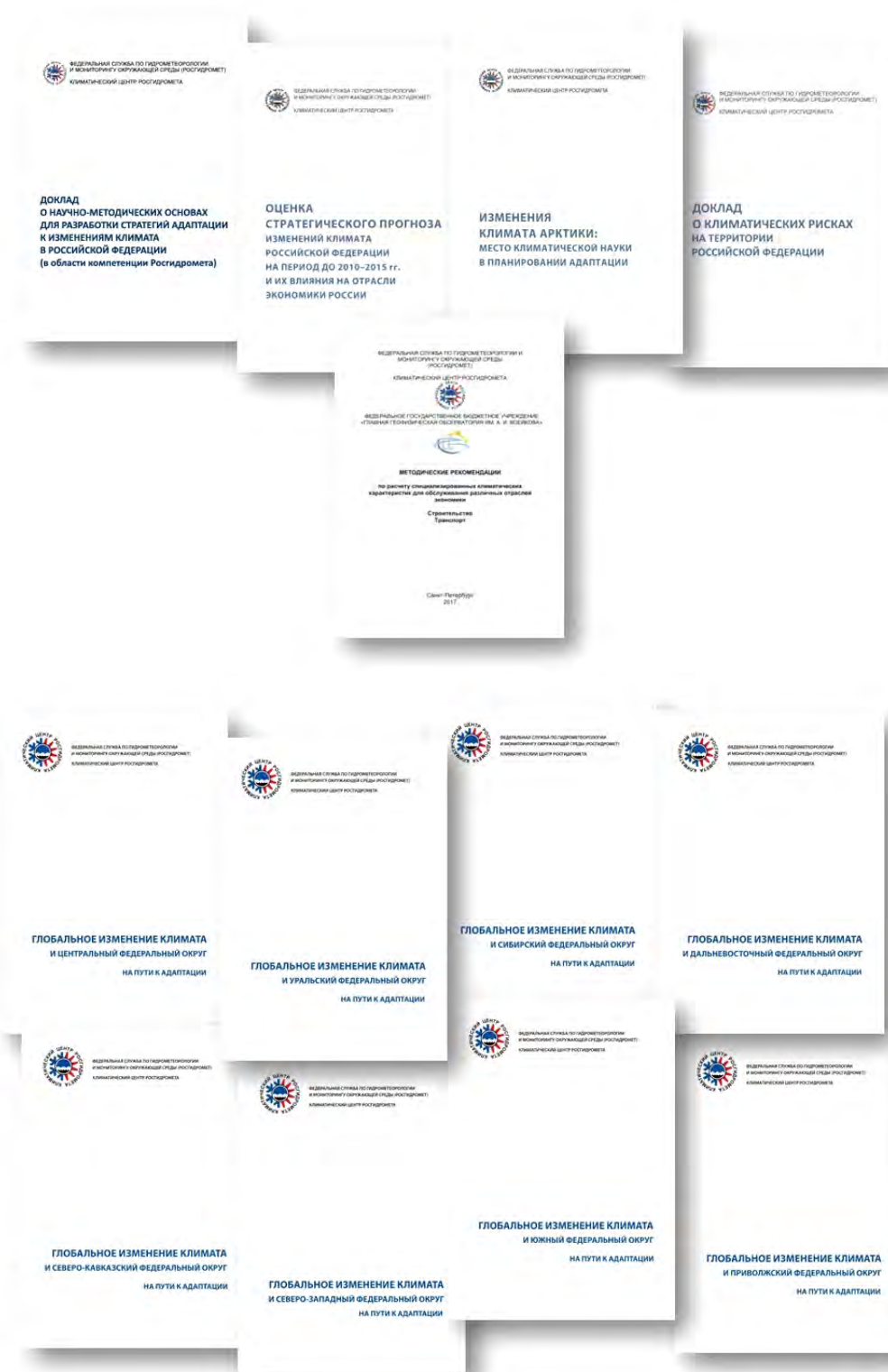


Рисунок 1.5 Публикации Климатического центра Росгидромета, посвященные оценке климатических рисков и разработке стратегий адаптации

На протяжении своего функционирования Климатический центр успешно развивает электронную базу сценарных прогнозов состояния климатической системы на территории России в XXI в., предназначенную для использования в исследованиях будущих климатических воздействий и при разработке мер адаптации к ним, поскольку планирование адаптации требует ясного представления о перспективах глобального и региональных изменений климата. Соответствующая информация представлена на сайте Климатического центра Росгидромета (рис.1.6).

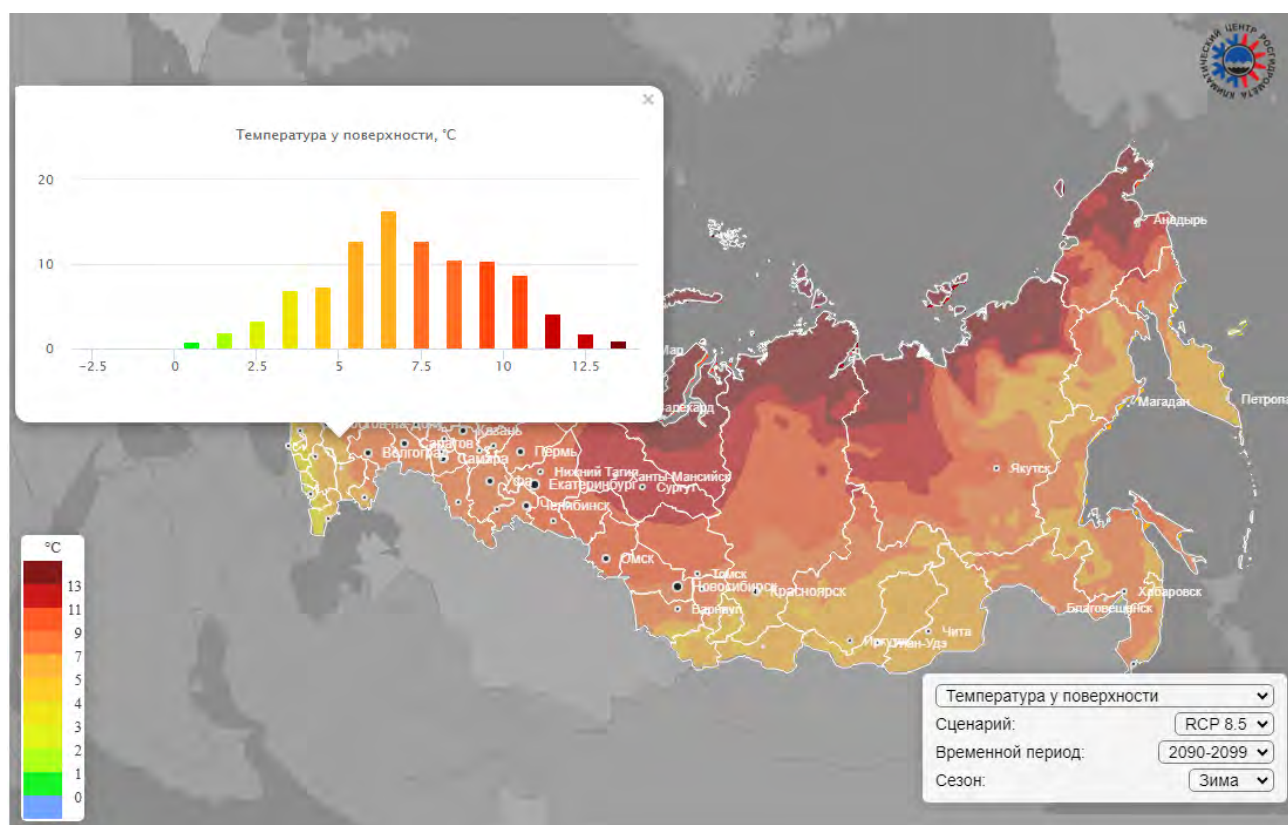
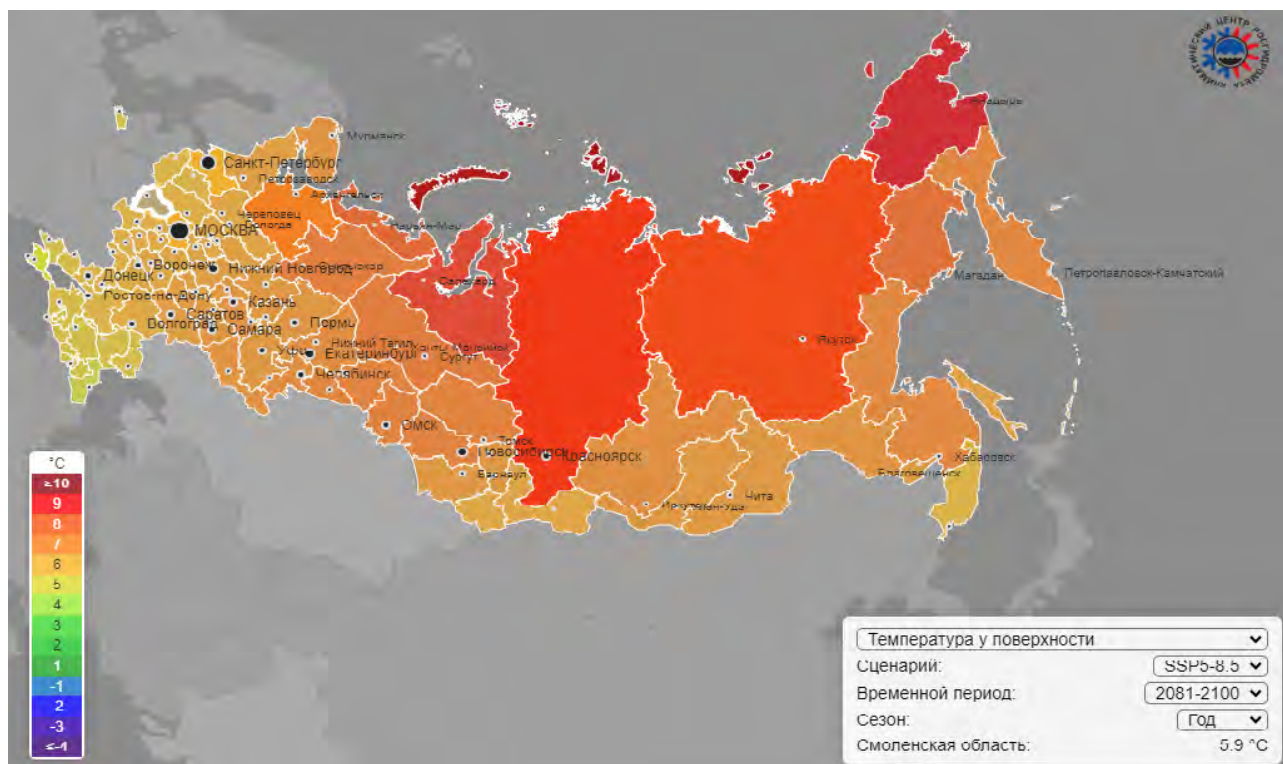


Рисунок 1.6 Примеры ансамблевых сценарных прогнозов изменения климата на территории Российской Федерации на основе: глобальных моделей CMIP6⁹ (вверху) и региональной модели ГГО¹⁰ (внизу)

⁹ <https://cc.voeikovmgo.ru/ru/klimat/cmip6hr>

¹⁰ <https://cc.voeikovmgo.ru/ru/klimat/lf-hr>

КЛИМАТИЧЕСКОЕ ОБСЛУЖИВАНИЕ В РОССИИ ИМЕЕТ УЖЕ БОЛЕЕ ЧЕМ ПОЛУТОРАВЕКОВУЮ ТРАДИЦИЮ, ВОСХОДЯЩУЮ К СОЗДАНИЮ ГОСУДАРСТВЕННОЙ НАБЛЮДАТЕЛЬНОЙ СЕТИ И ФОРМИРОВАВШУЮСЯ ПО МЕРЕ РАЗВИТИЯ ОТЕЧЕСТВЕННОЙ ФУНДАМЕНТАЛЬНОЙ И ПРИКЛАДНОЙ КЛИМАТИЧЕСКОЙ НАУКИ.

ОТЕЧЕСТВЕННАЯ КЛИМАТИЧЕСКАЯ ПРОДУКЦИЯ ВПЛОТЬ ДО 1990-Х ГГ. ЗАДАВАЛА ВЫСОКИЙ СТАНДАРТ ДЛЯ ВСЕГО МИРОВОГО СООБЩЕСТВА. ОДНАКО С РАЗВИТИЕМ ВЫСОКИХ ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ К КОНЦУ XX В. ОТЕЧЕСТВЕННОЕ КЛИМАТИЧЕСКОЕ ОБСЛУЖИВАНИЕ УСТУПИЛО ЛИДИРУЮЩИЕ ПОЗИЦИИ В МИРЕ, ПО КРАЙНЕЙ МЕРЕ, В ОПЕРАТИВНОСТИ, ИНТЕРАКТИВНОСТИ И РАЗНООБРАЗИИ. В ТО ЖЕ ВРЕМЯ, НАКОПЛЕННЫЙ ЗА МНОГИЕ ДЕСЯТИЛЕТИЯ ОГРОМНЫЙ ПРАКТИЧЕСКИЙ ОПЫТ, В ТОМ ЧИСЛЕ ОПЫТ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ С ПОТРЕБИТЕЛЯМИ, И ХОРОШЕЕ ПОНИМАНИЕ ПОТРЕБНОСТЕЙ, А ТАКЖЕ ОПОРА НА ВОЗРОЖДАЮЩУЮСЯ ФУНДАМЕНТАЛЬНУЮ И ПРИКЛАДНУЮ НАУКУ ПОЗВОЛЯЮТ СОПТИМИЗМОМ СМОТРЕТЬ НА БУДУЩЕЕ КЛИМАТИЧЕСКОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ В РОССИИ.

КЛЮЧЕВУЮ РОЛЬ В РАЗВИТИИ ОТЕЧЕСТВЕННОЙ СИСТЕМЫ КЛИМАТИЧЕСКОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ ВСЕ ЭТО ВРЕМЯ ИГРАЛА И ПРОДОЛЖАЕТ ИГРАТЬ НАЦИОНАЛЬНАЯ ГИДРОМЕТСЛУЖБА, ПРЕДСТАВЛЯЮЩАЯ СОБОЙ СИСТЕМУ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИХ УЧРЕЖДЕНИЙ И ОПЕРАТИВНЫХ ПОДРАЗДЕЛЕНИЙ НА ВСЕЙ ТЕРРИТОРИИ СТРАНЫ. ФУНКЦИИ НАУЧНОГО РУКОВОДСТВА И КООРДИНАЦИИ КЛИМАТИЧЕСКОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ В СИСТЕМЕ РОСГИДРОМЕТА ВОЗЛОЖЕНЫ НА СОЗДАННЫЙ В 2012 Г. КЛИМАТИЧЕСКИЙ ЦЕНТР РОСГИДРОМЕТА.

2. СОВРЕМЕННАЯ СТРУКТУРА КЛИМАТИЧЕСКОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ НА ГЛОБАЛЬНОМ И НАЦИОНАЛЬНОМ УРОВНЯХ

2.1 ГЛОБАЛЬНАЯ РАМОЧНАЯ ОСНОВА ДЛЯ КЛИМАТИЧЕСКОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ (ГРОКО)

Для успешного управления рисками, связанными с климатическими изменениями, первостепенное значение имеют своевременное создание и предоставление информации об изменчивости и изменении климатических показателей, а также эффективные варианты реагирования на эту информацию. Предоставление КО, которое может служить надежной основой для принятия решений, требует междисциплинарного и межсекторального сотрудничества, а также согласованной структуры, в рамках которой такое сотрудничество может осуществляться.

Для содействия решению этих задач на Третьей Всемирной конференции по климату, организованной ВМО в 2009 г., было предложено создать Глобальную рамочную основу для климатического обслуживания – ГРОКО (ВМО, 2011). Деятельность ГРОКО направлена на создание действенной системы управления рисками, обусловленными изменчивостью и изменением климата, и формирования адаптации к изменению климата посредством разработки и включения научно обоснованной климатической информации и прогнозов в планирование, политику и практику в глобальном, региональном и национальном масштабах. ГРОКО – это партнерство с участием многих государств и заинтересованных сторон, включая учреждения ООН, международные организации, программы, связанные с КО, спонсоры, правительства, неправительственные организации, организации частного сектора и национальные метеорологические и гидрологические службы.¹¹

ГРОКО построена на пяти компонентах (рис. 2.1), которые представляют собой важнейшие звенья КО:

1) *Наблюдения и мониторинг* климатических и других характеристик окружающей среды для нужд конечных потребителей, управление ими и их распространение, а также обеспечение архивов этих данных соответствующими метаданными. Ключевой задачей производителей климатической информации является формирование качественных исходных рядов наблюдений по большому числу станций, пригодных для климатических обобщений, а также для мониторинга, валидации моделей и планирования адаптации к изменениям климата.

2) *Климатические исследования, моделирование и прогнозирование* для содействия исследованиям, направленным на повышение научной ценности климатической информации, предоставление научных данных о воздействии изменения и изменчивости климата для экономических оценок и эффективного использования климатической информации. Научные исследования составляют основу для КО, совершенствование которого невозможно без поддержки со стороны исследовательского сектора и учета последних достижений в области климатологии. Особенно большое значение придается изучению происходящих изменений климата, моделированию будущего климата и его изменчивости.

3) *Информационная система КО* – система регулярного сбора, хранения и обработки информации о климате (прошлом, настоящем и будущем) для формирования продукции

¹¹ <https://wmo.int/site/global-framework-climate-services-gfcs>

и обслуживания. Информационная система отвечает за производство и распространение климатических данных и информационной продукции в соответствии с запросами потребителей. Основой системы служат результаты современных научных исследований в климатологии. Фундаментальные исследования опираются на данные наблюдательных сетей и климатическое моделирование. Для системы ГРОКО приоритетными являются сети регионального и национального масштабов, позволяющие обеспечить нужную степень детализации данных для КО.

4) *Взаимодействие между производителями и потребителями КО* на всех уровнях. Тесное взаимодействие между потребителями и производителями КО необходимо для обеспечения наиболее точного соответствия предоставляемой климатической продукции запросам потребителей.

5) *Наращивание потенциала* включает поддержку систематического развития необходимых общественных институтов, инфраструктуры и человеческих ресурсов для предоставления эффективного КО. Особое внимание должно уделяться развитию профессиональных и научных навыков производителей КО в области погоды и климата в университетах и на курсах повышения квалификации. Важность этого компонента ГРОКО определяется тем, что во многих странах наблюдается нехватка учреждений или кадровых ресурсов с необходимыми навыками и практическим опытом. Это не позволяет воспользоваться новыми или ранее созданными климатическими данными и продукцией или организовать национальные группы взаимодействия с потребителями, чтобы начать диалог по этим вопросам на национальном уровне.



Рисунок 2.1 Схема взаимодействия компонентов ГРОКО (Kolli, 2023)

Особое место среди компонентов ГРОКО занимает Информационная система КО, т.к. она наиболее тесно связана с генерацией и распространением климатической информации. Это «оперативный центр» ГРОКО, который занимается организацией климатических данных, мониторингом и прогнозированием климата в соответствии с нуждами потребителей и с процедурами, согласованными правительствами и другими поставщиками данных. Инструментарий КО ВМО состоит из набора программ, архивов данных, руководств, учебных модулей и учебных ресурсов, обеспечивающих разработку климатической продукции и предоставление КО.

Информационная система КО имеет глобальный, региональный и национальный уровни, тесно связанные между собой (рис. 2.2).

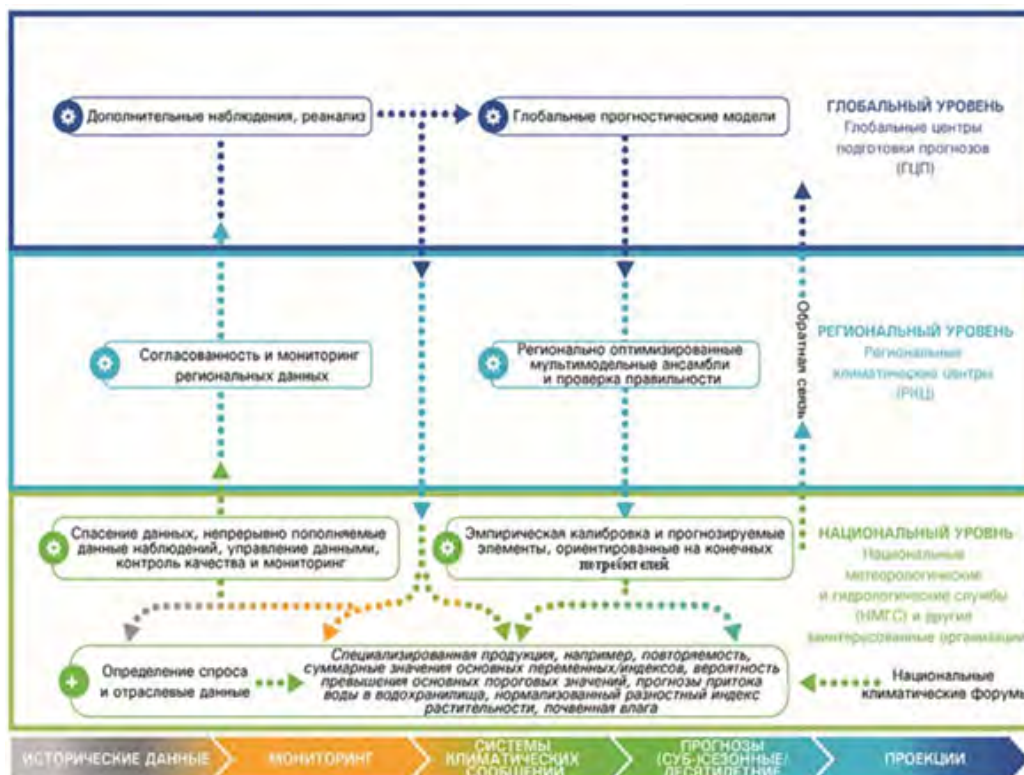


Рисунок 2.2 Глобальный, региональный и национальный уровни Информационной системы КО (Kolli, 2023)

На основе глобальных моделей развивается региональное сценарное моделирование и производится специализированная климатическая продукция, ориентированная на конечного потребителя.

ГРОКО фокусируется на разработке и предоставлении услуг в *пяти целевых областях*, которые предоставляют непосредственные возможности для повышения безопасности и благополучия населения, экономики и окружающей среды, и занимают важное место в качестве приоритетов в Национальных планах адаптации (НПА) многих стран:

- Сельское хозяйство и продовольственная безопасность;
- Снижение риска стихийных бедствий;
- Здоровье населения;
- Водные ресурсы;
- Энергетика.

Сельское хозяйство и продовольственная безопасность. В эпоху быстрого роста населения и изменения климата продовольственная безопасность остается серьезной проблемой. Изменения в наступлении и продолжительности сезонов дождей, а также возникновение более частых и интенсивных экстремальных погодных явлений, таких как засухи и засушливые периоды, подрывают устойчивость агропродовольственных систем и препятствуют мерам по искоренению голода и недоедания, которые предусмотрены в разработанных ООН Целях в области устойчивого развития (ЦУР 2)¹². Сельское хозяйство, включая растениеводство, животноводство и рыболовство, чрезвычайно уязвимо к изменчивости и изменению климата. Более 90% исследований по оценке воздействий

¹² <https://www.un.org/sustainabledevelopment/ru/hunger/>

изменения климата на экономику, проводимых в развивающихся странах, указывают на необходимость совершенствования КО для адаптации сельского хозяйства (WMO, 2019a). Качественное КО может повысить устойчивость сельскохозяйственного производства, позволяя сельхозпроизводителям принимать обоснованные решения в отношении выращивания определенных культур, содержания домашнего скота, борьбы с вредителями и болезнями растений и животных. КО также является необходимым для оценки и управления рисками засух.

Снижение риска стихийных бедствий. Экстремальные погодные явления и связанные с климатом стихийные бедствия представляют наиболее значительный риск для общества. Большинство стихийных бедствий вызвано погодно-климатическими факторами. Ориентированное на запросы потребителя КО может помочь странам и сообществам повысить устойчивость к наводнениям, засухам, ураганам и другим опасным гидрометеорологическим явлениям. Таким образом, наличие доступа к точной и актуальной климатической информации имеет большое значение для принятия более обоснованных решений о текущей и будущей погоде и связанных с климатом угрозах. КО по снижению риска бедствий — это совокупность действий, процедур и связей, которые могут организовать общество, учреждения и правительства для минимизации потенциального ущерба, причиняемого неблагоприятными погодными условиями и климатическими явлениями. На основе климатической информации определяются регионы, наиболее уязвимые к опасным явлениям, включая ураганы, наводнения и лесные пожары, внедряются системы раннего предупреждения и т.д. (Charalampopoulos, Droulia, 2024).

Здоровье населения. Охрана здоровья людей является одним из секторов, для которого КО особенно важно. Изменчивость и изменение климата оказывают существенное влияние на то, где, как и когда люди заболевают и нуждаются в охране здоровья. Температурно-влажностный режим влияет на распространение инфекционных заболеваний, экстремальные погодные явления вызывают болезни, травмы и смерть, способствуют вспышкам эпидемий, нарушают работу служб здравоохранения и разрушают инфраструктуру здравоохранения, водоснабжения и санитарии. Используя КО, ориентированное на конкретные запросы здравоохранения, правительства, научные круги и представители гражданского общества могут защитить здоровье населения в условиях меняющегося климата. Например, сотрудники здравоохранения могут принимать решения относительно болезней, связанных с изменчивостью климата исходя из прогнозов волн тепла и холода. Благодаря этим знаниям инициативы в области общественного здравоохранения становятся более эффективными (Jancloes et al., 2014; Fletcher et al., 2021; Di Napoli et al., 2023). В целом, КО для общественного здравоохранения может помочь улучшить благосостояние людей и, в некоторых случаях, может спасти человеческие жизни за счет снижения заболеваемости и смертности (Manuyuchi et al., 2021). Одной из наиболее важных целей улучшения общественного здравоохранения в случае с КО является переход от оценки рисков для здоровья к управлению рисками (Jancloes et al., 2014).

Водные ресурсы. Сектор водных ресурсов тесно связан с другими приоритетными областями ГРОКО. Защита и эксплуатация водных ресурсов с использованием климатической информации играют важную роль в повышении продовольственной безопасности в орошаемых и неорошаемых районах, уменьшении риска передаваемых через воду заболеваний и повышении уровня санитарии. Поскольку экстремальные явления, связанные с наличием воды (наводнения и засухи), являются одной из основных причин, вызывающих гибель людей и причинение ущерба, водные ресурсы также связаны с уменьшением опасности бедствий (ГРОКО, 2014). Использование климатической информации в секторе водных

ресурсов происходит на всех этапах принятия решений – от краткосрочного распределения и использования водных ресурсов до долгосрочного проектирования, строительства и функционирования инфраструктурных объектов. (Rubio-Martin et al., 2023; Cantone et al., 2023). КО, включая предоставление климатической информации о температурно-влажностном режиме, снегозапасах и др., полученной по данным гидрометеорологических наблюдений, сезонных прогнозов и климатического моделирования, способствует оптимальному планированию и распределению водных ресурсов между разнообразными потребляющими воду секторами (городское водоснабжение, ирригационные системы, энергетика, водохранилища для паводковых вод и т. п.) (Cantone et al., 2023; Cremades et al., 2019; Fan et al., 2018; Wang et al., 2021).

Энергетика. В условиях климатических изменений энергетические системы все больше подвергаются колебаниям погоды и климата, влияющим как на устойчивость доступа к энергии, так и на спрос на энергию. Поэтому в настоящее время существует настоятельная необходимость повышения климатической устойчивости энергетического сектора, чтобы противостоять более частым и масштабным экстремальным погодным, гидрологическим и климатическим явлениям, связанным с изменением климата, которые ставят под угрозу энергетическую безопасность во всем мире. Скорость ветра, солнечная радиация и речной сток являются ключевыми переменными для производства экологически чистой энергии, и их моделирование может способствовать созданию потенциала для интеграции растущей доли возобновляемых источников энергии в национальные энергосистемы. Однако, осуществляя КО энергетического сектора, необходимо уделять внимание не только возобновляемым источникам энергии (солнечной, ветровой, гидроэнергетике), но и другим типам низкоуглеродной энергетики, в частности атомной и газовой энергетике, сочетающейся с улавливанием и хранением углерода в дымовых газах (ВМО, 2024). Атомная энергетика является одним из наиболее уязвимых источников энергии в условиях меняющегося климата и роста интенсивности и повторяемости опасных гидрометеорологических явлений¹³. В настоящее время около 17% электроэнергии в мире производится на АЭС, в перспективе доля атомной энергетики в получении электроэнергии, вероятно, также останется весьма значительной. Поэтому для повышения энергетической безопасности в условиях меняющегося климата в перечень планируемых мероприятий необходимо включить разработку методики оценки уязвимости и управления рисками для низкоуглеродной, в частности, атомной и газовой энергетики. КО энергетики также предоставляет информацию о долгосрочных тенденциях изменения климатических характеристик, что дает возможность коммунальным предприятиям и энергетическим компаниям планировать ожидаемые изменения в спросе на энергию и в их воздействии на энергетическую инфраструктуру.

С 2019 г. ВМО выпускает ежегодные доклады, посвященные какой-либо целевой области ГРОКО. Так в 2020 г. был подготовлен Доклад «О заблаговременных предупреждений к заблаговременным действиям» (ВМО, 2020). В нем раскрываются пути, по которым правительства могут инвестировать средства в эффективные системы раннего предупреждения, повышающие устойчивость стран к многочисленным погодным, климатическим и связанным с водой опасным явлениям, подчеркивается необходимость перехода от прогнозирования опасных явлений к прогнозированию их воздействий, приводятся примеры тематических исследований, посвященных успешным системам

¹³ Это подтверждает, например, ситуация, которая сложилась во Франции в 2003 г. и в России в 2010 г., когда из-за волн тепла была значительно снижена выработка электроэнергии на АЭС из-за проблем с охлаждением энергоблоков. В ряде случаев некоторые энергоблоки были остановлены (Тюсов и др., 2017).

заблаговременных предупреждений об опасностях, включая тропические циклоны и ураганы, наводнения, засухи, волны тепла, лесные пожары, песчаные и пыльные бури и т.д.

В 2022 г. ежегодный доклад ВМО «Состояние климатического обслуживания» (WMO, 2022a) был посвящен энергетике, поскольку именно она является ключом к международным соглашениям по устойчивому развитию и изменению климата. В докладе отмечается, что доступ к надежной информации и обслуживанию в области погоды, водных ресурсов и климата будет иметь все большее значение для повышения устойчивости энергетической инфраструктуры и удовлетворения растущего спроса (он вырос на 30 % за последние десять лет). Изменение климата напрямую влияет на поставки топлива, производство электроэнергии, а также на физическую устойчивость существующей и будущей энергетической инфраструктуры. Волны тепла и засухи уже подвергают нагрузке текущую выработку электроэнергии, что придает еще большее значение сокращению выбросов ископаемого топлива и более интенсивному развитию возобновляемых источников энергии.

В докладе за 2023 г. (WMO, 2023a) раскрывается необходимость в специализированной климатической информации и обслуживании для поддержки сектора здравоохранения в его работе по решению проблем экстремальных погодных условий, плохого качества воздуха, изменения структуры инфекционных заболеваний, а также отсутствия продовольственной и водной безопасности. В докладе предупреждается, что изменение климата увеличивает нагрузку на системы здравоохранения, ставя под угрозу десятилетия прогресса в достижении хорошего здоровья и благополучия (ЦУР 3), особенно в наиболее уязвимых сообществах. Охрана здоровья рассматривается как приоритет в большинстве стран. Климатическая информация и продукция необходимы для определения того, как и когда экстремальные климатические явления влияют на системы здравоохранения и здоровье человека, а также для управления рисками. В докладе раскрывается огромный потенциал для повышения доступности, актуальности и использования климатической науки и КО для сектора здравоохранения.

В реализации ГРОКО принимает активное участие Комиссия по погодным, климатическим, гидрологическим, морским и связанным с ними экологическим услугам и применениям ВМО (SERCOM)¹⁴. Она включает постоянно работающие комитеты по обслуживанию сельского хозяйства (SC-AGR), авиации (SC-AVI), климатическому обслуживанию (SC-CLI), снижению риска стихийных бедствий (SC-DRR), гидрологическому обслуживанию (SC-HYD), морскому метеорологическому и океанографическому обслуживанию (SC-MMO). В SERCOM также входят исследовательские группы по интегрированному обслуживанию энергетики (SG-ENE), здравоохранения (SG-HEA), а также интегрированному городскому обслуживанию. На порталах этих групп размещаются различные материалы, связанные с особенностями КО различных секторов экономики и социальной сферы (доклады, руководства, атласы, учебные модули и т.д.).

Первоначальный план реализации ГРОКО имел десятилетний горизонт, а с 2023 г. ГРОКО вступает в новую фазу активизации деятельности со следующими целями¹⁵:

- укрепление потенциала и возможностей КО;
- поддержка авторитета науки в области климатической политики и финансов;
- определение ценности КО;
- разработка стандартов, управление качеством и обучение;
- повышение эффективности КО и совершенствование координации его участников.

¹⁴ <https://community.wmo.int/en/activity-areas/sercom>

¹⁵ <https://gfcs.wmo.int/ru/node/21547>

В качестве передовых практик для достижения этих целей были определены следующие шаги¹⁶:

- более ясное понимание спроса на климатическую продукцию;
- преодоление разрыва между наукой о климате и отраслевым опытом;
- более тесная совместная организация всех участников КО для удовлетворения потребностей конечных потребителей;
- взаимодействие всех участников КО до достижения окончательного результата;
- проведение мониторинга и оценки качества КО.

На новом этапе одним из основных направлений деятельности ГРОКО становится определение ценности, оценка стоимости и эффективности КО, а также анализ структуры спроса на него. Оценка КО должна проходить на постоянной основе и учитывать достоверность предоставляемой информации, опыт потребителей при взаимодействии с этой информацией, а также степень, в которой информация способна удовлетворить нужды потребителей и позволить им сделать следующий шаг в реагировании на изменение климата. К КО может быть применен целый ряд методов оценки, включая получение откликов потребителей, по поводу качества полученной информации, формы и сроков ее представления, соответствия требованиям заказчика и т.д. Важным аспектом является также продолжение взаимодействия производителей и потребителей климатической информации после принятия конкретных решений с использованием этой информации и достижения определенного результата. Такой подход позволяет обеспечить более объективную оценку эффективности КО и в перспективе способствует повышению его качества.

2.2 НАЦИОНАЛЬНЫЕ РАМОЧНЫЕ ОСНОВЫ ДЛЯ КЛИМАТИЧЕСКОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ (НРОКО)

Ключом к осуществлению ГРОКО является создание рамочной основы для КО на национальном уровне. В настоящее время НРОКО многих стран представляют собой платформы многостороннего потребительского интернет-портала, позволяющие разрабатывать и предоставлять КО на уровне страны.

