



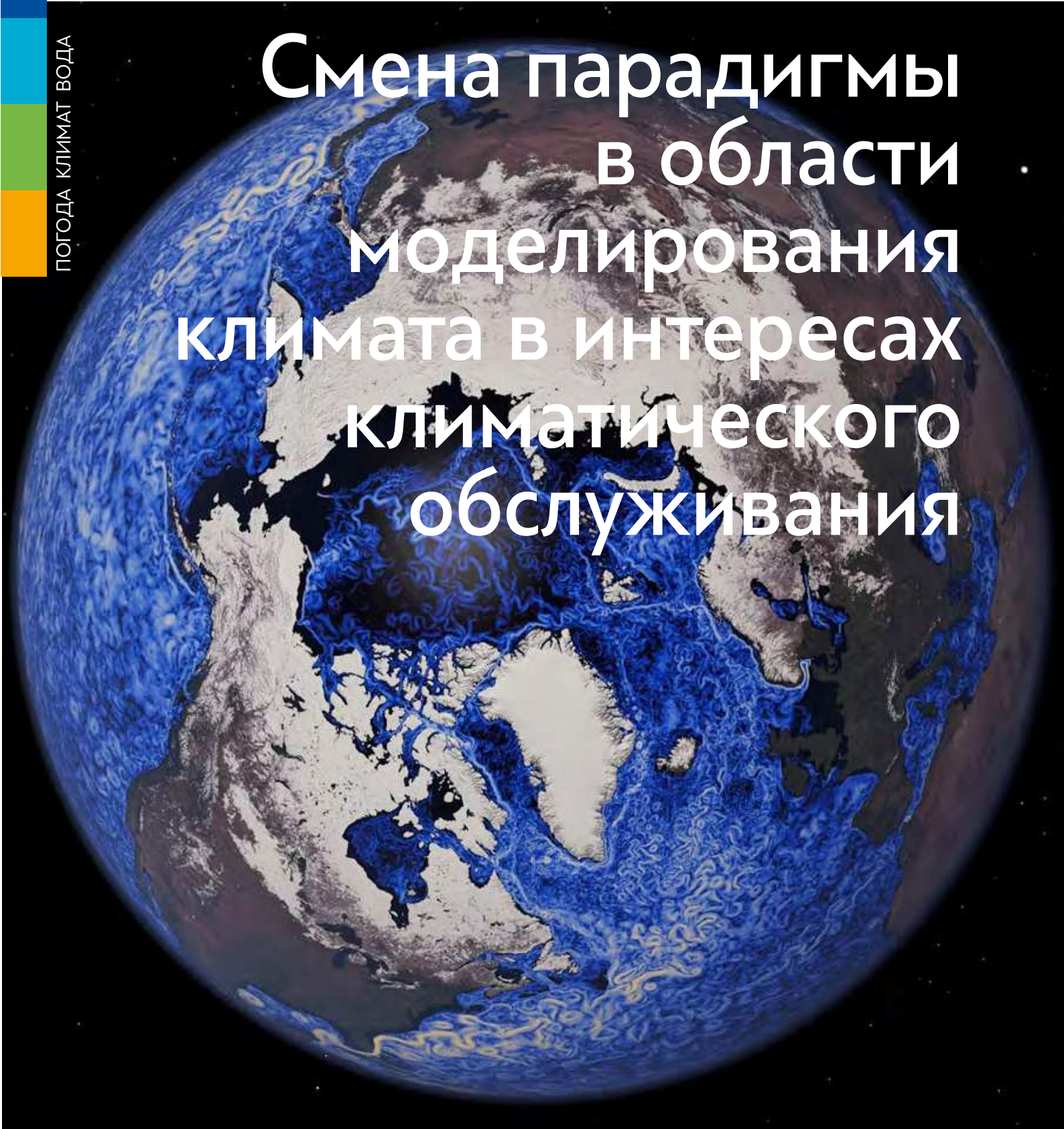
ВСЕМИРНАЯ
МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКАЯ
ОРГАНИЗАЦИЯ



БЮЛЛЕТЕНЬ

Том 72 (2) — 2023 г.

ПОГОДА КЛИМАТ ВОДА



Смена парадигмы
в области
моделирования
климата в интересах
климатического
обслуживания

БЮЛЛЕТЕНЬ ВМО

Журнал Всемирной метеорологической организации

Том 72 (2) — 2023 г.

Генеральный секретарь П. Таалас
Заместитель
Генерального секретаря Е. Манаенкова
Помощник
Генерального секретаря В. Чжан

Бюллетень ВМО издается два раза в год на английском, испанском, русском и французском языках.

Редактор С. Кастонгэ

Редакционная коллегия
Е. Манаенкова (председатель)
П. Эгертон (политика)
Й. Стандер (обслуживание)
Й. Лютенбахер (наука, инновации)
Ф. Луисиу (обслуживание Членов)
Н. Став (инфраструктура)
Т. Кимура (государственно-частное взаимодействие)

© Всемирная метеорологическая организация, 2023

Право на опубликование в печатной, электронной или какой-либо иной форме на каком-либо языке сохраняется за ВМО. Небольшие выдержки из публикаций ВМО могут воспроизводиться без разрешения при условии четкого указания источника в полном объеме. Корреспонденцию редакционного характера и запросы в отношении частичного или полного опубликования, воспроизведения или перевода настоящей публикации (статей) следует направлять по адресу:

Chair, Publications Board
World Meteorological Organization (WMO)
7 bis, avenue de la Paix Тел.: +41 (0) 22 730 84 03
P.O. Box 2300 Эл. почта: publications@wmo.int
CH-1211 Geneva 2,
Switzerland

Обозначения, употребляемые в публикациях ВМО, а также изложение материала в настоящей публикации не означают выражения со стороны ВМО какого бы то ни было мнения в отношении правового статуса какой-либо страны, территории, города или района или их властей, а также в отношении делимитации их границ.

Упоминание отдельных компаний или какой-либо продукции не означает, что они одобрены или рекомендованы ВМО и что им отдается предпочтение перед другими аналогичными, но не упомянутыми или не прорекламированными компаниями или продукцией.

Мнения, выводы, объяснения и заключения, представленные в статьях и объявлениях Бюллетеня ВМО, принадлежат авторам и рекламодателям и не обязательно отражают точку зрения ВМО или ее Членов.

На обложке: отображение океанических вихрей и снежного покрова на суше, полученное в результате сопряженного моделирования с использованием модели ICON с горизонтальным разрешением 1,25 км (IMPI-M, DKRZ и NVIDIA)

Содержание

Предисловие

Петтери Таалас 3

Новые направления в моделировании климата: взгляд с позиций Всемирной программы исследований климата

Грегори М. Флато, Джон Данн, Бэйлор Фокс-Кемпер,
Эндрю Геттельман, Хелен Хьюитт, Татьяна Ильина,
Кэт Сениор, Майкл Спарроу, Детлеф Штаммер,
Сюзанн Тегтмайер и Пьер Луиджи Видаль 4

Климатические проекции в рамках следующего этапа проекта по сравнению совмещенных моделей

Джон Данн, Элен Хьюитт, Сюзанн Тегтмайер, Кэт
Сениор, Татьяна Ильина, Бейлор Фокс-Кемпер и
Элеонора О'Рурк 7

Моделирование земной системы в километровом масштабе: новая парадигма для прогнозирования климата

Эндрю Геттельман, Бэйлор Фокс-Кемпер,
Грегори Флато, Даниэль Клоке, Детлеф Штаммер,
Бьорн Стивенс и Пьер Луиджи Видаль 14

Климатическое обслуживание на основе климатических предсказаний и проекций

Крис Хьюитт и Вильфран Муфума-Окиа,
Секретариат ВМО. 19

Лекция лауреата премии ММО

Сью Баррелл 25

Интервью со Сью Баррелл, лауреатом премии ММО

Сильви Кастонгэ, Секретариат ВМО 32



Предисловие

Согласно последним докладам ВМО и [Межправительственной группы экспертов по изменению климата \(МГЭИК\)](#), изменение климата уже очень заметно. Каждый год мы устанавливаем всё менее комфортные рекорды в реальной атмосфере. Это касается концентрации основных парниковых газов, таяния ледников, повышения уровня моря, теплосодержания океанов, количества экстремальных погодных явлений и связанных с ними экономических, а иногда и людских потерь. Для достижения целей Парижского соглашения [Рамочной конвенции ООН об изменении климата](#) необходимо повысить уровень амбициозности мер по смягчению последствий изменения климата.

Помимо смягчения последствий необходима адаптация, поскольку негативные тенденции в погодных условиях сохранятся как минимум до 2060-х годов. К сожалению, таяние ледников и повышение уровня моря продолжатся в ближайшие столетия из-за и без того высокой концентрации углекислого газа.

Также очень важно предоставить модельные расчеты будущего климата. Современные и прошлые климатические модели очень полезны для оценки эволюции таких климатических показателей, как температура, количество осадков и влажность почвы. Имеются ограничения в нашем понимании будущего экстремальных погодных явлений, например скорости

таяния антарктического ледника, что является одним из ключевых факторов будущего повышения уровня моря.

Научно-консультативная группа ВМО и [Всемирная программа исследований климата](#) рекомендовали изучить возможности создания климатических моделей с километровым разрешением, чтобы иметь возможность более точно параметризовать физику облаков, экстремальные погодные явления и взаимодействие океана и ледяного покрова. Этого можно достичь, создав на первых порах виртуальные коалиции с необходимыми высокопроизводительными вычислительными ресурсами. Усилия по моделированию с километровым разрешением дополнят усилия по моделированию климата, предпринимаемые в настоящее время. В лучшем случае и те и другие усилия в области моделирования будут способствовать подготовке Седьмого оценочного доклада МГЭИК и послужат стимулом для более амбициозных усилий по смягчению последствий изменения климата и адаптации к ним.

Профессор Петтери Таалас
Генеральный секретарь
Всемирной метеорологической организации

Новые направления в моделировании климата: взгляд с позиций Всемирной программы исследований климата

Грегори М. Флато¹, Джон Данн², Бэйлор Фокс-Кемпер³, Эндрю Геттельман⁴, Хелен Хьюитт⁵, Татьяна Ильина⁶, Кэт Сениор⁵, Майкл Спарроу⁷, Детлеф Штаммер⁶, Сюзанн Тегтмайер⁸ и Пьер Луиджи Видаль⁹

Всемирная программа исследований климата* (ВПИК) представила новые основные проекты и знаковые направления деятельности, которые обещают повысить качество климатического обслуживания и доступность климатической информации во всем мире. ВПИК будет поощрять и координировать деятельность по моделированию глобального и регионального климата, включая оценку моделей, модельные расчеты новых климатических сценариев и возможности глобального и регионального моделирования с высоким разрешением, в рамках своих новых основных проектов и знаковых направлений деятельности.

Новые направления деятельности опираются на многолетние инициативы ВПИК, такие как Проект по сравнению совмещенных моделей (ПССМ), шестой этап которого близится к завершению. ПССМ использует стандартизированный набор экспериментов с глобальными климатическими моделями — модельные расчеты, специализированные исследования чувствительности и проекции на будущее, которые проводятся центрами моделирования климата по всему миру. Стандартизированная схема экспериментов и заданное воздействие позволяют в некоторой степени охарактеризовать неопределенность модели, отдельно от неопределенности будущих траекторий выбросов. Кроме того, центры моделирования используют общую структуру и формат данных и распространяют их, используя глобальную интегрированную платформу (*the Earth System Grid Federation, ESGF*); (Федеративная грид-система обработки данных о Земле, ФГСОДЗ). Это позволяет добиться того, что исследователи во всем мире могут получить доступ к результатам моделирования и провести постоянно растущий

спектр анализов для всё более полного сравнения результатов моделирования с данными наблюдений и оценки эффективности моделирования с помощью ряда общих инструментов. (Подробнее об этом читайте в двух следующих статьях в этом выпуске *Бюллетеня*.)