Национальные метеорологические и гидрологические службы (НМГС) являются основой НРОКО, т.к.:

- НМГС уже предоставляют КО на основе исторических архивов данных наблюдений, собранных для метеорологических служб; некоторые из них также предоставляют оперативную прогностическую информацию, включая сезонные прогнозы;
- Конвенция ВМО уполномочивает НМГС наблюдать и анализировать погоду и климат, а также предоставлять климатическое, метеорологическое, гидрологическое и смежные виды обслуживания в соответствии с национальными потребностями, обеспечивая подлинность своих продуктов и услуг;
- Структура функционирования НМГС позволяет осуществлять свои услуги в режиме 24/7;
- НМГС с помощью механизма сотрудничества установили стандартные методы метеорологического обслуживания по всему миру, которые могут быть легко расширены для предоставления КО;
- НМГС предоставляют «единое окно», через которое потребители могут получить обширный комплекс информационных продуктов о погоде и климате;

¹⁶ <https://gfcs.wmo.int/ru/node/21563>

- НМГС и их партнеры составляют большое сообщество экспертов, занимающихся погодой и климатом.

В 2018 г. ВМО выпустила Руководство по созданию НРОКО (ВМО, 2018). Эта публикация предназначена для того, чтобы оказать помощь НМГС и их партнерским учреждениям на национальном уровне, участвующим в рамках пяти основных компонентов ГРОКО в создании НРОКО (рис.2.3). НМГС и другие национальные учреждения могут адаптировать их к уникальным условиям своих стран или использовать лишь те части, которые они сочтут полезными. Так, например, российский сегмент ГРОКО включает кроме указанных выше пяти целевых областей еще строительный и транспортный сектора, т.к. эти сектора являются в значительной степени ключевыми для российской экономики и при этом одними из самых уязвимых к наблюдаемым и ожидаемым в будущем климатическим изменениям.



Рисунок 2.3 Схематическое представление НРОКО, показывающее взаимосвязи между партнерскими учреждениями, действующими сообща как единое целое в области знаний о климате (ВМО, 2018)

(АфБР — Африканский банк развития; ОРМ — организация регионального масштаба; ФАО — Продовольственная и сельскохозяйственная организация Объединенных Наций; НПО — неправительственная организация; ООН — Организация Объединенных Наций; ПРООН — Программа развития Организации Объединенных Наций; ЮНЕСКО — Организация Объединенных Наций по вопросам образования, науки и культуры; УСРБ ООН — Международная стратегия Организации Объединенных Наций по уменьшению риска бедствий; ВБ — Всемирный банк; ВПП — Всемирная продовольственная программа)

При сравнении схем ГРОКО и НРОКО видно, что если наиболее важное место среди компонентов ГРОКО занимает Информационная система КО, то в НРОКО ключевое значение придается созданию механизма для координации и совместной разработки ориентированной на потребителя климатической продукции. Необходимо отметить, что КО на национальном уровне – это не просто предоставление климатических данных. Климатическая продукция является результатом ряда последовательных шагов, связанных с производством информационных продуктов для конкретных потребителей, и наличием обратной связи, благодаря которой потребитель может реагировать на качество получаемого продукта.

Деятельность специалистов НМГС в области КО охватывает обширный круг задач:

- разработка научно-методических основ построения, функционирования и технического оснащения государственной наблюдательной сети, совершенствование методов контроля и передачи оперативной и режимной информации;
- сбор, архивирование и анализ имеющейся информации о прошлом и современном климате, а также о будущих климатических условиях на основе моделирования;
- установление и развитие партнерских отношений с заинтересованными потребителями на отраслевом, региональном и местном уровнях с целью улучшения качества оперативного и стратегического КО;
- определение последствий климатических изменений на отраслевом и территориальном уровнях;
- идентификация и оценка погодно-климатических рисков (экстремальных погодных явлений и медленных климатических изменений) на основе выявления наиболее уязвимых объектов и процессов;
- принятие решений (совместно со специалистами в отраслях экономики и социальной сферы) об адаптационных мероприятиях, совместный мониторинг их результатов.

Компонент ГРОКО, направленный на взаимодействие между производителями и потребителями КО, является основным на национальном уровне, и именно здесь часто возникают трудности. Как известно, одним из центральных принципов ГРОКО является производство КО во взаимодействии с потребителями. Однако, как показывает международная практика, чрезмерный акцент на усилиях, направленных на удовлетворение нужд потребителей, может привести к тому, что обслуживание будет оторвано от лежащих в его основе научных и аналитических возможностей, которые позволяют предоставлять надежную информацию. С другой стороны, чрезмерный акцент на использовании научных достижений также может привести к дисбалансу, в результате которого производители климатической продукции не смогут адекватно реагировать на запросы потенциальных потребителей. Таким образом, сама по себе климатическая информация еще не является КО. Обязательными условиями являются постоянный диалог между производителями и потребителями климатической информации для понимания и учета нужд потребителей, а также тестирование и доработка климатической продукции на основе их отзывов.

Прошедшее десятилетие технологического прогресса расширило возможности для интенсивного развития КО. В частности, достижения в области анализа данных, включая такие методы, как машинное обучение, автоматизированные алгоритмы принятия решений, развитие ресурсов облачных вычислений, создают новые пути сбора, контроля, анализа и визуализации данных. Это дает возможность специалистам НМГС тратить меньше времени на поиск, загрузку и обработку данных и больше времени на проведение анализа, соответствующего нуждам потребителей. Тем не менее, остается ряд препятствий для предоставления полезных данных и продуктов лицам, принимающим решения, в частности, ограниченность научного понимания аспектов будущего изменения климата, представляющих интерес для потребителей. Так, например, актуальной проблемой является моделирование и прогнозирование экстремальных погодных явлений, которые являются причиной наибольших экономических потерь. Научные проблемы, связанные с предоставлением полезной климатической информации, не ограничиваются физическими науками, касающимися изменения климата или связанных с ним опасностей. Способность успешно взаимодействовать с различными сообществами потребителей климатической

информации требует знаний в области социальных и экономических наук. Для повышения качества и эффективности КО необходимы исследования взаимосвязи между воздействием климата и поведением человека с учетом экономических, социальных и культурных аспектов. (Kolli, 2023).

2.3 РОСГИДРОМЕТ КАК КЛЮЧЕВОЙ СУБЪЕКТ РОССИЙСКОГО СЕГМЕНТА ГРОКО

В России на национальном уровне решение задач ГРОКО в значительной степени выполняется в системе Росгидромета. Деятельность Росгидромета в области КО носит многоплановый и комплексный характер и охватывает все пять компонентов ГРОКО. Конечная цель этой деятельности - повышение качества жизни населения России, повышение уровня гидрометеорологической безопасности населения и экономики в условиях климатических изменений.

В настоящее время в состав Росгидромета входят 28 территориальных управлений по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды и 17 научно-исследовательских институтов. Росгидромет осуществляет:

- наблюдения за климатической системой на территории Российской Федерации с помощью Государственной наблюдательной сети, управляемой Росгидрометом;
- анализ текущего состояния климатической системы на территории Российской Федерации и в других регионах;
- оценку ожидаемых изменений климата на основе физико-математического моделирования и последствий этих изменений для социально-экономической сферы и природной среды;
- участие в разработке адаптационных мероприятий в отношении происходящих и ожидаемых изменений климата;
- участие в международной деятельности, включая как научное сотрудничество, так и обоснование позиции Российской Федерации в международном диалоге по различным вопросам.

В ведении Росгидромета находится разветвленная система станций и пунктов, производящих различные наблюдения за состоянием окружающей среды. Эта система включает наземную метеорологическую, аэрологическую, гидрологическую, океанографическую и другие сети. Учреждения Росгидромета участвуют в наблюдениях за криолитозоной и в космических исследованиях. Благодаря размерам охватываемой территории российская система наблюдений за климатом является важнейшей частью общемирового климатического мониторинга. По состоянию на 2021 г. (Росгидромет, 2022) ГНС насчитывает 1591 функционирующую станцию с режимными метеорологическими наблюдениями, из которых 775 длиннорядных репрезентативных станций входят в состав национальной климатической (метеорологической) сети России (132 из них являются станциями глобальной системы наблюдений за климатом (ГСНК)). На ряде станций выполняется расширенная программа наблюдений за продолжительностью солнечного сияния, интенсивностью жидких атмосферных осадков, температурой почвы на глубинах, а также за характеристиками гололедно-изморозевых отложений и тепловым балансом. На 164 климатических станциях проводятся актинометрические наблюдения за радиационным балансом и его составляющими по различным программам.

С целью обеспечения единообразия наблюдательных сетей Росгидрометом выпускаются и регулярно обновляются методические указания, регламентирующие процессы проведения измерений и наблюдений, производятся контроль и сертификация измерительных приборов. В настоящее время эталонная база Росгидромета, хранящаяся

в ГГО, насчитывает более 100 единиц эталонов и поверочного оборудования. Данные наблюдений, полученные в системе Росгидромета, в последующем проходят комплексную проверку, собираются и архивируются. Значительная часть российских результатов наблюдений передается в международные центры данных для включения их в глобальные массивы данных.

Ряд научных исследований, проводимых НИУ Росгидромета в рамках государственного задания, составляют основу для КО на национальном уровне. Кроме того, в 2022 г. Росгидромет стал функциональным заказчиком для четырех из шести консорциумов, реализующих Важнейший инновационный проект государственного значения (ВИПГЗ) «Единая национальная система мониторинга климатически активных веществ». НИУ Росгидромета в содружестве с РАН и НИУ Минобрнауки России, а также университетами, осуществляется широкий спектр фундаментальных и прикладных исследований погоды и климата, включая проблемы интерпретации климатической информации и выработки рекомендаций по ее использованию конечными потребителями (органами власти, отраслями экономики, бизнесом, обществом).

КО, осуществляемое Росгидрометом, охватывает широкий круг потребителей климатической информации и осуществляется как в рамках государственных программ, так и на хоздоговорной основе. Как уже отмечалось выше, правильно организованное взаимодействие производителей и потребителей климатической информации играет ключевую роль в повышении качества КО на всех уровнях. Производители климатической информации должны быть хорошо информированы о разнообразии климатически обусловленных решений и об их чувствительности к изменению климатических параметров, чтобы обеспечивать потребителей информацией в том виде и объеме, который необходим для оценки рисков и оптимизации соответствующих решений. В результате может быть достигнуто наиболее полное понимание имеющихся возможностей и ограничений в применении климатических данных (в том числе — модельных сценарных прогнозов) с учетом специфических требований со стороны различных групп потребителей (Катцов, 2015). В настоящее время такая стратегия в организации взаимодействия производителей и потребителей КО все чаще реализуется в системе Росгидромета.

Важной функцией Росгидромета является и участие в формировании образовательных программ ВУЗов, подготовке и повышении квалификации собственных кадров, занимающихся КО, включая совершенствование и реализацию планов адаптации к изменениям климата. Курсы повышения квалификации специалистов Росгидромета организованы в Институте повышения квалификации руководящих работников и специалистов (ИПК). Основной задачей ИПК является повышение профессионального уровня последипломного образования специалистов в области метеорологии, гидрологии, мониторинга окружающей среды и смежных дисциплин. На курсах преподают как специалисты ИПК, так и ведущие специалисты НИУ Росгидромета. Программы ряда курсов посвящены непосредственно КО различных групп потребителей. В частности, на базе ГГО регулярно проводятся курсы для сотрудников УГМС «Обеспечение современных потребностей различных категорий потребителей в климатической продукции и информации». В 1995 г. ИПК получил статус Регионального учебного центра Всемирной метеорологической организации в Российской Федерации.

Для дальнейшего совершенствования КО в рамках российского сегмента ГРОКО приоритетными направлениями могут быть определены следующие (Бедрицкий, 2020):

- модернизация наблюдательных сетей, включая систему обеспечения качества данных, и регламентирование климатического мониторинга;

- развитии методических и нормативных основ КО на основе укрепления национальных исследований климата, включая моделирование и прогнозирование изменений климата и их воздействий;
- формирование механизмов взаимодействия субъектов КО, относящихся к системе Росгидромета (УГМС, ЦГМС, НИУ) между собой и потребителями разного уровня;
- наращивание потенциала, подготовка и повышение квалификации кадров, задействованных в системе КО.

ГЛОБАЛЬНАЯ РАМОЧНАЯ ОСНОВА ДЛЯ КЛИМАТИЧЕСКОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ (ГРОКО) ПРЕДСТАВЛЕНА ПЯТЬЮ ВАЖНЕЙШИМИ КОМПОНЕНТАМИ КЛИМАТИЧЕСКОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ, АКТУАЛЬНОСТЬ КОТОРЫХ УНИВЕРСАЛЬНА:

1). НАБЛЮДЕНИЯ И МОНИТОРИНГ КЛИМАТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ, ФАКТОРОВ НА НЕЕ ВЛИЯЮЩИХ И ВОЗДЕЙСТВИЙ, КОТОРЫЕ ОНА ОКАЗЫВАЕТ НА ЛЮДЕЙ И ОТРАСЛИ ЭКОНОМИКИ – ПОТРЕБИТЕЛЕЙ КЛИМАТИЧЕСКОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ. ПРОИЗВОДИТЕЛИ КЛИМАТИЧЕСКОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ ОТВЕЧАЮТ ЗА КАЧЕСТВО КЛИМАТИЧЕСКОЙ ИНФОРМАЦИИ И ОБЕСПЕЧИВАЮТ УПРАВЛЕНИЕ ЕЮ, ВКЛЮЧАЯ СООТВЕТСТВУЮЩИЕ МЕТАДАННЫЕ, ЕЕ РАСПРОСТРАНЕНИЕ И ИНТЕРПРЕТАЦИЮ ДЛЯ ПОТРЕБИТЕЛЕЙ.

2). ИССЛЕДОВАНИЯ, МОДЕЛИРОВАНИЕ И ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ВОЗДЕЙСТВИЯ ИЗМЕНЕНИЯ И ИЗМЕНЧИВОСТИ КЛИМАТА, В ТОМ ЧИСЛЕ ДЛЯ ЭКОНОМИЧЕСКИХ ОЦЕНОК И ЭФФЕКТИВНОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ КЛИМАТИЧЕСКОЙ ИНФОРМАЦИИ. НАУЧНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ СОСТАВЛЯЮТ ОСНОВУ ДЛЯ КЛИМАТИЧЕСКОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ.

3). ИНФОРМАЦИОННАЯ СИСТЕМА КЛИМАТИЧЕСКОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ, ОБЕСПЕЧИВАЮЩАЯ РЕГУЛЯРНЫЙ СБОР, ХРАНЕНИЕ И ОБРАБОТКУ ИНФОРМАЦИИ О КЛИМАТЕ (ПРОШЛОМ, НАСТОЯЩЕМ И БУДУЩЕМ) ДЛЯ ФОРМИРОВАНИЯ КЛИМАТИЧЕСКОЙ ПРОДУКЦИИ И ПРЕДОСТАВЛЕНИЯ ЕЕ ПОТРЕБИТЕЛЯМ В СООТВЕТСТВИИ С ИХ НУЖДАМИ.

4). ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ МЕЖДУ ПРОИЗВОДИТЕЛЯМИ И ПОТРЕБИТЕЛЯМИ КЛИМАТИЧЕСКОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ НА ВСЕХ УРОВНЯХ, ОБЕСПЕЧИВАЮЩИЕ МАКСИМАЛЬНОЕ СООТВЕТСТВИЕ КЛИМАТИЧЕСКОЙ ПРОДУКЦИИ ЗАПРОСАМ ПОТРЕБИТЕЛЕЙ.

5). НАРАЩИВАНИЕ ПОТЕНЦИАЛА КЛИМАТИЧЕСКОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ, ВКЛЮЧАЯ ИНСТИТУЦИОНАЛЬНОЕ РАЗВИТИЕ, РАСШИРЕНИЕ И СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ИНФРАСТРУКТУРЫ, А ТАКЖЕ ФОРМИРОВАНИЕ КАДРОВЫХ РЕСУРСОВ, ЗАДЕЙСТВОВАННЫХ НА КАЖДОМ ЭТАПЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ПРОИЗВОДИТЕЛЕЙ И ПОТРЕБИТЕЛЕЙ КЛИМАТИЧЕСКОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ.

3. КЛИМАТИЧЕСКОЕ ОБСЛУЖИВАНИЕ ОТРАСЛЕЙ ЭКОНОМИКИ В СИСТЕМЕ РОСГИДРОМЕТА

3.1 ЗДРАВООХРАНЕНИЕ

Современная климатическая ситуация в мире сопровождается целым рядом угроз и рисков для здоровья населения (Иголкина и др., 2018). В 2008 г. Всемирная ассамблея здравоохранения приняла резолюцию о защите здоровья от изменения климата (WHA 61.19, 2008). Программа неотложных действий по управлению климатическими рисками в секторе здравоохранения обсуждалась на конференциях ВОЗ в 2014 и 2016 гг.

Изменение климата оказывает как прямое, так и косвенное влияние на здоровье человека. Так, с воздействием экстремальных погодных явлений, в увеличении повторяемости которых изменение климата играет определенную роль, непосредственно связаны гибель людей, рост травматизма, повышение уровня смертности от обострения хронических заболеваний. К косвенным воздействиям климатических факторов относится ухудшение психического и физического здоровья из-за более частых и интенсивных перепадов температур, ураганов, наводнений, засух, лесных пожаров. Воздействие высоких температур и засух также ограничивает трудоспособность и производительность труда, подрывая средства к существованию и благосостояние семей. В 2012-2021 гг. от сильных засух, продолжающихся, по меньшей мере, один месяц в год, пострадало на 29% больше земель в мире, чем в период 1951-1960 гг. (WMO, 2023a). Меняющиеся климатические условия также провоцируют передачу многих чувствительных к климату инфекционных заболеваний, передаваемых через пищу и воду.

Сегодня охрана здоровья людей является приоритетом почти во всех странах и требует достоверной и детальной климатической информации для принятия решений. В большинстве национальных планов адаптации основное внимание уделяется сектору здравоохранения, т.к. наиболее эффективными мерами по снижению уязвимости в ближайшей перспективе являются программы, которые улучшают здоровье населения сегодня и учитывают климатические условия будущего.

КО здравоохранения — это новый вид медицинских услуг, который помогает сектору здравоохранения стать более гибким в условиях все более изменчивого климата; это средство, с помощью которого климатическая и другие виды информации могут быть адаптированы для надлежащего информирования лиц, принимающих решения в области здравоохранения. Климатическая информация и продукция позволяют лицам, принимающим решения, предвидеть и планировать будущее, чтобы обосновывать политику и практику для обеспечения защиты населения на месяцы, сезоны и годы вперед. Климатическая информация предоставляется для поддержки сектора здравоохранения в условиях более экстремальных погодных условий и плохого качества воздуха, изменения характера инфекционных заболеваний, а также отсутствия продовольственной и водной безопасности. КО является неотъемлемой частью мер по снижению риска бедствий путем совершенствования систем раннего предупреждения, профилактики заболеваний и борьбы с ними, адаптации к изменению климата структур управления и санитарного просвещения. (WMO, 2023a).

Можно выделить три направления, по которым изменение климата влияет на здоровье человека. Во-первых, непосредственные (прямые) воздействия – из-за

экстремальных погодных явлений. 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 таких воздействий могут стать недоедание, нервные и психические расстройства, связанные как с ухудшением экономической ситуации, так и от стрессов из-за повышенной аномальности погоды и ряда других причин (Росгидромет, 2014; 2022).

Одним из видов КО здравоохранения является информационно-аналитическое обеспечение адаптации к ожидаемому увеличению повторяемости и продолжительности волн тепла и других опасных погодных явлений. Волны тепла усиливают многие риски, в том числе риски, связанные со здоровьем или экономикой, включая рост смертности среди людей, засухи и ухудшение качества воды, лесные пожары и задымление, нехватку электроэнергии и потери в сельском хозяйстве. Аномальная жара 2010 г. в России вошла в первую десятку самых смертоносных бедствий на Земле за последние 20 лет (седьмое место в рейтинге бедствий). По данным центра EM-Dat, в 2010 г. от экстремальной волны тепла в нашей стране погибли 55736 человек. В настоящее время, для некоторых российских городов (Москва, Санкт-Петербург, Астрахань, Краснодар, Ростов-на-Дону, Волгоград, Архангельск, Якутск, Красноярск и др.) установлены температурные пороги, позволяющие диагностировать наступление волн тепла, апробированы и опубликованы методики их определения (Ревич и др., 2015; 2017).

Эта информация используется, например, правительством Москвы на основе данных, предоставляемых Гидрометцентром (Гордин, 2016; Зинченко, Терентьев, 2022). Программа по адаптации населения Москвы к усиливающемуся негативному влиянию волн тепла была официально принята в 2013 г., когда мэром Москвы С.С. Собяниным был утвержден и реализован «План действий органов исполнительной власти города по снижению воздействия жары и загрязнения атмосферного воздуха на здоровье населения». План включает, во-первых, меры по оперативному реагированию на неблагоприятное изменение температурных условий и качества атмосферного воздуха (информирование населения об опасных для здоровья уровнях температуры и загрязнения атмосферного воздуха, изменение режимов функционирования оперативных служб и медицинских учреждений в указанный период и др.); во-вторых, среднесрочные мероприятия, направленные на снижение воздействия аномально высоких температур и загрязнения атмосферного воздуха на здоровье населения, в том числе обеспечение комфортного температурного режима в поликлиниках, иных социальных объектах, в общественном транспорте, а также надзор и оценка эффективности действий органов исполнительной власти Москвы при аномально жаркой погоде и загрязнении атмосферного воздуха (Зинченко, Терентьев, 2022).

Изменение климата сопровождается и изменением условий распространения инфекционных заболеваний. В ИГКЭ создана методика оценки ареалов распространения переносчиков трансмиссивных заболеваний. Посредством сопоставления данных о фактическом ареале вида переносчика трансмиссивного заболевания и пространственном распределении значений биоклиматических факторов определены значения эколого-климатических предикторов для данного вида переносчиков (Ясюкевич, 2002; Ясюкевич и др. 2019).

В настоящее время основным видом КО здравоохранения является предоставление климатической информации двух основных типов – данных мониторинга климата и результатов моделирования и прогнозирования состояния климатической системы. Типы такой климатической информации имеют разный временной масштаб:

- *Суточный и недельный масштабы времени.* Тип информации: прогноз неблагоприятной для здоровья человека погоды (экстремальные изменения, например, резкие скачки атмосферного давления; экстремально высокие и низкие температуры; высокая влажность; температурная инверсия, способствующая увеличению концентрации загрязняющих веществ в атмосфере; ливневые осадки; штормовой ветер; ледяной дождь; наводнения и др.). Потребители этой информации: служба «Скорой помощи», лечебные заведения, социальные службы, оказывающие помощь инвалидам, пожилым людям, учебные заведения (ясли, детские сады, школы). Способ информирования: информация размещается на специальной странице сайта Гидрометцентра России, а также дублируется электронными сообщениями должностным лицам, назначаемым соответствующими ведомствами. Эта информационная основа уже позволила разработать технологии, которые могут работать в оперативном режиме: прогноз количества выездов службы «Скорая помощь» и прогноз смертности от всех причин на 1-3 дня (Гордин, 2016).
- *Сезонный масштаб времени.* Тип информации: аномалии среднемесячных значений приземной температуры и месячной суммы осадков на предстоящие три месяца. Потребители этой информации: управления Роспотребнадзора по субъектам Российской Федерации, центры гигиены и эпидемиологии в субъектах Российской Федерации, противочумные учреждения и другие специальные санитарно-эпидемиологические учреждения. Способ информирования: информация размещается на специальной странице сайта Гидрометцентра России, рассылается в виде электронной рассылки в эти учреждения, дублируется электронными сообщениями должностным лицам, назначаемым соответствующими ведомствами.
- *Масштаб десятилетий (климатические данные).* Тип информации: наблюдаемые и ожидаемые изменения климата (прежде всего температуры и осадков). Долгосрочная климатическая информация, характеризующая произошедшие изменения климата и ожидаемые в соответствии с различными сценариями антропогенного воздействия на климатическую систему Земли, является одной из основ принятия государственных решений по мерам адаптации сектора «Здравоохранение» в условиях меняющегося климата. Эта климатическая продукция необходима для разработки долгосрочной политики и планирования инвестиционных решений в области здравоохранения. Потребители информации: эксперты Минздрава России и Роспотребнадзора по стратегическому планированию адаптации и профилактики. Способ информирования: специальные доклады, направляемые Росгидрометом Минздраву России и Роспотребнадзору (ГРОКО, 2016).

Росгидромет предоставляет довольно широкий спектр климатической продукции для принятия решений в области здравоохранения. Но для дальнейшего развития КО в секторе «Здравоохранение» необходима организация систематического предоставления учреждениями Росгидромета погодной и климатической информации в такой форме и в таком временном режиме, которые бы позволили учреждениям Минздрава России и Роспотребнадзора эффективно использовать ее для мероприятий по снижению заболеваемости и смертности населения, а также для разработки и реализации долгосрочных адаптационных планов в секторе «Здравоохранение» в условиях меняющегося климата.

Взаимодействие и сотрудничество между Росгидрометом, Минздравом и Роспотребнадзором должно быть организовано на всех уровнях – ведомств, подведомственных служб, подведомственных научных учреждений.

3.2 ДОБЫВАЮЩАЯ ПРОМЫШЛЕННОСТЬ

Особенности КО добывающей промышленности значительно различаются в зависимости от способа добычи полезных ископаемых (закрытого, т. е. с использованием скважин и шахт или открытого — карьерного), физических и химических свойств добываемого сырья, а также мест расположения промышленных объектов.

Добывающая промышленность не входит в перечень целевых отраслей ГРОКО. Однако оценкам влияния климатических факторов на объекты и процессы в этой отрасли посвящено большое количество зарубежных и отечественных исследований (Росгидромет, 2022; TSM, 2019; Mavrommatis et al., 2019; RMES, 2021). Это связано со значительной уязвимостью объектов по добыче и транспортировке полезных ископаемых к климатическим воздействиям, сложной организацией процессов добычи, расположением мест добычи в районах со сложной подстилающей поверхностью и т.д. Для принятия проектных решений при возведении технологических объектов и коммуникаций, а также для производства работ в добывающей отрасли необходим обширный комплекс расчетных климатических показателей температуры воздуха и почвы, количества, интенсивности и видов осадков, скорости и направлений ветра, снежного покрова, гололедно-изморозевых образований, атмосферных явлений и т.д. Набор климатических показателей, необходимых для проектирования конкретного инфраструктурного объекта определяется особенностями структуры объекта, его назначением, местом расположения.

В ряде работ (Mason et al., 2013; MAC, 2014; NEBC, 2015) подчеркивается необходимость анализа воздействия наблюдаемых и прогнозируемых изменений значений этих показателей на процессы добычи и транспортировки добываемого сырья. Так, например, изменение температурно-влажностного режима в отдельных районах АЗРФ может снизить эксплуатационный ресурс оборудования для нефте- и газодобычи из-за усиления коррозионных повреждений. Деградация многолетнемерзлых пород приводит к снижению производительности нефтяных скважин из-за их деформации, рост количества осадков в теплый период года усиливает оползневые и селевые процессы, что увеличивает риск аварийных разрушений трубопроводов. Более длительные сухие периоды на юге ЕТР и Западной Сибири создают угрозу высыхания и пыления терриконов и т.д.

Основополагающим этапом оценки территории, а также объекта для строительства, ремонта или реконструкции сооружений разного назначения являются инженерно-гидрометеорологические изыскания (СП 482.1325800.2020). Это неотъемлемая часть КО, позволяющая составить прогнозы возможных изменений гидрометеорологической ситуации при взаимодействии с объектом и оценить воздействия на окружающую среду. Примерами КО объектов добывающей промышленности, выполненного в ГГО, могут служить комплексы климатических показателей для эксплуатационного бурения газовых скважин в Оренбургской и Астраханской областях, освоения Усть-Балыкского месторождения нефти в Ханты-Мансийском автономном округе, обустройства скважин Печорского нефтегазоконденсатного месторождения и др.

В районах со сложным рельефом и редкой сетью метеостанций получать надежную климатическую информацию становится сложно. Эта проблема особенно актуальна для регионов Сибири и Дальнего Востока, в которых освоение новых месторождений полезных ископаемых происходит сейчас особенно интенсивно. Территория изысканий часто

охватывает различные формы рельефа: вершины, склоны разной ориентации и крутизны, разнонаправленные долины, которые характеризуются различными микроклиматическими условиями. В этом случае практически единственным способом получения специализированной климатической информации становятся микроклиматические методы исследований. Принципы проведения таких исследований достаточно широко освещены в отечественной и иностранной литературе (Романова, 1977; Пигольцина, 2003, 2009; Barry, 2008; Körner, 2007 и др.). В последние годы был разработан и ряд новых подходов к получению микроклиматической информации, включая нормативные параметры атмосферных нагрузок (Adzhiev et al., 2020, 2021; Vorontsov et al., 2020; Крючков, 2020; Пигольцина, Фасолько, 2020; Фасолько, Пигольцина, 2022).

Учет микроклиматических особенностей территории осуществляется методом введения микроклиматических поправок к фоновой климатической информации или к данным метеостанций, выбранных в качестве опорных при микроклиматических расчетах с использованием кластерного анализа. При этом могут приниматься в расчет и данные реанализа. На основе указанных подходов в ГГО была подготовлена климатическая характеристика территории перспективных месторождений нефти и газа на севере Красноярского края, рассчитан комплекс специализированных климатических показателей для разработки месторождений цветных металлов в Республике Саха, Чукотском автономном округе, Иркутской области. Была также выполнена оценка микроклиматических условий Нижнего Приангарья для целей промышленного освоения региона, и дана сравнительная оценка степени оптимальности местоположения площадок предполагаемого размещения производственных комплексов и населенных пунктов в районе Богучанского промышленного узла.

Надо отметить, что добыча и переработка металлических руд связана с созданием хвостохранилищ – гидротехнических сооружений, создающих значительные экологические риски для окружающей среды (обрушение дамбы хвостохранилища под воздействием экстремальных осадков, сброс загрязненной воды в прилегающие водоемы, попадание ее в системы водоснабжения и т.д.). Не менее опасным является высыхание и пыление хвостохранилища из-за роста температуры воздуха и увеличения объема испарения. Поэтому в условиях изменений климата КО таких проектов должно основываться на детальной климатической информации о современном и будущем температурно-влажностном режиме в районе изысканий, полученной с использованием климатического моделирования (Катцов и др., 2020). Также необходимо учитывать данные наблюдений за температурой воздуха, осадками, влажностью воздуха, испарением, опасными гидрометеорологическими явлениями, полученные за последние годы.

Таким образом, принимая во внимание возможный значительный ущерб для окружающей среды и здоровья населения в районах добычи и переработки полезных ископаемых, для каждого объекта добывающей промышленности целесообразно создавать индивидуальные прогнозы изменения специализированных климатических показателей не только на время эксплуатации, но и на период рекультивации территории после вывода месторождения из эксплуатации. Это позволит создать реестр текущих и будущих рисков и разработать стратегии адаптации на уровне объекта для повышения устойчивости объекта и прилегающих к нему регионов к изменению климата.

3.3 СЕЛЬСКОЕ ХОЗЯЙСТВО

По оценкам (FAO, 2016), около 40% всего ущерба, наносимого неблагоприятными погодными климатическими явлениями, приходится на сельское хозяйство. Изменение климата в глобальном масштабе нарушает наступление и продолжительность сезонов

дождей и провоцирует более частые и интенсивные экстремальные погодные явления, такие как засухи и наводнения. К 2022 г. около 735 миллионов человек – или 9,2% населения мира – оказались в состоянии хронического голода. При этом ЦУР 2 заключается в создании мира, свободного от голода к 2030 г. Поэтому многие направления деятельности ВМО и других организаций ООН сосредоточены на развитии КО сельского хозяйства. Так, в 2012 г. было подготовлено Руководство ВМО по агрометеорологической практике (ВМО, 2012). Целью Руководства являлось предоставление в удобной форме информации о наиболее важных практиках и процедурах в сельскохозяйственной метеорологии. В настоящее время планируется его обновленное издание.

В 2013 г. ВМО и Глобальное водное партнерство (ГВП) инициировали Программу комплексного управления засухой для оказания помощи странам в разработке национальной политики в области борьбы с засухой и внедрении превентивных мер и более эффективных инструментов ее прогнозирования (ВМО, 2014). К основным компонентам готовности к засухе были отнесены мониторинг и раннее предупреждение; оценка уязвимости и риска; меры по снижению рисков. С целью совершенствования систем мониторинга, заблаговременного предупреждения и представления информации в поддержку мер по борьбе с засухой и связанных с ней рисков был издан Справочник по показателям и индексам засушливости (ВМО, 2016).

В 2019 г. первый доклад, подготовленный ВМО о состоянии КО, был посвящен сельскому хозяйству и продовольственной безопасности (ВМО, 2019а). Доклад был подготовлен под эгидой ГРОКО и содержал анализ мер, необходимых для расширения доступа к климатической информации и обслуживанию для устойчивого к изменению климата развития и действий по адаптации. В этом документе освещаются прогресс, возможности и проблемы в развертывании КО, такого как сезонные прогнозы, рекомендации по засухе и индексы пожарной опасности, а также приводятся данные Продовольственной и сельскохозяйственной организации ООН (ФАО), указывающие на то, что изменчивость климата является ключевым фактором низкой урожайности сельскохозяйственных культур, надолго которого приходится примерно 5-10% потерь национального сельскохозяйственного производства. Доклад завершается рекомендациями, касающимися расширения масштабов КО, устранения барьера «последней мили» на пути к сельхозпроизводителям на местах и совершенствования методологии оценки социально-экономических выгод от инвестиций в КО и связанных с ним услуг.

Важной инициативой ВМО явилось создание в 2002 г. Всемирной службы агрометеорологической информации (ВСАИ)¹⁷. Цель ВСАИ состоит в том, чтобы предоставлять в распоряжение мирового агрометеорологического сообщества в оперативном режиме агрометеорологическую продукцию, выпускаемую странами-членами ВМО и размещенную на специализированном веб-сервере. Обеспечивая централизованную базу хранения агрометеорологической информации, ВСАИ позволяет потребителям быстро оценивать бюллетени, издаваемые в разных странах, и получить представление о том, как улучшить КО сельского хозяйства в своей стране. На этом веб-сервере также размещаются учебные модули для оказания дальнейшего содействия странам-членам с целью улучшения качества их агрометеорологических бюллетеней. На сервере ВСАИ размещен и раздел вспомогательных программ и ресурсов с описанием данных и обратной связью. Материалы этого раздела составлены из различных источников или разработаны специально для ВСАИ и включают линии связи с полезным программным обеспечением, учебными ресурсами и обучающими программами.

¹⁷ <https://wamis.org/wamis/>

На сайте ВСАИ «Различные агрометеорологические продукты»¹⁸ размещены и данные, предоставляемые Российской Федерацией. Так, Гидрометцентр России предоставляет обзор текущих агрометеорологических условий на территории России, а также декадный, месячный и сезонный прогноз агрометеорологических условий на территории России и стран СНГ¹⁹. В Гидрометцентре также разрабатывается методика сверхдолгосрочных прогнозов на 5-летний интервал времени для основных сельскохозяйственных районов Российской Федерации (Хан и др., 2023).