Результаты ПССМ стали важнейшим вкладом в национальные и международные оценки климата. Например, *Intergovernmental Panel on Climate Change's (IPCC) Interactive Atlas* (Интерактивный атлас Межправительственной группы экспертов по изменению климата (МГЭИК)) в значительной степени опирается на результаты моделей ПССМ для предоставления количественных проекций будущего климата при различных сценариях выбросов парниковых газов. Тот факт, что несколько моделей дают такие проекции, используя одно и то же воздействие, позволяет напрямую проиллюстрировать и количественно оценить неопределенность, связанную с модельным представлением различных процессов, и неопределенность, связанную с неизвестной будущей деятельностью человека и связанными с ней выбросами. Пример этого показан на рисунке 1 в отношении проекций средней глобальной приземной температуры. Результаты такого рода имеют большое значение для международных дискуссий по климатической политике, поскольку они устанавливают прямую связь между альтернативными будущими траекториями выбросов и будущим потеплением, тем самым увязывая необходимые меры по смягчению последствий с целевыми показателями температуры, как это предусмотрено в Парижском соглашении Рамочной конвенции ООН об изменении климата (РКИК ООН). Интерактивный атлас МГЭИК используется многими странами, особенно теми, у которых нет собственной национальной методологии оценки климата.

1 Министерство окружающей среды и изменения климата Канады.

2 Отдел океанических и атмосферных исследований (ОАИ) Национального управления по исследованию океанов и атмосферы (НУОА), Лаборатория геофизической гидродинамики (ЛГГД), Соединенные Штаты Америки (США).

3 Факультет наук о Земле, окружающей среде и планетах (ФНЗОСП), Университет имени Брауна.

4 Национальная лаборатория по исследованиям северо-западной части Тихого океана, США.

5 Центр имени Гадлея Метеорологического бюро, Метеорологическое бюро, Соединенное Королевство (СК).

6 Центр по исследованиям и устойчивому развитию системы Земля (ЦИУРСЗ), Гамбургский университет; Центр имени Гельмгольца HEREON; Институт метеорологии имени Макса Планка.

7 Всемирная программа исследований климата (ВПИК), совместно финансируемая ВМО, Межправительственной океанографической комиссией ЮНЕСКО (МОК ЮНЕСКО) и Международным советом по науке (МСН).

8 Институт космических и атмосферных исследований, Университет провинции Саскачеван.

9 Национальный центр атмосферных наук (НЦАН), факультет метеорологии, Университет Рединга.

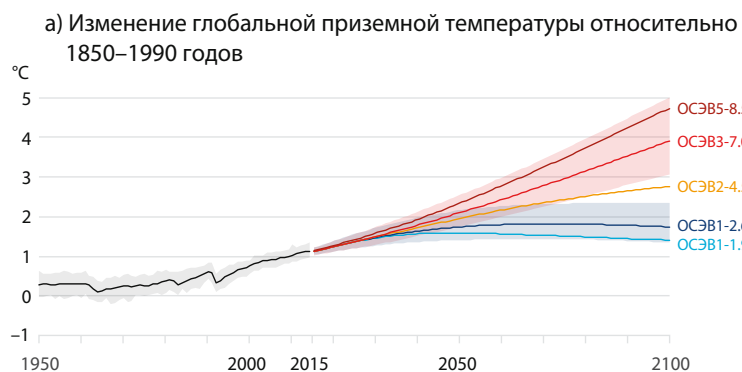


Рисунок 1. Изменение средней глобальной приземной температуры воздуха относительно периода 1850–1990 годов согласно различных сценариев выбросов (обозначены как ОСЭВ-у.у.). Штрихованный диапазон вокруг сценариев ОСЭВ1-2.6 и ОСЭВ3-7.0 отображает разброс результатов моделей ПССМ для этих сценариев. Подобные результаты показывают, что к концу столетия неопределенность, связанная с будущими выбросами, будет гораздо больше, чем различия в результатах моделей. (Рисунок РП8а) из Резюме для политиков на основе доклада Рабочей группы I МГЭИК (МГЭИК, 2021).

Тесно связанная с ПССМ, ВПИК также организует [Скоординированный эксперимент по даунскейлингу региональных климатических моделей](#) (КОРДЭКС), в котором участвуют региональные климатические модели, работающие в доменах континентального размера с гораздо более высоким разрешением, чем глобальные модели ПССМ. Результаты КОРДЭКС обеспечивают «окна» с прогнозами будущего климата с более высоким разрешением в различных регионах и особенно ценны для прогнозирования последствий изменения климата, используемого сообществами исследователей в области адаптации, такими как авторы Рабочей группы II МГЭИК. Более высокое разрешение КОРДЭКС позволяет лучше понять экстремальные погодные условия в пределах целевых окон.

Совместно проекты ПССМ и КОРДЭКС вносят существенный вклад в планирование мер по адаптации к климату и смягчению его воздействий и служат основой для получения значительной части количественной информации для климатического обслуживания, которая помогает специалистам-практикам и лицам, принимающим решения, во всем мире.

Новые проекты и направления деятельности

С момента своего создания в 1980 году ВПИК развивалась таким образом, чтобы оставаться на переднем крае науки о климате и обеспечивать соответствие своей структуры и программ потребностям как научного, так и пользовательского сообществ. В последнее время ВПИК провела некоторую реорганизацию, чтобы эффективнее управлять различными инициативами по моделированию климата и наблюдениям. В 2020 году были развернуты два новых основных проекта. Первый проект — [Earth System Modelling and Observations \(ESMO\)](#) (Моделирование системы Земля и наблюдения за ее состоянием (МСЗН)) — направлен на совершенствование предсказаний и проекций системы Земля во временных масштабах от недель до веков. Это будет достигаться путем дальнейшего развития комплексных структур для моделирования и наблюдений, совершенствования мониторинга, понимания и установления причин изменений и воздействий системы Земля с надежной оценкой неопределенности, а также путем развития

и использования новых технологий в моделировании и наблюдениях. Некоторые существующие рабочие группы ВПИК, например Рабочая группа по сопряженному моделированию и ее подкомитет по ПССМ, теперь входят в состав МСЗН.

Второй проект — [Regional Information for Society \(RIfS\)](#) (Региональная информация для общества (РИДО)) — направлен на укрепление связей между климатическими исследованиями и информационными потребностями общества. Используя благоприятную совместно разрабатываемую/совместно реализуемую структуру, разработчики РИДО обещают опираться на основные принципы исследований, чтобы предоставлять действенную информацию, объединяющую лучшие научные данные, наиболее актуальные для каждого контекста принятия решений. Таким образом, со временем РИДО будет адаптивно реагировать на меняющиеся потребности общества. РИДО включает в себя инициативу КОРДЭКС. Эти новые основные проекты присоединились к прекрасной компании [других основных проектов](#): КЛИК КЛИВАР, ГЭВЭКС и СПАРК.

В дополнение к этим новым основным проектам ВПИК также разрабатывает несколько знаковых [направлений деятельности](#), чтобы сосредоточить усилия на конкретных высокоприоритетных темах. Одно из таких направлений — [Digital Earths](#) («Цифровая земля») — стимулирует развитие моделирования системы Земля с высоким разрешением (горизонтальный масштаб < 10 км) и использование миллиардов наблюдений с помощью цифровых технологий, таких как высокопроизводительные вычисления (ВПВ), большие данные и методологии искусственного интеллекта (ИИ). Моделирование регионального и глобального климата с высоким разрешением технически возможно, а также необходимо для моделирования экстремальных погодных явлений в условиях изменения климата. Моделирование с высоким разрешением также необходимо для связи с моделями антропогенных систем — водопроводных систем, энергетических сетей, городских районов и т. д., чтобы перевести воздействия климата в плоскость воздействий на человеческое общество. Хотя модели с километровым разрешением не смогут устранить все неопределенности, связанные с предсказанием и проекциями будущего климата, «Цифровая земля» будет способствовать развитию инноваций, которые

обеспечат международному сообществу исследователей климата возможность в полной мере использовать преимущества новых и захватывающих технологий.

Общая цель деятельности в рамках проекта «Цифровая Земля» заключается в проведении исследований, способствующих созданию комплексных интерактивных цифровых информационных систем, охватывающих прошлое, настоящее и будущее нашей планеты. Это включает обеспечение увязки с наблюдениями и критически важной увязки с моделями антропогенных систем. Признавая, что «Цифровая Земля» имеет отношение к деятельности ВМО за рамками ВПИК, рассматривается установление связей с Всемирной программой метеорологических исследований и [Глобальной службой атмосфер](#)ы.

Еще одно знаковое направление деятельности — [Explaining and Predicting Earth System Change \(EPESC\)](#) (Объяснение и предсказание изменений в системе Земля» (ОПИСЗ)) — будет направлено на разработку надежной политики по смягчению последствий изменений климата и адаптации к ним. Для этого требуется количественное понимание того, как и почему происходят конкретные изменения в системе Земля и что может произойти в будущем. Количественное объяснение наблюдаемых изменений посредством надежного обнаружения и установления причин на основе процессов также имеет основополагающее значение для определения достоверности оценок, предсказаний и проекций климата. Однако потенциал для реализации этих возможностей совсем не развит. Главная цель этого направления деятельности заключается в том, чтобы разработать и предпринять важные шаги по созданию комплексного потенциала для количественного наблюдения, объяснения, заблаговременного предупреждения и прогнозирования изменений в системе Земля в глобальном и региональном масштабах с акцентом на многолетние и десятилетние временные шкалы.

Это направление включает три темы:

- наблюдение и моделирование изменений в системе Земля;
- комплексная система, обеспечивающая установление причин, предсказания и проекции (включая заблаговременное предупреждение и возможность резких изменений);
- оценка текущих и будущих опасных явлений.

Состояние дел и планы

Новые основные проекты и знаковые направления деятельности ВПИК уже осуществляются. На открытой научной конференции ВПИК, которая проводится раз в десятилетие и в 2023 году проходила в Кигали (Руанда) с 23 по 27 октября, было проведено множество заседаний, непосредственно связанных с новой деятельностью по моделированию климата, что дало возможность ученым из развитых и развивающихся стран обсудить приоритеты.

Шестой этап ПССМ скоро завершится, и сейчас идет активное планирование седьмого этапа с новыми мероприятиями в области моделирования климата с высоким разрешением. В одной из последующих статей этого *бюллетеня* — *Climate Services Based on Climate Predictions and Projections* (Климатическое обслуживание на основе климатических предсказаний и проекций) — будет рассказано о том, как РИДО дополняет усилия ВМО по расширению климатического обслуживания и доступности климатической информации во всем мире.

ВПИК будет продолжать обеспечивать доступность выходных результатов климатических моделей для оценки, надлежащее определение и документирование новых климатических сценариев, а также всестороннее участие сообщества ВПИК в предварительной проработке и написании оценочных докладов МГЭИК. В более широком смысле результаты проектов и деятельности ВПИК будут и впредь способствовать научному обоснованию национальной и международной климатической политики и усилий по смягчению последствий изменения климата, как, например, усилий, связанных с Парижским соглашением.

Более подробную информацию о полном спектре деятельности ВПИК можно найти на сайте ВПИК <https://www.wcrp-climate.org/>.

* ВПИК, совместно финансируемая ВМО, Международным советом по науке (бывший МСНС) и Межправительственной океанографической комиссией ЮНЕСКО, координирует международные климатические исследования с целью развития, обмена и применения знаний о климате, способствующих благосостоянию общества, и содействует их проведению. Программа стала инициатором многих важных многонациональных мероприятий по исследованию климата и создала институциональные структуры, которые продолжают служить сообществам, занимающимся как наукой о климате, так и предоставлением обслуживания.

Литература:

МГЭИК, 2021: Резюме для политиков. В: Изменение климата, 2021 год: Физическая научная основа. Вклад Рабочей группы I в Шестой оценочный доклад Межправительственной группы экспертов по изменению климата [Массон-Дельмотт, М.П. Чжай, А. Пирани, С.Л. Коннорс, К. Пеан, С. Бергер, Н. Кауд, Ю. Чэнь, Л. Голдфарб, М.И. Гомис, М. Хуан, К. Лейтцелл, Э. Лонной, Дж. Б.Р. Мэтьюз, Т.К. Мэйкок, Т. Уотерфилд, О. Йелекчи, Р.Ю. и Б. Чжоу (ред.)].

Ссылки по теме

[Использование научных исследований системы Земля, соответствующих технологий и обслуживания для снижения риска бедствий — вклад ВМО. Бюллетень ВМО 71\(1\), 2022 г.](#)

[Towards Kilometre-scale Earth System Modelling – Meteoworld March 2023, WMO](#) (На пути к моделированию земной системы в километровом масштабе — Meteoworld March 2023, WMO)

Климатические проекции в рамках следующего этапа проекта по сравнению совмещенных моделей

Джон Данн¹, Элен Хьюитт², Сюзанн Тегтмайер³, Кэт Сениор⁴, Татьяна Ильина⁴, Бейлор Фокс-Кемпер⁵ и Элеонора О'Рурк⁶

Существует настоятельная необходимость в больших ансамблевых моделях климата с высоким разрешением и точностью, поскольку страны рассматривают местные усилия по смягчению последствий изменения климата и адаптации к ним в контексте повышения энергоэффективности и перехода к использованию новых источников энергии. На Проект по сравнению совмещенных моделей (ПССМ), развернутый Всемирной программой исследований климата (ВПИК) в 1995 году, возлагаются большие надежды в рамках его седьмого этапа (ПССМ7). Во время ПССМ6, который подходит к завершению, сделано много революционных открытий, особенно в области моделей системы Земля (МСЗ), но многие научные вопросы остаются без ответа. ПССМ7 будет стремиться решать эти проблемы и находить ответы на новые возникшие вопросы, одновременно акцентируя внимание на предоставлении климатического обслуживания, которое будет использоваться для принятия решений по смягчению последствий изменения климата и адаптации к ним на местном уровне.

Проекция изменения климата зависят от совмещенных моделей атмосфера-океан, которые позволяют получить модели будущего климата, согласующиеся с физическими процессами, лежащими в их основе. Инициализация таких моделей выполняется с использованием моделей современного состояния климата или наблюдений за ним и определяется сценариями внешних воздействий, таких как солнечное и вулканическое воздействие, выбросы парниковых газов, аэрозолей и изменения в землепользовании. ВПИК возглавила эту работу, создав ПССМ (Meehl, 2023). Неопределенности, связанные со структурой, сценариями и внутренней изменчивостью, приводят к целому ряду возможных результатов

для будущего климата (Hawkins and Sutton, 2009). ПССМ позволил охарактеризовать и понять неопределенности в будущих проекциях, сделанных различными центрами моделирования. Результаты ПССМ оказались важными для оценочных докладов Межправительственной группы экспертов по изменению климата (МГЭИК) о прошлых и возможных будущих изменениях климата. С годами прогнозы ПССМ в региональных масштабах становятся все более важными для разработчиков политики, а тесно связанный с ними [Скоординированный эксперимент по даунскейлингу региональных климатических моделей \(КОРДЭКС\)](#) обеспечивает еще большую детализацию, необходимую для принятия решений.

Меняющийся климат и модели системы Земля (МСЗ)

Основная цель ПССМ состоит в том, чтобы добиться лучшего понимания прошлого, настоящего и будущего климата в поддержку научных приоритетов ВПИК. Самые ранние совмещенные модели атмосфера-океан включали только «болотные океаны», а криосфера и биосфера оставались постоянными (Manabe and Stouffer, 1980). Более поздние поколения моделей отображали балансы массы, импульса и энергии системы Земля посредством сочетания динамических уравнений движения в атмосфере и океане, не поддающихся описанию физических процессов и термодинамики взаимодействия между радиацией, облаками, аэрозолями, криосферой, экосистемами и антропогенными системами.

1 Отдел океанических и атмосферных исследований (ОАИ) Национального управления по исследованию океанов и атмосферы (НУОА), [Лаборатория геофизической гидродинамики](#) (ЛГГД), Соединенные Штаты Америки (США).

2 [Метеорологическое бюро](#), Соединенное Королевство (СК).

3 [Институт космических и атмосферных исследований](#), Университет провинции Саскачеван, Канада.

4 [Центр по исследованиям и устойчивому развитию системы Земля](#) (ЦИУРСЗ), Гамбургский университет; [Центр имени Гельмгольца HEREON](#); [Институт метеорологии имени Макса Планка](#).

5 [Факультет наук о Земле, окружающей среде и планетах](#) (ФНЗОСП), Университет имени Брауна.

6 Всемирная программа исследований климата (ВПИК), Проект по сравнению совмещенных моделей (ПССМ) [Бюро по международным проектам](#), Европейский центр по спутниковым применениям и телекоммуникациям (ЕЦСПТ), Научный и инновационный кампус Harwell, СК.

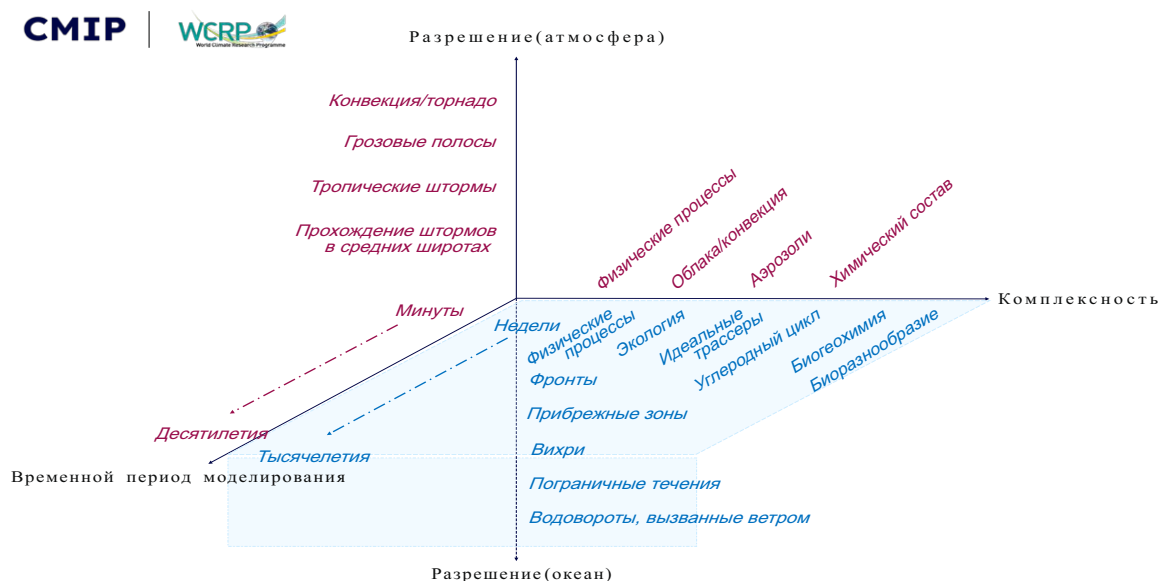


Рисунок 1. Моделирование системы Земля оптимизировано с учетом разрешения, сложности и временного масштаба моделирования. Атмосферные параметры показаны красным цветом, а океанские — синим. Обратите внимание, что такие факторы, как ансамбли, эксперименты/сценарии, точность, достоверность, доступность и осведомленность также играют роль в стремлении к эффективности и надежности.

Растущая потребность общества в подробной информации об изменении климата привела к значительному улучшению в описании системы Земля с помощью моделей с различным разрешением — от десятков градусов до четверти градуса — и в обеспечении комплексного характера. Современные МСЗ обеспечивают описание физического климата, интерактивных углеродных циклов, химического состава, аэрозолей, биогеохимического состава, экосистем и антропогенных факторов. Они также обеспечивают повышенную детализацию с помощью ансамблей моделей, что позволяет оценить структурную неопределенность, обнаружение и установление причин, предсказуемость и экстремальные явления (рис. 1). По мере того, как актуальность проблемы изменения климата возрастает на протяжении десятилетий, возрастает и сложность предпринимаемых усилий, параллельно с совершенствованием моделей (Meehl, 2023).

История проекций климата

Проекция изменения климата, полученные с помощью климатических моделей, изначально основывались на идеализированном увеличении двуокиси углерода (CO_2) в два раза (Meehl, 2023). Ученые смогли использовать эти идеализированные эксперименты для оценки равновесной чувствительности климата (Manabe and Stouffer, 1980). Вскоре они добавили эксперименты, в которых CO_2 увеличивали на 1 % в год, чтобы оценить переходную реакцию климата (Mitchell et al., 1990). Таково было состояние науки на первом и втором этапах ПССМ. Вслед за этим идеализированным моделированием появились комплекты более реалистичных исторических и прогнозируемых

сценариев в рамках Специального доклада о сценариях выбросов (1992), использованных в ПССМ3 (Meehl et al., 2004), репрезентативные траектории концентраций (РТК) — в ПССМ5 (Taylor et al., 2012) и совместные социально-экономические пути (ССП); (O'Neill et al., 2016) — в ПССМ6 (Eyring et al., 2016). В каждом случае проекции включали ряд сценариев — от очень высоких выбросов до очень низких, чтобы максимально охватить предполагаемую неопределенность. В Шестом оценочном доклад (ОД6) (Lee et al., 2021) результаты ПССМ6 позволили получить проекции климата, включая изменения ключевых показателей в различных сферах системы Земля.

Наследие ПССМ6

Чтобы содействовать эффективному и полезному применению климатических моделей для проведения сравнения между моделями, ПССМ опирается на распределенную и консолидированную инфраструктуру и стандарты сообщества для предоставления модельных данных по результатам скоординированных экспериментов. В рамках ПССМ6 координировалось 24 отдельных научных сравнения моделей для улучшения понимания процессов и оценки реакции на воздействие, систематических смещений, изменчивости и предсказуемости в соответствии с Основными научными задачами ВПИК (Eyring et al., 2016). В данной связи было предоставлено более 25 петабайтов данных, которые были размещены в более чем 30 узлах данных по всему миру.

Проекция ПССМ6 способствовали продвижению научного понимания в ряде областей. Основные моменты включают общее описание реакций

климата при различных сценариях смягчения воздействий (Tebaldi et al., 2020), снижение неопределенности как в эффективном радиационном воздействии (Smith et al., 2020), так и в реакции климата с возникающими ограничениями для увязки межмодельного разброса и наблюдений (Brient, 2020) с улучшенным набором моделей (например, Notz et al., 2020; Roach et al., 2020). CMIP6 обеспечил четкое разделение неопределенности, обусловленной структурой модели, сценарием и внутренней изменчивостью (Lehner et al., 2020), улучшенную количественную оценку факторов, регулирующих наличие воды на суше через испарение и муссонные изменения (например, Wang et al., 2020), характеристику рисков климатических экстремумов температуры и осадков (Kim et al., 2020). Полностью совмещенные модели углерод-климат, включенные в МСЗ, характеризуют переходную реакцию климата на кумулятивные выбросы (Arora et al., 2020), а интерактивные модели химии атмосферы позволяют охарактеризовать краткосрочные климатические факторы, оказывающие влияние как на климат, так и на загрязнение воздуха (Allen et al., 2020, Turnock et al., 2020). Для оценки будущих тенденций использовались модели, описывающие тропические циклоны (Roberts et al., 2020). Одним из показателей влияния ПССМ6 является количество цитирований: за последние семь лет на обзорный документ ПССМ6 (Eyring et al., 2016) и описание [проекта по сценарному сравнению моделей](#) (ScenarioMIP) (O'Neill et al., 2016) было сделано более 7 500 ссылок.