На базе ВНИИСХМ действует Центр мониторинга засухи²⁰, где представлен декадный бюллетень засух для различных федеральных округов Российской Федерации и стран СНГ. Он содержит обзор распределения засух различной интенсивности за оцениваемую декаду, число декад сильной и средней засухи в период активной вегетации сельскохозяйственных культур, формулы расчета показателей и оценки интенсивности засух и др.

На территории России изменения климатических показателей, напрямую воздействующих на сельское хозяйство, выражены особенно ярко. При этом изменение климата может иметь здесь как отрицательные, так и положительные последствия для сельскохозяйственного производства. Наиболее уязвимым сектором сельского хозяйства становится растениеводство, для которого определяющими факторами являются изменения показателей тепло- и влагообеспеченности растений. В этих условиях важной задачей являются обоснованные оценки наблюдаемых и прогнозируемых тенденций изменения агроклиматических условий и продуктивности сельскохозяйственных культур на территории земледельческой зоны России. Для оптимизации принимаемых решений на региональном уровне важно также иметь представление о частоте возникновения различных экстремальных явлений, таких как засухи, сильные морозы, переувлажнение почвы и др. (Сиротенко, Павлова, 2012).

Согласно модельным оценкам, выполненным в ГГО (Хлебникова и др., 2021), к середине XXI в. ожидается увеличение средних значений максимальной непрерывной продолжительности засушливых периодов в центральных и южных районах ЕТР и прилегающих районах Западной Сибири, а также в Приамурье, Приморье и на Камчатке. В дальнейшем, к концу XXI в., частота продолжительных периодов с дефицитом осадков, вероятность которых в конце XX в. составляла 10%, увеличится в критических областях более чем в два раза. При этом на юго-востоке ЕТР, в частности, в Волгоградской области, могут отмечаться засушливые периоды экстремальной продолжительности, превышающей современные средние значения более чем на один месяц. Такие прогнозируемые тенденции изменения режима увлажнения необходимо принимать во внимание при разработке планов адаптации субъектов Российской Федерации в этих регионах.

Развитие методов оценки последствий изменения климата в сельскохозяйственной сфере экономики осуществляется на основе имитационной системы «Климат-Почва-Урожай» (КПУ), разработанной во ВНИИСХМ. Входной информацией для КПУ, с помощью которой проводятся расчеты возможных в будущем изменений продуктивности зерновых культур, служат результаты ансамблевых расчетов региональной климатической модели (РКМ) ГГО (Школьник, Ефимов, 2015; Pavlova et al., 2019; Катцов и др., 2020).

Один из основных источников неопределенности будущих изменений урожайности — естественная климатическая изменчивость, накладывающаяся на реакцию агроклиматической

¹⁸ <https://wamis.org/wamis/russian-federation/>

¹⁹ <https://meteoinfo.ru/agro-revie>

²⁰ <http://cxm.obninsk.ru/index.php?id=200>

системы при антропогенном воздействии. Для того, чтобы минимизировать влияние изменчивости на оценку климатических трендов, используются большие модельные климатические ансамбли. Размер ансамбля и высокая пространственная детализация расчетов на базе высокоразрешающих модельных систем играют ключевую роль в оценках будущих изменений в статистике экстремальных погодно-климатических явлений. Большой размер ансамбля РКМ позволяет получить вероятностные оценки возможного изменения показателей гидротермического режима региона с высокой степенью надежности и с более полным описанием мезомасштабной изменчивости по сравнению с глобальными моделями. В то же время широкий диапазон модельных реализаций по изменению температуры воздуха и осадков дает возможность оценить множество возможных вариаций климата, включая экстремальные. Разброс оценок показателей для гумидной и аридной модельных реализаций указывает на значительный вклад естественной изменчивости климата в ошибку предсказания ансамблем будущих изменений агроклиматических показателей для рассматриваемой территории. Расчет агроклиматических показателей для этих реализаций дает представление о верхней границе оценок при прогнозировании воздействий изменений климата на продуктивность сельского хозяйства.

Для оценки уязвимости территории Российской Федерации при возделывании зерновых культур во ВНИИСХМ разработан алгоритм, позволяющий рассчитать показатель уязвимости с учетом климатически обусловленной урожайности конкретных культур и биоклиматического потенциала территории, которые рассчитываются в системе КПУ. Коэффициент уязвимости территории показывает степень «недоиспользования» климатических ресурсов территории. По результатам расчетов с помощью ГИС QGIS построены карты пространственного распределения биоклиматического потенциала и рисков недобора урожая яровой пшеницы при засухах для территории Центрального федерального округа. На примере яровой пшеницы с помощью имитационной системы КПУ рассчитаны сравнительные оценки мер адаптации к изменению климата по отдельным субъектам земледельческой зоны ЕТР. Анализ данных показал, что соотношение прироста урожайности за счет мер, улучшающих водный режим посева, и мер, связанных с достаточными дозами удобрений, значительно различаются по регионам. Было определено, что для областей юга ЕТР первоочередными мерами по стабилизации сельскохозяйственного производства может стать внедрение влагосберегающих технологий. По мере продвижения с юго-запада на северо-восток более эффективными становятся мероприятия, направленные на оптимизацию минерального питания растений. На основе представленных оценок и ранее полученных результатов был представлен комплекс адаптационных мер для зернового хозяйства в субъектах земледельческой зоны ЕТ России, а также разработана методика оценки эффективности адаптационных мероприятий при производстве сельскохозяйственных культур (Павлова, Варчева, 2017; Павлова и др., 2020).

Для сохранения будущего урожая огромное значение имеет мониторинг распространения и изменения экологических свойств наиболее опасных вредителей и возбудителей болезней сельскохозяйственных растений. В ИГКЭ и ВНИИСХМ ведется широкий круг исследований по воздействию климатических изменений на расширение ареалов и фенологию вредителей растений. Особенно важным для принятия решений в области сельскохозяйственного производства является моделирование климатических ареалов и зон массового размножения вредоносных организмов, на основе выявленных климатических и агроклиматических индексов, рассчитанных по данным о наблюдаемых и будущих изменениях в климатической системе на территории Российской Федерации.

Было определено, что при дальнейшем потеплении климата в России может усилиться неблагоприятное воздействие вредителей и возбудителей болезней сельскохозяйственных культур на валовые сборы и качество продукции растениеводства, так как эти организмы существенно зависят от климата (Росгидромет, 2022).

В сельском хозяйстве России второй по значимости (после растениеводства) отраслью является животноводство. Результаты проведенных в ГГО исследований, направленных на оценки изменения периодов стойлового содержания животных и выпаса их на летних пастбищах, позволяют сформулировать некоторые предложения по адаптации животноводства к климатическим изменениям: сдвиг сроков начала и окончания пастбищного выпаса скота, корректировка объемов заготовки кормов на зиму, расширение сеяных выпасов для использования их в форме зеленого корма в период выгорания пастбищ и т.д. (Росгидромет, 2022).

Проблема оценки последствий изменения климата для сельскохозяйственного производства, как известно, носит региональный характер. Так, в ВГИ проводятся работы по оценке воздействия климатических изменений на агропромышленный комплекс юга ЕТР (Ашабоков и др., 2020, 2021). В качестве элементов АПК рассматриваются растениеводческая и перерабатывающая отрасли. Разработана модель оптимизации структуры производства сельскохозяйственных культур с учетом влияния засух и градобитий, позволяющая определять оптимальные действия для снижения потерь. Модель основана на использовании различной уязвимости сельскохозяйственных культур к этим явлениям.

В ГГО в рамках выполнения Программы «Развитие системы гидрометеорологической безопасности Союзного государства на 2017-2021 годы» (Мероприятие 3 «Развитие системы климатического обслуживания населения и отраслей экономики Российской Федерации и Республики Беларусь») была выполнена оценка изменения основных агроклиматических показателей тепло- и влагообеспеченности сельскохозяйственных культур к середине и концу текущего столетия для территории субъектов Российской Федерации, граничащих с Белоруссией (Псковской, Смоленской, Брянской областей). Для оценки изменений климата в XXI в. на территории Союзного государства применена РКМ ГГО, реализованная в рамках данного проекта применительно к сценарию антропогенного воздействия МГЭИК RCP8.5.

Особенно актуальны региональные агроклиматические исследования для аридных территорий, характеризующихся высоким теплоэнергетическим потенциалом и острым дефицитом влаги. В таких регионах даже незначительное изменение климатических условий может привести как к ощутимому положительному эффекту, так и к негативным последствиям. Результаты расчетов изменений агроклиматических показателей к середине текущего столетия, полученные с использованием региональной климатической модели ГГО, позволили сделать принципиальные выводы относительно последствий глобального потепления для агроклиматических условий произрастания ведущих сельскохозяйственных культур Средней Азии (Школьник и др., 2019).

3.4 ВОДНОЕ ХОЗЯЙСТВО

Российская Федерация принадлежит к числу наиболее обеспеченных водными ресурсами стран мира. Развитие водохозяйственного комплекса является одним из ключевых факторов обеспечения экономического благополучия и социальной стабильности, национальной безопасности страны и реализации прав граждан на благоприятную окружающую среду. Приоритетные направления и основные цели развития водохозяйственного комплекса определены в Водной стратегии Российской Федерации на период до 2035 г.

Реагирование на проблемы воздействия изменения климата на водные ресурсы требует стратегий адаптации во многих временных и пространственных масштабах. Последствия изменения климата для водных ресурсов имеют кумулятивный эффект с точки зрения воздействия на здоровье человека и многие сектора экономики (ООН, 2009) (рис. 3.1). В докладе ВМО о состоянии глобальных водных ресурсов (ВМО, 2023б) отмечается, что гидрологический цикл выходит из равновесия в результате изменения климата и воздействия человека на окружающую среду, что создает вызовы для устойчивого управления водными ресурсами и подчеркивает важность принятия мер по адаптации к изменениям климата и сбалансированному использованию водных ресурсов для обеспечения их устойчивого развития.



Рисунок 3.1 Социально-экономические последствия изменения климата для водных ресурсов (ООН, 2009)

Наводнения и засухи являются одними из самых разрушительных бедствий, связанных с водой. За период с 2002 по 2022 гг. наводнения унесли жизни более 100 000 человек и нанесли экономический ущерб в размере 877 миллиардов долларов. За тот же период засухи затронули более 1,4 миллиарда человек и привели к экономическим потерям в размере 170 миллиардов долларов США (UN WWDR, 2024). В настоящее время около 2,5 млрд чел. (40% населения земного шара) испытывают дефицит пресной воды. (Дадабаева, 2023). На территории России наводнения происходят ежегодно, под угрозой затопления находится более 700 городов и тысячи населенных пунктов. Общая площадь паводкоопасных территорий составляет порядка 400 тыс. км². Общий ущерб от наводнений, включая прямые и косвенные потери, составляет более 40 миллиардов рублей в год, и этот ущерб имеет тенденцию к увеличению (Росводресурсы, 2022).

В докладах ООН о состоянии водных ресурсов (UN WWDR, 2024) отмечается, что сегодняшнее состояние водных ресурсов говорит о необходимости повышения эффективности управления ими. Признание высокой ценности водных ресурсов, ее демонстрация и учет при принятии решений необходимы для управления водными ресурсами справедливым образом и достижения целей в области устойчивого развития (ЦУР 6 «Чистая вода и санитария»), сформулированных в Повестке дня ООН в области устойчивого развития на период до 2030 г.

Серия докладов ВМО (WMO, 2022б, 2023б) вносит значительный вклад в достижение ЦУР 6, предоставляя важные данные для разработки целевых мероприятий по управлению водными ресурсами и решению проблем дефицита/переизбытка и качества воды. В докладах представлены перечни ключевых гидрологических показателей (изменения стока рек, притока к водохранилищам, уровня грунтовых вод и др.), для которых в условиях изменения климата необходимая более развитая система мониторинга.

Гидрометеорологические службы являются основными производителями гидрологической информации, которая может использоваться потребителями и лицами принимающими решения для следующих целей (GFDRR, 2018):

- Оценка состояния водных ресурсов и их способность удовлетворять фактический или прогнозируемый спрос;
- Планирование, проектирование и эксплуатация гидротехнических объектов;
- Оценка экологических, экономических и социальных последствий существующих и предлагаемых методов управления водными ресурсами и планирование рациональных стратегий управления;
- Обеспечение безопасности людей и имущества от опасных гидрологических явлений, в частности, наводнений и засух;
- Распределение воды между потребителями, как внутри страны, так и за ее пределами.

Учреждения Росгидромета занимаются наблюдением и оценкой состояния водных ресурсов, а также обеспечением необходимой гидрологической информацией различных организаций (включая правительственные органы, промышленные предприятия, научные институты), что помогает оптимизировать использование водных ресурсов для промышленных, сельскохозяйственных и коммунальных нужд. Одной из важнейших задач в области водного хозяйства является разработка мер по рациональному использованию и охране водных ресурсов в условиях климатических изменений. Ведущую роль в этом вопросе занимает ГГИ, который разрабатывает меры по снижению дефицита водных ресурсов и, следовательно, увеличению водообеспеченности в регионах, испытывающих нехватку водных ресурсов. Кроме того, деятельность института направлена на комплексные гидроэкологические исследования крупных водных систем и водохозяйственных объектов с целью оценки их экологического состояния.

Еще одной задачей КО водного хозяйства является предоставление климатических и гидрологических прогнозов различной заблаговременности. Долгосрочные гидрологические прогнозы широко используются для обслуживания многих отраслей экономики, на их основе принимаются наиболее важные оперативные решения, связанные с функционированием водохозяйственных систем и проведением противопаводочных мероприятий (Бельчиков и др., 2019), а использование сезонных прогнозов для производства гидроэлектроэнергии в ряде стран уже обеспечило увеличение их годового дохода (Soares, Desai, 2015; Rheinheimer et al., 2016). Краткосрочные прогнозы наибольший интерес представляют для водного транспорта. Прогнозы уровней воды в период навигации регулярно передаются в диспетчерские службы и используются при определении судоходных уровней на лимитирующих участках рек, прогнозы вскрытия и замерзания используют при планировании перевозок, прогнозы отдельных ледовых явлений – при зимнем отстое судов и гидротехническом строительстве. Кроме того, с заблаговременностью от нескольких часов до нескольких суток предсказывается наступление штормов, наводнений и других гидрологических явлений.

Учреждения Росгидромета публикуют различные справочные издания, содержащие гидрологическую информацию. ГГИ (при подготовке материалов также участвуют ГХИ, ГОИН и УГМС) ежегодно выпускает Справочные издания: «Ресурсы поверхностных и подземных

вод, их использование и качество» и «Реки и озера Российской Федерации (ресурсы, режим и качество воды)», которые являются одним из видов информационной продукции Водного кадастра Российской Федерации. Издания содержат информацию о ресурсах, качестве и использовании поверхностных и подземных вод Российской Федерации по ее субъектам, федеральным округам, стране в целом, основным речным бассейнам и их участкам, а также сведения о запасах и уровнях воды в крупнейших водоемах страны. В ежегодном обзоре Росгидромета «Состояние и загрязнение окружающей среды в Российской Федерации» в том числе представлены оценки загрязнения поверхностных вод как для территории страны в целом, так и для отдельных регионов (оз. Байкал и АЗРФ). Гидрометцентром России выпускаются доклады и справки с информацией о сложившихся и ожидаемых гидрологических условиях по различным бассейнам рек России.

3.5 ЛЕСНОЕ ХОЗЯЙСТВО

Лесное хозяйство — отрасль экономики, которая направлена на сохранение, воспроизводство и управление лесными ресурсами, включая охрану лесов от пожаров, борьбу с вредными организмами, регулирование использования лесов, учет их ресурсов. При этом особое внимание уделяется сохранению экологической и социальной значимости лесных экосистем.

Скорость изменения климата превышает способность лесных экосистем естественным образом адаптироваться. К основным факторам, влияющим на уязвимость лесного сектора к изменениям климата, относятся природные пожары, болезни и вредители леса, экстремальные погодноклиматические явления (Росгидромет, 2017а). Климатические изменения могут нарушить не только естественное восстановление лесов, но и ухудшить способность лесов предоставлять важнейшие экосистемные услуги (обеспечение чистой водой и воздухом, производство продовольствия, снижение уровня углекислого газа в атмосфере, накопление углерода, предотвращение почвенной эрозии, создание среды обитания для лесного биоразнообразия и др.) (Climate-ADAPT, 2024; Липка и др., 2021; Meybeck et al., 2020).

В последние годы термин «климатически оптимизированное лесное хозяйство» получил широкое распространение как в академической, так и в отраслевой среде (Verkerk et al., 2020; Bowditch et al., 2020). Климатически оптимизированное ведение лесного хозяйства предполагает использование комплексного подхода, направленного на объединение мер по смягчению изменения климата с мерами по адаптации к нему, что позволит повышать устойчивость лесов и обеспечивать баланс между экосистемными услугами, а также удовлетворять потребности населения (рис. 3.2).



Рисунок 3.2 Структура климатически оптимизированного лесного хозяйства (Chizmar, Parajuli, 2022)

Вклад лесов как в адаптацию, так и в смягчение изменения климата напрямую связан с политикой во многих других отраслях, которая определяет использование земельных и водных ресурсов, в частности, в области землеустройства, управления водными ресурсами, энергетики, транспорта строительства и сельского хозяйства. Научно-обоснованный НПА позволяет изучить и скоординировать взаимодействие между всеми этими отраслями (Meybeck et al., 2020).

На территории Российской Федерации использование, охрана, защита и воспроизводство лесов регламентируются Лесным Кодексом Российской Федерации (ЛК РФ №200-ФЗ, 2024), а необходимость учета изменений климата и адаптации к ним включена в обновленную Стратегию развития лесного комплекса Российской Федерации до 2030 года (Распоряжение, 2021). По данным Государственного лесного реестра на 2022 г. площадь лесных земель Российской Федерации составляет 1188,2 млн га, из них площадь земель, покрытых лесной растительностью, составляет 766,0 млн га (МПР, 2022). На леса России приходится 38 % общего запаса углерода бореальных лесных экосистем мира. Все это составляет важнейшее естественное преимущество экономики России в ее конкуренции с другими странами при переходе мирового хозяйства к зеленой модели развития, в том числе за счет реализации мер по снижению нетто-выбросов парниковых газов, включая поглощение углерода лесными экосистемами (Ваганов и др., 2021).

Наблюдаемые и ожидаемые изменения климата будут иметь различные последствия для лесного хозяйства (рис.3.3). Основные воздействия изменения климата на лесной комплекс Российской Федерации изложены в Третьем оценочном докладе Росгидромета (Росгидромет, 2022).

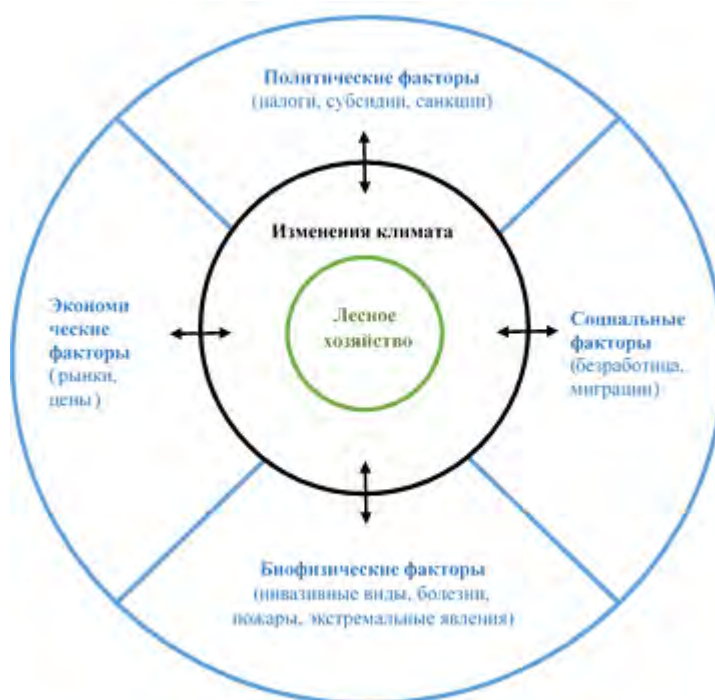


Рисунок 3.3 Комплекс природных и социально-экономических последствий изменения климата для лесного хозяйства (Росгидромет, 2017а)

Пожары, ветровалы, вспышки массового размножения насекомых уничтожают высокопродуктивные хвойные леса на значительных площадях, на которых впоследствии происходит возобновление лесных пород, имеющих меньшую экономическую ценность (Торжков и др., 2019). Погодно-климатические условия влияют и на результативность использования лесопожарной техники (Бюллетень, 2021). К концу XXI в. ожидается увеличение затрат на тушение лесных пожаров на уровне 211-249 млн. руб./год в зависимости от реализуемого сценария

МГЭИК (Торжков и др., 2019). Еще одной проблемой для лесного сектора России является слабая транспортная инфраструктура. В большинстве регионов с богатыми лесными ресурсами лесозаготовительные компании могут получить доступ к удаленным лесным районам только в зимнее время, что приводит к значительной зависимости от погодных условий при заготовке и транспортировке древесины (Лескинен и др., 2020).

С другой стороны, увеличение продолжительности вегетационного периода может благополучно сказаться на продуктивности древесных насаждений. Лесной сектор может предложить дополнительные возможности для развития биоиндустрии и биоэкономики (Лукина, 2020; Лескинен и др., 2020). Эти возможности включают сокращение антропогенных выбросов парниковых газов через декарбонизацию экономики, где лесной сектор может играть ключевую роль, заменяя углеродоемкие продукты из невозобновляемых источников на продукты из древесины. Кроме того, существует возможность повышения поглощения парниковых газов лесами за счет лесоразведения на заброшенных сельскохозяйственных землях.

Таким образом, наличие достоверной научной информации, актуальной для практического использования, о текущих и будущих погодно-климатических условиях и их воздействиях на лесные экосистемы является предпосылкой современного устойчивого лесопользования. Поэтому сотрудничество между Росгидрометом и Рослесхозом имеет стратегическое значение для обеспечения устойчивого управления лесными ресурсами и адаптации к изменяющемуся климату. Данные и услуги, предоставляемые Росгидрометом, помогают снизить риски, связанные с погодными и климатическими факторами, и способствуют сохранению здоровья и биоразнообразия лесов.

Ежегодно со сходом снежного покрова учреждения Росгидромета приступают к расчету показателя пожароопасности лесов и торфяников. На протяжении всего пожароопасного периода учреждениями Росгидромета составляется прогноз показателя пожарной опасности на ближайшие трое суток для каждого субъекта и осуществляется своевременное доведение информации о пожарной опасности до органов управления Единой государственной системы предупреждения и ликвидации чрезвычайных ситуаций, органов власти различных уровней и других потребителей.

НИЦ «Планета» в ходе мониторинга пожарной обстановки, оперативно поставляет спутниковую информацию всем заинтересованным потребителям, включая подразделения МЧС и Рослесхоз.

Гидрометцентр России на основе фактической информации о водности снега, глубине промерзания почвы, с учетом долгосрочных метеорологических прогнозов приземной температуры воздуха и осадков, а также расчетов числа дней с различными классами пожарной опасности за каждый месяц с апреля по сентябрь на основе ретроспективных данных предоставляет оценку пожароопасности на предстоящий пожароопасный сезон. Анализ данных расчетов можно интерпретировать как климатический прогноз числа дней с высоким и чрезвычайным классами пожарной опасности по территории Российской Федерации.

В целях повышения качества Национального кадастра антропогенных выбросов из источников и абсорбции поглотителями парниковых газов и уточнения запасов углерода в продукции лесозаготовки ИГКЭ проводит научно-исследовательские работы по уточнению распределения древесной продукции по категориям и определению их жизненного цикла.

Для разработки долговременных мер адаптации, нацеленных на оптимальное лесопользование, поддержание биоразнообразия в лесной зоне и на сохранение любых экологических функций леса целесообразно использовать прогностическую информацию о температуре воздуха и осадках, которая позволяет оценить изменения риска пожароопасности (Мохов, Чернукульский, 2010; Константинов и др., 2017; Катцов и др.,

2019). Технологии вероятностного прогнозирования регионального климата на территории России позволяют детализировать эффект глобального потепления как для лесных экосистем субъектов федерации, так и для лесного сектора российской экономики в целом.

3.6 ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЙ СЕКТОР

Изменения климата создают значительные риски для энергетического сектора, влияя на поставки топлива, производство энергии, устойчивость энергетической инфраструктуры и на увеличение спроса на электроэнергию (IAEA, 2022). Обеспечение надежного доступа к недорогой электроэнергии, включая переход от ископаемых видов топлива к возобновляемым источникам энергии, таким как солнечная, ветровая и гидроэнергетика, является одной из ключевых целей устойчивого развития ООН (ЦУР 7) и напрямую связано с Парижским соглашением 2015 г.

Наблюдаемые изменения климата, которые находят свое отражение в увеличении частоты и интенсивности неблагоприятных гидрометеорологических явлений (IPCC, 2021; Росгидромет, 2022), оказывают преимущественно негативное воздействие на все составляющие энергетического комплекса (от выработки до потребления энергии). Так, например, по данным МАГАТЭ, за три десятилетия с 1990 по 2019 гг. число случаев неблагоприятных погодных условий, нарушающих работу атомных электростанций, увеличилось в пять раз, причем с 2009 г. эта тенденция заметно усилилась (WMO, 2022a). Длительные периоды экстремально высоких температур и засухи потенциально являются одними из наиболее серьезных климатических воздействий для энергетики. Аномальные температуры воздуха значительно снижают эффективность производства и передачи электроэнергии, а также увеличивают спрос на электроэнергию для кондиционирования (Yalew et al., 2020).

Ключевую роль в повышении устойчивости энергетического сектора к воздействию климатических факторов играет современное КО. Традиционным климатическим продуктом для энергетической отрасли является информация о специализированных климатических характеристиках солнечной радиации, температуры воздуха, осадков, ветра, гололеда и т.д., которые определяют особенности функционирования и технико-экономические показатели при проектировании, сооружении и эксплуатации инфраструктурных объектов в отраслях энергетического сектора (рис. 3.4).

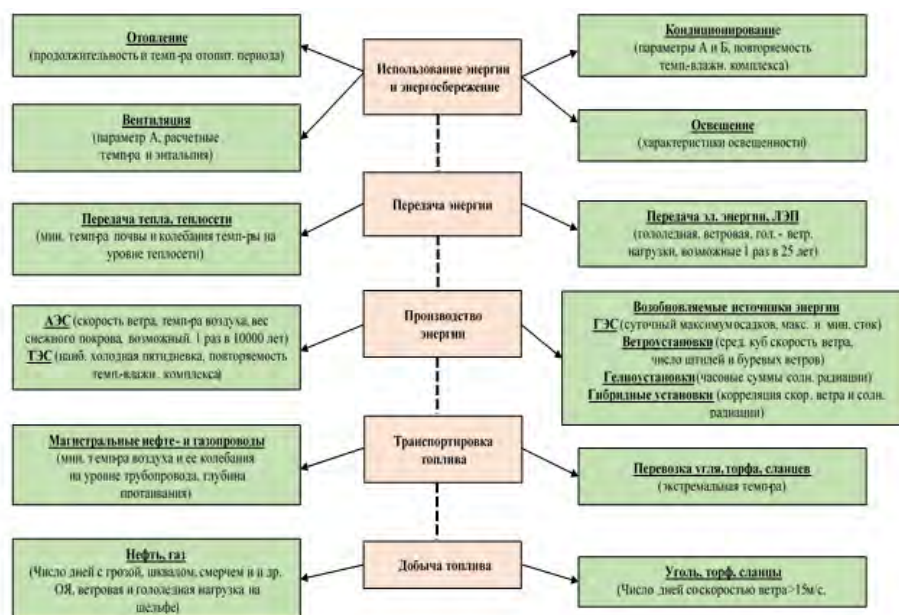


Рисунок 3.4 «Дерево» специализированных климатических показателей для различных отраслей энергетического сектора (Руководство, 2008)

При реализации ГРОКО была разработана стратегия для КО энергетики (WMO, 2017), где проиллюстрированы пути интеграции климатической информации в планирование и деятельность энергетического сектора. Предложенные подходы позволяют управлять климатическими рисками, оценивать устойчивость инфраструктуры к климатическим воздействиям, принимать стратегические инвестиционные решения (рис.3.5) (WEMC, 2018).



Рисунок 3.5 Направления интеграции климатической информации в деятельность энергетического сектора

В России основная выработка электроэнергии производится на тепловых, атомных и крупных гидроэлектростанциях. Доля ВИЭ (солнечные и ветровые источники энергии) в структуре российского энергобаланса пока незначительна (около 1%). За последние 20 лет произошел некоторый сдвиг в сторону возобновляемых и других источников низкоуглеродной энергии. Если в 1991 г. на гидро- и атомные электростанции приходилось 30% выработки электроэнергии (Василенко, 2022), то к 2023 г. их доля составила 36%. С ростом благосостояния населения и технологического прогресса меняется производственная структура энергетической отрасли, происходит сдвиг потребительских привычек населения в сторону более широкого использования электроэнергии. В перспективе к 2040-2050 гг. спрос на электроэнергию в России и мире может возрасти вдвое (Прогноз, 2019). Это означает, что вместе с развитием энергетической отрасли КО также должно совершенствоваться, чтобы повысить устойчивость энергетических систем к климатическим потрясениям и увеличить их энергоэффективность в условиях изменения и изменчивости климата (SERCUM, 2024).

В Третьем оценочном докладе Росгидромета (Росгидромет, 2022) проанализировано воздействие меняющегося климата на различные отрасли экономики, включая энергетику, в региональном разрезе. Представленная в Докладе оценка наблюдаемых и прогнозируемых изменений специализированных климатических характеристик лежит в основе адаптации всех отраслей энергетического сектора к изменяющимся климатическим условиям.

Традиционная энергетика

При специализированном КО объектов атомной и тепловой энергетики наибольшее внимание уделяется характеристикам температурно-влажностного и ветрового режимов, а также опасным гидрометеорологическим явлениям.

ПРИМЕРЫ КЛИМАТИЧЕСКОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ АЭС И ТЭС

Исследование, выполненное в ГГО совместно с Санкт-Петербургским политехническим университетом Петра Великого (СПбПУ), было направлено на оценку воздействия изменения интенсивности, длительности и частоты волн тепла и засушливых периодов на системы охлаждения энергоблоков, определяющих эффективность и безопасность функционирования электростанций. На основе анализа данных наблюдений и результатов сценарного климатического моделирования с использованием РКМ ГГО были определены районы на территории России с наибольшими погодно-климатическими рисками для атомной и тепловой энергетики. В Рекомендациях по адаптации АЭС и ТЭС к изменению климата в этих районах, в частности, указывается о необходимости предпринимать дополнительные меры для повышения надежности систем охлаждения энергоблоков, включая подготовку резервных систем охлаждения (Тюсов и др., 2017).

Примерами климатической продукции, разработанной в ГГО непосредственно для конкретных АЭС, были проект по оценке достаточности водных ресурсов для водяного охлаждения Ростовской АЭС с учетом наблюдаемого и прогнозируемого на середину XXI в. изменения температуры воздуха и воды и объемов водозабора для водоема-охладителя АЭС в связи с вводом дополнительных энергоблоков; а также проект по определению характеристик нижнего 1000-метрового слоя атмосферы в районе Ленинградской АЭС-2 для оценки условий рассеяния примесей с целью разработки защитных и профилактических мероприятий (Псаломщикова и др., 2017). В результате проведенных исследований были определены специализированные климатические параметры для корректировки работы АЭС и оценены соответствующие климатические риски.

Для гидроэнергетики наибольшее значение имеет климатообусловленное изменение стока рек, которое ведет к изменениям выработки электроэнергии за счет изменения притока воды к водохранилищу. Изменение интенсивности и частоты экстремальных погодных явлений (наводнений, засух), ледового режима рек могут увеличить стоимость крупных гидроэнергетических проектов и условия эксплуатации ГЭС. Рекомендации по оценке и управлению климатическими рисками при строительстве, модернизации и эксплуатации гидроэнергетических объектов в условиях изменения и изменчивости климата представлены в «Руководстве по устойчивости гидроэнергетического сектора к изменениям климата» (Hydropower, 2019), подготовленном Международной ассоциацией гидроэнергетики. Примером адресного КО гидроэнергетики с целью разработки адаптационных мер для ряда российских ГЭС к изменению климата является проект «Оценка и прогнозы изменений климата на отдаленную перспективу в зоне водохранилищ ГЭС ОАО «РусГидро» с целью уточнения режимов работы», выполненный ГГО совместно с СПбПУ (Акентьева и др., 2014; Гидроэнергетика, 2017). В ходе работы над проектом были проанализированы наблюдаемые и прогнозируемые изменения составляющих водного баланса водохранилищ ГЭС, оценены изменения гидрологического режима водных объектов и предложены соответствующие адаптационные меры для уменьшения рисков и использования новых возможностей, появившихся для гидроэнергетики в условиях меняющегося климата.

К стратегическим целям расширения использования ВИЭ в России следует отнести:

- обеспечение устойчивого тепло- и электроснабжения населения и производства в зонах децентрализованного энергоснабжения, в первую очередь в районах Крайнего Севера и территориях, приравненных к ним. В этих районах на топливо и его завоз ежегодно тратится более половины бюджета территорий, в то время как здесь имеются ресурсы возобновляемых источников энергии, способные обеспечить энергетические потребности на 60-90%;
- создание в этих регионах независимых источников энергии позволит повысить надежность энергоснабжения и снизить потери в сетях, предотвратить ущерб от аварийных и ограничительных отключений, который оценивается миллиардами рублей в год;
- снижение вредных выбросов от традиционных энергетических установок в отдельных городах и населенных пунктах со сложной экологической обстановкой, а также в местах массового отдыха населения;
- создание дополнительных рабочих мест на всех стадиях реализации проектов по возобновляемой энергетике.

По данным Ассоциации развития возобновляемой энергетики (АРВЭ)²¹, на 1.06.2024 года на территории РФ действуют 70 солнечных электростанций (СЭС), 26 ветровых (ВЭС) и 9 малых гидроэлектростанций (мГЭС). Совокупная установленная мощность объектов ВИЭ в России за первое полугодие составляет 6,16 ГВт.

По итогам 2023 г. совокупный объем выработки электроэнергии всеми объектами ВИЭ-генерации в России составил 13,4 млрд.кВт*ч, что соответствует 1,14% в общем объеме выработанной электроэнергии.

В структуре установленной мощности ВИЭ лидируют ветровые и солнечные электростанции (на них приходится 2,6 и 2,2 ГВт мощности соответственно) и малые гидроэлектростанции мощностью до 50 МВт (1,3 ГВт). Кроме этого, эксплуатируются электростанции, функционирующие на основе биомассы, биогаза, свалочного газа и геотермальной энергии, совокупной мощностью более 100 МВт (рис. 3.6). Показатели на рисунке приведены без учета данных по Донецкой Народной Республике (ДНР), Луганской Народной Республике (ЛНР), Запорожской и Херсонской областям.