Проекции климатических моделей, предоставленные в рамках ПССМ, позволяют получать

широкий спектр услуг сообществам, занимающимся вопросами обслуживания, воздействия, смягчения последствий и адаптации, на протяжении всей истории существования МГЭИК. По мере роста полезности моделей, применение физических наук и применения, касающиеся воздействия на окружающую среду, росли в геометрической прогрессии (см. статью *Climate Services Based on Climate Prediction and Projections* (Климатическое обслуживание на основе климатических предсказаний и проекций) в этом номере). При нынешнем состоянии климатических моделей, способных описывать изменяющиеся условия в континентальном и более мелком масштабе, предпринимаются региональные усилия по даунскейлингу с твердым намерением использовать полученную информацию на национальном уровне для поддержки планирования мер, касающихся уязвимости и адаптации, с помощью таких инициатив, как Межсекторальный проект по сравнению моделей воздействий (Warszawski et al., 2014), Консультативный совет по уязвимости, воздействиям, адаптации и климатическому обслуживанию (Ruane et al., 2016), Скоординированный эксперимент по даунскейлингу региональных климатических моделей (КОРДЭКС; Giorgi, F., & Gutowski Jr., W. J., 2015), а также национальных оценок. Например, [Интерактивный атлас](#) ОД6 МГЭИК призван содействовать таким усилиям, опираясь на ПССМ6 и данные наблюдений по всему миру. Эти сообщества, занимающиеся широким кругом вопросов, стали ключевыми партнерами ПССМ как в совместной разработке диагностических приоритетов, необходимых для анализа воздействий, так

Равновесная чувствительность климата (метод Грегори) и Переходная реакция климата

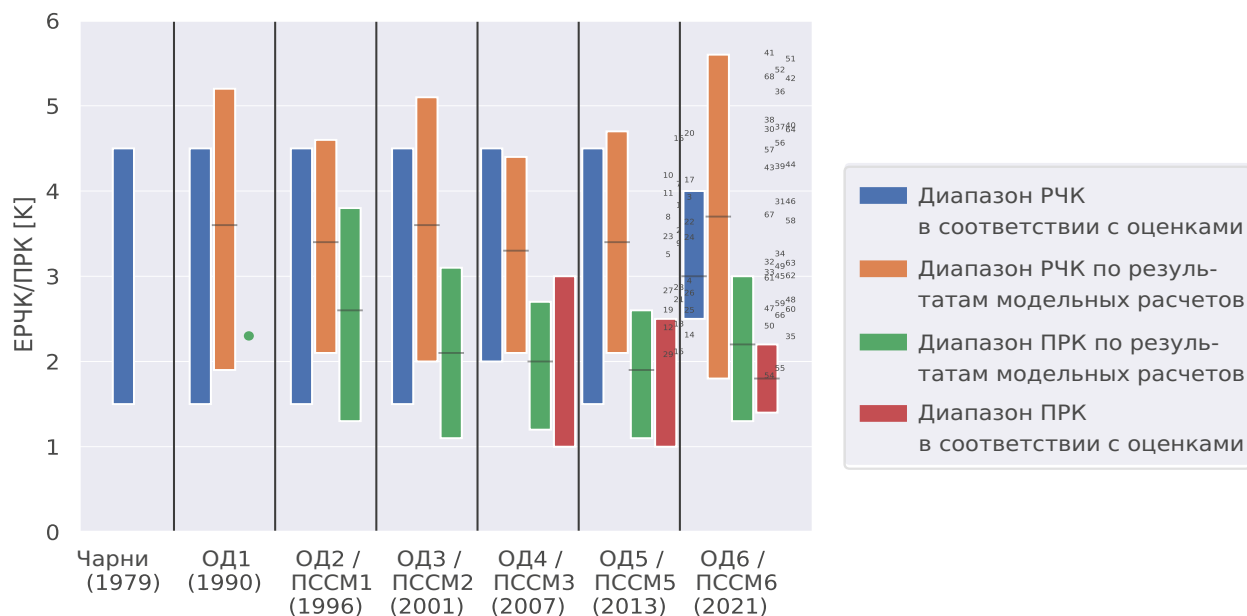


Рисунок 2: Исторические значения РЧК и ПРК из публикации Meehl et al., 2020, в сравнении с «вероятным диапазоном» РЧК МГЭИК ОД6, составляющим 2,5–4,0 К (обозначен синим цветом) и «вероятным диапазоном» ПРК, составляющим 1,4–2,2 (обозначен красным цветом) (изменения внесены Мануэлем Шлундом).

и в итеративном выявлении погрешностей моделей, ограничивающих эти применения. По мере того, как страны рассматривают меры по смягчению последствий и адаптации, такие как энергоэффективность и переход на новые источники энергии, растет потребность в более крупных ансамблях с высоким разрешением для поддержки более высокой детализации при обнаружении и установлении причин для удовлетворения более локализованных и отраслевых потребностей, чем это было возможно ранее.

Какое научное направление предусматривается для ПССМ7?

После ПССМ6 остаются различные научные вопросы и появились новые, которые предстоит решить на следующем этапе (ПССМ7). К их числу относятся вопросы о диапазоне чувствительности климата, который стал более неопределенным в расчетах по ансамблю моделей ПССМ6 даже тогда, когда ограничения, связанные с воздействием и наблюдениями, стали более определенными (Meehl et al., 2020; рисунок 2). В ОД6 также подчеркивается глубокая неопределенность в проекциях повышения уровня моря (Kopp et al., 2023). Более точная характеристика региональных выбросов аэрозолей и изменчивости имеет критически важное значение для реалистичного моделирования региональных реакций температуры, осадков и качества воздуха, при этом задача еще более усложняется в связи с ролью, которую играют пыль, огонь и морская соль. В более долгосрочной перспективе существует широкий спектр потенциальных климатических переломных моментов, включая большую неопределенность в отношении реакции CO_2 и CH_4 (метана) на почвы — в частности в отношении посреднической роли микроорганизмов в болотах и вечной мерзлоте (American Society of Microbiology, 2023) — что ограничивает определенность в отношении остающихся углеродных бюджетов и стабильности климата. Вопрос об эффективности смягчения воздействий на климат и непредвиденных последствиях становится все более актуальным и требует целенаправленных модельных экспериментов. Кроме того, необходимо лучше понимать, как экстремальные явления и их увязка с такими режимами изменчивости, как Эль-Ниньо/Южное колебание, будут меняться в будущем.

В то время как ранние климатические модели предусматривали необходимость воздействия со стороны концентраций парниковых газов и опирались на модели комплексной оценки, чтобы оценивать выбросы на основе концентраций, сегодня в нескольких центрах моделирования имеются МСЗ, способные моделировать внутренне согласованные углеродные циклы и воздействие со стороны выбросов CO_2 напрямую (например, рисунок 3). Эта способность позволяет систематически оценивать неопределенности

в углеродном цикле и обратные связи между углеродным циклом и климатом, что очень важно для оценки остающихся углеродных бюджетов с тем, чтобы оказать информационную поддержку процессу подведения итогов РКИК ООН и оценке последствий взаимодействия углеродного цикла и климата в контексте «превышения» и необходимого удаления CO_2 в целях обращения потепления климата вспять. Эти МСЗ также дают возможность изучить последствия альтернативных вариантов для долгосрочной эволюции сопряженной системы углеродный цикл-климат.

ПССМ7 должен будет найти правильный баланс между комплексностью, разрешением и размером ансамбля (рисунок 1). Притом что включение комплексных процессов позволит учесть все возможности взаимодействия, повышение разрешения моделей обеспечит региональную детализацию проекций, а большие ансамбли помогут обнаружить надежные сигналы в проекциях. Центры моделирования, каждый из которых располагает определенным высокопроизводительным вычислительным ресурсом, определяют приоритеты эффективного использования по таким параметрам, как разрешение, комплексность, временной масштаб моделирования и архивирование диагностических данных, чтобы оптимизировать этот ресурс. Оптимизация в разных центрах моделирования зависит от их мандата и «соответствия целям» самих моделей, поскольку МСЗ имеют множество возможных применений в отношении экосистем, качества воздуха и воды и других параметров, выходящих за рамки физического климата. Центры разрабатывают модели, применимые для решения исследовательских задач в климатических временных масштабах, то есть модели, позволяющие ежедневно производить расчеты, охватывающие период не менее одного года, а зачастую — десятки лет. Даже в рамках задач ПССМ, четко ориентированных на подготовку проекций будущего климата, противоречия между указанными факторами принятия решений приводят к широкому разнообразию моделей, поскольку их цели варьируются от моделирования воздействия экстремальных штормов (высокое горизонтальное разрешение атмосферы) до моделирования динамики стратосферы и озона (высокое вертикальное разрешение атмосферы и интерактивная химия).

ПССМ пытается охватить эти ограничения и решить проблему неопределенности моделей, обеспечивая координацию и стандартизацию всех элементов климатической науки и обслуживания, которые требуют связи между компонентами системы Земля. Одни из наиболее высоких требований к предоставлению данных ПССМ предъявляют сообщество, занимающиеся динамическим даунскейлингом региональных климатических моделей, такие как сообщество CORDEX. Трудности с предоставлением данных

Прогнозируемые глобальные выбросы в рамках ОНУВ, о которых было объявлено до КС26, сделают вероятным превышение потепления больше чем на 1,5 °C, а также после 2030 года, затруднят ограничение потепления на уровне ниже 2 °C.

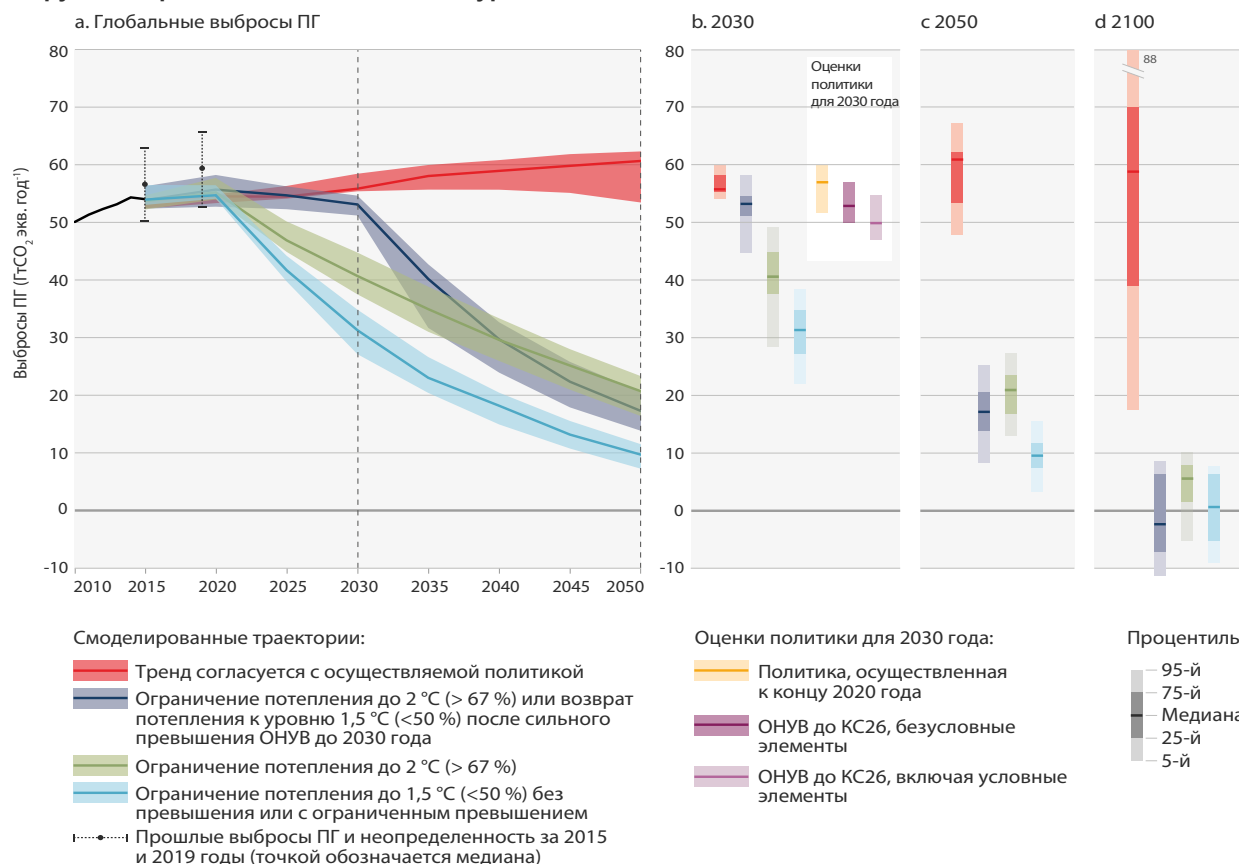


Рисунок 3. Проекция будущих выбросов парниковых газов (ПГ) в рамках, определяемых на национальном уровне вкладов (ОНУВ), и усилий по смягчению последствий, направленных на ограничение потепления на уровне 2 и 1,5 °C сверх доиндустриальных уровней для достижения целей Парижского соглашения 2015 года. Источник: Резюме для политиков Обобщающего доклада Рабочей группы III МГЭИК ОД6 (Рисунок РП 8 часть А в МГЭИК, 2021: Резюме для политиков).

будут только возрастать с появлением нового класса глобальных моделей километрового масштаба (см. статью *Kilometre-Scale Modelling of the Earth system: A new Paradigm for Climate Prediction* (Моделирование системы Земля с километровым разрешением: новая парадигма для предсказания климата) в этом номере. ПССМ необходимо найти прослеживаемый путь перехода от нынешних возможностей к освоению новой информации в более мелких пространственных и более крупных временных масштабах. Еще одно недавнее расширение сферы применения связано с предсказуемостью и предсказанием климата в масштабе десятилетий в рамках проекта «Предсказание климата в масштабе десятилетий». Эффективное и действенное содействие этим и другим приоритетным направлениям научной деятельности ВПИК является одной из основных задач ПССМ.

Разработка будущего сценария

Рабочая группа III ОД6 МГЭИК (Riahi et al., 2022; рисунок 3) добилась значительного прогресса в рамках достижения консенсуса для оценки

будущих сценариев, включая определение базового уровня «осуществляемой политики» на 2021 год (она же «текущая политика») и его взаимосвязи с предлагаемыми дальнейшими путями смягчения последствий. Основываясь на таком подходе нового поколения к проекциям, сообщество ScenarioMIP собралось в июне в Рединге, Соединенное Королевство (СК), чтобы определить приоритеты и сроки создания обновленного набора будущих сценариев, согласованных с обновленными данными об историческом воздействии. Приоритеты этого набора, описанные в [отчете семинара](#), включают: преемственность со сценариями ПССМ6 ССП1-2.6 по смягчению климата и ССП3-7.0 по адаптации к климату/сценарию неэффективной политики используемые в КОРДЭКС, согласование с «осуществляемой политикой» ДО6 РГ III (Riahi et al., 2022) и представление сценариев, соответствующих стремлению Парижского соглашения 2015 года удерживать потепление в пределах 1,5 °C сверх доиндустриального уровня с учетом ограничений осуществимости. В настоящее время проводятся презентации и обсуждения в рамках сообщества, а также создано несколько целевых групп.

Перспективы ПССМ в будущем

Первоначальная концепция ПССМ6 заключалась в том, чтобы создать постоянно действующий проект по сравнению моделей (ПСМ); Eyring et al., 2016) для поддержки общего научного прогресса, выходящего за рамки временных и организационных ограничений процесса оценки МГЭИК, что было реализовано лишь частично. Двигаясь вперед, Группа экспертов ПССМ стремится найти способы более полной реализации этой объединенной концепции науки и обслуживания. При содействии недавно созданного [Бюро по осуществлению международных проектов](#), разместившегося в Европейском космическом агентстве, ПССМ активно взаимодействует с заинтересованными членами сообщества, включая центры моделирования, поставщиков инфраструктуры, ПСМ, исследователей, практиков, руководителей программ, МГЭИК и другие заинтересованные стороны.

Чтобы помочь центрам моделирования в управлении ресурсами для внесения вклада в 7-й цикл оценки МГЭИК, Группа экспертов ПССМ предложила определить согласованный набор экспериментов и диагностики, представляющих ожидаемый приоритетный интерес для анализа. ПССМ также переходит к использованию более непрерывного подхода к обеспечению вклада ПССМ с независимыми сроками экспериментальной разработки. Текущим научным приложениям будет способствовать целевая группа ПССМ по воздействиям, которая стремится периодически обновлять исторические радиационные воздействия, чтобы облегчить прямое сравнение результатов, полученных по моделям атмосферы и по совмещенным моделям, с недавними историческими данными.

Чтобы расширить и разнообразить участие сообщества в рамках ПССМ была развернута инициатива *Fresh Eyes on CMIP* (Свежий взгляд на ПССМ) для обеспечения начинающим исследователям и специалистам-практикам возможности поделиться результатами своих исследований. Наконец только благодаря надежному распространению модельных данных ПССМ может продолжать выполнять свою роль в отношении исследований и обслуживания. В настоящее время ведется работа по обеспечению этих ресурсов для оптимального использования современной вычислительной и распределительной инфраструктуры, чтобы свести к минимуму препятствия для эффективного и результативного использования данных ПССМ. Таким образом, ПССМ продолжает развиваться как проект международного сообщества, поддерживающий как научные аспекты сопряженного моделирования, так и его аспекты, связанные с предоставлением обслуживания.

Более подробную информацию о ПССМ и разработке ПССМ7 смотрите по адресу <https://wcrp-cmip.org>

Литература

Allen, R. J., Turnock, S., Nabat, P., Neubauer, D., Lohmann, U., Olivié, D.,... & Collins, W. J. (2020). Climate and air quality impacts due to mitigation of non-methane near-term climate forcers. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 20(16), 9641–9663.

American Society for Microbiology (2023) Microbes in Models: Integrating Microbes into Earth System Models for Understanding Climate Change: Report on an American Academy of Microbiology Virtual Colloquium held on Dec. 6 and 8, 2022. Washington (DC).

Arora, V. K., Katavouta, A., Williams, R. G., Jones, C. D., Brovkin, V., Friedlingstein, P.,... & Ziehn, T. (2020). Carbon-concentration and carbon-climate feedbacks in CMIP6 models and their comparison to CMIP5 models. *Biogeosciences*, 17(16), 4173–4222.

Brient, F. (2020). Reducing uncertainties in climate projections with emergent constraints: concepts, examples and prospects. *Advances in Atmospheric Sciences*, 37, 1–15.

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*, 9(5), 1937–1958.

Giorgi, F., & Gutowski Jr, W. J. (2015). Regional dynamical downscaling and the CORDEX initiative. *Annual review of environment and resources*, 40, 467–490.

Hawkins, E., & Sutton, R. (2009). The potential to narrow uncertainty in regional climate predictions. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 90(8), 1095–1108.

Kim, Y. H., Min, S. K., Zhang, X., Sillmann, J., & Sandstad, M. (2020). Evaluation of the CMIP6 multi-model ensemble for climate extreme indices. *Weather and Climate Extremes*, 29, 100269.

Kopp, R.E., Oppenheimer, M., O'Reilly, J.L. et al. (2023) Communicating future sea-level rise uncertainty and ambiguity to assessment users. *Nat. Clim. Chang.* **13**, 648–660. <https://doi.org/10.1038/s41558-023-01691-8>

Lee, J.-Y., J. Marotzke, G. Bala, L. Cao, S. Corti, J.P. Dunne, F. Engelbrecht, E. Fischer, J.C. Fyfe, C. Jones, A. Maycock, J. Mutemi, O. Ndiaye, S. Panickal, and T. Zhou, 2021: Future Global Climate: Scenario-Based Projections and Near-Term Information. 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., P. Zhai, A. Pirani, S.L. Connors, C. Péan, S. Berger, N. Caud, Y. Chen, L. Goldfarb, M.I. Gomis, M. Huang, K. Leitzell, E. Lonnoy, J.B.R. Matthews, T.K. Maycock, T. Waterfield, O. Yelekçi, R. Yu, and B. Zhou (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, pp. 553–672, doi:10.1017/9781009157896.006.

Figure SPM.8 Panel A in 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., P. Zhai, A. Pirani, S.L. Connors, C. Péan, S. Berger, N. Caud, Y. Chen, L. Goldfarb, M.I. Gomis, M. Huang, K. Leitzell, E. Lonnoy, J.B.R. Matthews, T.K. Maycock, T. Waterfield, O. Yelekçi, R. Yu, and B. Zhou (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, UK and New York, NY, USA, pp. 3–32, doi:10.1017/9781009157896.001.]

Lehner, F., Deser, C., Maher, N., Marotzke, J., Fischer, E. M., Brunner, L.,... & Hawkins, E. (2020). Partitioning climate projection uncertainty with multiple large ensembles and CMIP5/6. *Earth System Dynamics*, 11(2), 491–508.

Wang, B., Jin, C., & Liu, J. (2020). Understanding future change of global monsoons projected by CMIP6 models. *Journal of Climate*, 33(15), 6471–6489.

Manabe, S. And R. J. Stouffer (1980). Sensitivity of a global climate model to an increase of CO₂ concentration in the atmosphere. *Journal of Geophysical Research*, 85(C10), 5529–5554.

Meehl, G.A., C. Covey, M. Latif, B. McAvaney, J. F. B. Mitchell, and R. Stouffer (2004) Soliciting participation in climate model analyses leading to IPCC Fourth Assessment Report. *Eos, Trans. Amer. Geophys. Union*, 85, 274

Meehl, G.A., Senior, C.A., Eyring, V., Flato, G., Lamarque, J.F., Stouffer, R.J.,... & Schlund, M. (2020). Context for interpreting equilibrium climate sensitivity and transient climate response from the CMIP6 Earth system models. *Science Advances*, 6(26), eaba1981.

Meehl, G. A. (2023). The Role of the IPCC in Climate Science. In *Oxford Research Encyclopedia of Climate Science*.

Mitchell, J. F. B., S. Manabe, V. Meleshko, T. Tokioka, Equilibrium climate change and its implications for the future, in *Climate Change: The IPCC Scientific Assessment*, J.T. Houghton, G.J. Jenkins, J.J. Ephraums, Eds. (Cambridge Univ. Press, Cambridge, UK, 1990).

Notz, D., & Community, S. I. M. I. P. (2020). Arctic sea ice in CMIP6. *Geophysical Research Letters*, 47(10), e2019GL086749.

O'Neill, B. C., Tebaldi, C., Van Vuuren, D. P., Eyring, V., Friedlingstein, P., Hurtt, G.,... & Sanderson, B. M. (2016). The scenario model intercomparison project (ScenarioMIP) for CMIP6. *Geoscientific Model Development*, 9(9), 3461–3482.

Riahi, K., R. Schaeffer, J. Arango, K. Calvin, C. Guivarch, T. Hasegawa, K. Jiang, E. Kriegler, R. Matthews, G.P. Peters, A. Rao, S. Robertson, A.M. Sebbit, J. Steinberger, M. Tavoni, D.P. van Vuuren, 2022: Mitigation pathways compatible with long-term goals. In IPCC, 2022: Climate Change 2022: Mitigation of Climate Change. Contribution of Working Group III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [P.R. Shukla, J. Skea, R. Slade, A. Al Khourdajie, R. van Diemen, D. McCollum, M. Pathak, S. Some, P. Vyas, R. Fradera, M. Belkacemi, A. Hasija, G. Lisboa, S. Luz, J. Malley, (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, UK and New York, NY, USA. doi: 10.1017/9781009157926.005

Roach, L. A., Dörr, J., Holmes, C. R., Massonnet, F., Blockley, E. W., Notz, D.,... & Bitz, C. M. (2020). Antarctic sea ice area in CMIP6. *Geophysical Research Letters*, 47(9), e2019GL086729.