Рисунок 3.6 Установленные мощности и выработка электрической энергии в России на основе ВИЭ в 2023 году (По данным АРВЭ)

²¹ <https://reda.ru/industry/statistics/>

Изучение климатических факторов возобновляемых источников энергии, оценка их климатического ресурсного потенциала, влияние изменений климата на природные ресурсы являются важнейшими направлениями исследований в ГГО (Пивоварова, Стадник, 1988; Атлас, 2000; Энциклопедия, 2005). На основании исследований многолетнего режима солнечной радиации, ее пространственно-временной изменчивости выполнено районирование территории России по потенциалу солнечной энергии и определены наиболее перспективные районы для строительства солнечных энергетических установок. Прежде всего, к ним относятся районы, расположенные южнее 50° с.ш., и северные районы Дальнего Востока с преобладанием децентрализованного энергоснабжения, обладающие большим приходом солнечной радиации в зимний и весенний период (Елистратов и др., 2010). Разработанная в ГГО методика районирования территории по природному гелиопотенциалу была использована в цикле работ с НПО Гидроэнергопром при разработке стратегии развития малой энергетики на основе ВИЭ. Комплексная оценка гелиоэнергетических ресурсов с выделением наиболее перспективных территорий для сооружения гелиоустановок проводилась для территории Краснодарского края, Калмыкии, Хабаровского края, Амурской области и других регионов. Чрезвычайно актуальной явилась оценка гелиопотенциала густонаселенных промышленных регионов ЕТР. Оценки потенциально возможных для технического использования солнечных энергоресурсов, полученные по данным актинометрических наблюдений, показали, что эти районы обладают благоприятными климатическими условиями для использования солнечной энергии. В 2020 г. построены солнечные электростанции (СЭС) в Саратовской, Волгоградской и Омской областях, в Калмыкии, Бурятии, Башкирии, Ставропольском крае. Использование солнечных коллекторов в период с марта по октябрь может покрыть нагрузку горячего водоснабжения в этих районах счет солнечной энергии на 65-70%.

В совместных работах ГГО с институтами Росгидромета, а также с рядом ведомственных организаций, таких как Гидропроект им. С.Я. Жука и «Ветроэн», выполнен обширный комплекс методических и климатологических разработок по уточнению особенностей пространственного и вертикального распределения климатических параметров ветроэнергетических ресурсов (ВЭР) в слое атмосферы до высоты 200 м над землей. Это позволило разработать «Атлас ветров России» (Атлас, 2000), материалы которого легли в основу районирования территории России по значениям ВЭР на высотах 50, 100 и 200 м. Согласно районированию, на территории России имеются обширные районы, которые перспективны для развертывания системной ветроэнергетики. К ним относятся побережья Тихого и Северного Ледовитого океанов, предгорные и горные районы Кавказа, Урала, Алтая, побережья Каспийского и Азовского морей.

Для дальнейшего успешного развития возобновляемой энергетики необходимо создание соответствующей информационной среды, включая информацию о потенциальных ресурсах возобновляемых источников. Использование климатической информации в процессе принятия решений позволит повысить устойчивость энергетических систем к климатическим изменениям и увеличить их энергоэффективность. Производство энергии на ВИЭ в значительной степени зависит от климатических условий, глобальное изменение которых будет воздействовать на их ресурсную базу, но природа и масштаб таких воздействий пока еще точно не определены (Росгидромет, 2022).

Передача энергии

Для бесперебойной передачи электроэнергии большое значение имеют климатические особенности территории расположения линий электропередач (ЛЭП). Вдоль прохождения ЛЭП необходимо осуществлять постоянный мониторинг за возникающими

метеорологическими нагрузками (снеговыми, гололедными, ветровыми). Кроме того, при проектировании ЛЭП целесообразно привлекать мезо- и микроклиматические методы исследований для более точной оценки климатических условий в районе строительства, т.к. ЛЭП из-за их большой протяженности подвержены ощутимому негативному влиянию погодно-климатических факторов.

В условиях изменения климата КО ЛЭП главным образом заключается в предоставлении специализированной климатической информации по запросам организаций, осуществляющих прокладку и ремонт энергетических сетей на территории России, а также при разработке и актуализации соответствующих нормативных документов. Так, в 2016 году ЦНИИСК им. В.А. Кучеренко совместно с ГГО выполнили актуализацию СП «Нагрузки и воздействия», в частности, были обновлены карты районирования территории Российской Федерации по климатическим нагрузкам и воздействиям, которые необходимо учитывать при проектировании объектов ЛЭП.

В настоящее время общепринятый подход к КО энергетики как в России, так и в мире, в значительной мере основан на ретроспективном анализе климатических характеристик. Однако по мере того, как энергетические системы оказываются все более зависимыми от погодно-климатических факторов, становится очевидным, что в систему поддержки принятия решений необходимо включать данные прогнозирования. Использование краткосрочных и сезонных прогнозов по температуре воздуха, скорости ветра, расходу воды позволяет более точно прогнозировать пиковые нагрузки, спрос на электроэнергию, принимать решения о покупке топлива, обеспечивать достаточный запас воды и оптимально планировать работу электростанций. Анализ климатических данных и прогностических разработок научно-исследовательских учреждений Росгидромета (Гидрометцентра России, ГГО, ААНИИ, ДВНИГМИ), выполненный в Гидрометцентре России, позволяет с вероятностью 67-69% прогнозировать температурный режим в России на отопительный период. Оправдываемость таких прогнозов, выпущенных Гидрометцентром России, за последние 15 лет колебалась в пределах 63-81%. Представляемая информация ориентирована на ее использование органами исполнительной власти для оценки рисков возникновения чрезвычайных ситуаций природного характера, в интересах энергетики, транспорта, сельского хозяйства. Вероятностные прогнозы на сезон корректируются месячными, декадными и краткосрочными прогнозами погоды. Долгосрочные климатические прогнозы должны быть использованы для оценки возможных рисков при планировании и проектировании инфраструктуры (WMO, 2022a). Общедоступными источниками специализированной климатической информации для энергетического сектора могут также служить различные нормативные документы (ПУЭ-7, 2015; СП 20.13330.2016, 2020 и др.), оценочные доклады Росгидромета для территории России (Росгидромет, 2017a; 2022), порталы Климатического центра Росгидромета²² и ВМО²³. На портале ВМО по энергетике и метеорологии, в частности, содержится полезная информация об использовании данных наблюдений и климатического моделирования для обеспечения ветро-, гелио- и гидроэнергетики. Там планируется размещение Атласа глобального риска и устойчивости для гидроэнергетики, содержащего ежемесячные значения различных индексов для режима увлажнения. Позже в Атласе будет представлена климатическая информация и для других энергетических отраслей.

Для дальнейшего развития КО энергетики России также интересны представленные на портале возможные решения по преодолению препятствий на пути применения

²² <https://cc.voeikovmgo.ru/ru/>

²³ <https://energymeteorology.info/>

метеорологических и климатических услуг в энергетическом секторе для различных регионов, по обеспечению межсекторального сотрудничества в процессе совместного создания метеорологических и климатических услуг, по организации курсов и семинаров (включая он-лайн модули) для всех групп специалистов, участвующих в КО энергетического сектора.

Существующие в настоящее время климатические услуги для энергетики нуждаются в расширении и совершенствовании, особенно в условиях принятого курса на приоритетное развитие низкоуглеродных источников энергии. Для реализации этого курса необходимо улучшить коммуникацию и сотрудничество между поставщиками климатических услуг и специалистами-энергетиками, в том числе на региональном уровне. Это позволит производителям климатической информации своевременно определять, какая именно дополнительная информация может потребоваться для энергетической отрасли в конкретном регионе, а потребителям правильно интерпретировать предоставляемую информацию о климате и принимать на ее основе оптимальные решения. Адресное обслуживание потребителей позволяет достичь максимального экономического эффекта от использования климатической информации, т.к. от региона к региону меняется как структура энергетической системы, так и особенности проявления изменения климата.

3.7 ТРАНСПОРТНЫЙ СЕКТОР

Транспортный сектор не относится к приоритетам ГРОКО, но включен в ее российский сегмент, т.к. играет огромную роль в экономике России и в то же время является одним из наиболее чувствительных к климатическим факторам экономических секторов. В зависимости от вида транспорта различаются и климатические воздействия, которые оказывают на него влияние. Высокие значения температуры воздуха ведут к ухудшению состояния дорожного покрытия, поломкам подвижного состава, росту более высокого энергопотребления и т.д. Сильные осадки ведут к размытию дорог и мостов, проблемам с дренажными системами, ограничению судоходства по внутренним водным путям. Наиболее сильные последствия изменения климата испытывают транспортные системы Арктики. Деграция многолетней мерзлоты, уже сейчас наносящая ущерб автомобильным и железным дорогам, будет и далее представлять риски для безопасности и потребует увеличения финансирования на техническое обслуживание транспорта на Севере. В последние годы сократились эксплуатационные сроки и пропускная способность некоторых зимних (ледовых) дорог, что приводит к необходимости использования альтернативных методов доставки грузов (Росгидромет, 2017а).

Погодно-климатические явления причиняют серьезный экономический ущерб транспортной инфраструктуре. Глобальные прямые годовые потери, связанные с повреждением автомобильных и железнодорожных инфраструктур вследствие экстремальных погодных явлений, оцениваются в диапазоне от 3,1 до 22 миллиардов долларов США, причем ожидается, что около 73% этой суммы вызвано гидрологическими явлениями (в частности, наводнениями). Общая стоимость активов, страдающих от эпизодических прибрежных наводнений, к 2100 г. может составить от 12 до 20% мирового валового внутреннего продукта, если не будут предприняты адаптационные меры (UNDESA, 2021). При этом уязвимость транспортного сектора к климатическим воздействиям различается по регионам и видам транспорта. Наиболее восприимчив к ним железнодорожный транспорт, поскольку самый высокий (в процентном отношении) рост расходов вследствие экстремальных погодных явлений отмечается в железнодорожном

секторе (UNECE, 2020). Кроме того, климатические условия обуславливают изменения спроса на перевозки, например, из-за демографических сдвигов, а также изменений в моделях производства, торговли и потребления. Очевидно, что специалисты транспортного сектора должны учитывать изменения климата в своем долгосрочном планировании и при разработке проектов. Благодаря использованию более длительных горизонтов планирования, управлению рисками и адаптационным мерам уязвимую транспортную структуру можно сделать значительно более устойчивой к климатическим факторам. В России необходимость принятия мер по снижению уязвимости и подверженности транспортной инфраструктуры в отношении климатических воздействий предусмотрена в Транспортной стратегии Российской Федерации до 2030 года с прогнозом на период до 2035 года (Стратегия, 2021).

Наземный транспорт (автотранспорт и железнодорожный транспорт)

Специализированная климатическая информация используется на всех этапах создания и эксплуатации дорожного полотна (рис. 3.7). Наиболее полные сведения о климатических характеристиках (в первую очередь о снежном покрове и температуре воздуха) необходимы на этапе проектирования дороги, когда определяется направление трассы, проектируются высота и ширина снегонезаносимой насыпи, осуществляется расчет освещенности дороги и т. д. На этапе строительства наиболее востребованы параметры, характеризующие влияние климата на бесперебойную работу строителей: температура воздуха, ветер и атмосферные осадки. Этап эксплуатации дороги включает комплекс обслуживающих мероприятий. Климатические условия определяют расходы на обслуживание дороги. Информация, необходимая на этом этапе, используется для оценки состояния дорожного покрытия, оптимизации транспортных потоков, планирования ремонтных работ и определения оптимальных сроков их проведения. Наибольшее внимание уделяется атмосферным явлениям, частота и интенсивность которых влияют на безопасность движения по дорогам (Стадник и др., 2020).

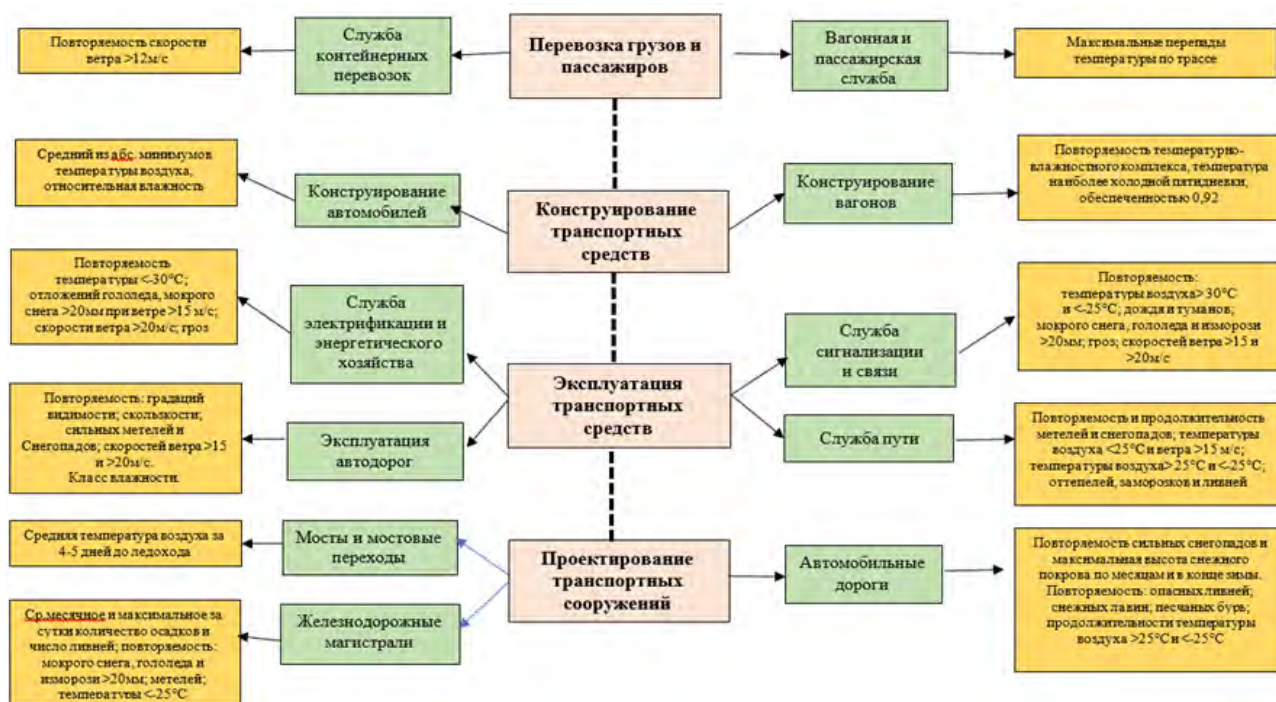


Рисунок 3.7 «Дерево» специализированных климатических показателей для различных отраслей транспортного сектора (Руководство, 2008)

На бесперебойную работу железнодорожного транспорта значительное влияние оказывают экстремальные температуры воздуха. Высокие (выше +25 °С) и низкие (ниже -25°С) значения температуры воздуха могут приводить к искривлению рельсов, разрыву стыков, повреждению подвижного состава и т.п., что влечет за собой возникновение аварийных ситуаций (Коршунова и др., 2019). Особенную актуальность данная проблема приобретает с учетом строительства новых участков железных дорог и повышения грузооборота.

Особого внимания требуют проектирование, строительство и эксплуатация объектов транспортной инфраструктуры на территориях распространения многолетнемерзлых грунтов. В экстремальных условиях Севера и на фоне изменений климата, которые находят свое отражение в деградации многолетней мерзлоты, необходимо тесное взаимодействие ученых, проектировщиков, строителей и научное сопровождение проектов на всех стадиях от проектирования до введения в строй и эксплуатации.

КЛИМАТИЧЕСКОЕ ОБСЛУЖИВАНИЕ ТРАНСПОРТНОЙ ОТРАСЛИ УЧРЕЖДЕНИЯМИ РОСГИДРОМЕТА

В рамках программы Союзного государства России и Белоруссии «Развитие системы климатического обслуживания населения и отраслей экономики Российской Федерации и Республики Беларусь» ГГО и ВНИИГМИ-МЦД были проанализированы региональные климатические изменения, которые могут оказать воздействие на функционирование наземной транспортной инфраструктуры в Брянской, Смоленской и Псковской областях к середине и концу XXI в., разработаны рекомендации по адаптации транспортной отрасли, а также создан электронный справочник специализированных климатических характеристик для обслуживания транспортного сектора Брянской, Смоленской и Псковской областей (Стадник и др., 2020; НПС, 2020).

По запросу ОАО «РЖД» в ГГО была проведена работа по расчету месячных и годовых значений минимальной температуры воздуха, проведен анализ динамики и оценка вероятных изменений минимальных значений температуры воздуха в ближайшие 20-25 лет по регионам Российской Федерации (вдоль прохождения 9 наиболее крупных железнодорожных линий). Во ВНИИГМИ-МЦД по запросу ООО «Всесоюзный научно-исследовательский центр транспортных технологий» выполнена работа по определению минимальных температур воздуха вблизи существующих, строящихся и перспективных участков сети железных дорог по районам эксплуатации грузовых вагонов на территории Российской Федерации (Коршунова и др., 2019). В результате выполнения этих проектов были выявлены участки с наиболее неблагоприятными климатическими условиями для эксплуатации железнодорожной инфраструктуры, где в условиях аномально низких температур могут существенно снизиться показатели безопасности и экономической эффективности строительства транспортной инфраструктуры.

Примером использования микроклиматической информации в условиях сложного рельефа может служить работа, выполненная в ГГО для ООО «ТранСтройИнжиниринг», проводившего изыскательские работы на Северном Урале для реконструкции магистрального газопровода Уренгой-Погребное-Ухта. Применение методов микроклиматических исследований позволило уточнить значения специализированных климатических параметров при проектировании газопровода на конкретных участках горного рельефа и снизить риски принятия ошибочных проектных решений.

Трубопроводный транспорт

Трубопроводный транспорт в России характеризуется наибольшим объемом грузооборота. Практически все добываемые углеводороды транспортируются по обширной сети магистральных газо- и нефтепроводов, которые проходят по территории всех субъектов Российской Федерации. Безопасность систем транспортировки нефти и газа зависит от климатических условий и чрезвычайно чувствительна к их изменениям, прежде всего, температуры воздуха и осадков. Наиболее опасные последствия вызваны деградацией многолетней мерзлоты в зоне сезонного промерзания грунтов, на которой сосредоточено более 80% разведанных запасов нефти и около 70% природного газа (Власова, 2017).

При проектировании и эксплуатации трубопроводов требуется информация о базовых и специализированных характеристиках температуры воздуха, почвы, снежного покрова, осадков, ветра и метеорологических явлений. Необходимы также сведения о гидрологическом режиме поверхностных вод суши и об опасных гидрометеорологических явлениях и процессах. Источниками климатической информации могут служить нормативные документы (СП 131.13330.2020, 2020; СП 20.13330.2016, 2020) и Научно-прикладной справочник «Климат России» (НПС, 2020). Выдача справочной информации в местах строительства трубопроводного транспорта осуществляется территориальными подразделениями Росгидромета.

Трубопроводы могут проходить через территории со сложным рельефом, слабо освещенные метеорологическими наблюдениями. В некоторых случаях подобрать репрезентативную станцию, данные которой отражали бы климатические условия всего участка изысканий, не представляется возможным, а использование ближайшей метеостанции к участку изысканий без учета особенностей мезо- и микроклимата участка изысканий может привести к увеличению риска аварий на проектируемом объекте. В таком случае целесообразно использовать микроклиматический подход по расчету климатических характеристик для территории изысканий.

Речной транспорт

Влияние погодных факторов на внутреннее судоходство сводится главным образом к следующему: засухи вызывают снижение уровня воды и скорости течения, что может создавать неблагоприятные условия для навигации и приводить к росту числа аварий (посадок на мель) и увеличению потребления топлива; половодья приводят к приостановке судоходства, изменениям в режимах и морфологии процессов осадкообразования в реках и повреждениям береговых дорог, самих берегов и противопаводковых сооружений; ледостав вызывает приостановку судоходства. Ледовые явления и процессы вызывают нарушение условий эксплуатации различных объектов (водозаборов, дорог, мостовых переходов и пр.); повреждения гидротехнических сооружений, ограничивают сроки судоходства на реках (Росгидромет, 2022). Гидрометеорологическое обеспечение речного транспорта осуществляется УГМС. Информацию о режиме и ресурсах поверхностных вод можно получить из ГИС-версии справочника Водного кадастра Российской Федерации, разработанного в ГГИ²⁴. Кроме того, в ГГИ создан геопортал «Опасные гидрологические явления», который предоставляет статистику наблюдений за наивысшими уровнями воды на речных гидрологических постах. На геопортале можно найти карты повторяемости

²⁴ <http://hydrolare.ru/Stok.php>

опасных и неблагоприятных гидрологических явлений, их категорий по превышению уровня воды над установленными пороговыми отметками, а также соотношения причин, которые приводили к повышению уровня воды²⁵.

В Гидрометцентре России разрабатываются гидрологические прогнозы различной заблаговременности для основных рек и крупных водохранилищ России, также ведется работа по созданию программных комплексов для оперативного прогнозирования развития гидрологической ситуации на водных объектах страны, визуализации текущей гидрометеорологической информации и обеспечения основных потребителей информационно-прогностической продукцией в области оперативной гидрологии. Подготавливаются доклады и справки с информацией о сложившихся и ожидаемых гидрологических условиях по различным бассейнам рек России в условиях климатических изменений.

Морской транспорт

Погодно-климатические условия оказывают значительное влияние как на безопасность, так и на экономическую эффективность всех видов морской деятельности. Учет такого влияния является важным условием успешной реализации Стратегии развития морской деятельности Российской Федерации до 2030 г. (Стратегия, 2010). Основное воздействие погодно-климатических факторов на морской транспорт и портовые операции обусловлено штормовым волнением, ограничением видимости, колебаниями уровня моря и ледовыми условиями. Сведения о гидрометеорологическом режиме различных акваторий публикуются в климатических справочниках и режимно-справочных пособиях, а также содержатся в информационных ресурсах государственной системы информации об обстановке в Мировом океане (ЕСИМО)²⁶. Функционирование ЕСИМО обеспечивается организациями федеральных органов исполнительной власти: МЧС России, Минобороны России (ВМФ), Минобрнауки России, Минприроды России, Росгидромета, Минпромторга России, Минтранса России, МИД России, Минэнерго России, Росрыболовства, Роскосмоса и Российской академии наук, назначенными в качестве центров ЕСИМО или поставщиков информации в единую систему. Среди институтов Росгидромета центрами ЕСИМО являются ААНИИ, ВНИИГМИ-МЦД, ГОИН, Гидрометцентр, ДВНИГМИ. Координация работ по обеспечению функционирования ЕСИМО осуществляется ВНИИГМИ-МЦД. ЕСИМО предоставляет информацию о состоянии морской среды и морской деятельности органам государственной власти Российской Федерации, органам государственной власти субъектов Российской Федерации, а также осуществляющим морскую деятельность юридическим и физическим лицам.

Одним из ключевых факторов, определяющих состояние поверхности моря и как следствие оказывающих влияние на возможности судоходства, является ледяной покров. Влияние льда на плавание судов в замерзающих морях намного превышает суммарный эффект воздействия всех остальных природных явлений (Абузьяров и др., 2009). Дрейфующий лед оказывает значительное сопротивление движению судов, однако благодаря его пространственной неоднородности и временной изменчивости это сопротивление можно существенно уменьшить за счет выбора наиболее оптимальных маршрутов плавания. Учет фактических и прогнозируемых ледовых условий существенно уменьшает риск плавания во льдах и оптимизирует использование ледоколов. Для оперативной

²⁵ <https://www.hydrology.ru/geoportal-opasnye-gidrologiceskie-iavleniia>

²⁶ <http://portal.esimo.ru/portal>

поддержки судоходства в морях Северного Ледовитого океана в ААНИИ была создана автоматизированная ледово-информационная система «Север»²⁷. В ДВНИГМИ для обеспечения потребителей информацией об обстановке в дальневосточных морях и в Тихом океане в режиме, максимально приближенном к реальному времени, разработаны методы и автоматизированные технологии прогноза ветрового волнения и ледовитости морей. Долгосрочный прогноз ледовых условий на российских морях на предстоящую зиму оперативно составляется в Гидрометцентре России. Ежегодно в начале октября потребителям рассылается бюллетень «Долгосрочный прогноз ледовых условий на неарктических морях на предстоящий ледовый сезон» с прогнозными значениями ледовых характеристик по пунктам неарктических морей (Думанская, 2015). Прогнозные сведения о ледовых условиях в российских арктических морях содержатся в бюллетенях, выпускаемых ААНИИ. В ДВНИГМИ также предложен метод долгосрочного прогноза ледовитости на дальневосточных морях с большой заблаговременностью (Анжина, Вражкин, 2018).

Морские порты являются важными прибрежными транспортными объектами, обеспечивающими доступ к внутренним и международным рынкам. Порты и другая прибрежная транспортная инфраструктура состоят из сложных систем, которые в разной степени подвержены влиянию изменчивости и изменения климата. Повышение среднего уровня моря, увеличение периодичности и интенсивности экстремальных штормовых приливов и волн, осадков и засух, речных паводков, а также рост температур воздуха создают серьезную угрозу для бесперебойного функционирования портов, что обуславливает риски для широкого круга социально-экономической деятельности. Многие порты и другие прибрежные транспортные объекты принадлежат частным субъектам и/или эксплуатируются ими. Однако, как показывает международная практика, государственные органы должны играть ключевую роль при разработке адаптационных мероприятий прибрежных транспортных сетей и объектов к изменению климата, что требует скоординированных действий специалистов различных областей (UNCTAD, 2020).

Воздушный транспорт

Росгидромет постоянно улучшает методы и процессы организации метеорологического и климатического обслуживания полетов гражданских и экспериментальных воздушных судов, учитывая запросы и требования как государственных органов, так и потребителей авиации. Метеорологическое обслуживание гражданской и экспериментальной авиации выполняет ФГБУ «Авиаметтелеком Росгидромета». В его функции входят сбор и распространение информации в рамках информационно-телекоммуникационной системы Росгидромета и Банка авиационных метеорологических данных, ведение каталогов метеорологических бюллетеней, включая авиационные метеорологические данные, методическое руководство подведомственными Росгидромету организациями по сбору и распространению информации. Каталог информации банка авиационных метеорологических данных предназначен для использования авиаметеорологическими подразделениями Росгидромета, а также другими заинтересованными организациями. Необходимую информацию для метеорологического обеспечения авиации можно получить на портале Авиаметтелекома Росгидромета²⁸.

Климатическая информация для воздушного транспорта необходима при выборе типа самолета для полетов по определенной трассе в заданных климатических условиях,

²⁷ <https://www.aari.ru/projects/sistema-sever>

²⁸ <https://metavia.ru>

оценке условий посадки на разных аэродромах, при планировании строительных работ, проектировании аэропортов. При выборе места для строительства нового аэропорта учитывают географические, топографические и климатические особенности. Необходимо знать, в каких условиях будет происходить эксплуатация будущего аэропорта. Ветровой режим определяет выбор направления взлетно-посадочной полосы, при котором будет обеспечена ее нормальная загрузка. Для этого коэффициент ветровой загрузки рассчитывается по годовой повторяемости ветров разной скорости по направлениям в данном пункте. Кроме того, климатическая информация необходима для адаптации инфраструктуры аэропортов к изменениям климата. Адаптационные меры могут включать в себя улучшение дренажных систем, мероприятия по поддержанию мерзлого состояния грунтов для территорий с многолетней мерзлотой, инвестиции в технологии и оборудование для улучшения процессов обслуживания самолетов в условиях неблагоприятной погоды, такие как обогревательные системы или средства очистки взлетно-посадочных полос от снега и льда и т.д.

3.8 СТРОИТЕЛЬНЫЙ СЕКТОР И ЖИЛИЩНО-КОММУНАЛЬНОЕ ХОЗЯЙСТВО

Строительная отрасль имеет ряд особенностей, отличающих ее от других секторов материального производства. В частности, процесс строительства отличается длительностью циклов, особыми условиями труда, технологией производства с применением специфических материалов, оборудования и техники, а также сезонным характером работ и зависимостью от неоднородных природно-климатических условий.

На протяжении многих лет в ГГО ведутся исследования влияния погоды и климата на объекты строительной отрасли. В документах для строительного проектирования содержится около 180 показателей, в том числе около 140 показателей – в режимно-справочных изданиях Росгидромета, и около 40 – в строительной нормативной документации (рис. 3.8).

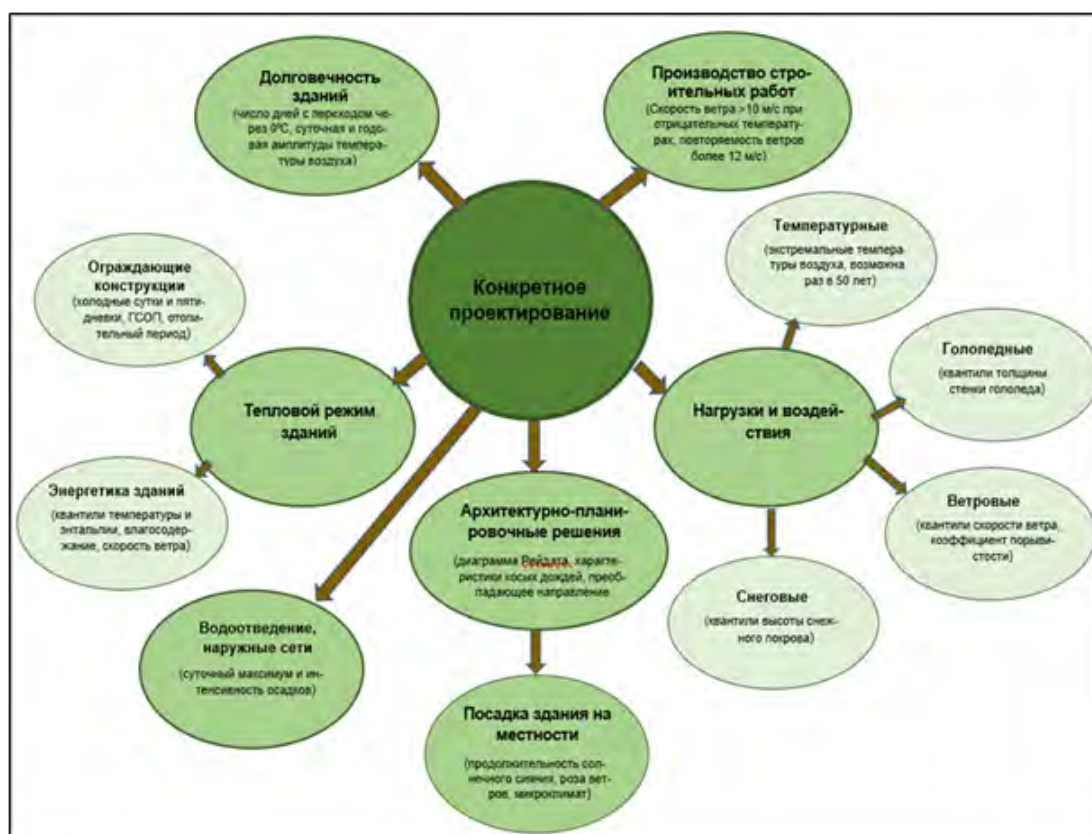


Рисунок 3.8 «Дерево» специализированных климатических показателей, используемых на этапе проектирования в строительстве и ЖКХ (Руководство, 2008)

Анализ статистики запросов потребителей показывает, что примерно в 90% случаев запрашивается информация о значениях показателей, входящих в нормативные документы. Поэтому участие климатологов в разработке этих документов, соответствующая интерпретация, преобразование и представление специализированных индексов в нормативных документах являются важнейшим этапом, сопутствующим КО. Одним из видов КО для строительства, выполняемого УГМС и ЦГМС под методическим руководством ГГО, является выдача справок для инженерно-гидрометеорологических изысканий, которые содержат базовые климатические показатели, а также специализированные нормативные параметры, регламентируемые СНИП, ПУЭ, ПНАЭ в местах размещения объектов строительства, разработки месторождений полезных ископаемых и др. Режимно-справочные материалы по водным ресурсам подготавливают отделы гидрологии в УГМС и ГМЦ, они обобщаются в ГГИ в соответствии с утвержденным регламентом и представляются в государственные и региональные органы управления. Подготовкой режимных справок и обобщений по гидрометеорологическому режиму акваторий морей и береговой зоны занимаются отделы гидрометеорологии моря ГМЦ и УГМС (Катцов, 2015).

В настоящее время гидрометеорологические изыскания для строительства часто проводятся в труднодоступных районах с малой плотностью метеорологической сети. Поэтому при подготовке детальной климатической характеристики конкретных районов необходимо принимать в расчет мезо- и микроклиматические особенности территории, т.к. использование данных метеостанций без учета микроклиматической информации может привести к значительным ошибкам при проектировании инфраструктурных объектов, негативным экологическим последствиям и непроизводительным затратам средств. Главным принципом учета мезо- и микроклимата при климатической характеристике конкретной территории в условиях недостаточной метеорологической информации или полном ее отсутствии является комплексность и системность исследований макро-, мезо- и микроклиматов, основанных на единой методике, разработанной в ГГО (МР, 2022).

К другим видам климатической продукции Росгидромета, направленной на обслуживание строительной отрасли, относятся:

- издания, содержащие методологию получения специализированной климатической информации (Руководство, 2008; МР, 2017);
- справочные издания, содержащие базовую и специализированную климатическую информацию (справочники по климату России, справочники по отдельным субъектам Российской Федерации);
- нормативные документы, содержащие специализированную климатическую информацию. При непосредственном участии ГГО актуализированы СП «Строительная климатология» и «Нагрузки и воздействия» (СП 131.13330.2020, 2020; СП 20.13330.2016, 2020).

В настоящее время важнейшей задачей КО строительной отрасли в России стало научное и информационно-аналитическое обеспечение адаптации строительной отрасли как текущему, так и ожидаемому состоянию климатической системы. Раздел «Строительство» не был включен в список приоритетных направлений ГРОКО, но вошел в ее российский сегмент, т.к. строительная индустрия принадлежит к числу важнейших отраслей российской экономики, и принятие различных климатически обусловленных решений в этой отрасли сопряжено со значительными экономическими рисками, существенно возрастающими в условиях изменений климата. Кроме того, погодные и климатические условия на территории такой большой страны, как Россия, характеризуются пространственной неоднородностью и имеют выраженный региональный характер, обусловленный наличием

нескольких климатических зон и разнообразием природных условий. Происходящие изменения климата по-разному проявляются в регионах. Поэтому включение направления «Строительство» в список приоритетных является вполне обоснованным.

Можно выделить следующие виды воздействий на строительную отрасль, связанных с наблюдаемыми и ожидаемыми изменениями климата, которые отчетливо проявляются на территории России и могут привести к заметным финансовым последствиям: 1) изменение условий проведения строительных работ и соответствующее изменение затрат; 2) физические риски, обусловленные несоответствием стандартов проектирования реальным климатическим условиям. В Третьем Оценочном докладе Росгидромета (Росгидромет, 2022) проанализированы наблюдаемые и ожидаемые изменения для широкого круга специализированных климатических показателей, отражающих воздействие изменений климата на условия проведения строительных работ, ограждающие конструкции и тепловую защиту зданий, атмосферные нагрузки, долговечность зданий и сооружений, микроклимат зданий. При этом обращалось внимание на такие негативные эффекты зимнего потепления как усиление разрушающего воздействия температурно-влажностных деформаций и ускоренное старение зданий, автодорог и др. сооружений. Потепление в летний сезон приводит к перегреву и ухудшению микроклимата зданий, росту энергопотребления и увеличению рисков аварийных отключений систем жизнеобеспечения.