Ruane, A. C., Teichmann, C., Arnell, N. W., Carter, T. R., Ebi, K. L., Frieler, K.,... & Vincent, K. (2016). The vulnerability, impacts, adaptation and climate services advisory board (VIACS AB v1.0) contribution to CMIP6. *Geoscientific Model Development*, 9(9), 3493–3515.

Smith, C. J., Kramer, R. J., Myhre, G., Alterskjær, K., Collins, W., Sima, A.,... & Forster, P. M. (2020). Effective radiative forcing and adjustments in CMIP6 models. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 20(16), 9591–9618.

Tebaldi, C., Debeire, K., Eyring, V., Fischer, E., Fyfe, J., Friedlingstein, P.,... & Ziehn, T. (2020). Climate model projections from the scenario model intercomparison project (ScenarioMIP) of CMIP6. *Earth System Dynamics Discussions*, 2020, 1–50.

Turnock, S.T., Allen, R.J., Andrews, M., Bauer, S. E., Deushi, M., Emmons, L.,... & Zhang, J. (2020). Historical and future changes in air pollutants from CMIP6 models. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 20(23), 14547–14579.

Warszawski, L., Frieler, K., Huber, V., Piontek, F., Serdeczny, O., & Schewe, J. (2014). The inter-sectoral impact model intercomparison project (ISI-MIP): project framework. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 111(9), 3228–3232.

Моделирование земной системы в километровом масштабе: новая парадигма для прогнозирования климата

Эндрю Геттельман¹, Бэйлор Фокс-Кемпер², Грегори Флато³, Даниэль Клоке⁴, Детлеф Стаммер⁵, Бьорн Стивенс⁴ и Пьер Луиджи Видаль⁶

За последние 50 лет моделирование глобального климата достигло больших успехов. Простые модели энергетического баланса трансформировались в модели общей циркуляции с грубым разрешением, а затем в совмещенные модели системы Земля (МСЗ), которые мы имеем сегодня. МСЗ включают в себя множество компонентов — атмосферу, океан, криосферу, а также химию и биологию углеродного цикла и гидрологию водного цикла, и могут спрогнозировать общие контуры будущего климата. Однако самые затратные последствия изменения климата будут ощущаться в виде экстремальных явлений на местном и региональном уровнях, такие как экстремальная погода, многолетняя засуха и затопление в результате повышения уровня моря в сочетании со штормовым нагоном, которые эти модели не могут спрогнозировать. Но для адаптации к изменению климата необходима местная информация об этих угрожающих рисках. Под влиянием этих требований времени сегодня появляется новый класс региональных и глобальных МСЗ. Масштаб по горизонтали этих моделей «километрового масштаба» составляет менее 10 километров (< 10 км). Развитие вычислительной техники обещает возможность глобального моделирования в километровом масштабе на столетний период уже в ближайшие пять лет, но предстоит решить еще ряд проблем.

Концептуально модели климата и модели численного прогнозирования погоды (ЧПП) похожи: они часто имеют общее динамическое ядро и ключевые параметры, такие как излучение и турбулентность. Уровень сложности и точности отображения физических процессов в моделях климата также сопоставим с уровнем сложности и точности отображения этих процессов в моделях ЧПП или выше. Многие глобальные центры — [Метеорологическое бюро](#) (Соединенное Королевство), [Европейский центр среднесрочных прогнозов погоды](#) (ЕЦСПП), [Метеорологическая служба Германии](#) — имеют «унифицированные» модели, позволяющие моделировать как погоду, так и климат, используя усвоение данных в контексте прогнозирования погоды. Однако для более длительных временных масштабов,

представляющих интерес для моделирования климата, нужны данные об активной циркуляции океана, постоянно развивающейся биосфере суши, гидросфере, криосфере и сбалансированном глобальном энергетическом и углеродном бюджетах. Эти компоненты необходимы для моделирования изменения таких характеристик, как влажность почвы, вечная мерзлота, морской лед и снежный покров.

Ансамбли климатических моделей, такие как описаны в статье «*Климатические проекции в рамках следующего этапа проекта по сравнению совмещенных моделей (ПССМ)*» в этом номере журнала, неоднократно использовались для создания крупномасштабных проекций глобального климата. В результате общие контуры климатического будущего известны и общепризнаны. Однако региональные и местные последствия такого будущего климата по-прежнему остаются весьма неопределенными, что обусловлено неопределенностью моделей (структурные неопределенности и не поддающиеся отображению процессы) и естественной изменчивостью, которая играет большую роль в региональном масштабе. Моделирование в километровом масштабе позволяет уменьшить количество не поддающихся отображению процессов и повысить точность регионального моделирования.

В настоящее время климатические риски и последствия начинают ощущаться во всем мире, причем относительный вес таких компонентов, как опасное явление (погодное явления), подверженность (масштаб подверженности человеческой инфраструктуры) и уязвимость (устойчивость или отсутствие таковой), быстро меняется по мере развития человеческой деятельности. Последствия уже наблюдаются в виде местных экстремальных явлений. К их числу относятся экстремальные значения температуры и осадков, вызванные блокированием атмосферы, такие как тепловая волна на Тихоокеанском северо-западе Северной Америки в 2021 году, увеличение интенсивности тропических циклонов, таких как ураган «Отис» в 2023 году, а также наводнения, вызванные дождями и речными и криосферными явлениями, такие как наводнение в результате прорыва

1 Национальная лаборатория по исследованиям северо-западной части Тихого океана, США.

2 Факультет наук о Земле, окружающей среде и планетах (ФНЗОСП), Университет имени Брауна.

3 Министерство окружающей среды и изменения климата Канады.

4 Институт метеорологии имени Макса Планка.

5 Центр по исследованиям и устойчивому развитию системы Земля (ЦИУРСЗ), Гамбургский университет.

6 Национальный центр атмосферных наук (НЦАН), факультет метеорологии, Университет Рединга.

ледниковых озер в Индии в 2023 году. Ожидается, что частота и интенсивность многих опасных явлений и воздействий со временем будет расти, но цель состоит в том, чтобы уменьшить их воздействие путем повышения устойчивости к ним посредством адаптации. Оптимизация адаптации к будущим экстремальным условиям требует нового подхода.

В прошлом большие вычислительные мощности, необходимые для моделирования климата, позволяли моделировать климат только с грубым разрешением. Из-за этих ограничений модели могли описывать только внетропические штормы, а многие компоненты, такие как тропические погодные системы, приходилось параметризовать. Чтобы восполнить потребность в местной информации, мезомасштабные модели погоды были адаптированы под «региональные климатические модели», а иногда даже сопряжены с местной динамикой океана или морского льда для описания морского и полярного климата. Эти региональные климатические модели восполнили пробел в информации местного масштаба об экстремальных погодных условиях и их воздействии при изменении климата, и до сих пор их использование является общепринятым подходом для исследования адаптации.

Описание граничных условий в региональных моделях осуществляется на основе глобальных изменений климата, моделируемых с помощью крупномасштабных климатических моделей, или исторических данных о погоде, «возмущенных» усредненной величиной изменения климата, полученной с помощью крупномасштабных моделей. Региональный подход позволяет сделать фундаментальные предположения о климатической системе, следовательно, имеет присущие ему ограничения. Например, региональные климатические модели неизбежно создают «разрыв» в масштабе

при понижении крупномасштабного воздействия глобальных моделей для определения региональных граничных условий. Более того, в этих региональных моделях не обеспечивается повышение масштаба для воспроизведения мелких явлений, которые создают крупномасштабные климатические воздействия. Например, океанические мезомасштабные вихри, как правило, определяют атмосферные мезомасштабные штормы во внетропических районах, а в более крупных масштабах атмосфера, как правило, определяет изменчивость океана. Эти эффекты проявляются только в сопряженных системах, а их крупномасштабные последствия, такие как ориентация траекторий прохождения штормов и связанных с ними потоков воздух-море, могут быть отражены только в моделях больших доменов с мезомасштабным или более высоким разрешением. Региональные модели не могут воспроизвести эти связанные с повышением масштаба эффекты.

Кроме того, региональное моделирование, как правило, все еще имеет грубое разрешение (10–25 км по горизонтали), что недостаточно для моделирования многих явлений, которые приводят к региональным экстремальным явлениям. Наконец, региональные климатические модели часто создаются специально для конкретного региона и имеют ограниченную применимость или тестирование за пределами этого региона.

Новый класс моделей

Новый класс региональных и глобальных моделей системы Земля километрового масштаба позволяет реалистично моделировать динамику экстремальных погодных явлений и их движущих факторов на больших пространствах. Пример тестового моделирования с использованием глобальной



Рисунок 1. Слева: Первая полная фотография Земли из космоса, сделанная astronautами космического корабля «Аполлон-17» 7 декабря 1972 года. Справа: Смоделированное спутниковое изображение в видимом диапазоне, полученное в результате использования модели ICON с разрешением 1,25 км, инициализированной посредством полей реанализа 5 декабря 1972 года (моделирование произведено Институтом метеорологии имени Макса Планка (MPI-M) при поддержке Немецкого центра исследования климата (DKRZ), а результаты визуализированы NVIDIA).

модели с горизонтальным разрешением 1,25 км представлен на рисунке 1: слева — первая полная глобальная фотография Земли, сделанная экипажем космического корабля «Аполлон-17» в 1972 году (фотография «Голубой мрамор»), рядом — тестовое моделирование с использованием глобальной модели. Но эти модели требуют больших вычислительных затрат. В настоящее время мы можем производить расчеты на десятикилометровых глобальных моделях в масштабе столетий, на трехкилометровых моделях атмосферы или океана — в масштабе нескольких лет, а на однокилометровых моделях атмосферы — в масштабе всего несколько дней, но эти возможности быстро меняются.

Наличие вычислительных ресурсов экзафлопсного класса — производительность 1018 операций с плавающей запятой в секунду, значительная часть которых предназначена для метеорологических и климатических применений, открывает беспрецедентные возможности. Глобальное моделирование с разрешением 3 км в масштабе столетия станет всё более реальным для многих в ближайшие пять лет. Значительные достижения в области программного обеспечения и эффективности вычислений были не менее, а то и более важны, чем достижения в области аппаратного обеспечения.

В километровом масштабе топография и батиметрия могут отражать важные особенности, контролируемые мелкомасштабные параметры климата. Повышение разрешения устраняет необходимость параметризации многих процессов, для которых сообщество изо всех сил старалось найти приемлемую статистическую обработку. Теперь можно описывать погодные системы, влияющие на тропики, и мелкомасштабные летние внутритропические штормы с помощью тех же подходов, которые используются для описания крупных внутритропических штормов. В океане мезомасштабная внутренняя неустойчивость допускается при разрешении 10–25 км, но при масштабах около 3 км допускаются также океанические субмезомасштабные фронты и неустойчивость, которые могут взаимодействовать с важными узкими областями криосферы, такими как прикромочная зона морского льда, ледяные шельфы, поддерживающие Антарктический ледниковый щит.

Конечно, не всё будет описано, так как океанические и атмосферные мелкомасштабные турбулентные процессы или испарение в листьях всё ещё требуют дополнительного рассмотрения факторов приближенности и неопределенности. При километровом разрешении в явном виде представлены такие важные процессы, как вертикальные движения атмосферы, определяющие физику облаков, океанические субмезомасштабные фронты и вихри, расщелины в морском льду и ледяные шельфы. Несмотря на то, что работа в километровом масштабе создаст новый набор проблем, связанных с представлением масштабов, которые еще не описаны, она позволяет установить более тесную связь с сообществами наблюдателей, работающих в аналогичных масштабах.