Для коммунального хозяйства важнейшими составляющими являются системы водоснабжения и водоотведения, на функционирование которых существенное воздействие оказывает режим атмосферных осадков. По мере потепления климата ожидается увеличение суммы осадков как в холодный, так и в теплый сезоны на значительной территории России. При этом, однако, значительно изменится режим выпадения осадков. 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 (Хлебникова и др., 2019б), к середине XXI в. ожидается увеличение средних значений максимальной непрерывной продолжительности засушливых периодов в центральных и южных районах ЕТР и прилегающих районах Западной Сибири, а также в Приамурье, Приморье и на Камчатке. Вместе с тем, рост суточных экстремумов осадков, сочетающийся с увеличением их интенсивности, приводит к проблемам с водоотведением. Уже в настоящее время (например, в Санкт-Петербурге) становится актуальной модернизация системы водоотведения на основе использования новых нормативных значений интенсивности осадков.

МОДЕРНИЗАЦИЯ ГОРОДСКОЙ СИСТЕМЫ ВОДООТВЕДЕНИЯ САНКТ-ПЕТЕРБУРГА

Примером специализированного КО сектора ЖКХ является участие ГГО и ГГИ в проекте по модернизации городской системы водоотведения Санкт-Петербурга. Этот проект был инициирован Комитетом по природопользованию, охране окружающей среды и обеспечению экологической безопасности Администрации Санкт-Петербурга и ГУП «Водоканал» в контексте адаптации городской среды к наблюдаемым и прогнозируемым климатическим изменениям. Для проектирования обновленной системы водоотведения были проанализированы воздействия современных и ожидаемых в будущем изменений климата на системы водоотведения и водоочистки в Санкт-Петербурге в XXI в. Оценка воздействий проводилась с учетом данных наблюдений и результатов сценарных прогнозов специализированных климатических

показателей, используемых при проектировании и эксплуатации систем водоотведения. В итоге была разработана гидравлическая модель обновленной системы водоотведения, которая сейчас уже реализуется на практике (Фасолько и др., 2022).

Степень существенности ожидаемых изменений хорошо проявляется при анализе рисков угрожающих событий, которые могут привести к возникновению крупных ущербов. 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. При стационарном климате знание функции распределения и задание периода повторяемости является достаточным для оценки вероятности наступления угрожающего события для любого временного интервала в будущем. В условиях изменений климата требуются привязка к определенному периоду, представляющему интерес с точки зрения потребителя, и соответствующая климатическая информация об ожидаемых изменениях в распределении экстремумов.

Результаты массовых ансамблевых расчетов на основе применения технологии вероятностного сценарного прогнозирования регионального климата (Катцов и др., 2020; Школьник, Ефимов, 2015) дают возможность произвести вероятностную оценку рисков различных неблагоприятных событий, связанных с изменением климатических показателей экстремальности, в частности, рисков экстремально высоких температурных воздействий (Хлебникова и др., 2019а). Важно отметить, что для территории России, являющейся в целом очень холодной страной, значительную экономическую составляющую имеет также корректная оценка сохраняющихся рисков, связанных с критическими воздействиями экстремально низких температур в зимний период. Развитие методологии оценки и анализ соответствующих рисков будут способствовать извлечению потенциальной выгоды, обусловленной уменьшением суровости климата, при обеспечении необходимого уровня надежности зданий и сооружений (Росгидромет, 2022).

Результаты оценки прикладных климатических показателей, в том числе характеристик экстремальности, по данным наблюдений и результатам моделирования показывают, что обновление нормативных параметров, основанное на исторических данных с применением стандартной обработки, 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 строительной отрасли с целью выработки новых подходов к определению нормативов экстремальности на основе вероятностных оценок ожидаемых изменений и с учетом интересов конкретных потребителей.

Платформа взаимодействия поставщиков климатической информации с потребителями является одним из важнейших компонентов ГРОКО. Она служит стартовым условием для специализированного КО (Кобышева, 2015). В 2010-2013 гг. в Российской Федерации проводилась актуализация и гармонизация СНиП «Строительная климатология» и СНиП «Нагрузки и воздействия» с Еврокодами. Разработчиками актуализированных и гармонизированных строительных правил являлись институты Минрегионразвития, Департамент строительства и Росгидромет. Эта работа стала основой для создания платформы взаимодействия с потребителями в новых условиях, т.к. в процессе поиска путей решения этой задачи проводилось большое количество встреч представителей разных ведомств, совместные семинары, конференции и т.д. В результате были установлены деловые

контакты, которые поддерживаются и в настоящее время. Участие в семинарах потребителей климатической информации, на которых присутствуют наиболее квалифицированные специалисты в области строительства (например, семинары городского центра экспертиз, центра по сейсмологии и защите от стихийных бедствий зданий и сооружений, совещания специалистов АВОК (ассоциации инженеров по отоплению, вентиляции, кондиционированию) позволяют не только лучше понимать требования строительной отрасли к климатологической продукции, но и информировать потребителей о влиянии изменения климата на объекты строительной индустрии как в настоящем, так и в будущем.

3.9 ТУРИЗМ И РЕКРЕАЦИЯ

К основным факторам изменяющихся климатических и погодных условий, влияющих на индустрию туризма, относятся:

- повышение температуры воздуха (изменение сезонов года, тепловой стресс для туристов, затраты на кондиционирование);
- изменения в популяции и распространении растений, диких животных, насекомых; изменения в распространении инфекционных заболеваний;
- уменьшение снежного покрова и таяние ледников (отсутствие снега в местах зимних видов спорта, увеличение затрат на создание снегового покрова, сокращение сезона зимних видов спорта, ухудшение эстетики ландшафта);
- увеличение частоты сильных осадков в некоторых регионах;
- повышение уровня моря (береговая эрозия, потеря пляжной зоны, более высокие затраты на защиту береговой линии);
- изменение территориального и морского биоразнообразия (потеря природных, видовых достопримечательностей);
- более частые и крупные лесные пожары (уничтожение природных достопримечательностей; ущерб туристической инфраструктуре) и др.

Каждый из более чем шестидесяти видов рекреационной деятельности в той или иной степени зависит от климата, но наиболее высокую степень зависимости имеют приморский, водный и охотничье-рыболовный, активно-оздоровительный, спортивный, альпийский, курортно-лечебный, приключенческий и экологический виды отдыха (Якунин, 2014).

Важными направлениями КО в сфере туризма являются: предоставление климатической информации субъектам туристической деятельности, включая анализ и прогноз подверженности и уязвимости объектов туристско-рекреационной зоны к изменению климата; научно-методическое обеспечение развития устойчивого туризма, способного адаптироваться к изменениям климата и продолжать свое существование, сохраняя природные и культурные ресурсы для будущих поколений; участие в разработке устойчивых стратегий и планов действий для смягчения негативных последствий изменений климата на туристическую деятельность.

В качестве субъектов туристической деятельности выступают сами туристы, туроператоры и турагенты, являющиеся организаторами путешествий (Пенкина и др., 2020). Информация, предоставляемая на сайтах туристических агентств, как правило, ограничивается краткой характеристикой основных климатических параметров, в то время как турист должен быть осведомлен как о средней статистической погоде в выбранный период, так и вероятности наступления экстремальных ситуаций (выход тайфуна, сходы снежных лавин, взлом припая на побережье и др.), из-за которых может возникнуть реальная угроза для жизни.

В настоящее время существует значительное количество региональных исследований климата крупных рекреационных зон и отдельных курортных районов. Как правило,

климатическая привлекательность и туристский потенциал курортов или регионов оцениваются по набору осредненных биоклиматических факторов курортов (Виноградова, 2015; Григорьева, Фетисов, 2009; Ключева, Мурзин, 2009 и др.). Однако использовать специальную литературу неподготовленному потребителю климатической информации довольно сложно. Кроме того, далеко не все статьи находятся в свободном доступе. Поэтому было бы полезно создание интернет-платформы (например, на сайте Климатического центра), где будет собрана информация о климате, его изменениях, возможных угрозах и т.д. для летних, всесезонных и зимних туристических центров, изложенная на языке, понятном неподготовленному потребителю, а не только специалистам в данной области.

Для КО организаций, чей бизнес связан с туризмом и отдыхом, необходима информация о климатических параметрах, служащих входными данными для разного рода моделей принятия решений. В этот набор входят результаты гидрометеорологических изысканий, карты, специальные расчетные характеристики, предназначенные как для объектов капитального строительства, так и для развития таких видов отдыха и туризма как парусный, подводный, рыболовный, горнолыжной, а также для обустройства морских пляжных территорий, паромных переправ. Климатические условия должны учитываться при строительстве инфраструктуры курорта (кемпингов, обустройстве пешеходных маршрутов, площадок для гольфа, теннисных кортов и спортивных сооружений и др.).

ХАРАКТЕРИСТИКА МИКРОКЛИМАТИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ ГОРНОЙ ТЕРРИТОРИИ В РАЙОНЕ ПРОВЕДЕНИЯ ЗИМНИХ ОЛИМПИЙСКИХ ИГР «СОЧИ-2014»

Одним из примеров учета микроклиматической информации в горном рельефе служит планирование трасс для зимних видов спорта при проведении Олимпиады в Сочи в 2014 г., где возникла необходимость в детальной оценке микроклиматических условий территории строительства олимпийских объектов и спортивных зон. В ГГО было выполнено микроклиматическое районирование горного кластера по различным климатическим характеристикам, включая температуру самой холодной пятидневки и число дней со снежным покровом (рис. 3.9, 3.10) (Пигольцина, 2009; Пигольцина, Зиновьева, 2013; 2015).

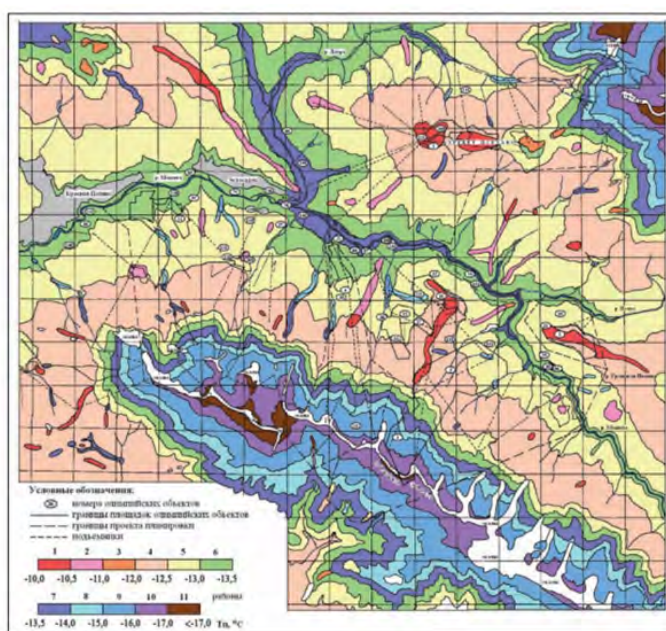


Рисунок 3.9 Микроклиматическое районирование территории проведения Зимних Олимпийских игр 2014 г. по температуре самой холодной пятидневки (район Красной Поляны) (Пигольщина, Зиновьева, 2013)

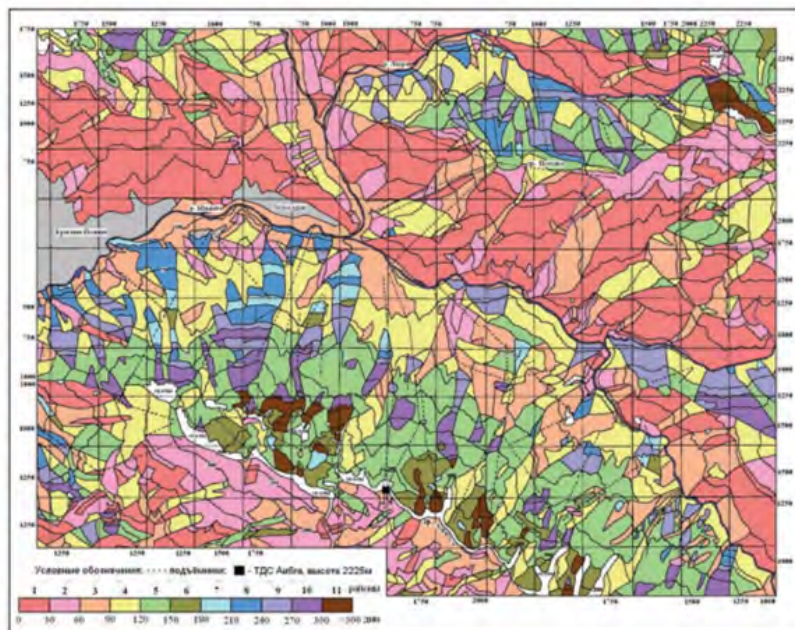


Рисунок 3.10 Микроклиматическое районирование территории проведения Зимних Олимпийских игр 2014 г. по продолжительности залегания снежного покрова (район Красной Поляны)
(Пигольцина, Зиновьева, 2015)

Полученная микроклиматическая информация учитывалась при планировании трасс и подъемников. Это позволило обеспечить максимальную безопасность и комфорт для спортсменов и зрителей, а также эффективное использование техники в периоды недостаточной высоты снежного покрова.

Организаторам туристической деятельности, отвечающим за безопасность вверенных им групп туристов, необходимо учитывать потенциальный риск опасных природных явлений для выработки стратегии обеспечения безопасности людей и имущества в экстремальных условиях. В горных районах основными из таких факторов являются опасные склоновые процессы (снежные лавины, сели), активность которых определяется различными причинами (сильные осадки в виде дождя или снега, колебания температуры воздуха и др.). В настоящее время в ВГИ разработана модель снижения рисков в туристско- рекреационных зонах, связанных с климатическими факторами (Ашабоков, 2022).

Влияние изменения климата может привести к разным последствиям для индустрии туризма в зависимости от географического положения и вида деятельности. Цикл исследований по оценке туристской привлекательности южных регионов страны, в которых дается прогноз на конец XXI в. для целого ряда южных регионов: Черноморского, Каспийского и Азовского регионов, а также горных районов Большого Кавказа, представлен в работе (Рыбак, Рыбак, 2016). В ГГО с использованием региональной модели выполнен прогноз возможного влияния будущих изменений регионального климата на существующую пространственную структуру центров развития летнего туризма для территории России (Клюева и др., 2020). В Третьем Оценочном докладе Росгидромета (Росгидромет, 2022) указаны основные возможные негативные последствия для пляжного, горнолыжного и природных (в том числе арктического и экологического) видов туризма как для территории России в целом, так и в отдельных федеральных округах.

Исследования влияния изменения климата на туризм показывают необходимость принятия мер для обеспечения устойчивого развития туристической отрасли в России.

Развитие устойчивого туризма требует глубокого понимания влияния климатических изменений на индустрию гостеприимства и туризм, а также активного применения инновационных решений для минимизации отрицательного воздействия на окружающую среду. Для этого необходимо осуществлять регулярный мониторинг климатических изменений и их влияния на туристическую инфраструктуру; проводить исследования в регионах для выявления конкретных угроз и возможностей влияния изменения климата на туризм в них; внедрять популяризацию сведений о воздействии климатических изменений на туризм; участвовать в разработке конкретных планов действий на уровне государства, регионов и компаний в сфере туризма. Важную роль в преодолении вызовов, связанных с изменениями климата, играет повышение осведомленности организаторов туристической и рекреационной деятельности, а также их дополнительное обучение в сфере учета влияния климатических факторов на туризм и рекреацию.

ПРИОРИТЕТЫ ОТЕЧЕСТВЕННОГО КЛИМАТИЧЕСКОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ БОЛЕЕ МНОГОЧИСЛЕННЫ, ЧЕМ ПРИОРИТЕТЫ ГРОКО, А ТАКЖЕ НАЦИОНАЛЬНЫХ СЕГМЕНТОВ ГРОКО МНОГИХ СТРАН БЛАГОДАРЯ НЕ ТОЛЬКО ЧРЕЗВЫЧАЙНОМУ РАЗНООБРАЗИЮ КЛИМАТИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ – И ПРОЯВЛЕНИЙ ИЗМЕНЕНИЯ КЛИМАТА – НА ОГРОМНОЙ ТЕРРИТОРИИ НАШЕЙ СТРАНЫ, НО И СЛОЖНОСТИ СТРУКТУРЫ И ОБЪЕМА ЕЕ ЭКОНОМИКИ. ЭТО ОБСТОЯТЕЛЬСТВО СУЩЕСТВЕННО ПОВЫШАЕТ ТРЕБОВАНИЯ К ОТЕЧЕСТВЕННОЙ СИСТЕМЕ КЛИМАТИЧЕСКОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ – ПО ВСЕМ ПЯТИ ОСНОВОПОЛАГАЮЩИМ КОМПОНЕНТАМ ГРОКО.

4. РОЛЬ КЛИМАТИЧЕСКОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ В РАЗРАБОТКЕ И РЕАЛИЗАЦИИ НАЦИОНАЛЬНЫХ ПЛАНОВ АДАПТАЦИИ К ИЗМЕНЕНИЯМ КЛИМАТА НА ОТРАСЛЕВОМ И РЕГИОНАЛЬНОМ УРОВНЯХ

Принятие климатически обусловленных адаптационных мер сопряжено со значительными экономическими рисками, существенно возрастающими в условиях изменения климата. Важнейшим условием эффективной адаптации населения и секторов экономики к нестабильному климату является адекватное представление специализированной климатологической информации о современном и будущем климате. Поэтому главной задачей КО является научное и информационно-аналитическое обеспечение адаптации экономики, социальной сферы и государственных структур к текущему состоянию климатической системы и к ожидаемым его изменениям. Определяющая роль КО в процессе адаптации к климатическим изменениям отмечалась и на Третьей Всемирной конференции по климату в 2009 г. Одна из основных целей ее проведения заключалась в «развитии международной структуры КО, которая бы связала научно обоснованные прогнозы климата и информацию об управлении рисками и возможностями, обусловленными климатическими факторами, в поддержку адаптации к изменчивости и изменению климата как в развитых, так и в развивающихся странах» (WMO, 2023в).

К настоящему времени большинство стран уже разработали НПА. Согласно данным экспертов Программы ООН по окружающей среде (ЮНЕП), по состоянию на 2023 г. только 15% государств мира еще не располагают нормативно-правовыми документами, такими как план адаптации, стратегия адаптации, политика в сфере адаптации и т.д., в которых в той или иной степени отражены задачи и меры снижения уязвимости и повышения устойчивости населения, социально-экономических и экологических систем к климатическим изменениям и их последствиям (UNEP, 2023). Анализ этих документов показал, что чем более развитой системой КО обладает страна, тем более научно обоснованным выстроенным и потенциально успешным является ее НПА.

НАЦИОНАЛЬНЫЙ ПЛАН АДАПТАЦИИ КИТАЯ К ИЗМЕНЕНИЮ КЛИМАТА

Полезным примером планомерно развивающейся системы КО, нацеленной на полномасштабное участие в национальном адаптационном процессе, является НПА Китая. В июне 2022 г. Китай принял обновленную Национальную стратегию адаптации к изменению климата (NCAS) до 2035 г. Ее цель – усиление устойчивости общества и экономики к последствиям изменения климата. Одно из основных приоритетных направлений NCAS непосредственно касается совершенствования КО в процессе адаптации, т.е. укрепления систем мониторинга изменения климата, раннего предупреждения и управления рисками. Эти меры включают совершенствование сети гидрометеорологических наблюдений за изменением климата; усиление мониторинга, прогнозирования и раннего предупреждения в связи с изменением и изменчивостью климата; совершенствование подходов и процедур к оценке последствий и рисков изменения климата; развитие систем комплексного предупреждения и уменьшения опасности стихийных бедствий. Подчеркивается также важность оценки и мониторинга

климатических рисков для обеспечения эффективных инвестиций в адаптацию. К 2035 г. NCAS предусматривает создание цифровой платформы для управления климатическими рисками, которая будет предоставлять прогнозы погоды и климата с полным охватом и интеллектуальными и цифровыми функциями для оценки конкретных рисков в различных регионах Китая. Такая платформа потребует тесной координации между 17 министерствами для эффективного планирования, распределения ресурсов и совместного реагирования на чрезвычайные ситуации. К приоритетным направлениям NCAS также относится использование и укрепление адаптационного потенциала естественных экосистем (CNCCAS, 2022).

В России до 2019 г. адаптация к изменениям климата не входила в число текущих национальных приоритетов развития, несмотря на то, что Климатическая доктрина Российской Федерации еще в 2009 г. определила роль адаптации российской экономики к текущему и ожидаемому изменению климата как равнозначную сокращению антропогенных выбросов парниковых газов (ПГ) в атмосферу. Ситуация стала меняться в связи с подписанием Российской Федерацией Парижского соглашения 2015 г. и разработкой Национального плана адаптации к изменениям климата, первоначальная концепция которого была разработана совместно специалистами ГГО и Института народнохозяйственного прогнозирования (ИНП) РАН (Катцов, Порфирьев, 2017; Порфирьев, Катцов, 2017; Порфирьев и др., 2022).

Национальный план мероприятий первого этапа адаптации к изменениям климата на период до 2022 года был утвержден распоряжением Правительства Российской Федерации 25 декабря 2019 г. (№ 3183-р)²⁹. В соответствии с этим планом на территории страны должна была сформироваться система адаптации к изменениям климата, которая включает национальный, отраслевые и региональные планы адаптации к изменениям климата, институциональную и методическую основу адаптации. Национальный план мероприятий второго этапа адаптации к изменениям климата на период до 2025 г. был утвержден распоряжением Правительства Российской Федерации 11 марта 2023 г. (№ 559-р)³⁰. Он предполагает актуализацию отраслевых и региональных адаптационных планов на основе результатов первого этапа.

В процессе реализации НПА России специалистами Росгидромета были разработаны методические документы по получению и использованию климатической информации для целей адаптации к климатическим изменениям, а также консультации с представителями отраслевых и региональных структур, занимающихся разработкой адаптационных планов. В 2020 г. Климатическим центром Росгидромета был подготовлен Доклад о научно-методических основах для разработки стратегий адаптации к изменениям климата в Российской Федерации (в области компетенции Росгидромета) (Росгидромет, 2020). В нем представлены результаты исследований и разработок в области научно-методического обоснования отраслевых и региональных стратегий адаптации к текущим и ожидаемым изменениям климата.

В 2021 г. институтами Росгидромета и Минприроды России был разработан Типовой паспорт климатической безопасности территории субъекта Российской Федерации (ТПКБ)³¹.

²⁹ <http://static.government.ru/media/files/OTrFMr1Z1sORh5Nlx4gLUsdgGHyWIAqy.pdf>

³⁰ <http://static.government.ru/media/files/DzVPGII7JgT7QYRoogphpW69KKQREGTB.pdf>

³¹ <https://cc.voeikovmgo.ru/images/dokumenty/2021/tpkb.pdf>

Этот документ предназначен для определения показателей риска для секторов экономики и социальной сферы на территории данного субъекта от опасных гидрометеорологических явлений и медленных климатических изменений; оценки возможных последствий таких ситуаций с учетом физико-географических и социально-экономических условий субъекта; выявления на территории субъекта объектов и районов, наиболее уязвимых с точки зрения гидрометеорологических и климатических воздействий. ТПКБ стал информационно-справочным документом при разработке и реализации адаптационных планов на региональном уровне. Минэкономразвития России при участии Росгидромета в 2021 г. разработало ряд нормативных документов по оценке климатических рисков и разработке отраслевых и региональных адаптационных планов (Методические рекомендации по оценке климатических рисков; Методические рекомендации по ранжированию адаптационных мероприятий по степени их приоритетности; Методические рекомендации по формированию отраслевых, региональных и корпоративных планов адаптации к изменениям климата; Показатели достижения целей адаптации к изменениям климата)³².

Одним из важных мероприятий НПА стало издание в 2022 г. Третьего оценочного доклада Росгидромета (Росгидромет, 2022). Этот доклад в значительной мере ориентирован на информационно-аналитическое обеспечение адаптации в отраслях экономики и регионах страны.

В 2023 г. ГГО и ИНП РАН были сформулированы методологические подходы к оценке возможного ущерба экономическим системам от изменения климата, основанные на комплексном учете степени воздействия и чувствительности объектов, а также результирующем уровне климатического риска. (Порфирьев и др., 2024).

Все эти документы заложили основу адаптации экономики России к изменению климата. Однако в процессе использования Методических рекомендаций Минэкономразвития России для разработки адаптационных планов отраслей экономики и регионов страны стала понятна необходимость их актуализации, что естественно, учитывая сложность рассматриваемых вопросов. Поэтому в 2023 г. был издан приказ Минэкономразвития «О внесении изменений в приказ Минэкономразвития России от 13 мая 2021 г. № 267 «Об утверждении методических рекомендаций и показателей по вопросам адаптации к изменениям климата».

Анализ Методических рекомендаций, а также результаты применения их непосредственно для формирования планов адаптации на различных уровнях позволил сделать следующие выводы, касающиеся, прежде всего, вопросов КО адаптационного процесса. Основные выводы заключаются в следующем:

- Оценки климатических рисков базировались в основном на информации об опасных (в основном геофизических) явлениях и изменении базовых климатических показателей. Изменения специализированных климатических показателей, значимых для конкретных отраслей, практически не рассматривались.
- Информация о пороговых значениях для конкретного вида деятельности часто отсутствовала, возможно, по причине трудностей с получением нужных данных, а также с проблемами компетенции кадров. Однако для некоторых наиболее климатозависимых отраслей технической сферы (энергетики, строительства, теплоснабжения, водоснабжения и водоотведения, транспорта) описание некоторых предельных значений опасных климатических явлений, угрожающих стабильному функционированию инфраструктуры, во многих случаях представлено. Очевидно,

³² https://economy.gov.ru/material/dokumenty/prikaz_minekonomrazvitiya_rossii_ot_13_maya_2021_g_267.html

это связано с наличием нормативных документов, четко определяющих критические значения специализированных климатических показателей для этих отраслей.

- При анализе климатической информации зачастую не соблюдался необходимый период наблюдений, рекомендованный ВМО, который составляет как минимум 30 лет³³.

Как следствие, без соответствующей аналитики специализированной климатической информации мероприятия по адаптации к изменениям климата выглядят формально.

Анализ результатов выполнения первого этапа НПА позволил также выявить ряд серьезных проблем, с которыми столкнулись отраслевые и региональные структуры, занимающиеся разработкой адаптационных планов: дефицит информации о результатах мониторинга и оценки климатических воздействий; недостаток компетенций в сфере интерпретации климатической информации для практических применений; отсутствие опыта в области оценки климатических рисков и т.д. Эти проблемы возникли, прежде всего, из-за недостаточной проработки механизма взаимодействия между поставщиками и потребителями климатической информации, а также в ряде случаев недостаточного научного и технологического обеспечения КО, включая прогнозирование климата. Очевидно, что качество и результативность выполнения планов, включающих комплексную оценку рисков и возможностей, обусловленных изменениями климата, должны быть подкреплены созданием необходимого ресурсного (финансового, кадрового, информационного, организационного) потенциала.

Для обеспечения разработки и реализации НПА, а также мониторинга его эффективности и корректировки на втором (2023-2025 гг.) и последующих этапах можно рекомендовать следующие меры (НМО, 2022):

1. Определить приоритетами развития системы КО России следующие пять компонентов ГРОКО:

- Платформа взаимодействия с потребителями: формирование механизмов взаимодействия учреждений системы Росгидромета и РАН с потребителями климатической информации на отраслевом и региональном уровнях.
- Информационная система климатического и смежных видов обслуживания: разработка механизмов регулярного сбора, хранения, обработки и анализа информации о климате (прошлом, настоящем и будущем) для подготовки продукции и обслуживания, которые определяют решения в рамках широкого круга чувствительных к климату объектов и 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, включая создание и совершенствование систем раннего предупреждения, а также для поддержки этих данных соответствующими метаданными. При этом в качестве первоочередных задач следует рассматривать следующие: расширение системы фонового мониторинга состояния многолетнемерзлых грунтов на территории России; развитие возможностей гидрологической наблюдательной сети с учетом «гидрологических» рисков, связанных с ожидаемым изменением климата; создание системы интегрированного

³³ В отдельных случаях использование более короткого периода может быть оправдано: например, в качестве базового периода для ансамблевых сценарных прогнозов изменений климата.

городского КО. В целом необходимо ускорение технологического развития климатического и смежных видов мониторинга как на суше, так и в океане, включая использование спутниковых технологий (значительная часть этих задач уже начала реализовываться в рамках ВИПГЗ-ФНТП).

- Исследования, моделирование и прогнозирование: развитие методической и нормативной базы КО на основе исследований климата, включая моделирование и прогнозирование изменений климата и их воздействий, повышение качества и расширения состава климатической и смежных видов (например, экологической) информации. В области физико-математического моделирования в связи с потребностями планирования адаптации в количественных оценках изменения климатического воздействия на экономику и социальную сферу акцент необходимо сделать на повышении сложности (включении в климатические модели дополнительных интерактивных компонентов, описывающих климатически значимые процессы), а также радикальном улучшении пространственного разрешения моделей. Решение этой задачи требует поступательного увеличения и удержания на мировом уровне национальных суперкомпьютерных ресурсов, доступных для климатических исследований и прогнозирования. В области прогнозирования (прежде всего в контексте повышения качества прогнозирования статистики экстремальных явлений, приводящих к большим ущербам) особого внимания заслуживают вопросы, связанные (а) с подходами к формированию модельных ансамблей (включая оптимальность размера ансамбля и проблемы дискриминации моделей в мультимодельных ансамблях); (б) с соотношением «добавленного качества» и «добавленных неопределенностей» при использовании различных инструментов и технологий пространственной детализации результатов моделирования климатической системы; (в) с разной степенью доверия к оценкам будущих изменений различных климатических характеристик; (г) специальные вопросы статистической интерпретации модельных климатических данных для прикладных целей. Развитие кадрового потенциала: подготовка и повышение квалификации кадров в системе КО с упором на формирование образовательных программ, подготовку и повышение квалификации специалистов, обеспечивающих межведомственное взаимодействие в области планирования и реализации планов адаптации.

2. Интенсифицировать разработку стратегий (включая цифровые стратегии), а также методов, моделей и технологий, обеспечивающих адекватное использование результатов мониторинга климатической системы (окружающей среды в целом) и климатического моделирования.

3. Осуществлять разработку, реализацию, мониторинг эффективности и соответствующую корректировку планов адаптации хозяйствующих субъектов с использованием современных методов, позволяющих учитывать неопределенности сценарных прогнозов климатических изменений и соответствующих воздействий.

4. В целях повышения эффективности КО и планирования и реализации планов адаптации – активно развивать взаимодействие производителей климатической информации (прежде всего, климатологов и других специалистов Росгидромета) и ее потребителей в хозяйствующих субъектах соответствующих отраслей экономики. При этом особый акцент необходимо сделать на:

- Социально-экономическом обосновании планов адаптации. Именно социально-экономические анализ и оценки (включая прогноз) призваны дать ответы

на ключевые для планирования адаптации вопросы о приемлемости тех или иных климатических рисков; о соотношении затрат и выгод от предотвращенного ущерба; о выборе рационального пакета мер адаптации и т.п.

- Междисциплинарном взаимодействии – выработке общего языка и поддержании непрерывного диалога между субъектами планирования, и реализации планов адаптации – экспертными сообществами естественных (прежде всего, климатологии), социогуманитарных (прежде всего, экономики) и технических (инженерных) наук, с одной стороны, и лицами, и структурами, обеспечивающими поддержку принятия и принятие решений в отраслях и регионах страны, с другой стороны. Многосторонний диалог должен способствовать эффективному использованию информации о климате и – более широко – об окружающей среде, продолжая и развивая взаимодействие между прикладной климатологией и отраслевыми науками, которое существует в России много лет. Однако в условиях меняющегося климата такое взаимодействие приобретает новые измерения и распространяется на растущее число участников – специалистов и лиц, принимающих решения.

5. Росгидромету (как основному производителю климатической и другой информации об окружающей среде) – сформировать соответствующую «цифровую» стратегию, обеспечивающую сохранение контроля качества информации, предназначенной для принятия управленческих решений. Доступность климатической и смежных видов продукции для потребителя, привлекательность дизайна, удобство интерфейса, которые могут быть обеспечены частным сектором, ни в коем случае не должны доминировать над качеством и достоверностью климатической и другой информации об окружающей среде, научной обоснованностью ее анализа и интерпретации.

ГЛАВНОЙ ЗАДАЧЕЙ КЛИМАТИЧЕСКОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ В РОССИИ В НАСТОЯЩЕЕ ВРЕМЯ ЯВЛЯЕТСЯ НАУЧНОЕ И ИНФОРМАЦИОННО-АНАЛИТИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ АДАПТАЦИИ ЭКОНОМИКИ, СОЦИАЛЬНОЙ СФЕРЫ И ГОСУДАРСТВЕННЫХ СТРУКТУР К ТЕКУЩЕМУ СОСТОЯНИЮ КЛИМАТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ И К ОЖИДАЕМЫМ ЕГО ИЗМЕНЕНИЯМ.

ОСНОВНЫЕ ПРОБЛЕМЫ, С КОТОРЫМИ СТОЛКНУЛИСЬ ОТЕЧЕСТВЕННЫЕ ОТРАСЛЕВЫЕ И РЕГИОНАЛЬНЫЕ СТРУКТУРЫ, ЗАНИМАЮЩИЕСЯ РАЗРАБОТКОЙ АДАПТАЦИОННЫХ ПЛАНОВ, ЗАКЛЮЧАЮТСЯ В ДЕФИЦИТЕ ИНФОРМАЦИИ О РЕЗУЛЬТАТАХ МОНИТОРИНГА И ОЦЕНКИ КЛИМАТИЧЕСКИХ ВОЗДЕЙСТВИЙ; НЕДОСТАТКЕ КОМПЕТЕНЦИЙ В СФЕРЕ ИНТЕРПРЕТАЦИИ КЛИМАТИЧЕСКОЙ ИНФОРМАЦИИ ДЛЯ ПРАКТИЧЕСКИХ ПРИМЕНЕНИЙ; ОТСУТСТВИИ ОПЫТА В ОБЛАСТИ ОЦЕНКИ КЛИМАТИЧЕСКИХ РИСКОВ. ЭТИ ПРОБЛЕМЫ ВОЗНИКЛИ, ПРЕЖДЕ ВСЕГО, ИЗ-ЗА НЕДОСТАТОЧНОГО РАЗВИТИЯ МЕХАНИЗМА ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ МЕЖДУ ПРОИЗВОДИТЕЛЯМИ И ПОТРЕБИТЕЛЯМИ КЛИМАТИЧЕСКОЙ ИНФОРМАЦИИ, А ТАКЖЕ В РЯДЕ СЛУЧАЕВ НЕДОСТАТОЧНОГО НАУЧНОГО И ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ КЛИМАТИЧЕСКОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ, ВКЛЮЧАЯ ПРОГНОЗИРОВАНИЕ КЛИМАТА.

ДЛЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ РАЗРАБОТКИ, РЕАЛИЗАЦИИ, РЕГУЛЯРНОГО МОНИТОРИНГА ЭФФЕКТИВНОСТИ И КОРРЕКЦИИ СТРАТЕГИЙ И ПЛАНОВ АДАПТАЦИИ К ТЕКУЩЕМУ СОСТОЯНИЮ И БУДУЩЕМУ ИЗМЕНЕНИЮ КЛИМАТА ТРЕБУЕТСЯ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ОТЕЧЕСТВЕННОЙ СИСТЕМЫ КЛИМАТИЧЕСКОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ В РАМКАХ ВСЕХ ПЯТИ КОМПОНЕНТОВ ГРОКО.

5. ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ КЛИМАТИЧЕСКОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ В РОССИИ В УСЛОВИЯХ ИЗМЕНЕНИЯ КЛИМАТА

В современных условиях проблема адаптации к изменениям климата занимает доминирующее положение в КО, что нашло отражение в первоначальном плане развития ГРОКО, принятом в 2012 г. и рассчитанном на 10 лет (Hewitt et al., 2012; WMO, 2016). В 2023 г., после реализации этого плана, были определены новые приоритетные направления, учитывающие актуальные задачи, требующие координации усилий на национальном, региональном и глобальном уровне (Hewitt et al., 2021; Hewitt, Stone, 2021).

На данном этапе ВМО будет продолжать поддержку проведения национальной климатической политики в отношении смягчения антропогенных воздействий на климат и адаптации к изменениям климата. В частности, будет сохранена подготовка глобальных и региональных обзоров о состоянии климата и состоянии КО, являющихся научной основой решений, принимаемых на ежегодных Конференциях Сторон РКИК ООН. Будет оказываться содействие разработке и реализации НПА путем определения секторальных приоритетов и выявления сфер деятельности, где требуется планирование мероприятий. При этом предполагается выполнять сбор и анализ данных о возможностях производителей КО, а также о потребностях лиц, принимающих решения и осуществляющих климатическую политику.

Важным аспектом дальнейшего развития является повышение прозрачности и эффективности ГРОКО, что позволит избежать фрагментации и дублирования и усилит возможности КО. ГРОКО будет стимулировать организацию национальных климатических форумов (НКФ) для координации развития и реализации КО. НКФ будут объединять заинтересованные стороны для обсуждения климатических вопросов, касающихся, в частности, мониторинга климата, мер превентивной адаптации к изменениям климата, технических решений, ориентированных на смягчение воздействий изменения климата. Координация на глобальном, региональном и национальном уровнях является существенной.

К настоящему времени сформировалась острая потребность в разработке руководства по стандартам и компетенциям для КО. Внедрение системы управления качеством в КО обеспечит соблюдение нормативных требований и должно способствовать согласованности возможностей и ожиданий взаимодействующих сторон КО. В разработке руководства по стандартам ключевая роль отводится Комиссии по метеорологическому, климатическому, гидрологическому, морскому и другим связанным с ними видам обслуживания (SERCOM, 2024).

Современная система КО в Российской Федерации ориентируется на пять компонентов ГРОКО (см. п.2.1): «Наблюдения и мониторинг», «Исследования, моделирование и прогнозирование», «Информационная система КО», «Взаимодействие потребителей и производителей КО», «Развитие потенциала КО». Отдельные компоненты системы КО, а также организация их взаимодействия, требуют дальнейшего развития с учетом усложняющихся задач и появления новых технологических возможностей. Необходимо обеспечить уровень КО, дающий возможность принимать актуальные климатически обусловленные решения.

Наблюдения и мониторинг

Данные наблюдений за состоянием климатической системы на глобальном, региональном и национальном уровнях являются ключевой информационной основой для подготовки различных видов климатической продукции. В настоящее время мировые

системы климатического мониторинга функционируют и развиваются под эгидой таких международных организаций как Всемирная метеорологическая организация (ВМО) и Межправительственная океанографическая комиссия (МОК) ЮНЕСКО. В рамках Глобальной Системы Наблюдений за Климатом (ГСНК), Глобальной Системы Наблюдений Океана (ГСНО), Глобальной службы атмосферы (ГСА), Глобальной службы криосферы (ГСК) и других программ осуществляется широкий спектр наблюдений. Помимо собственно наблюдений, отдельными странами или группами стран применяются высокотехнологичные системы моделирования, позволяющие усваивать данные наблюдений и формировать в оперативном режиме глобальные ретроспективные анализы (реанализы) климатических характеристик атмосферы и океана. Такие анализы в определенной мере восполняют отсутствующие данные наблюдений и являются важным элементом системы мониторинга климатических изменений.

Российская составляющая глобальных систем климатического мониторинга представлена ГНС, управляемой Росгидрометом, а также системой экспедиционного мониторинга климатически значимых процессов в Мировом океане и морях, осуществляемого учреждениями РАН и Росгидромета. Важнейшими компонентами системы наблюдений в составе ГНС являются наземная метеорологическая, аэрологическая, гидрологическая, морская гидрометеорологическая наблюдательные сети, а также сети мониторинга химического состава и отдельных характеристик атмосферы, функционирующих под эгидой ГСА ВМО.

Уровень развития наземных наблюдений за криолитозоной и отдельными климатически значимыми компонентами состава атмосферы (например, за так называемыми короткоживущими климатическими загрязнителями – черным углеродом и др.), а также некоторыми другими климатическими характеристиками и индикаторами изменения климата, в настоящее время не достигает минимально необходимого.

С точки зрения плотности сети мониторинга потоков ПГ Россия в настоящее время значительно уступает США, Китаю и европейским странам. Состояние мониторинга потоков ПГ в Мировом океане (крупнейшем поглотителе двуокиси углерода), прибрежных областях и морях России характеризуется нерегулярными наблюдениями и отсутствием систематических подходов к их консолидации для получения интегральных оценок. Все это не позволяет получать достоверные интегральные оценки эмиссии и поглощения ПГ природными экосистемами.

Для ликвидации отставания России в развитии систем мониторинга и прогнозирования состояния окружающей среды в 2022 г. были утверждены Федеральная научно-техническая программа (ФНТП), а также Важнейший инновационный проект государственного значения (ВИПГЗ), реализация которых позволит, в частности, решить наиболее актуальные задачи мониторинга климата в Российской Федерации (Катцов, 2022б; 2024). В 2024 г. был завершен первый этап реализации ВИПГЗ, принеший обнадеживающие результаты по каждому из шести основных направлений проекта.

Создание государственной системы фонового мониторинга состояния многолетней мерзлоты

Многолетняя мерзлота, занимающая две трети территории страны, реагирует на межгодовые колебания и многолетние изменения климата, увеличивая риски техногенных катастроф, а также другие риски (например, санитарно-эпидемиологические – связанные с оттаиванием находящихся в мерзлоте могильников). Мерзлота определяет водный и температурный режим почвы, поэтому мониторинг многолетней мерзлоты имеет

ключевое значение для повышения точности гидрологических и агрометеорологических прогнозов. Рост содержания в атмосфере ПГ также диктует необходимость организации фоновых мониторингов мерзлоты, так как при ее деградации (оттаивании) в современный круговорот климатически активных веществ могут включаться значительные запасы законсервированной органики, разложение которой должно приводить к выделению в атмосферу углекислого газа и метана.

К началу реализации ВИПГЗ наблюдения за состоянием многолетней мерзлоты на территории России, выполняемые в рамках отдельных отечественных и международных программ и проектов, обладают рядом неустраняемых недостатков: значительные территории не охвачены мониторингом; распределение пунктов наблюдений не обеспечивает репрезентативность мониторинга в масштабе страны; отсутствует унификация методов, объектов, измеряемых характеристик, приборной базы мониторинга; часто отсутствуют ряды сопряженных метеорологических данных; отсутствуют единый национальный оператор и центр сбора, анализа и распространения данных мониторинга.

ААНИИ была разработана концепция создания государственной системы фоновых мониторингов состояния многолетней мерзлоты (ГМСММ) на основе ГНС. Базовым элементом этой системы должна стать распределенная по территории криолитозоны Российской Федерации сеть из 140 пунктов мониторинга многолетней мерзлоты, сопряженных с наблюдательными станциями и обсерваториями Росгидромета. При организации этой сети учитываются основные требования международных программ TSP (Thermal State of Permafrost – термическое состояние мерзлоты) и CALM (Circumpolar Active-layer Monitoring – циркумполярный мониторинг деятельного слоя), а также отечественных нормативных документов.

Первый этап ВИПГЗ завершился созданием первой и второй очередей ГМСММ – всего 78 пунктов наблюдения за состоянием многолетней мерзлоты (рис. 5.1).



Рисунок 5.1 Местоположение пунктов наблюдения за состоянием многолетней мерзлоты первой (красный цвет кружков) и второй очереди (желтый цвет кружков) ГМСММ 2024 г. (источник – ААНИИ)

Информационная система Центра мониторинга состояния многолетней мерзлоты обеспечивает передачу данных наблюдений в «Единый государственный фонд данных о состоянии окружающей среды, ее загрязнении», а также представление данных на информационном ресурсе ААНИИ для доступа к ним заинтересованных организаций, анализ и интерпретацию данных, подготовку и представление соответствующей продукции (обзоров, оценок, прогнозов, другой справочно-информационной документации) в органы государственной власти. Дальнейшее развитие ГСМСММ предусматривает как увеличение числа пунктов мониторинга, так и расширение спектра наблюдаемых характеристик состояния многолетней мерзлоты.

На следующем этапе работ запланировано выведение ГСМСММ на режим полномасштабного функционирования. Планируется организация взаимодействия ГСМСММ с ведомственными системами геотехнического мониторинга. Ожидается уточнение на основе ГСМСММ количественных оценок деградации мерзлоты на территории Российской Федерации, включая ее вклад в глобальный углеродный бюджет.

Разработка адаптивной системы гидрологического мониторинга и национальной гидрологической моделирующей системы

Климатические изменения приводят к обострению угроз водной безопасности, прежде всего, водного дефицита и опасности наводнений, на значительной части территории России. Осуществление масштабных проектов по управлению водными ресурсами, защите населения и объектов экономики от наводнений в условиях климатических изменений, адаптации водного хозяйства страны и ее отдельных регионов к этим изменениям, требует огромных капиталовложений и планируется на десятилетия вперед.

Экономически эффективное и экологически безопасное водопользование в условиях современных вызовов обеспечивается средствами информационной поддержки принятия решений, включающими технологии гидрологического мониторинга, новые методы и модели анализа и прогноза изменений водного режима рек России. Специалистами ГИ Росгидромета и ИВП РАН разработана и реализуется концепция Адаптивной системы гидрологического мониторинга, оснащенной Национальной гидрологической моделирующей системой (НГМС) (рис. 5.2), как инструмента адаптации к изменениям климата для ряда отраслей экономики и регионов, в том числе – в качестве «системы раннего предупреждения».

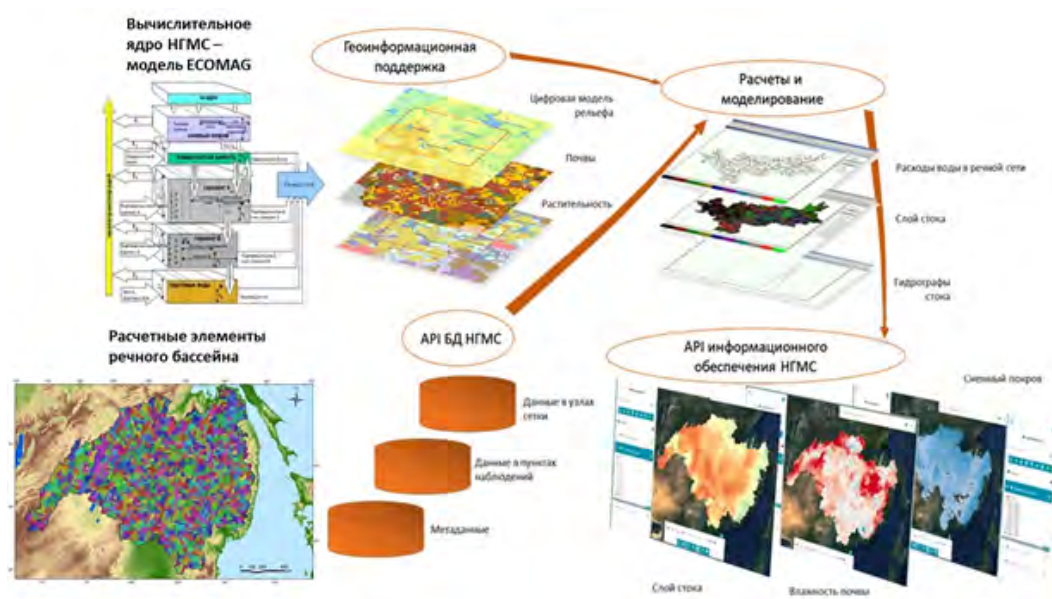


Рисунок 5.2 Структура Национальной гидрологической моделирующей системы – технологии информационной поддержки адаптационных решений в области водной безопасности, созданной в ИВП РАН (Гельфан и др., 2025)

Повышение качества КО водного хозяйства страны, в том числе, в части развития «гидрологического» компонента национальной системы раннего предупреждения, предполагает открытие новых и модернизацию существующих пунктов гидрологического мониторинга, интеграцию ведомственных сетей гидрологических наблюдений и разработку новых методов и моделей для оценки современных и ожидаемых изменений водных ресурсов России в условиях изменения климата. Фактически речь идет об адаптации собственно гидрологической сети к изменениям климата, в первую очередь, для водосборов с особыми и возрастающими рисками.

В результате реализации первого этапа ВИПГЗ (1) установлены новые или модернизированы посты гидрологических наблюдений; развернуты мобильные лаборатории на реках, подверженных климатообусловленным рискам (на водосборах Кубани и Дона); (2) запущена единая система сбора и обработки информации, включающая собственные данные наблюдений и данные партнеров (УГМС, особо охраняемые природные территории (ООПТ) и др.); (3) создана и апробирована первая в стране соответствующая мировым аналогам Национальная гидрологическая моделирующая система (НГМС); (4) впервые для речных водосборов Российской Федерации на основе отечественного программного обеспечения создана база данных гидрологического реанализа.

Полномасштабная реализация проекта приведет к улучшению управления водными ресурсами водохранилищ; водохозяйственного проектирования и строительства; управления прибрежными территориями; систем раннего предупреждения о наводнениях (как важнейшего инструмента адаптации). С помощью НГМС планируется также получение расчетных оценок потоков CO₂ и CH₄ в водных экосистемах крупных речных бассейнов РФ.

Создание системы интегрированного городского климатического обслуживания (СИГОКО)

Создание данной системы отражает глобальную тенденцию, проявляющуюся в сближении климатического, экологического и других видов обслуживания, относящихся к окружающей среде (см. например, Baklanov et al., 2018).

По имеющимся оценкам (Baklanov et al., 2020), 90% природных бедствий для урбанизированных территорий имеют гидрометеорологическое происхождение: экстремальные жара и холод; экстремальный ветер; низкое качество воздуха и эпизоды пикового загрязнения; лесные пожары, песчаные и пылевые бури; городские наводнения. ВМО признает, что стремительная урбанизация, особенно в контексте климатических изменений, требует развития новых видов обслуживания, которые наилучшим образом повысят устойчивость городов к опасности, связанной с влиянием окружающей среды, погоды, климата, экстремальных погодно-климатических явлений и воздействий.

Задачей национальной системы интегрированного городского климатического обслуживания (СИГОКО) как инструмента адаптации являются мониторинг и прогнозирование состояния окружающей среды с целью управления экологическими и климатическими рисками и адаптации городской инфраструктуры, субъектов экономики и населения городов к изменению климата.

СИГОКО основывается на высокоразрешающем эколого-климатическом мониторинге и прогнозировании в городских агломерациях, которые позволят оперативно предоставлять фактическую и прогностическую информацию о состоянии и загрязнении окружающей среды, об опасных и неблагоприятных погодных явлениях, в том числе связанных с атмосферными осадками, по районам города и его близлежащих пригородов.

Городские особенности, в т.ч. морфология зданий и выбросы тепла, влияют на городской температурно-влажностный режим (например, формирование так называемых городских островов тепла), циркуляцию воздуха и изменяют образование и выпадение атмосферных осадков, другие атмосферные явления. Городская инфраструктура, являющаяся совокупностью дорожных, транспортных, финансовых, инженерных, социальных коммуникаций, является особо уязвимой при экстремальных проявлениях окружающей среды. К таким экстремальным проявлениям относятся, например, наводнение, метель, сильный ливень, гололедица.

На города приходится около 70% антропогенных выбросов основных долгоживущих ПГ (Baklanov et al., 2020). Существующий подход по оценке выбросов с территории городов основывается на статистических данных об антропогенной деятельности, в результате которой выделяются в атмосферу или поглощаются ПГ. Такой подход сопряжен с большим количеством неопределенностей, которые практически невозможно учесть вследствие отсутствия достоверной статистической информации. Создание подсистемы СИГОКО «Климатически активные газы (КАГ)» ориентировано на разработку инструмента контроля эмиссии основных ПГ с территории города на основе данных наземных наблюдений (в рамках пилотного эксперимента в Санкт-Петербурге) с дальнейшим развертыванием в городах на территории России. Создаваемый инструмент независимого контроля городской эмиссии ПГ на основе данных натурных наблюдений предоставит возможность, в том числе, проводить сравнение с данными спутниковых наблюдений, которые уже сейчас позволяют зарубежным странам получать оценку эмиссии ПГ с территорий Российской Федерации (включая города как супер-эмиттеры) и других стран.

К концу 2024 г. обеспечено функционирование СИГОКО в части мониторинга химического состава атмосферы (в т.ч. загрязнения атмосферного воздуха – с использованием развиваемой в ГГО единой автоматизированной системы обработки информации о загрязнении атмосферы – АСОИЗА+ (Крысанов и др., 2021)), а также сценарных прогнозов изменения климата в городах Российской Федерации.

Дальнейшее развитие СИГОКО предполагает включение новых компонентов: высокоразрешающего мониторинга атмосферных осадков; прогнозирования неблагоприятных с точки зрения загрязнения атмосферного воздуха метеорологических условий, включая использование технологий машинного обучения; мониторинга и прогнозирования состояния городских водных объектов; контроля динамики совокупного выброса основных ПГ с территории города; усовершенствованного сценарного прогнозирования изменения климата для городов (в том числе как «островов тепла»).

Исследования, моделирование и прогнозирование

Создание компьютерных физико-математических моделей, имитирующих земную систему и позволяющих на основе законов физики прогнозировать погоду и эволюцию климата, является одним из знаковых достижений мировой науки за последние полвека. К настоящему времени модели земной системы достигли впечатляющего уровня сложности и полноты в описании огромного разнообразия процессов и обратных связей, присущих климатической системе (см., напр., Slingo et al., 2021).

В ближайшие годы Всемирная программа исследований климата (ВПИК) будет продолжать координировать деятельность по глобальному и региональному моделированию, включая оценку моделей, проведение экспериментов с новыми климатическими сценариями, реализацию глобальных и региональных моделей высокого разрешения, используя для этого как новые масштабные проекты, так и отдельные

поисковые разработки. В 2020 г. были запущены два новых базовых проекта. Один из них – «Моделирование Земной системы и наблюдения» (ESMO) – ориентирован на развитие методов прогнозирования и построения сценарных прогнозов Земной системы на временных масштабах от недель до столетий на основе интегрированных систем «модели-наблюдения». Некоторые из существующих Рабочих групп ВПИК (например, Рабочая группа по объединенным моделям) будут присоединены к ESMO. В России также ведутся работы, направленные на создание отечественной модели Земной системы для исследовательских целей и прогнозирования (Volodin et al., 2017).

Еще один проект, инициированный ВПИК, называется «Региональная информация для общества» (RIfS). Нацелен на усиление связей между климатическими исследованиями и потребностями общества. В рамках RIfS предполагается разработка основополагающих принципов введения научной информации о климате в контекст принятия решений.

В дополнение к этим двум основным проектам ВПИК выделила ряд инновационных проектов, посвященных отдельным приоритетным темам. Один из таких проектов – «Цифровая Земля» (Digital Earth) – ориентирован на использование современных цифровых технологий, связанных с обработкой и усвоением «больших данных» (big data), внедрением методов машинного обучения и др., для создания моделирующих систем высокого пространственного разрешения.

В России в настоящее время активно ведутся работы, которые должны обеспечить выведение на мировой уровень отечественных региональных исследований и сценарного прогнозирования климата. Одной из задач, решаемых в рамках ВИПГЗ, является Создание высокоразрешающей Многоцелевой Системы Моделирования и Прогнозирования Регионального Климата (МСМПРК).

Создание МСМПРК направлено на сценарное прогнозирование состояния климатической системы в представляющих интерес регионах России и мира (рис. 5.3), в том числе и в первую очередь – в Арктическом макрорегионе и Арктической зоне Российской Федерации. Создание МСМПРК-Арктика направлено на научное обеспечение (в гидрометеорологическом, океанологическом, климатическом аспектах) реализации российских планов и стратегий освоения и развития Арктики. «МСМПРК-Арктика» предназначена для использования как в прогнозировании состояния атмосферы и океана на временных масштабах от нескольких недель до нескольких лет, так и в сценарных прогнозах климатических изменений.

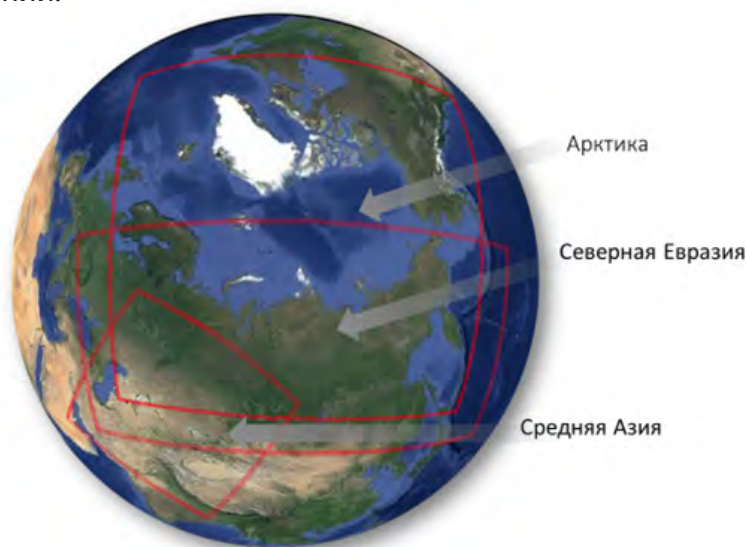


Рисунок 5.3 Основные расчетные области высокоразрешающей Многоцелевой системы моделирования и прогнозирования регионального климата (МСМПРК), созданной в ГГО

«МСМПК-Арктика» предполагает возможность проведения значительных по размеру ансамбля и продолжительности экспериментов в сочетании с высоким пространственным разрешением в Арктическом макрорегионе (25 км в атмосфере и 14 км в океане). Региональная климатическая модель атмосферы ГГО и модель Северного Ледовитого океана, разработанная в КарНЦ РАН и ИВМ РАН, образуют ключевой элемент этой моделирующей системы.

Остальными элементами МСМПК – для каждой из целевых расчетных областей – являются соответствующие наборы «субмоделей» для дальнейшей пространственной детализации процессов и климатических воздействий. Примерами таких субмоделей являются модель трансформации речного стока для территории Северной Евразии (рис. 5.4), модели многолетней мерзлоты, пограничного слоя атмосферы, экосистем суши и океана и др.

Дальнейшее повышение пространственного разрешения в атмосферном компоненте МСМПК наряду с обеспечением возможности проведения массовых ансамблевых расчетов, а также применением машинного обучения, позволит решать задачи КО крупных городских агломераций в рамках развития СИГОКО.

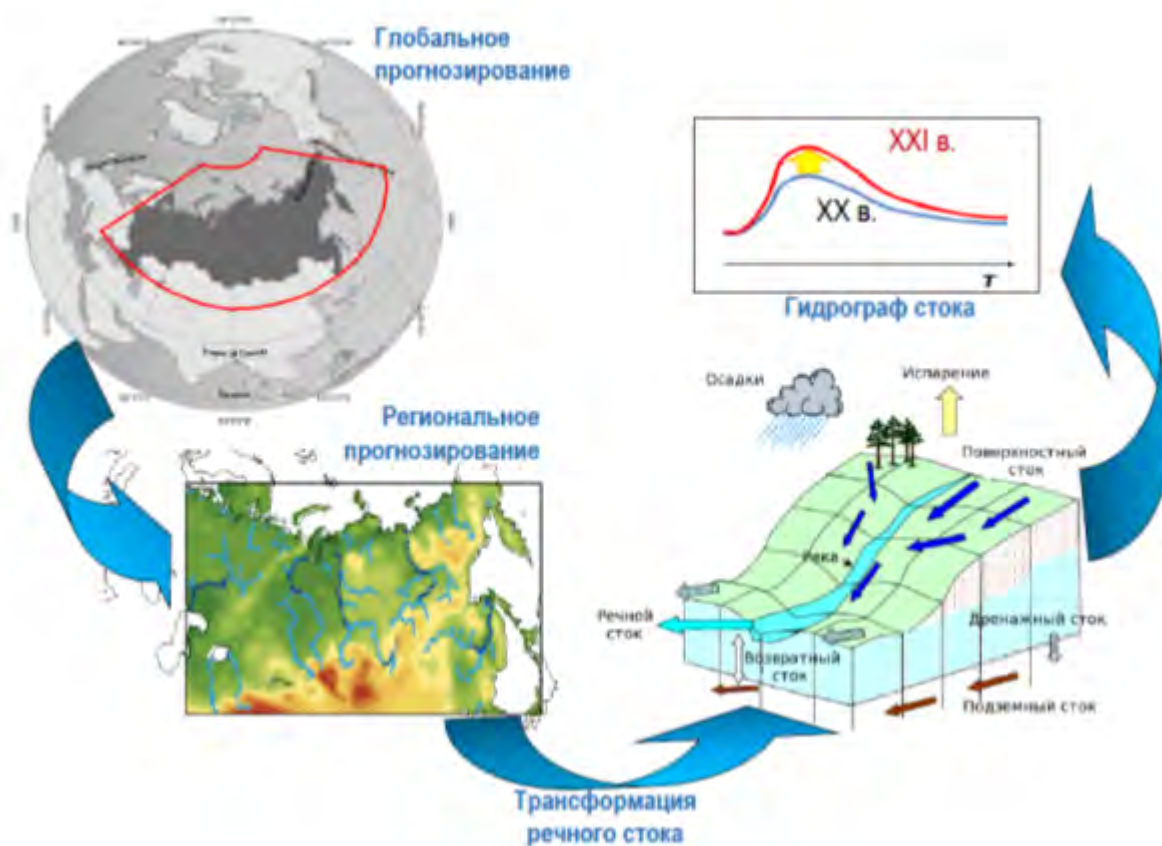


Рисунок 5.4 Применение высокоразрешающей Многоцелевой системы моделирования и прогнозирования регионального климата (МСМПК) на территории Северной Евразии для сценарного ансамблевого прогнозирования трансформации стока российских рек

Информационная система климатического обслуживания

Данная система является основным механизмом, посредством которого информация о климате производится, архивируется, анализируется, моделируется, обрабатывается и передается. Эта система выполняет свои функции путем организации взаимодействия различных структур на глобальном, региональном и национальном уровнях. При этом реализуется каскадный 3-уровневый подход и обеспечивается широкий пространственно-временной охват: от глобального к локальному, от прошлого к будущему (см. 2.1).

Оперативные глобальные климатические прогнозы разрабатываются в 14 глобальных прогностических центрах (Hewitt, Moufouma-Okia, 2023), перечень которых определен ВМО. Климатические модели, инициализация которых выполняется на основе современных данных, в настоящее время используются для разработки прогнозов на ближнюю перспективу – месяц, сезон, 1 – 10 лет. На региональном уровне основными поставщиками прогностической информации являются Региональные климатические центры ВМО, а также другие центры (например, Климатический центр Азиатско-Тихоокеанского Экономического Содружества – АРСС³⁴). Для территории России таким центром является Гидрометеорологический Центр Росгидромета (г. Москва), выполняющий функции Северо-Евразийского климатического центра (СЕАКЦ)³⁵. Региональные центры создают климатическую продукцию, основанную на климатических прогнозах. При этом Национальные ГМС являются ответственными за специализированное КО, обеспечивая предупреждения об опасных явлениях и производя другие виды специализированной климатической продукции на национальном уровне

Сценарные климатические прогнозы, разрабатываемые в рамках международных проектов сравнения объединенных моделей CMIP (Eyring et al., 2016) и CORDEX (Giorgi, Gutowski, 2015) под эгидой ВПИК, являются основой информационной системы КО при рассмотрении временных масштабов, для которых необходимо учитывать изменения климата. Эти сценарные прогнозы зависят от эволюции концентрации парниковых газов, аэрозолей и других особенностей состава атмосферы. В то время как достигнут определенный консенсус относительно того, что увеличение эмиссии парниковых газов приведет в глобальном масштабе к потеплению и росту ущербов, связанных с многочисленными опасными явлениями, отмечаются значительные неопределенности в оценках изменений по мере перехода от глобального к региональным и национальным масштабам. В контексте КО важной является количественная оценка этих неопределенностей. Серьезные усилия мирового научного сообщества направлены на подготовку сценарных прогнозов климата с высоким горизонтальным разрешением на основе использования глобальных и региональных климатических моделей (Shar et al., 2020).

Существует ряд порталов, организованных ВМО и другими структурами³⁶, которые обеспечивают потребителей информацией об изменении климата и тем самым усиливают научную основу для Национальных планов адаптации. Особую роль выполняет Консультативный совет по проблеме «Уязвимость. Воздействие. Адаптация. Климатическое обслуживание» (VIACS), который был создан для обеспечения взаимодействия между экспертами по климатическим приложениям и специалистами в области моделирования климата (Ruane et al., 2016).

В России основной вклад в обеспечение потребителей информацией о сценарных прогнозах климата (прежде всего, для территории нашей страны), необходимой для целей адаптации, вносит Климатический центр Росгидромета.

Важное направление развития информационной системы КО в России связано с созданием специализированных подсистем, ориентированных на снижение уязвимости и обеспечение адаптационных мероприятий на региональном и секторальном уровнях. Примерами таких подсистем являются развиваемая в рамках ВИПГЗ система интегрированного городского климатического обслуживания, а также разработанная и введенная в эксплуатацию ФНЦА РАН геоинформационная система «Опустынивание и мониторинг», которая отражает динамику и прогноз площади опустыненных земель.

³⁴ <https://www.apcc21.org/?lang=en>

³⁵ <https://seakc.meteoinfo.ru/ru/>

³⁶ <http://www.copernicus.eu>

Взаимодействие потребителей и производителей климатического обслуживания. Развитие потенциала

Информационная система КО поддерживает производство и передачу качественных климатических информационных продуктов и в определенной степени обеспечивает взаимодействие потребителей и производителей. На современном этапе актуально более тесное сотрудничество климатологов и отраслевых специалистов, которое должно способствовать развитию новых подходов в использовании информации о климате в условиях его изменений (на основе анализа экономических последствий принятия тех или иных решений и с учетом возможностей науки о климате). Производители климатической информации должны быть лучше информированы о разнообразии климатически обусловленных решений в отраслях и об их чувствительности к изменению климатических параметров. В то же время со стороны производителей требуется обеспечить потребителей климатической информацией, которая необходима для оценки рисков и оптимизации соответствующих решений. Реализация этой стратегии предполагает более глубокое понимание имеющихся возможностей и ограничений в применении климатических данных (в том числе — модельных сценарных прогнозов) с учетом специфических требований со стороны различных групп потребителей (Катцов, 2015; Катцов и др., 2020).

В условиях изменений климата принципиально важным является поддержание непрерывного диалога между субъектами планирования и реализации планов адаптации – экспертными сообществами естественных наук (прежде всего, климатологии), социогуманитарных наук (прежде всего, экономики) и технических (инженерных) наук, с одной стороны, а также лицами и структурами, обеспечивающими поддержку принятия и принятие решений в отраслях и регионах страны, с другой стороны. Многосторонний диалог должен способствовать эффективному использованию информации о климате и – более широко – об окружающей среде, продолжая и развивая взаимодействие между прикладной климатологией и отраслевыми науками, которое существует в России много лет. Однако в условиях меняющегося климата такое взаимодействие приобретает новые измерения и распространяется на все большее число участников – специалистов и лиц, принимающих решения.

Эффективное и плодотворное взаимодействие между производителями и потребителями КО должно осуществляться с участием специалистов, обладающих надлежащей квалификацией. Потребность в таких специалистах, отвечающих, например, за создание, развитие и мониторинг эффективности отраслевых и региональных стратегий адаптации к изменениям климата, выдвигает на передний план проблему наращивания кадрового потенциала. Важно формирование образовательных программ, подготовка и повышение квалификации кадров, задействованных в межведомственном взаимодействии, направленном на КО, включая совершенствование и реализацию стратегий и планов адаптации к изменениям климата (Блинов, 2020).

На современном этапе достижение прогресса в методологии КО сопряжено, прежде всего, с большой работой по развитию возможностей, которые предоставляют сложные физико-математические модели (при условии непрерывного увеличения доступных для исследований и прогнозирования климата вычислительных ресурсов (Slingo et al., 2021)). Ансамбли таких моделей используются для построения сценарных прогнозов, являющихся основным источником информации для разработки мер упреждающей адаптации к изменениям климата.

Значительный прогресс, достигнутый в мировой компьютерной инженерии, привел к созданию в последние годы мощных суперкомпьютеров, производительность которых

превысила экзафлопсный уровень. Появление таких вычислительных систем открывает возможность разработки моделей с высоким пространственным разрешением (менее 10 км по горизонтали), позволяющих более реалистично описывать физические процессы в различных средах. Для повышения качества прогнозов и уровня климатического обслуживания требуется развитие современной программной инфраструктуры для сложных процессов моделирования и усвоения потоков данных наблюдений. Это позволит использовать разнообразные цифровые технологии извлечения информации и обработки больших данных. Машинное обучение и новые алгоритмические структуры будут поддерживать более быстрые вычисления и более эффективное извлечение необходимой для потребителей информации из огромных объемов данных. Новое понятие цифровых двойников для земной системы охватывает все эти аспекты, и их применение в перспективе должно привести к значительному расширению возможностей прогнозирования и повышению уровня климатического обслуживания (Brunet et al., 2024).

В настоящее время для достижения прогресса в прогнозировании на различных пространственных и временных масштабах актуально тесное научно-технологическое взаимодействие специалистов разного профиля и новые уровни экспертизы цифровых технологий. В этих условиях Росгидромету, являющемуся основным производителем климатической продукции, важно сформировать соответствующую «цифровую» стратегию, обеспечивающую сохранение контроля качества информации, предназначенной для принятия управленческих решений. Требуется интенсивная разработка стратегий (включая упомянутые цифровые стратегии), методов, моделей и технологий, обеспечивающих адекватное практическое применение результатов мониторинга климатической системы и климатического моделирования (Росгидромет., 2020).