Недавние сравнительные исследования океанических моделей километрового масштаба показывают,

что крупномасштабные особенности, влияющие на траектории штормов и взаимодействие между воздухом и морем (например отрыв Гольфстрима от континента), гораздо более последовательны, чем в моделях с грубым разрешением. Внутренняя изменчивость также существенно выше в этих моделях, учитывающих океанские вихри. На рисунке 2 показана скорость поверхностного течения в океане и снежный покров, полученные в результате моделирования с разрешением 1 км (см. рисунок 1). Недавние работы показали, что внутритропическая мезомасштабная изменчивость океана, которую теперь в этих моделях можно описать, определяет изменчивость атмосферы над морем в отличие от более крупных масштабов, где атмосфера определяет изменчивость океана. Однако вблизи сеточного масштаба эти модели демонстрируют большое разнообразие в интенсивности турбулентности. Это связано с тем, что более мелкие субмезомасштабные особенности, важные для взаимодействия между воздухом и морем и для биогеохимии, всё еще не поддаются описанию в километровом масштабе и остаются очень чувствительными к параметризации.

Для интегрирования климатических воздействий в региональном масштабе, которые могут иметь глобальные последствия, необходимы комплексные модели. Например, критически важные взаимодействия между потеплением океанов и антарктическими ледяными шельфами, которые создают неопределенность в отношении возможности внезапного повышения уровня моря и остановки Атлантической меридиональной опрокидывающей циркуляции будут непосредственно рассматриваться в километровом разрешении. Однако для этого потребуется описание ледяных щитов и ледников. Другие воздействия, такие как паводки в результате экстремальных осадков, потребуют описания взаимодействия атмосферы и земной поверхности, движения почвенной влаги и грунтовых вод, а также

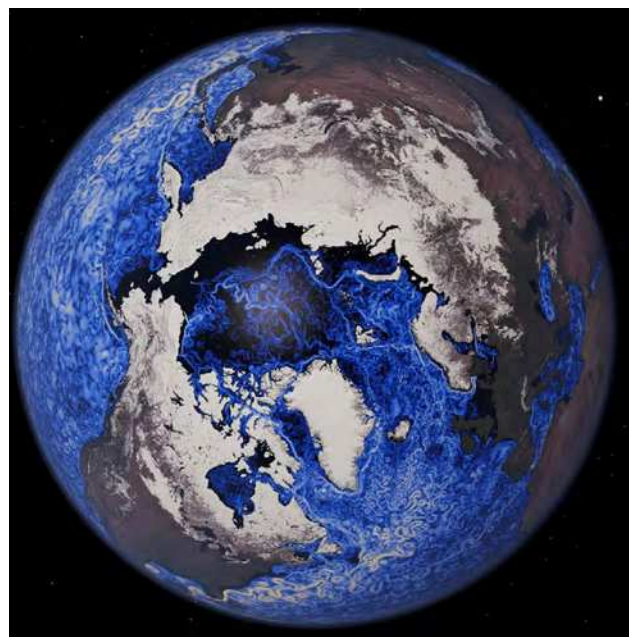


Рисунок 2. Океанские вихри и снежный покров, полученные в результате использования ICON (см. рис. 1), (MPI-M, DKRZ и NVIDIA)

мерзлых грунтов в холодном климате. Морской лед в километровом и более мелком масштабе, возможно, придется отображать иначе, чем в более крупных масштабах. Включение таких явлений может потребовать улучшения или изменения существующих компонентных моделей для применений в километровом масштабе, отображения отсутствующих в настоящее время процессов или даже новых компонентных моделей (например рек, волн), но при этом открывает возможность более тесного сотрудничества с сообществами наблюдателей, работающих в аналогичных масштабах.

В этих моделях много уязвимых мест, требующих развития, что обуславливает необходимость создания междисциплинарных групп. В океане модели километрового масштаба напрямую описывают мезомасштабные вихревые потоки, которые играют важную роль в формировании океанических и атмосферных экстремальных явлений на малых пространствах. Более высокое разрешение моделирования сложной батиметрии узких проливов, имеющих важное значение для циркуляции океана, позволит описать регионы апвеллинга, критически важные для прибрежного рыболовства и реалистичного моделирования местных последствий Южного колебания — Эль-Ниньо/Ла-Нинья (ЭНЮК). Благодаря более высокому разрешению можно описать небольшие острова, что позволяет напрямую оценить воздействие уровня моря и коралловых экосистем. Модели поверхности суши с высоким разрешением теперь также могут описать движение воды из атмосферы в почву и обратно на поверхность суши, что позволит отображать комплексные гидрологические процессы. Необходимо отобразить боковой поток воды под поверхностью. Модели морского льда в километровом масштабе могут отображать крупные расщелины и полыньи и в явном виде описывать процессы в прикромочной зоне морского льда.

В отношении региональных моделей также предпринимаются усилия по обеспечению их перехода на километровые масштабы. Эти усилия включают активную работу во многих регионах, в том числе в Африке и Южной Америке, чему способствует сотрудничество с центрами в [Соединенном Королевстве \(СК\)](#) и [Соединенных Штатах Америки \(США\)](#), соответственно. Гибридные подходы, при которых глобальная модель имеет регионально уточненную или вложенную область с высоким разрешением для сохранения точности и снижения вычислительной нагрузки, также могут ускорить разработку и использование моделей километрового масштаба. Такие подходы могут обеспечить преимущества глобального километрового масштаба для некоторых применений, но с меньшими затратами, по причине того, что они используются в качестве моста к километровому масштабу на глобальном уровне.

Возможности

МСЗ километрового масштаба открывают новые возможности для радикального, а не постепенного прогресса в понимании экстремальных климатических явлений, изменений циркуляции и их локального воздействия на общество. Эти модели не решают

всех проблем, но устраняют многие из тех, которые сдерживали прогресс в прошлом, например описание мезомасштабной структуры штормов, критически важной для экстремальных осадков. Важно, что проблемы, которые эти модели не решают, теперь ставятся таким образом, что мы можем их решить. Например, выходные данные модели километрового масштаба, как и модели ЧПП, легче сравнивать с большим количеством наблюдений за погодными явлениями, а не просто подходить к такому сравнению статистически. Разрешение этих моделей позволяет использовать данные из новых источников, таких как активные радары и лидары в космосе.

Региональные модели обеспечивают более легкий доступ к информации в масштабах, сопоставимых с наблюдениями, но они ограничивают взаимодействие масштабов и часто не являются всеобъемлющими в процессах системы Земля. Например, региональные модели и модели погоды часто не включают в себя надлежащий радиационный баланс, круговорот углерода, взаимосвязь с океаном и криосферой и т. д. Кроме того, региональные уточнения в километровом масштабе, вложенные в глобальные модели, могут обеспечить многие преимущества при гораздо более доступной стоимости, а ограниченное региональное моделирование, подкрепленное глобальными модельными расчетами, всё еще может восполнить пробелы.

Важность отображения экстремальных явлений, изменений циркуляции и потребностей общества в информации о местных климатических последствиях также требует новых парадигм для использования и анализа этих моделей. В разработках используются преимущества новых парадигм открытой науки, открытых данных, анализа данных и процессов, машинного обучения для ускорения моделей и прогресса. Совместная работа, выходящая за рамки физических наук, и как следствие вовлечение большего числа стран и народов, чей потенциал в области моделирования недостаточно развит, открывает широкие возможности. Некоторые центры моделирования климата уже наладили такие партнерские отношения и активно работают с широким кругом заинтересованных сторон.

Решение актуальных проблем

МСЗ с километровым разрешением приходится сталкиваться с множеством проблем. Одна из проблем заключается в получении надлежащих данных наблюдений для использования в качестве начальных и граничных условий (особенно в океане, криосфере и континентальных недрах). Затем, несмотря на то, что такие модели с высоким разрешением имеют потенциал для значительного уменьшения погрешности модели и улучшения отображения процессов, текущие краткосрочные модельные расчеты затрудняют верификацию медленных компонентов — быстрые компоненты, такие как атмосфера, могут быть верифицированы, подобно моделям ЧПП, по данным о прошлой погоде. Методы усвоения данных открывают широкие возможности для инициализации медленных компонентов (океан) в моделях километрового масштаба. Помимо сложной вычислительной задачи по интеграции моделей,

существуют проблемы, связанные с работой и анализом результатов, полученных с помощью моделей километрового масштаба. Для решения этих задач требуется одновременное принятие нескольких новых парадигм.

Как и любой другой новый тип моделей, модели километрового масштаба расширяют границы человеческих знаний. Традиционные вычислительные подходы достигли своих пределов, особенно в области энергоэффективности. Использование аппаратных ускорителей (например графических процессоров) и эмуляторов, применяющих методы искусственного интеллекта/машинного обучения (ИИ/МО), начинает значительно ускорять (т. е. снижать стоимость) интеграцию и анализ. ИИ/МО обеспечит новые подходы к эмуляции, сжатию данных, их усвоению и ускорению процессов. Для того чтобы эти модели были полезны, потребуются указанные новые подходы. Традиционные подходы, когда прогон климатической модели осуществляется один раз, при этом сохраняются все данные, а затем переносятся и анализируются в другом месте, не выдерживают критики. Данные для долгосрочного хранения или переноса во многие другие системы слишком много. В рамках таких проектов, как [DestineE](#) (Европа) и [Pangeo](#) (США), разрабатываются новые рабочие процессы и новые методы анализа, позволяющие пользователям по всему миру взаимодействовать с такими объемами данных, которые в противном случае были бы непомерно большими. Такие проекты, как [NextGEMS](#) (ЕС)), наряду с созданием доступа к инфраструктуре сообществ через такие учреждения, как [JASMIN](#) (Великобритания) и [DKRZ](#) (Германия), также изучают способы создания общественного пространства в цифровой сфере (публичного облака), которое может обеспечить совместное использование преимуществ этих новых возможностей.

Модели километрового масштаба при взаимодействии с моделями антропогенных систем позволят нам получить гораздо более богатый спектр информации. Необходимо определить способы регулярного предоставления полной информации тем, кто в ней нуждается. Изменение климата уже происходит, и мы многое о нем знаем, но всё это закодировано в наших моделях. Эту информацию необходимо расшифровать и передать тем сообществам, которые в ней нуждаются. Например, разработчики моделей могут перенять опыт систем данных, созданных для проведения спутниковых наблюдений в аналогичных километровых масштабах, включая данные, предоставляемые в облаке (пример из частного сектора — [Google Earth Engine](#)). По мере перехода к моделям километрового масштаба открывается широкая возможность для разработки общих подходов и стандартизации предоставления информации в качестве «оперативного» климатического обслуживания.

Что делается для улучшения ситуации?

В настоящее время быстро развиваются модели километрового масштаба. Существуют новые парадигмы вычислений, позволяющие разделить научные и технические проблемы, что сделает разработку и продвижение моделей менее сложными и более универсальными. Новые парадигмы создания, архивирования и анализа данных быстро эволюционируют в направлении модели «по мере

надобности», когда создаются только те данные, которые необходимы, и доступ к ним осуществляется там, где производятся вычисления, без копирования.

Модели километрового масштаба обеспечивают активный способ создания контрфактуального будущего, причем с использованием общих методов и рамок анализа. Кроме того, по мере создания этих моделей необходимо переходить к оперативному режиму предоставления данных с жестко сформулированными целями в отношении продукции, разрабатываемой совместно с заинтересованными сторонами, а также с тестированием и валидацией. Эти усилия необходимо подкреплять серьезными исследованиями.

ВПИК может продвигать, развивать и обеспечивать эту научно-исследовательскую основу. Например, [знаковое направление деятельности ВПИК «Цифровая земля»](#) помогает продвигать разработку моделей километрового масштаба, создавая сообщества вокруг разработки, анализа и исследования моделей, включая все компоненты системы Земля — атмосферу, сушу, океан, криосферу, а также антропогенную систему. Цель состоит в том, чтобы помочь скоординировать исследовательскую деятельность, которая будет способствовать оперативному использованию глобальных и региональных климатических моделей высокого разрешения. Новый основной проект ВПИК «[Моделирование системы Земля и наблюдения за ее состоянием](#) (МСЗН)» объединит наблюдателей и разработчиков моделей для обмена опытом по архивированию, анализу (в том числе с помощью искусственного интеллекта) и совместному использованию пета- и эксафлопсных комплектов данных.