РЕАЛИЗАЦИЯ НАЦИОНАЛЬНОЙ КЛИМАТИЧЕСКОЙ ПОЛИТИКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ НАПРЯМУЮ ЗАВИСИТ ОТ НАЛИЧИЯ СОБСТВЕННЫХ, ОТВЕЧАЮЩИХ МИРОВОМУ УРОВНЮ ИНСТРУМЕНТОВ И ТЕХНОЛОГИЙ МОНИТОРИНГА И ПРОГНОЗА СОСТОЯНИЯ ЗЕМНОЙ СИСТЕМЫ, А ТАКЖЕ ВЫСОКОКВАЛИФИЦИРОВАННЫХ КАДРОВЫХ РЕСУРСОВ И СООТВЕТСТВУЮЩЕЙ ИНФРАСТРУКТУРЫ, ОБЕСПЕЧИВАЮЩИХ КАК ПОЛНОМАСШТАБНОЕ ПРИМЕНЕНИЕ И РАЗВИТИЕ ЭТИХ ТЕХНОЛОГИЙ, ТАК И ПЛОДОТВОРНОЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ ПРОИЗВОДИТЕЛЕЙ И ПОТРЕБИТЕЛЕЙ КЛИМАТИЧЕСКОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ.

ЭТО ОБСТОЯТЕЛЬСТВО ПОТРЕБОВАЛО УСИЛЕНИЯ ГОСУДАРСТВЕННОГО УПРАВЛЕНИЯ НАИБОЛЕЕ АКТУАЛЬНЫМИ НАУЧНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМИ ИССЛЕДОВАНИЯМИ В ОБЛАСТИ КЛИМАТА, ЭКОЛОГИИ И В СМЕЖНЫХ ОБЛАСТЯХ. ЦЕЛЬ СООТВЕТСТВУЮЩЕЙ РЕАЛИЗУЕМОЙ ПРОГРАММЫ ОПРЕДЕЛЕНА КАК РАЗРАБОТКА И СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ОТЕЧЕСТВЕННЫХ ИНФРАСТРУКТУРЫ И ТЕХНОЛОГИЙ МОНИТОРИНГА И МОДЕЛИРОВАНИЯ ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ ДОСТОВЕРНЫХ, МЕЖДУНАРОДНО ПРИЗНАВАЕМЫХ ДАННЫХ ОБ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЕ И КЛИМАТИЧЕСКИХ ИЗМЕНЕНИЯХ, ВКЛЮЧАЯ СОЗДАННЫЕ НА ОСНОВЕ ЭТИХ ДАННЫХ ПРОДУКТЫ, В ОБЕСПЕЧЕНИЕ УСТОЙЧИВОГО РАЗВИТИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ. ПЕРВЫЙ ЭТАП РЕАЛИЗАЦИИ ЭТОЙ ПРОГРАММЫ ПОКАЗАЛ ВЕСЬМА ОБНАДЕЖИВАЮЩИЕ РЕЗУЛЬТАТЫ. ОДНАКО, ВЫПОЛНЕНИЕ СФОРМУЛИРОВАННОЙ ВЫШЕ МИССИИ И ДОСТИЖЕНИЕ НАМЕЧЕННЫХ ЦЕЛЕЙ КРИТИЧЕСКИ ЗАВИСЯТ ОТ ПРОДОЛЖЕНИЯ ЭТОЙ РАБОТЫ (ВКЛЮЧАЯ ЗАПЛАНИРОВАННОЕ ФИНАНСИРОВАНИЕ, ПРЕДУСМАТРИВАЮЩЕЕ НЕОБХОДИМОЕ КАДРОВОЕ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ) НА ПРОТЯЖЕНИИ, ПО МЕНЬШЕЙ МЕРЕ, БЛИЖАЙШИХ ПЯТИ ЛЕТ.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

При всех связанных с изменением климата рисках и вызовах для населения и экономики России, наша страна располагает существенным адаптационным потенциалом, обусловленным не только и не столько размерами и разнообразием климатических условий на ее территории, но и состоянием отечественной науки. Изменение климата в целом следует рассматривать как угрозу устойчивому развитию, однако некоторые последствия ожидаемых изменений климата для России, могут дать нашей стране потенциальные преимущества перед другими регионами мира. Для того, чтобы использовать эти преимущества, а также наилучшим образом управлять рисками многочисленных негативных погодно-климатических воздействий на население и экономику России, в государственной экономической стратегии необходим тщательный, научно обоснованный, экономически выверенный учет климатического фактора. Здесь нет альтернативы высококачественной национальной системе КО, ориентированной в первую очередь на адаптацию к изменению климата и опирающейся на восстанавливающийся потенциал отечественной науки, на все доступные возможности международного сотрудничества, на объективную необходимость междисциплинарного и межведомственного взаимодействия участников КО, на растущую заинтересованность частного сектора.

Указом Президента Российской Федерации «Об утверждении приоритетных направлений научно-технологического развития Российской Федерации и перечня важнейших наукоемких технологий» (18 июня 2024 года № 529) в числе семи научно-технологических приоритетов оказались «Адаптация к изменениям климата, сохранение и рациональное использование природных ресурсов». Одновременно в перечень 28 важнейших наукоемких технологий в качестве «критической технологии» включены «Мониторинг и прогнозирование состояния окружающей среды и климата (в том числе ключевых районов Мирового океана, морей России, Арктики и Антарктики), технологии предупреждения и снижения рисков чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера, негативных социально-экономических последствий».

По сути, этим указом однозначно определены перспективы развития КО в нашей стране в части научного и информационно-аналитического обеспечения адаптации экономики и населения страны к текущему состоянию и ожидаемым изменениям климатической системы (а также смягчения антропогенного воздействия на климат) – на основе глубоких фундаментальных и прикладных исследований; высоких технологий, связанных с использованием быстро развивающихся систем мониторинга климатической системы и сложных физико-математических моделей; а также научно обоснованной интерпретации для прикладных целей все возрастающих объемов климатических данных, подразумевающей взаимодействие представителей различных областей науки и скоординированные усилия специалистов различных ведомств (Росгидромет, 2022).

КО имеет высокие цели и ставит амбициозные задачи, в том числе смешанные и многомерные, подвергающие традиционные междисциплинарные барьеры все возрастающему давлению. Усилия по адаптации к изменению климата на федеральном, региональном, локальном уровнях требуют не только научного обоснования на первоначальном этапе, но и дальнейших постоянного мониторинга эффективности принятых адаптационных решений и соответствующей

корректировки, в зависимости от результатов такого мониторинга, стратегий и планов адаптации. Эта постоянная работа требует широкого и многостороннего взаимодействия производителей и потребителей КО. Со стороны производителей КО Росгидромет в этом диалоге, безусловно, призван продолжать играть ключевую, в том числе координирующую роль.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Абузяров З.К., Думанская И.О., Нестеров Е.С., 2009:** Оперативное океанографическое обслуживание. – М.; Обнинск : ИГ-СОЦИН. – 287 с.
- Акентьева Е.М., Сидоренко Г.И., Тюсов Г.А., 2014:** К оценке влияния наблюдаемых и ожидаемых в будущем климатических изменений на гидроэнергетических потенциал регионов Российской Федерации // Труды ГГО. – № 570. – С. 95–105.
- Анапольская Л.Е., Гандин Л.С., 1973:** Метеорологические факторы теплового режима зданий. – Л.: Гидрометеиздат. – 239 с.
- Анжина Г.И., Вражкин А.Н., 2018:** Методика прогноза ледовых параметров на акваториях дальневосточных морей большой заблаговременности // Известия ТИНРО. – Т. 194, № 3. – С. 239–250.
- Атлас, 1900:** Климатологический атлас Российской Империи, изданный Николаевскою Главной Физической Обсерваторией в память пятидесятилетней её деятельности 1849–1899 / Атлас. – СПб. – 2 т. – 58 с.
- Атлас, 1997:** Атлас ветрового и солнечного климатов России / под ред. Борисенко М.М., Стадник В.В. – СПб.
- Атлас, 2000:** Атлас ветров России / А. Н. Страхов [и др.]. – М.: Можайск-Терра. – 560 с.
- Ашабоков Б.А., Федченко Л.М., Ташилова А.А., Кешева Л.А., Теунова Н.В., 2020:** Пространственно-временное изменение климата юга европейской территории России, оценка его последствий, методы и модели адаптации АПК. – Нальчик: ООО «Фрегат». – 476 с.
- Ашабоков Б.А., Федченко Л.М., Кешева Л.А., Теунова Н.В., 2021:** Изменения температурного режима и режима осадков тёплого и холодного периодов в различных климатических зонах Северо-Кавказского региона // Наука. Инновации. Технологии. – № 3. – С. 55–72.
- Ашабоков А.Б., 2022:** Адаптация туристско-рекреационных зон горных территорий к изменению климата: задачи и методы их решений // Вестник науки. – № 8 (53), т. 2. – С. 58–77.
- Бедрицкий А.И., Борисенков Е.П., Коровченко А.С., Пасецкий В.М., 1997:** Очерки по истории гидрометеорологической службы России: в 3 т. Т. 1. – СПб.: Гидрометеиздат. – 363 с.
- Бедрицкий А.И., Борисенков Е.П., Пасецкий В.М., 2002:** Гидрометеорологическая служба России. История и современность. – СПб: Гидрометеиздат. – 125 с.
- Бедрицкий А.И., Борисенков Е.П., Коровченко А.С., Пасецкий В.М., 2005:** Очерки по истории гидрометеорологической службы России: в 3 т. Т. 3. – СПб.: Гидрометеиздат. – 389 с.
- Бедрицкий А.И., 2020:** О разработке национальной платформы климатического обслуживания как российского национального компонента ГРОКО // Труды ГГО. – № 596. – С. 7–36.
- Бельчиков В.А., Борщ С.В., Павроз Ю.А., Романов А.В., Сильницкая М.И., Симонов Ю.А., Христофоров А.В., 2019:** Современное состояние и перспективы совершенствования системы оперативного гидрологического прогнозирования в Гидрометцентре России // Гидрометеорологические исследования и прогнозы. – № 4 (374). – С. 184–202.
- Блинов В.Г., 2020:** Миссия образования в контексте проблемы изменения климата // Труды ГГО. – № 596. – С. 37–54.

- Бюллетень, 2021:** Бюллетень Счетной палаты Российской Федерации. – № 1. Лесопожарная техника. – 108 с.
- Ваганов Е.А., Порфирьев Б.Н., Широв А.А., Колпаков А.Ю., Пыжев А.И., 2021:** Оценка вклада российских лесов в снижение рисков климатических изменений // Экономика региона. – Том 17, № 4. – С. 1096-1109.
- Василенко Н.В., 2022:** Энергетика России: состояние и перспективы развития при переходе к низкоуглеродной экономике // Экономическое возрождение России. – №2(72). – С. 144-160.
- Веселовский К.С., 1857:** О климате России. СПб.: Изд. Имп. Академии Наук. – 408 с.
- Виноградова В.В., 2015:** Природно-климатические и биоклиматические условия жизни населения Мурманской области // Известия РАН. Серия географическая. – № 6. – С. 90–99.
- Власова Л.В., 2017:** Оценка влияния природных воздействий в задачах обеспечения надёжной и безопасной эксплуатации газотранспортной системы ПАО «Газпром» // Научно-технический сборник Вести газовой науки. – № 1 (29). – С. 49–56.
- ВМО, 2011:** ВМО-№ 1065. Знания о климате как основа для действий: Глобальная рамочная основа для климатического обслуживания – укрепление возможностей наиболее уязвимых стран: доклад целевой группы высокого уровня глобальной рамочной основы для климатического обслуживания. – https://library.wmo.int/viewer/57778/download?file=1065_ru.pdf&type=pdf&navigator=1
- ВМО, 2012:** ВМО №134. Руководство ВМО по агрометеорологической практике. –<https://community.wmo.int/en/guide-agricultural-meteorological-practices-gamp2010-edition-wmo-no134>
- ВМО, 2014:** ВМО, ГВП. Программа комплексного управления засухой. –<https://www.droughtmanagement.info/>
- ВМО, 2016:** ВМО № 1173. Справочник по показателям и индексам засушливости. –https://library.wmo.int/viewer/42793?medianame=1173_ru_#page=3&viewer=picture&o=bookmarks&n=0&q=
- ВМО, 2018:** ВМО-№ 1206. Руководящие указания по поэтапному созданию национальной рамочной основы для климатического обслуживания.
- ВМО, 2020:** От заблаговременных предупреждений к заблаговременным действиям. Женева, ВМО. – <https://wmo.int/ru/news/media-centre/doklad-o-sostoyanii-klimaticheskogo-obsluzhivaniya-v-2020-godu-ot-zablagovremennykh-preduprezhdeniy>
- Воейков А.И., 1884:** Климаты земного шара, в особенности России. – Санкт-Петербург: издание картографического заведения А. Ильина. – 640 с.
- Воейков А.И., 1908:** Орошение Закаспийской области с точки зрения географии и климатологии. – СПб. – 110 с.
- Воейков, А.И., 1915:** Климаты русских и заграничных лечебных местностей / проф. А.И. Воейков. - Петроград: [б. и.]. – 180 с.: ил., табл. + 4 л. карт.
- Гельфан А.Н., Мотовилов Ю.Г., Бородин О.О., Бугаец А.Н., Гарцман Б.И., Гончуков Л.В., Калугин А.С., Морейдо В.М., Соколов О.В., 2025:** Национальная гидрологическая моделирующая система: структура, результаты испытаний, приложения // Метеорология и гидрология. (в печати).
- Гордин В.А., 2016:** Метеорология для здравоохранения // Совещание научных экспертов из учреждений Росгидромета, Минздрава, Роспотребнадзора и РАН ИГКЭ. – Москва.
- Григорьева Е.А., Фетисов Д.М., 2009:** Оценка пригодности климата района для спортивно-оздоровительной рекреации // Медицинская экология. – № 6. – С. 211–216.

- ГРОКО, 2014:** План осуществления Глобальной рамочной основы для климатического обслуживания. – ВМО. – <https://cc.voeikovmgo.ru/ru/dokumenty/plan-osushchestvleniya-globalnoj-ramочноj-osnovy-dlya-klimaticheskogo-obsluzhivaniya>
- ГРОКО, 2016:** Семёнов С. М. Глобальная рамочная основа климатического обслуживания (ГРОКО). Сектор «Здоровье населения». Российский сегмент // Совещание научных экспертов из учреждений Росгидромета, Минздрава, Роспотребнадзора и РАН ИГКЭ. – Москва.
- Дадабаева З.А., 2023:** Климатические изменения и водные проблемы Центральной Азии в XXI веке: риски дезинтеграции // Геоэкономика энергетики. – № 3. – С. 100–119. – DOI: https://doi.org/10.48137/26870703_2023_23_3_100.
- Данилов-Данильян В.И., Катцов В.М., Порфирьев Б.Н., 2020:** Проблема климатических изменений – поле сближения и взаимодействия естественных и социогуманитарных наук // Вестник РАН. – Т. 90, № 10. – С. 914–925.
- Думанская И.О., 2015:** Метод долгосрочного прогноза ледовых условий в Баренцевом море, Финском заливе и в северной части Каспийского моря, основанный на использовании статистического моделирования // Информационный сборник. – № 42. – С. 111–128.
- Елистратов В.В., Кобышева Н.В., Сидоренко Г.И., 2010:** Климатические факторы возобновляемых источников энергии / под ред. В.В. Елистратова, Н.В. Кобышевой, Г.И. Сидоренко. – СПб.: Наука. – 235 с.
- Заварина М.В., 1967:** Исследования по прикладной климатологии // Труды ГГО. – № 218. – С. 109–116.
- Заварина М.В., 1976:** Строительная климатология. – Ленинград: Гидрометеиздат. – 312 с.
- Зинченко Ю.В., Терентьев Н.Е., 2022:** Риски климатических изменений здоровью и адаптация населения: обзор мирового опыта и уроки для России // Проблемы прогнозирования. – № 6 (195). – С. 131–144.
- Кароль Б.П., 1988:** Академик Г.И. Вильд. – Л.: Гидрометеиздат. – 145 с.
- Катцов В.М., Школьник И.М., Павлова В.Н., Хлебникова Е.И., Ефимов С.В., Константинов А.В., Павлова Т.В., Пикалева А.А., Рудакова Ю.А., Салль И.А., Байдин А.В., Задворных В.А., 2019:** Развитие технологии вероятностного прогнозирования регионального климата на территории России и построение на её основе сценарных прогнозов изменения климатических воздействий на секторы экономики. Часть 2: Оценки климатических воздействий // Труды ГГО. – № 593. – С. 6–52.
- Катцов В.М., Хлебникова Е.И., Школьник И.М., Рудакова Ю.Л., 2020:** Вероятностное сценарное прогнозирование регионального климата как основа разработки адаптационных программ в экономике Российской Федерации // Метеорология и гидрология. – № 5. – С. 46–58.
- Катцов В.М., 2015:** Климатическое обслуживание Российской Федерации: вчера, сегодня, завтра / В сб. Труды VII Всероссийского метеорологического съезда. – СПб: Д'Арт. – С. 66–80.
- Катцов В.М., 2022:** Климатическая наука для принятия решений // Труды ГГО. – № 607. – С. 6–39.
- Катцов В.М., 2024:** Изменения климата: причины, риски, последствия, проблемы адаптации и регулирования // Новые задачи развития мониторинга и моделирования климата в контексте реагирования России на глобальное изменение климата / под ред. И.И. Мохова, А.А. Макоско, А.В. Чернокульского. – М.: РАН. – С. 42–57.
- Катцов В.М., Порфирьев Б.Н., 2017:** Адаптация России к изменению климата: концепция национального плана // Труды ГГО. – № 586. – С. 7–20.

- Климат России, 2001:** Климат России / под ред. Н.В. Кобышевой. – СПб: Гидрометеиздат. – 654 с.
- Клюева М.В., Школьник И.М., Рудакова Ю.Л., Павлова Т.В., Катцов В.М., 2020:** Летний туризм в контексте будущих изменений климата России: оценки по большому ансамблю условных прогнозов высокого разрешения // Метеорология и гидрология. – № 6. – С. 47-59.
- Клюева М.В., Мурзин А.Г., 2009:** Рекреационно-климатические ресурсы Ленинградской области // Труды ГГО. – № 559. – С. 77-90.
- Кобышева Н.В., Зябриков В.А., Циркунов В.С., 2000:** Климат и железнодорожный транспорт. – М.: Метеоагентство Росгидромета. – 187 с.
- Кобышева Н.В., Акентьева Е.М., Галюк Л.П., 2015:** Климатические риски и адаптация к изменениям и изменчивости климата в технической сфере. – СПб: Кириллица. – 216 с.
- Кобышева Н.В., 2014:** Предложения к разработке российского сегмента Глобальной рамочной основы климатологического обслуживания (ГРОКО) // Метеорология и гидрология. – № 2. – С. 12-22.
- Константинов А.В., Королева Т.С., Кушнер Е.А., Торжков И.О., 2017:** Оценка экономических последствий наблюдаемых и ожидаемых климатических изменений с учетом долгосрочных прогнозных сценариев развития лесного сектора // Лесотехнический журнал – Т. 7. – № 4(28). – С. 257-274. – DOI 10.12737/article_5a3d017c6db239.41056305.
- Копанев И.Д., 1978:** Снежный покров на территории СССР. – Л.: Гидрометеиздат. – 181 с.
- Коршунова Н.Н., Трофименко Л.Т., Кузнецова В.Н., Зверева Г.Н., Разуваев В.Н., 2019:** Обслуживание различных отраслей экономики и потребителей климатической информацией // Труды Всероссийского научно-исследовательского института гидрометеорологической информации - Мирового центра данных. – № 185. – С. 5-17.
- Крысанов И.В., Полищук А.И., Иванова Н.Н., 2021:** Об автоматизации обработки данных мониторинга загрязнения атмосферы // Труды ГГО. – № 601. – С. 7-18.
- Крючков А.Д., 2020:** Верификация характеристик снежного покрова по данным реанализа ERA-INTERIM и метеорологических станций Пермского края за 1978–2018 гг. / Цифровая география. Материалы Всероссийской научно-практической конференции с международным участием: в 2 т. – Пермь. – Т. 1. – С. 390–393.
- Лескинен П., Линднер М., Веркерк П.Й., Набуурс Г.Я., Ван Брусселен Й., Куликова Е., Хассегава М. и Леринк Б. (ред.), 2020:** Леса России и изменение климата. Что нам может сказать наука 11 // Европейский институт леса / под. ред. Б. Леринк. – 140 с. –DOI: 10.36333/wsctu11.
- Липка О.Н., Корзухин М.Д., Замолотчиков Д.Г., Добролюбов Н.Ю., Крыленко С.В., Богданович А.Ю., Семенов С.М., 2021:** Роль лесов в адаптации природных систем к изменениям климата // Лесоведение. – № 5. – С. 531-546. – DOI 10.31857/S0024114821050077.
- ЛК РФ №200-ФЗ, 2023:** Лесной кодекс Российской Федерации" от 04.12.2006 N 200-ФЗ (ред. от 04.08.2023) (с изм. и доп., вступ. в силу с 01.01.2024)
- Лукина Н.В., 2020:** Глобальные вызовы и лесные экосистемы // Вестник РАН. – Т. 90. – № 6. – С. 528–532.
- Михель В.М., Руднева А.В., Липовская В.И., 1969:** Переносы снега при метелях и снегопадах на территории СССР. – Л.: Гидрометеиздат. – 204 с.
- Мохов И.И., Чернокульский А.В., 2010:** Региональные модельные оценки риска лесных пожаров в азиатской части России при изменениях климата // География и природные ресурсы. – № 2. – С. 120-126.

- МПР, 2022:** Государственный доклад о состоянии и об охране окружающей среды Российской Федерации в 2022 году – М.: Минприроды России. – МГУ имени М.В. Ломоносова. – 687 с.
- МР, 2017:** Методические рекомендации по расчету специализированных климатических характеристик для обслуживания различных отраслей экономики. Строительство. Транспорт. – СПб: ФГБУ ГГО. – 161 с.
- МР, 2022:** Методические рекомендации по составлению климатической характеристики района при отсутствии или недостаточности метеорологической информации. // Отчет НИТР по теме 3.1 Разработка новых стратегий, методов и технологий использования климатической информации для управления безопасностью и обеспечения устойчивого развития экономики и социальной сферы в условиях меняющегося климата. 205 с.
- НМО, 2022:** Обеспечение научно-методической основы второго этапа адаптации к изменениям климата на период до 2025 г. и в перспективе до 2035 г. (с учетом опыта реализации первого этапа адаптации к изменениям климата на период до 2022 г.). Отчет Института народнохозяйственного прогнозирования РАН. 2022.
- НПС, 1987-2001:** Научно-прикладной справочник по климату СССР. (1987–2001). Вып. 1–34. Части 1–6. Вып 35. Часть 7. – Л.: Гидрометеиздат.
- НПС, 2020:** Разуваев В.Н. Булыгина О.Н., Коршунова Н.Н., Клещенко Л.К., Кузнецова В.Н., Трофименко Л.Т., Шерстюков А.Б., Швець Н.В., Давлетшин С.Г., Зверева Г.Н. Научно-прикладной справочник «Климат России». Свидетельство о государственной регистрации № 2020621470 от 18 августа 2020 г.
- ООН, 2009:** Руководство по водным ресурсам и адаптации к изменению климата. – Женева: ООН. – https://infoclimates.org/wp-content/uploads/2012/03/UNECE01_RUS.pdf
- Павлова В.Н., Варчева С.Е., 2017:** Оценки степени уязвимости территории и климатического риска крупных неурожаев зерновых культур в зерносеющих регионах России // Метеорология и гидрология. – № 8. – С. 39-49.
- Павлова В.Н., Каланка П., Караченкова А.А., 2020:** Продуктивность зерновых культур на территории Европейской России при изменении климата за последние десятилетия // Метеорология и гидрология. – № 1. – С. 78-94.
- Пенкина Н.В., Шахова О.Ю., Никифорова А.А., Чернявская О.В., 2020:** Туристско-рекреационная система: теория и практика организации: учебно-методическое пособие. – Нижневартовск: Нижневартовский государственный университет. – 122 с.
- Пивоварова З.И., Стадник В.В., 1988:** Климатические характеристики солнечной радиации как источника энергии на территории СССР. – Л. Гидрометеиздат. – 291с.
- Пигольцина Г.Б., 2003:** Радиационные факторы мезо- и микроклимата. – СПб: СПбГЛТА. – 200 с.
- Пигольцина Г.Б., 2009:** Обоснование необходимости и принципы учета мезо- и микроклимата при комплексных оценках природных ресурсов для различных секторов экономики // Труды ГГО. – № 560. – С. 89-115.
- Пигольцина Г.Б., Зиновьева Н.А., 2013** Пространственное распределение высоты снежного покрова в горном кластере территории проведения Зимних Олимпийских игр «Сочи-2014». – Труды ГГО. – № 569. – С. 137-147.
- Пигольцина Г.Б., Зиновьева Н.А., 2015:** Оценка микроклиматических условий горного кластера района Красной Поляны для обеспечения спортивных объектов детальной погодно-климатической информацией // Метеорология и гидрология. – № 8. – С. 88-97.
- Пигольцина Г.Б., Фасолько Д.В., 2020:** Микроклиматический подход к оценке пространственной изменчивости характеристик снежного покрова в сложном рельефе при недостаточной метеорологической информации // Труды ГГО. – № 599. – С. 26-44.

- Положение, 1850:** Положение для Главной физической обсерватории Утв. 1 апр. 1849 г. – СПб. – 15 с.
- Порфирьев Б.Н., Данилов-Данильян В.И., Катцов В.М., Ксенофонтов М.Ю., Ревич Б.А., Школьник И.М., Ключева М.В., Павлова Т.В., Колпаков А.Ю., Ползиков Д.А., Елисеев Д.О., Терентьев Н.Е., Рудакова Ю.Л., 2022:** Изменения климата и экономика России: тенденции, сценарии, прогнозы / под ред. Б.Н. Порфирьева, В.И. Данилов-Данильяна. – М.: Научный консультант. – 514 с.
- Порфирьев Б.Н., Акентьева Е.М., Елисеев Д.О., Хлебникова Е.И., 2024:** Методологические подходы к оценке возможного ущерба экономическим системам от изменения климата // Исследования экономического развития России. – Т. 35, № 1. – С. 44–53.
- Порфирьев Б.Н., Катцов В.М., 2017:** Изменения климата и их последствия для населения и экономики России: императивы и приоритет стратегии адаптации // Доклад о человеческом развитии в Российской Федерации. Экологические приоритеты для России / Аналитический центр при Правительстве Российской Федерации. – С. 126–146.
- Прогноз, 2019:** Прогноз развития энергетики мира и России 2019 / под ред. А.А. Макарова, Т.А. Митровой, В.А. Кулагина; ИНЭИ РАН–Московская школа управления Сколково – М. – 210 с. – ISBN 978-5-91438-028-8
- Псаломщикова Л.М., Стадник В.В., Салль И.А., Мироничева Н.П., Трофимова О.В., Александрова Г.А., 2017:** Характеристики нижнего 1000-метрового слоя атмосферы в районе Ленинградской АЭС-2 // Метеорология и гидрология. – № 11. – С. 21–36.
- ПУЭ 7, 2015:** Правила устройства электроустановок. Издание 7 – М.
- Распоряжение, 2021:** Распоряжение Правительства Российской Федерации «Об утверждении стратегии развития лесного комплекса Российской Федерации» до 2030 года от 11.02.2021 № 132-р.
- Ревич Б.А., Шапошников Д.В., Подольная М.А., Харькова Т.Л., Кваша Е.А., 2015:** Волны жары в южных городах Европейской части России как фактор риска преждевременной смертности населения // Проблемы прогнозирования. – № 2. – С. 55–67.
- Ревич Б.А., Шапошников Д.А., Харькова Т.Л., 2017:** Особенности воздействия волн жары и холода на смертность населения Красноярска – города с резко-континентальным климатом» // Сибирское медицинское обозрение. – № 2. – С. 84–90.
- Романова Е.Н., 1977:** Микроклиматическая изменчивость основных элементов климата. – Л.: Гидрометеиздат. – 288 с.
- Росводресурсы, 2022:** О состоянии и использовании водных ресурсов Российской Федерации в 2020 году. – М.: Росводресурсы, НИА-Природа. – 510 с.
- Росгидромет, 2005:** Стратегический прогноз изменения климата Российской Федерации на период 2010–2015 гг. и их влияния на отрасли экономики России. – Росгидромет. – 88 с.
- Росгидромет, 2008:** Оценочный доклад об изменениях климата и их последствиях на территории Российской Федерации / под ред. А.И. Бедрицкого и др. – Росгидромет. – Т. 1 (230 с.); Т. 2 (291 с.).
- Росгидромет, 2014:** Второй оценочный доклад об изменениях климата и их последствиях на территории Российской Федерации / под ред. В.М. Катцова, С.М. Семенова. – Росгидромет. – 1009 с.
- Росгидромет, 2017а:** Доклад о климатических рисках на территории Российской Федерации / под ред. В.М. Катцова; Росгидромет – СПб: ФГБУ ГГО. – 106 с.
- Росгидромет, 2017б:** Оценка стратегического прогноза изменений климата Российской Федерации на период до 2010–2015 гг. и их влияния на отрасли экономики России. – СПб: ФГБУ ГГО. – 44 с.

- Росгидромет, 2020:** Хлебникова, Е.И., Акентьева Е.М., Гаврилова С.Ю., Ефимов С.В., Ивахов В.М., Караченкова А.А., Катцов В.М., Киселев А.А., Ключева М.В., Павлова В.Н., Павлова Т.В., Пикалева А.А., Порфирьев Б.Н., Ревич Б.А., Рудакова Ю.Л., Стадник В.В., Стерин А.М., Чичерин С.С., Школьник И.М., 2020: Доклад о научно-методических основах для разработки стратегий адаптации к изменениям климата в Российской Федерации (в области компетенции Росгидромета) / под ред. Катцова В.М., Порфирьева Б.Н. – СПб: Климатический центр Росгидромета. – 120 с.
- Росгидромет, 2022:** Третий оценочный доклад об изменениях климата и их последствиях на территории Российской Федерации / под ред. В.М. Катцова; Росгидромет. – СПб: Наукоемкие технологии. – 676 с.
- Руководство, 2008:** Руководство по специализированному обслуживанию экономики климатической информацией, продукцией и услугами / под ред. Н.В. Кобышевой. – СПб: Центр научно-информационных технологий "Астерион". – 336 с.
- Рыбак О.О., Рыбак Е.А., 2016:** Применение климатических индексов для оценки региональных различий туристической аттрактивности // Научный журнал КубГАУ. – №121(07). <http://ej.kubagro.ru/2016/07/pdf>
- Сиротенко О.Д., Павлова В.Н., 2012:** Методы оценки влияния изменений климата на продуктивность сельского хозяйства. // Методы оценки последствий изменения климата для физических и биологических систем. – М.: Росгидромет. – С. 165-189.
- СП 131.13330.2020, 2020:** СНиП 23-01-99. Строительная климатология. – М.: Стандартинформ.
- СП 20.13330.2016, 2020:** Нагрузки и воздействия. Актуализированная редакция СНиП 2.01.07-85*. – М.: Минстрой России
- СП 482.1325800.2020, 2020:** Инженерно-гидрометеорологические изыскания для строительства. <https://docs.cntd.ru/document/565278461>
- Справочник, 1926-1933:** Климат Союза Советских социалистических республик. – Л.: ФГБУ ГГО.
- Справочник, 1964-1970:** Справочник по климату СССР. (1964–1970) – Вып. 1–34 – Л.: Гидрометеиздат.
- Стадник В.В., Ключева М.В., Задворных В.А., Самойлова Е.П., 2020:** Влияние наблюдаемых изменений климата на транспортную отрасль экономики (на примере Псковской, Смоленской и Брянской областей) // Труды ГГО. – № 599. – С. 7-25.
- Стратегия, 2010:** Стратегия развития морской деятельности Российской Федерации до 2030 года. Распоряжение Правительства от 8 декабря 2010 года №2205-р.
- Стратегия, 2021:** Транспортная Стратегия Российской Федерации на период до 2030 года с прогнозом на период до 2035 года. Распоряжением Правительства Российской Федерации от 27 ноября 2021 г. № 3363-р.
- Торжков И.О., Кушнир Е.А., Константинов А.В., Королева Т.С., Ефимов С.В., Школьник С.М., 2019:** Оценка влияния ожидаемых изменений климата на лесное хозяйство // Метеорология и гидрология. – № 3. – С. 40–50.
- Тюсов Г.А., Е.М. Акентьева, Т.В. Павлова, И.М. Школьник, 2017:** Оценки возможного влияния будущих изменений климата России на функционирование объектов энергетики // Метеорология и гидрология. – № 12. – С. 47–57.
- Указания, 1972:** Указания по определению расчетных гидрологических характеристик (СН 435-72)
- Фасолько Д.В., Школьник И.М., Акентьева Е. М., Ключева М.В., Пикалева А.А., Пигольцина Г.Б., 2022:** Воздействия изменений климата на системы водоотведения в Санкт-Петербурге // Труды ГГО. – № 606. – С. 94-109.

- Фасолько Д.В., Пигольцина Г.Б., 2022:** Усовершенствование технологии учета микроклиматической информации при расчетах специализированных характеристик снежного покрова на примере горного рельефа Северного Кавказа. // Труды ГГО. – № 605. – С. 25-40.
- Хайруллин К.Ш., Образцова М.З., 2020:** История создания климатических справочников СССР // Труды ГГО. – № 596. – С.163–174.
- Хан В.М., Вильфанд Р.М., Емелина С.В., Тищенко В.А., Грицун А.С., Володин Е.М., Воробьева В.В., Тарасевич М.А., 2023:** Оценка изменений температурного режима в Северной Евразии на предстоящее пятилетие по прогнозам модели земной системы ИВМ РАН и их возможных последствий для сельского хозяйства // Метеорология и гидрология. – № 9. – С. 14-29.
- Хлебникова Е.И., Рудакова Ю.Л., Салль И.А., Ефимов С.В., Школьник И.М., 2019а.:** Изменение показателей экстремальности термического режима в XXI веке: ансамблевые оценки для территории России // Метеорология и гидрология. – № 3. – С. 11–23.
- Хлебникова Е.И., Рудакова Ю.Л., Школьник И.М., 2019б.:** Изменение режима атмосферных осадков на территории России: результаты регионального климатического моделирования и данные наблюдений // Метеорология и гидрология. – № 7. – С. 5–16.
- Хлебникова Е.И., Школьник И.М., Рудакова Ю.Л., 2021:** Вероятностные оценки прикладных показателей термического режима для целей адаптации к изменениям климата на территории России // Фундаментальная и прикладная климатология. – Т. 7, № 2. – С. 140–158.
- ЦУР 2:** Цели в области устойчивого развития. Цель 2: Ликвидация голода <https://www.un.org/sustainabledevelopment/ru/hunger/>
- ЦУР 3:** Цели в области устойчивого развития. Цель 3: Хорошее здоровье и благополучие <https://www.un.org/sustainabledevelopment/ru/health/>
- ЦУР 6:** Цели в области устойчивого развития. Цель 6: Чистая вода и санитария <https://www.un.org/sustainabledevelopment/ru/water-and-sanitation/>
- ЦУР 7:** Цели в области устойчивого развития. Цель 7: Недорогостоящая и чистая энергия <https://www.un.org/sustainabledevelopment/ru/energy/>
- Шикломанов И.А., 2009:** Государственный гидрологический институт за 90 лет (1919-2009 гг.). Электронный адрес: <http://www.hydrology.ru/90/publications/>
- Школьник И.М., Пигольцина Г.Б., Ефимов С.В., 2019:** Сельское хозяйство в засушливых регионах и глобальное потепление: прогнозные оценки возможных воздействий в середине XXI века по ансамблю региональной климатической модели. // Метеорология и гидрология. – № 8. – С.57-68.
- Школьник И.М., Ефимов С.В., 2015:** Региональная климатическая модель нового поколения для территории северной Евразии // Труды ГГО. – № 576. – С. 201–211
- Энциклопедия, 2005:** Энциклопедия климатических ресурсов Российской Федерации / Под ред. Н.В. Кобышевой, К.Ш. Хайруллина. – СПб: Гидрометеиздат – 319 с.
- ЮНЕП, 1986:** Климат и здоровье человека // Труды. Международного симпозиума ВМО, ВОЗ, ЮНЕП. Ленинград – 22-26 сент. 1986.
- Якунин П.Н., 2014:** Климатические условия как компонент оценки туристско-рекреационного потенциала регионов. // Вестник Ленинградского государственного университета имени А. С. Пушкина. – С. 63-79
- Ясюкевич В.В., 2002:** Малярия в России и ее ближайшем географическом окружении: анализ ситуации в связи с предполагаемым изменением климата // Проблемы экологического мониторинга и моделирования экосистем. – Т. 18. – С. 142-157.

- Ясюкевич В.В., Попов И.О., Ясюкевич Н.В., 2019:** Моделирование изменений нозоареала и зоны повышенного эпидемического риска лихорадки Западного Нила на территории России в условиях ожидаемого изменения климата // Проблемы экологического мониторинга и моделирования экосистем. – Т. 30, № 1-2. – С. 15-32.
- Adzhiev A., Bekkiev M., Kondratyeva N., Yurchenko N., 2020:** Determination of the snow cover weight and altitude coefficient values in mountainous and poorly studied areas for assessing loads on buildings and structures // IOP Conference Series Materials Science and Engineering. – Vol. 913(2). – 022041 p.
- Adzhiev A., Bekkiev M., Kondratieva N., Yurchenko N., 2021:** High-altitude dynamics of snow load values on the Mount Elbrus slopes // E3S Web of Conferences. Vol. 281:09018. CATPID-2021 Part 1.
- Baklanov A., Grimmond C.S.B., Carlson D., Terblanche D., Tang X., Bouchet V., Lee B., Langendijk G., Kolli R.K., Hovsepyan A., 2018:** From urban meteorology, climate and environment research to Integrated City services // Urban Clim. – Vol. 23. – P. 330-341.
- Baklanov A., Cárdenas B., Lee T.C., Leroyer S., Masson V., Molina L.T., Müller T., Ren C., Vogel F.R., Voogt J.A., 2020:** Integrated urban services: Experience from four cities on different continents // Urban Clim. – Vol. 32. – 100610 p.
- Barry R.G., 2008:** Mountain Weather and Climate. – Cambridge, UK: Cambridge University Press. – 506 p.
- Bowditch E., Santopuoli G., Binder, F., del Río M., La Porta N., Kluvankova T., Lesinski J., Motta R., Pach M., Panzacchi P., Pretzsch H., Christian T., Giustino T., Melanie S., Velikova V., Weatherall A., Tognetti R., 2020:** What is Climate-Smart Forestry? A definition from a multinational collaborative process focused on mountain regions of Europe // Ecosystem Services. – Elsevier. Vol. 43.
- Brunet G., Luterbacher J., Gray M., Lisk I., Anyah R., Stammer D., Jean M., Carmichael G., Kulmala M., Kattsov V., Renom M., Stocker T., Lynch A.H., Belcher S., Dube O.P., Davis C.A., Koike T., 2024:** A Science and Technology Vision for WMO // WMO Bulletin. The Journal of the World Meteorological Organization. – Vol. 73 (2). – P. 21-27.
- Cantone C., Ivars Grape H., El Habash S., Pechlivanidis I.G., 2023:** A Co-Generation Success Story: Improving Drinking Water Management through Hydro-Climate Services // Clim. Serv. – № 31. – 100399 p.
- Charalampopoulos I., Droulia F.A., 2024:** Pathway towards Climate Services for the Agricultural Sector // Climate. – № 12. – 18 p.
- Chizmar S., Parajuli R., 2022:** What is Climate Smart Forestry? A Brief Overview. – <https://content.ces.ncsu.edu/what-is-climate-smart-forestry-a-brief-overview>
- Climate-ADAPT, 2024:** The European Climate Adaptation Platform Climate-ADAPT. <https://climate-adapt.eea.europa.eu/>
- CNCCAS, 2022:** China National Climate Change Adaptation Strategy 2035. <http://www.ncsc.org.cn/SY/syqhbh/202206/W020221026516413083356.pdf>
- Cremades R., Mitter H., Tudose N.C., Sanchez-Plaza A., Graves A., Broekman A., Bender S., Giupponi C., Koundouri P., Bahri, M., Cheval S., Cortekar J., Moreno Y., Melo O., Karner K., Ungurean C., Davidescu S.O., Kropf B., Brouwer F., Marin M., 2019:** Ten Principles to Integrate the Water-Energy-Land Nexus with Climate Services for Co-Producing Local and Regional Integrated Assessments // Science of the Total Environment. – № 693. – 133662 p.
- Di Napoli C., Romanello M., Minor K., Chambers J., Dasgupta S., Escobar L.E., Hang Y., Hänninen R., Liu Y., Lotto Batista M., Lowe R., Murray K.A., Owfi F., Rabbaniha M., Shi L., Sofiev M., Tabatabaei M., Robinson E.J.Z., 2023:** The Role of Global Reanalyses in Climate

Services for Health: Insights from the Lancet Countdown // *Meteorological Applications*, 30 (2), e2122. <https://doi.org/10.1002/met.2122>

Eyring V., Bony S., Meehl G.A., Senior C.A., Stevens B., Stouffer R.J., Taylor K.E., 2016: Overview of the Coupled Model Intercomparison Project Phase 6 (CMIP6) experimental design and organization // *Geoscientific Model Development*. – Vol. 9. – P. 1937–1958.

Fan M., Shibata H., Chen L., 2018: Spatial Priority Conservation Areas for Water Yield Ecosystem Service under Climate Changes in Teshio Watershed, Northernmost Japan. // *J. Water Clim. Chang.* – P. 106–129.

Fletcher I.K., Stewart-Ibarra A.M., García-Díez M., Shumake-Guillemot J., Lowe R., 2021: Climate Services for Health: From Global Observations to Local Interventions // *Med.* – № 2(4). – P. 355–361.

FAO, 2016: The state of food and agriculture. Climate change, agriculture and food security. Rome. – 173 p. <https://openknowledge.fao.org/server/api/core/bitstreams/07bc7c6e-72e5-488d-b2f7-3c1499d098fb/content>

GFDRR, 2018: Assessment of the state of hydrological services in developing countries. Global Facility for Disaster Reduction and Recovery, The World Bank, 2018. https://www.gfdr.org/sites/default/files/publication/state-of-hydrological-services_web.pdf

Giorgi F., Gutowski Jr W.J., 2015: Regional dynamical downscaling and the CORDEX initiative // *Annual review of environment and resources*. – Vol. 40. – P. 467–490.

Hewitt C.D., Moufouma-Okia W., 2023: Climate services Based on Climate Predictions and Projections // *WMO Bulletin*. – Vol. 72(2). – P. 19–24.

Hewitt C., Mason S., Walland D., 2012: The Global Framework for Climate Services // *Nature Climate Change*. – № 2(12). P. 831–832.

Hewitt C., Allis E., Mason S. J., Muth M., Pulwarty R., Shumake-Guillemot J, Bucher A., Brunet M., Fischer A.M., Hama A.M., Kolli R.K., Lucio F., Ndiaye O., Tapia B., 2021: Recommendations for future research priorities for climate modeling and climate services // *Bull. Am. Meteorol. Soc.* – № 102, P. E578–E588.

Hewitt C.D., Stone R., 2021: Climate services for managing societal risks and opportunities // *Climate Services*. – № 23. – 100240 p.

Hydropower, 2019: Hydropower Sector Climate Resilience Guide. Hydropower Association Limited, London, UK

IAEA, 2022: Climate change and nuclear power 2022: Securing clean energy for climate resilience. International Atomic Energy Agency. <https://reliefweb.int/report/world/climate-change-and-nuclear-power-2022-securing-clean-energy-climate-resilience>

IPCC, 2021: Summary for Policymakers // In: *Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Masson-Delmotte V., Zhai P., Pirani A., Connors S.L., Péan C., Berger S., Caud N., Chen Y., Goldfarb L., Gomis M.I., Huang M., Leitzell K., Lonnoy E., Matthews J.B.R., Maycock T.K., Waterfield T., Yelekçi O., Yu R., Zhou B. (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA. P. 3–32.

Jancloes M., Thomson M., Costa M.M., Hewitt C., Corvalan C., Dinku T., Lowe R., Hayden M., 2014: Climate Services to Improve Public Health. *Int. J. Environ. Res. Public Health*. – № 11. P. 4555–4559.

Kolli R.K., 2023: Climate Services Information System: concept, functions, and operationalization at national level https://filecloud.wmo.int/share/s/vuAn594SQn2_scpR7F0mQA

Körner C., 2007: The Use of 'Altitude' in Ecological Research // *Trends in Ecology & Evolution*. – № 22(11). – P. 569–574.

- MAC, 2014:** Climate Adaptation in the Canadian Mining Sector. Mining Association of Canada: – 31 p. – https://mining.ca/wp-content/uploads/2019/02/Climate_Adaptation_in_the_Canadian_Mining_Sector_2014.pdf
- Manyuchi A.E., Vogel C., Wright C.Y., Erasmus B., 2021:** Systems Approach to Climate Services for Health // Climate Services. – № 24(1). – P. 100271.
- Mason L., Unger C., Lederwasch A., Razian H., Wynne L., Giurco D., 2013:** Adapting to climate risks and extreme weather: a guide for mining and minerals industry professionals – National Climate Change Adaptation Research Facility, Gold Coast. – 79 p.
- Mavrommatis E., Damigos D., Mirasgedis S., 2019:** Towards a Comprehensive Framework for Climate Change Multi-Risk Assessment in the Mining Industry // Infrastructures. – Vol. 4, № 3. – 28 p.
- Meybeck A., Gitz V., Wolf J., Wong T., 2020:** Addressing forestry and agroforestry in National Adaptation Plans – Supplementary guidelines. Bogor/Rome. FAO and CIFOR.
- NEBC, 2015:** Climate Risk Assessment for the Oil & Gas Sector. Northeastern British Columbia. https://retooling.ca/wp-content/uploads/2020/10/Climate_Assessment_NEBC_2015_web.pdf
- Pavlova V.N., Shkolnik I.M., Pikaleva A.A., Efimov S.V., Karachenkova A.A., Kattsov V.M., 2019:** Future changes in spring wheat yield in the European Russia as inferred from a large ensemble of high-resolution climate projections // Environmental Research Letters. – Vol.14. – 034010 p.
- Rheinheimer D., Bales R., Oroza C., Lund J., Viers J., 2016:** Valuing year-to-go hydrologic forecast improvements for a peaking hydropower system in the Sierra Nevada // Water Resources Research. – Vol. 52(5). – P. 3815–3828.
- RMES, 2021:** Resilience in the Mining and Energy sector. 2021. <https://retooling.ca/taking-action/mining-and-energy/>
- Ruane A.C., Teichmann C., Arnell N.W., Carter T.R., Ebi K.L., Frieler K., Goodess C.M., Hewitson B., Horton R., Kovats R.S., Lotze H.K., Mearns L.O., Navarra A., Ojima D.S., Riahi K., Rosenzweig C., Themessl M., Vincent K., 2016:** The Vulnerability, Impacts, Adaptation and Climate Services Advisory Board (VIACS AB v1.0) contribution to CMIP6 // Geoscientific Model Development. – №9(9). – P. 3493–3515.
- Rubio-Martin A.; Llarío F.; Garcia-Prats A.; Macian-Sorribes H.; Macian J.; Pulido-Velazquez M., 2023:** Climate Services for Water Utilities: Lessons Learnt from the Case of the Urban Water Supply to Valencia, Spain // Clim. Serv. – № 29. – 100338 p.
- Schär C., Fuhrer O., Arteaga A., Ban N., Charpillot C., Girolamo S.D., Hentgen L., Hoefler T., Lapillonne X., Leutwyler D., Osterried K., Panosetti D., Rüdisühli S., Schlemmer L., Schulthess T.C., Sprenger M., Ubbiali S., Wernli H., 2020:** Kilometer-scale climate models: Prospects and challenges // Bulletin of the American Meteorological Society. – Vol. 101. – P. E567–E587.
- SERCOM, 2024:** Doc. 4.8. Комплексное обслуживание в области энергетики. <https://meetings.wmo.int/SERCOM-3/Russian>
- Slingo J., Baeur P., Bony S., Flato G., Hegerl G., Hesselbjerg Christensen J., Hurrell J., Jakob C., Kattsov V., Kimoto M., Marotzke J., Raghavan K., Shepherd T., Stephens G., Stevens B., Stocker T., Sutton R., Zhou T., 2021:** Next generation climate models: a step change for net zero and climate adaptation // Climate change: science and solutions briefings series. The Royal Society. 9 p. <https://royalsociety.org/-/media/policy/projects/climate-change-science-solutions/climate-science-solutions-modelling.pdf>

- Soares M., Dessai S., 2015:** Exploring the Use of Seasonal Climate Forecasts in Europe through Expert Elicitation // Climate Risk Management. – № 10. – P. 8–16.
- TSM, 2019:** Towards Sustainable Mining. Tailings Management Protocol. The Mining Association of Canada, February 2019. https://mining.ca/wp-content/uploads/2019/03/Tailings-Management-Protocol_2019-final.pdf
- UN WWDR, 2024:** Water for prosperity and peace, The United Nations World Water Development Report 2024
- UNCTAD, 2020:** Climate change adaptation for seaports in support of the 2030 Agenda for Sustainable Development
- UNDESA, 2021:** United Nations Department of Economic and Social Affairs. Sustainable transport, sustainable development. Interagency report for second Global Sustainable Transport Conference. 118 p.
- UNECE, 2020:** United Nations Economic Commission for Europe. Climate Change Impacts and Adaptation for Transport Networks and Nodes. 213 p.
- UNEP, 2023:** Adaptation Gap Report. United Nations Environment Programme. <https://wedocs.unep.org/handle/20.500.11822/43796>
- Verkerk P.J., Costanza R., Hetemäki L., Kubiszewski I., Leskinen P., Nabuurs G.J., Potočník J., Palahí M., 2020:** Climate-Smart Forestry: the missing link. Forest Policy and Economics Volume 115.
- Volodin E.M., Mortikov E.V., Kostykin S.V., Galin V.Ya., Lykossov V.N., Gritsun A.S., Diansky N.A., Gusev A.V., Iakovlev N.G., 2017:** Simulation of the present-day climate with the climate model INMCM5 // Climate Dynamics. – Vol. 49(11). – P. 3715–3734.
- Vorontsov A.D., Savin I.Y., Rets E.P., 2020:** Remote Sensing of Climatic Factors in the Mountainous Terrain of the Western Caucasus // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. – Vol. 590. – 012079 p.
- Wang Y., Li X., Liu S., Han Z., Song L., Ke Z., Chen K., 2021:** Climate Services for Water Resource Management in China: The Case Study of Danjiangkou Reservoir. J. Meteorol. Res. 35 – P. 87–100.
- WEMC, 2018:** Weather & Climate Services for the Energy Industry. Palgrave Macmillan Cham, World Energy & Meteorology Council. – 197 p.
- WHA 61.19, 2008:** The Sixty-first World Health Assembly in 2008: Climate Change and health. https://www.who.int/docs/default-source/climate-change/climate-change-and-health-resolution-wha-61-19.pdf?sfvrsn=63295783_2
- WMO, 2016:** Climate Services for Supporting Climate Change Adaptation. Supplement to the Technical Guidelines for The National Adaptation Plan Process. WMO-№ 1170. – 50p.
- WMO, 2017:** Energy Exemplar to the User Interface Platform of the Global Framework for Climate Services. WMO, Geneva, 120 p. <https://library.wmo.int/idurl/4/55592>
- WMO, 2019a:** WMO-№ 1242. State of Climate Services: Agriculture and Food Security. Geneva, WMO <https://library.wmo.int/records/item/56884-2019-state-of-climate-services-agriculture-and-food-security?offset=2>
- WMO, 2019b:** Climate Services for Health: Improving public health decision-making in a new climate. WMO, Geneva. – 266 p.
- WMO, 2022a:** WMO-№ 1301. State of Climate Services: Energy (Состояние климатического обслуживания в 2022 году: энергетика). Geneva, WMO. <https://library.wmo.int/records/item/58116-2022-state-of-climate-services-energy>
- WMO, 2022b:** State of Global Water Resources 2021, WMO

- WMO, 2023a:** WMO-№ 1335. State of Climate Services (Изменение климата вредит здоровью, но климатическое обслуживание спасает жизни) Geneva, WMO. <https://library.wmo.int/zh/records/item/68500-2023-state-of-climate-services-health>
- WMO, 2023б:** State of Global Water Resources 2022, WMO
- WMO, 2023в:** World Meteorological Organization (WMO). Guide to Climatological Practices (WMO-No.100). 2023: https://library.wmo.int/viewer/60113/download?file=100_2023-edition_en.pdf&type=pdf&navigator=1
- WMO, 2024:** SERCOM-3: Commission for Weather, Climate, Water and Related Environmental Services and Applications - Abridged Final Report of the Third Session (WMO-№ 1352).
- Yalew S.G., van Vliet M.T.H., Gernaat D.E.H.J., Ludwig F., Miara A., Park C., Byers E., De Cian E., Piontek F., Iyer G., Mouratiadou I., Glynn J., Hejazi M., Dessens O., Rochedo P., Pietzcker R., Schaeffer R., Fujimori S., Dasgupta S., Mima S., da Silva S.R.S., Chaturvedi V., Vautard R., Van Vuuren D.P., 2020:** Impacts of climate change on energy systems in global and regional scenarios // Nature Energy. – Vol. 5. P. 794–802.

ПРИЛОЖЕНИЕ 1.

ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ И ОПРЕДЕЛЕНИЯ

Адаптация	Процесс приспособления природных, антропогенных или смешанных природно-антропогенных систем, людей и их сообществ, субъектов экономики в ответ на фактические или ожидаемые воздействия (в частности, климатические), которое позволяет уменьшить вред или использовать благоприятные возможности. Адаптация зависит от чувствительности, уязвимости и меняющейся во времени приспособляемости систем к этим изменениям.
Ансамбль (в климатических моделях)	Группа параллельных модельных расчетов, используемых в исследованиях климатической системы, а также для прогнозных оценок климата.
Вегетационный период	Период (часть года), в течение которого происходит рост и развитие (вегетация) растений.
Ветровал	Выворачивание дерева вместе с корневой системой и оплетенным корнями комом земли под воздействием сильного ветра.
Водообеспеченность региона	Количество возобновляемых водных ресурсов, которое приходится в год на одного жителя (тыс. м ³) или на единицу площади (объем на 1 км ² площади или слой в мм).
Волна тепла (холода)	Продолжительный период значительной положительной (отрицательной) аномалии температуры выше (ниже) некоторого заданного уровня.
Глобальная рамочная основа для климатического обслуживания (ГРОКО)	Координируемое на глобальном уровне объединение организаций, которые занимаются подготовкой и использованием климатической информации и обслуживания с целью повышения качества и объема климатических услуг во всем мире, и особенно в развивающихся странах.
Деградация криолитозоны, мерзлоты	Уменьшение запасов холода в толще многолетнемерзлых пород под влиянием как природных, так и техногенных факторов, приводящее к сокращению площади распространения, повышению температуры и уменьшению мощности многолетнемерзлых пород вплоть до полного их исчезновения.
Засуха	Длительный период времени в теплый сезон с сильным отрицательным балансом почвенной влаги, обусловленным дефицитом осадков и/или повышенными температурами воздуха, в результате чего иссякают запасы влаги в почве и создаются неблагоприятные условия для нормального развития растений.

Изменение климата	Изменение состояния климатической системы (среднего и изменчивости), которое выявляется с помощью статистических тестов и может продолжаться в течение длительного периода, например, нескольких десятилетий и более. Изменение климата может быть вызвано естественными внутренними процессами или внешними воздействиями, а также антропогенными воздействиями, например, в виде изменений в газовом составе атмосферы и землепользовании. Следует отметить, что в статье 1 Рамочной конвенции Организации Объединенных Наций об изменении климата (РКИК ООН) "изменение климата" определяется следующим образом: "изменение климата, которое прямо или косвенно обусловлено хозяйственной деятельностью человека, вызывающей изменения в составе глобальной атмосферы, и накладывается на естественные колебания климата, наблюдаемые на протяжении сопоставимых периодов времени". Таким образом, РКИК ООН проводит различие между "изменением климата", обусловленным деятельностью человека, и "колебаниями климата", обусловленными естественными причинами.
Изменчивость климата	Колебания среднего состояния и других статистических параметров (таких как стандартные отклонения, повторяемость экстремальных явлений и т. п.), описывающих климат, для всех временных и пространственных масштабов. Изменчивость может быть обусловлена естественными внутренними процессами в самой климатической системе (внутренняя изменчивость) или колебаниями естественного или антропогенного (см.) внешнего воздействия (внешняя изменчивость).
Информационная система климатического обслуживания	Система регулярного сбора, хранения и обработки информации о климате (прошлом, настоящем и будущем) для формирования продукции и обслуживания.
Климат	В узком смысле этого слова климат обычно определяется как "средний режим погоды" или, более строго, как статистическое описание состояния климатической системы, включающее средние значения и изменчивость, описываемой набором климатических переменных в течение достаточно длительного периода времени. По определению Всемирной метеорологической организации, классическим периодом для расчета текущих «климатических норм» считается 30 лет. В более широком смысле климат представляет собой ансамбль возможных состояний климатической системы и его статистическое описание.
Климатическая информация	Данные климатического мониторинга и результаты моделирования.

Климатическая модель	Численное описание климатической системы на основе физических, химических и биологических свойств ее компонентов, их взаимодействий и процессов с обратными связями, которые полностью или частично описывают ее известные свойства. Климатическая система может быть описана с помощью моделей различной степени сложности – т.е. для каждого компонента или комбинации компонентов можно найти соответствующую «иерархию» моделей, отличающихся друг от друга в таких аспектах, как число пространственных измерений, в какой степени в явном виде описываются физические, химические и биологические процессы или до какого уровня осуществляется эмпирическая параметризация. Наиболее полное описание климатической системы обеспечивают глобальные объединенные модели общей циркуляции атмосферы и океана. В последнее время наблюдается тенденция к применению более сложных моделей с использованием интерактивных химических и биологических процессов – так называемых моделей земной системы. Климатические модели применяются в качестве инструмента исследования и прогнозирования климата. Особое место занимают региональные климатические модели – модели сравнительно более высокого разрешения для ограниченных территорий, используемые для пространственной детализации результатов расчетов с глобальными моделями в том или ином регионе.
Климатическая система	Сложная система, состоящая из пяти компонентов: атмосферы, гидросферы, криосферы, поверхности суши и биосферы, и описывающая взаимодействия между ними. Климатическая система изменяется во времени как под воздействием собственной (внутренней) динамики, так и в результате внешних воздействий, например, извержения вулканов, вариаций потока солнечной радиации и воздействий, обусловленных хозяйственной деятельностью человека, таких как изменение состава атмосферы и изменения в землепользовании.
Климатическая продукция	Климатическая информация в преобразованном виде, пригодном для ее специализированного использования потребителем.
Климатически оптимизированное лесное хозяйство	Подход, направленный на объединение мер по смягчению изменения климата с мерами по адаптации к нему, что позволяет повышать устойчивость лесов и обеспечивать баланс между экосистемными услугами, а также удовлетворять потребности населения.

Климатический риск	Вероятность (в течение определенного периода времени) существенных нарушений в нормальном функционировании природных, технических и социальных систем вследствие климатического воздействия (в результате изменений или колебаний климата).
Климатический сценарий	Правдоподобное и зачастую упрощенное описание будущего климата на основе внутренне согласованного набора климатологических связей, которые были построены исключительно для анализа потенциальных последствий изменения климата под воздействием антропогенных факторов, обычно служащих в качестве исходных данных для использования в импактных моделях. В качестве исходного материала для разработки климатических сценариев часто берут прогнозные оценки климата. Однако климатические сценарии требуют, как правило, также дополнительную информацию, например, данные наблюдений за современным климатом. «Сценарий изменения климата» есть разность между климатом, соответствующим некоторому сценарию, и современным климатом.
Климатическое обслуживание	Создание информационной климатической продукции и предоставление ее потребителю с использованием тех или иных средств коммуникации и презентации.
Криолитзона	Часть географического пространства, в которой распространены многолетнемерзлые породы.
Многолетняя мерзлота	Часть литосферы с отрицательной температурой пород, сохраняющейся в течение двух и более последовательных лет.
Опасное гидро-метеорологическое явление	Метеорологическое, агрометеорологическое, гидрологическое и морское гидрометеорологическое явление и (или) комплекс гидрометеорологических величин, которые по своему значению, интенсивности или продолжительности представляют угрозу безопасности людей, а также могут нанести значительный ущерб объектам экономики и населению.
Опустынивание	Деградация земель в засушливых, полузасушливых и сухих субгумидных районах в результате действия различных факторов, в том числе изменения климата и деятельности человека.

Прогноз климата	Оценка будущего состояния климата на временных масштабах от сезона до нескольких лет. Учитывая сложность климатической системы и принципиальную невозможность точного описания начальных условий, такие прогнозы являются, в принципе, вероятностными. Сценарный прогноз климата – оценка (изменения) состояния климата на период от десятилетий до столетий (и более) при заданном сценарии внешнего воздействия на климатическую систему – как правило, антропогенного.
Трансмиссивные болезни	Заболевания человека, возбудителями которых являются паразиты, вирусы и бактерии и передаваемые переносчиками.
Уязвимость к изменению климата	Степень, в которой объекты (системы) восприимчивы к неблагоприятным последствиям изменения климата и не могут справляться с этими последствиями. Уязвимость является функцией характера, величины и скорости климатических воздействий, которым подвергается данная система, а также ее чувствительности и адаптационного потенциала.
Чувствительность к изменению климата	Степень, в которой свойства объекта (системы) изменяются как негативным, так и благоприятным образом в результате климатических воздействий.
Экстремальное погодное явление	Редкое событие по критериям статистического распределения в данном конкретном пункте. Понятие «редкое» варьирует в определенных пределах, но обычно соответствует попаданию в 10%- или 5%-е «хвосты» распределения.

ПРИЛОЖЕНИЕ 2.

ОСНОВНЫЕ СОКРАЩЕНИЯ, ИСПОЛЬЗУЕМЫЕ В ДОКЛАДЕ

АНИИ	Арктический и антарктический научно-исследовательский институт Росгидромета
АЗРФ	Арктическая зона Российской Федерации
АПК	агропромышленный комплекс
АРВЭ	Ассоциация развития возобновляемой энергетики
АЭС	атомная электростанция
ВГИ	Высокогорный геофизический институт Росгидромета
ВИПГЗ	Важнейший инновационный проект государственного значения «Единая национальная система мониторинга климатически активных веществ»
ВИЭ	возобновляемые источники энергии
ВМО	Всемирная метеорологическая организация
ВНИИГМИ-МЦД	Всероссийский научно-исследовательский институт гидрометеорологической информации – Мировой центр данных Росгидромета
ВНИИСХМ	Всероссийский научно-исследовательский институт сельскохозяйственной метеорологии Росгидромета
ВОЗ	Всемирная организация здравоохранения
ВПИК	Всемирная программа исследований климата
ВСАИ	Всемирная служба агрометеорологической информации
ВЭР	ветроэнергетические ресурсы
ГВП	Глобальное водное партнерство
ГГИ	Государственный гидрологический институт Росгидромета
ГГО	Главная геофизическая обсерватория им. А. И. Воейкова Росгидромета
ГСМСММ	Государственная система фонового мониторинга состояния многолетней мерзлоты
ГМЦ (Гидрометцентр)	Гидрометеорологический научно-исследовательский центр России Росгидромета
ГНС	Государственная наблюдательная сеть
ГОИН	Государственный океанографический институт имени Н.Н. Зубова Росгидромета
ГОЭЛРО	государственный план развития электроэнергетической отрасли в Советской России после Октябрьской революции 1917 года
ГРОКО	Глобальная рамочная основа для климатического обслуживания
ГСА	Глобальная служба атмосферы
ГСК	Глобальная служба криосферы
ГСНК	Глобальная система наблюдений за климатом
ГСНО	Глобальная система наблюдений океана
ГФО	Главная физическая обсерватория
ГХИ	Гидрохимический институт
ГЭС	Гидроэлектростанция

ДВНИГМИ	Дальневосточный региональный научно-исследовательский гидрометеорологический институт Росгидромета
ЕСИМО	Единая государственная система информации об обстановке в Мировом океане
ЕТР	Европейская территория России
ИВМ РАН	Институт вычислительной математики им. Г.И. Марчука РАН
ИВП РАН	Институт водных проблем РАН
ИГКЭ	Институт глобального климата и экологии им. акад. Ю.А. Израэля Росгидромета
ИНП РАН	Институт народнохозяйственного прогнозирования РАН
ИПК	Институт повышения квалификации руководящих работников и специалистов
КАГ	Климатически активные газы
КарНЦ РАН	Карельский научный центр РАН
КО	климатическое обслуживание
КПУ	имитационная система «Климат-Почва-Урожай»
ЛЭП	линия электропередачи
МГЭИК	Межправительственная группа экспертов по изменению климата
МОК	Межправительственная океанографическая комиссия ЮНЕСКО
МСМПРК	Многоцелевая Система Моделирования и Прогнозирования Регионального Климата
МЧС	Министерство Российской Федерации по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий
НИУ	научно-исследовательское учреждение
НКФ	Национальный климатический форум
НМГС	Национальные метеорологическая и гидрологическая службы
НПА	Национальный план адаптации
НРОКО	рамочная основа для климатического обслуживания на национальном уровне
ООН	Организация объединенных наций
ООПТ	Особо охраняемая природная территория
ПГ	парниковые газы
ПНАЭ	правила и нормы в атомной энергетике
ПУЭ	правила устройства электроустановок
РАН	Российская академия наук
РЖД	Открытое акционерное общество «Российские железные дороги»
РКИК	Рамочная конвенция ООН об изменении климата
РКМ	региональная климатическая модель
РОИВ	региональные органы исполнительной власти
Росгидромет	Федеральная служба по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды
СЕАКЦ	Северо-Евразийский климатический центр ВМО
СИГОКО	Система интегрированного городского климатического обслуживания

СНиП	строительные нормы и правила
СП	свод правил
ТПКБ	типовой паспорт климатической безопасности территории субъекта Российской Федерации
ТЭС	тепловая электростанция
УГМС	Управление по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды
ФНТП	Федеральная научно-техническая программа
ФНЦА РАН	Федеральный научный центр агроэкологии, комплексных мелиораций и защитного лесоразведения РАН
ФОИВ	федеральные органы исполнительной власти
ЦАО	Центральная аэрологическая обсерватория Росгидромета
ЦГМС	Центр по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды
ЦУР	Цели в области устойчивого развития ООН
ЮНЕП	Программа ООН по окружающей среде (United Nations Environment Programme)
ЮНЕСКО	Специализированное учреждение ООН по вопросам образования, науки и культуры
APCC	Asia-Pacific Economic Cooperation Climate Center (Климатический Центр Азиатско-Тихоокеанского Экономического Содружества)
CALM	Circum-Polar Active-Layer Monitoring (Циркумполярный мониторинг деятельного слоя)
CMIP	Coupled Model Intercomparison Project (Проект сравнения объединенных моделей)
CORDEX	Coordinated Regional Climate Downscaling Experiment (Международный проект для скоординированной оценки будущих климатических изменений в регионах мира с помощью региональных климатических моделей)
ESMO	Earth System Modelling and Observations (Проект ВПИК «Моделирование земной системы и наблюдения»)
NCAS	National Climate Change Adaptation Strategy (Национальная стратегия адаптации к изменению климата)
RIS	Regional Information for Society (Проект ВПИК «Региональная информация для общества»)
SC-AGR	Standing Committee on Services for Agriculture (Комитет по обслуживанию сельского хозяйства в составе SERCOM)
SC-AVI	Standing Committee on Services for Aviation (Комитет по обслуживанию авиации в составе SERCOM)
SC-CLI	Standing Committee on Climate Services (Комитет по климатическому обслуживанию в составе SERCOM)
SC-DRR	Standing Committee on Disaster Risk Reduction and Early Warning Services (Комитет по снижению риска стихийных бедствий в составе SERCOM)
SC-HYD	Standing Committee on Hydrological Services (Комитет по гидрологическому обслуживанию в составе SERCOM)

SC-MMO	Standing Committee on Marine Meteorological and Oceanographic Services (Комитет по морскому метеорологическому и океанографическому обслуживанию в составе SERCOM)
SERCOM	Commission for Weather, Climate, Hydrological, Marine and Related Environmental Services & Applications (Комиссия по погодным, климатическим, гидрологическим, морским и связанным с ними экологическим услугам и применениям ВМО)
SG-ENE	Study group on Integrated Energy Services (Исследовательская группа по интегрированному обслуживанию энергетики в составе SERCOM)
SG-HEA	Study Group on Integrated Health Services (Исследовательская группа по интегрированному обслуживанию здравоохранения в составе SERCOM)
TSP	Thermal State of Permafrost (термическое состояние мерзлоты)
VIACS	Vulnerability, Impacts, Adaptation and Climate Services Advisory Board (Консультативный совет по проблеме «Уязвимость. Воздействия. Адаптация. Климатическое обслуживание»)

ДОКЛАД
О СОСТОЯНИИ И ПЕРСПЕКТИВАХ КЛИМАТИЧЕСКОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ
В РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ В УСЛОВИЯХ ИЗМЕНЕНИЯ КЛИМАТА

Подписано к печати 18.04.2025 г.

Формат 60х84 1/8. Бумага офсетная

Тираж 300 шт. Заказ 5-1667-В.

Изготовлено в ООО «Типография Экспресс В2В»
196105, Санкт-Петербург, Благодатная ул., 69.

ISBN 978-5-6053818-0-8