Взаимодействие с заинтересованными сторонами в получении климатической информации развивается с помощью изучения отдельных примеров применения моделей километрового масштаба. Однако для предоставления климатического обслуживания, удовлетворяющего потребности общества в климатической информации, необходимы более совершенные структуры. В мире есть несколько отличных примеров регулярного предоставления проверенных оперативных климатических данных, например стандарты предоставления имеющих практическую ценность заблаговременных метеорологических предупреждений, с учетом воздействий. Информацию в километровом масштабе необходимо непрерывно совершенствовать. В рамках концепции [Earth Visualization Engines](#) (механизм визуализации Земли) например, предлагается новая структура для предоставления климатической информации с улучшенным доступом к облаку через государственную инфраструктуру и с улучшением функциональной совместимости программного обеспечения и данных.

Модели километрового масштаба могут удовлетворить ключевые потребности общества в моделировании экстремальных явлений с учетом взаимодействий всех масштабов и с возможностью верификации на основе современных наблюдений. Модели километрового масштаба также могут раскрыть потенциал совместной разработки климатического обслуживания с заинтересованными сторонами в региональном и местном масштабах, в полной мере использовать возможности эксафлопсных вычислений и открыть доступ к открытому публичному пространству для климатических данных.

Климатическое обслуживание на основе климатических предсказаний и проекций

Крис Хьюитт и Вильфран Муфума-Окиа, Секретариат ВМО

Предсказания и проекции климата, наряду с данными наблюдений и мониторинга, являются основой для разработки адресного климатического обслуживания для сообществ, которым в срочном порядке необходимо реализовать планы по адаптации к климату и обеспечить управление рисками. На адаптации к климату и управлении рисками во многих странах и регионах сказывается ограниченность обслуживания климатической информацией для принятия решений. Многие национальные метеорологические и гидрологические службы (НМГС) не имеют для осуществления климатического обслуживания ни необходимого опыта и инфраструктуры, ни климатических данных, включая данные наблюдений, предсказания и проекции, полученные на основе моделей. После завершения первоначального 10-летнего этапа реализации [Глобальная рамочная основа для климатического обслуживания](#) (ГРОКО) теперь будет сосредоточена на пяти областях, чтобы определить приоритеты развития и использования климатического информационного обслуживания.

Разработка и использование климатического обслуживания

Климатическое обслуживание — это предоставление и использование климатической информации для повышения устойчивости общества к рискам, связанным с климатом (Hewitt and Stone, 2021). Климатическая информация, которая включена в обслуживание, поступает из различных источников, включая наблюдения и мониторинг климатической системы, предсказания климата на месячные, сезонные и более длительные сроки, а также проекции климата на несколько десятилетий при различных сценариях изменения концентрации парниковых газов, аэрозолей и других составляющих атмосферы, влияющих на радиационный баланс планеты.

Обслуживание разрабатывается и предоставляется таким образом, чтобы помочь получателям обслуживания (далее — пользователи) принимать решения и действовать. Это обслуживание может обеспечить людей и организации своевременными, адресными знаниями и информацией, связанными с климатом, которые они могут использовать для сокращения связанных с климатом потерь и реализации или увеличения связанных с климатом выгод, способствуя тем самым устойчивому развитию и переходу к обществу, более устойчивому к климатическим изменениям.

Климатическое обслуживание предоставляется и используется различными способами, по крайней мере с начала двадцатого века, когда климатическая информация стала широко доступна. Первоначально такое обслуживание предоставлялось в виде климатических записей, основанных на комплексах данных долгосрочных наблюдений, а затем в виде прогностической информации по мере разработки климатических моделей. В XXI веке термин «климатическое обслуживание» стал использоваться более широко, чему способствовали значительные успехи в развитии научно-технических возможностей. Полезность этого обслуживания для общества при планировании мер по смягчению последствий изменения климата и адаптации к ним, а также для лиц, принимающих решения по управлению рисками, стимулировала растущий интерес к потенциально большей ценности этого обслуживания.

Достижения в понимании климатической системы и в области климатических моделей, которые используются для подготовки предсказаний и проекций (описанные в других статьях данного номера Бюллетеня), позволяют постоянно совершенствовать климатическое обслуживание. Достижения в области моделирования позволяют получить более полезную и действенную информацию, например для прогнозирования таких опасных явлений, как тепловые волны, похолодание, интенсивные осадки, затопление прибрежных районов и тропические циклоны (White et al., 2021, Domeisen et al., 2022).

Климатическое обслуживание все чаще включается в процесс принятия решений и является важной составляющей [Рамочной конвенции ООН об изменении климата](#) (например в рамках Парижского соглашения, РКИК ООН 2015 года), оценочных докладов [Межправительственной группы экспертов по изменению климата](#) (МГЭИК), национальных планов правительств по адаптации, инвестиций финансовых агентств, а также всё большего числа секторов и отраслей промышленности по всему миру.

Переориентированная ГРОКО

ГРОКО поддерживает, укрепляет и координирует разработку, предоставление и использование климатического обслуживания для содействия принятию решений, помогая преодолевать связанные с климатом риски на национальном,

региональном и глобальном уровнях (Hewitt et al., 2012). Главы государств, министры правительств, представители промышленности и научно-технические эксперты призвали к созданию ГРОКО на [Третьей Всемирной климатической конференции в 2009 году](#), а официально она была принята на внеочередной сессии Всемирного метеорологического конгресса в 2012 году. ГРОКО обеспечивает участие заинтересованных сторон, представляющих все компоненты цепочки создания стоимости климатического обслуживания (Hewitt and Stone, 2021).

Концепция ГРОКО заключается в том, чтобы предоставить обществу возможность лучше управлять рисками и возможностями, возникающими в результате изменчивости и изменения климата, используя научно обоснованную климатическую информацию. Она основана на пяти основных элементах цепочки создания стоимости климатического обслуживания (рисунок 1), чтобы охватить критически важные составляющие, необходимые для эффективной координации, совместной разработки, распространения и использования климатического обслуживания:



Рисунок 1. Цепочка создания стоимости климатического обслуживания ГРОКО

- наблюдения за климатом и его мониторинг;
- исследования, моделирование и предсказание климата;
- информационная система климатического обслуживания;
- взаимодействие между пользователями и поставщиками климатического обслуживания;
- развитие потенциала.

Первоначальный [план осуществления ГРОКО](#) был рассчитан на 10 лет и ориентирован на разработку и предоставление обслуживания в пяти целевых секторах, которые обеспечивают наиболее оперативные возможности для повышения безопасности и благосостояния людей и занимают важное место в национальных планах по адаптации (НПА) многих стран. Эти пять секторов включают сельское хозяйство и продовольственную безопасность, снижение риска бедствий, здравоохранение, водные ресурсы и энергетику. В настоящее время ГРОКО интегрирована в работу многих НМГС и в деятельность по предоставлению климатического обслуживания по всему миру, в том числе в деятельность технических комиссий, региональных ассоциаций и Совета по исследованиям ВМО.

С момента создания ГРОКО климатическое обслуживание претерпело значительные изменения. Некоторые элементы стали более важными, например стандартизация и руководство по передовой практике в области предоставления климатического обслуживания, Национальные рамочные основы для климатического обслуживания (НРОКО) для координации на национальном уровне и создание форума для обеспечения более широкого участия во всех звеньях цепочки создания стоимости климатического обслуживания. Поэтому, следуя решениям [Всемирного метеорологического конгресса в 2019 году](#) и [Исполнительного совета ВМО в 2022 году](#), ГРОКО вступила в новую фазу

Переориентированная ГРОКО — 2023 год и далее



Концепция ГРОКО: *предоставить обществу возможность лучше управлять рисками и возможностями, возникающими в результате изменчивости и изменения климата*

1	Укреплять потенциал и возможности климатического обслуживания, особенно в НМГС
2	Поддерживать политику в области климата и ее финансирование с помощью надежной научной информации
3	Развивать стандарты, менеджмент качества и обучение
4	Разработать цепочку/цикл создания стоимости климатического обслуживания
5	Повышать общественную значимость и эффективность ГРОКО, содействовать координации

Рисунок 2. Концепция развития переориентированной ГРОКО с пятью основными темами и примерами мероприятий

осуществления с 2023 года в целях активизации своей деятельности, повышения эффективности и общественной значимости.

Переориентация ГРОКО включает пять широких тем, кратко представленных на рисунке 2 и поясняемых в следующих пяти абзацах.

ГРОКО будет продолжать создавать благоприятные условия для согласования национальной климатической политики и инвестиций путем наработки опыта в области климата, разработки инструментов и подготовки ведущих докладов совместно с ключевыми партнерами. Например, ГРОКО продолжит вносить свой вклад в подготовку ежегодных докладов, таких как «Состояние глобального климата» «Состояние регионального климата» и «Состояние климатического обслуживания», которые предоставляют научно обоснованные данные в качестве основы для действий и используются на ежегодных заседаниях Конференции сторон РКИК ООН (КС). ГРОКО уже разработала различные инструменты и методы совместно с ключевыми партнерами, чтобы помочь странам включить научно обоснованную климатическую информацию в инвестиции, планы и политику, например совместно с [Зеленым климатическим фондом](#) и Европейской комиссией.

ГРОКО продолжит укреплять потенциал и возможности для предоставления климатического обслуживания, особенно в НМГС, поскольку они занимают центральное место в деятельности по национальному климатическому обслуживанию в большинстве стран. ГРОКО будет продолжать собирать и анализировать данные о потенциале поставщиков климатического обслуживания и потребностях лиц, принимающих решения, и разработчиков политики. Она будет оказывать дальнейшее содействие в разработке НПА для определения приоритетов секторов и технических областей, в которых необходима поддержка. На национальном уровне она будет способствовать созданию НРОКО для координации разработки, предоставления и использования климатического обслуживания. Под эгидой НРОКО Национальные климатические форумы соберут представителей ключевых заинтересованных сторон для обсуждения климатических вопросов национального уровня, включая мониторинг климата для прогнозирования на ближайшие сезоны и годы, когда дело касается разработчиков космической политики, а также для обоснования долгосрочных решений по адаптации к изменению климата и смягчению его последствий в зависимости от конкретных национальных потребностей.

Основные компоненты цепочки или цикла создания стоимости климатического обслуживания и взаимосвязи между ними нуждаются в дальнейшей разработке. Необходимо обеспечить создание стоимости для лиц, принимающих решения, и возможность принятия мер. В цепочке создания стоимости важную роль играют несколько органов

ВМО, а также спонсируемые ею органы, включая ее технические комиссии, [Всемирную программу исследований климата](#) (ВПИК), [МГЭИК](#) и [Глобальную систему наблюдений за климатом](#) (ГСНК).

Растет потребность в оценке потенциала поставщиков климатического обслуживания и разработке руководства по стандартам и компетенциям в области климатического обслуживания. Внедрение системы менеджмента качества климатического обслуживания обеспечит соблюдение нормативных требований, развитие рациональной и последовательной практики менеджмента, а также последовательное удовлетворение требований и ожиданий заинтересованных сторон и клиентов. И здесь важную роль играют несколько органов ВМО, в особенности [Комиссия по метеорологическим, климатическим, гидрологическим, морским и смежным обслуживанию и применениям в области окружающей среды](#) (СЕРКОМ).

Наконец необходимо повысить общественную значимость и эффективность работы ГРОКО, чтобы избежать дробления и дублирования, а также облегчить и усилить деятельность. В связи с тем, что формат климатического обслуживания и потребность в климатической информации возросли, Глобальная рамочная основа для климатического обслуживания сегодня еще более важна и актуальна, чем в 2009 году, когда прозвучал призыв к ее созданию. Очень важна координация на глобальном, региональном и национальном уровнях. В дальнейшем ГРОКО обеспечит форум для общения, обмена знаниями и сотрудничества заинтересованных сторон.

Информационная система климатического обслуживания

Информационная система климатического обслуживания (ИСКО) координирует разработку, архивирование, совместное производство и использование климатической информации лицами, принимающими решения. В ней определены роли агентств и других организаций, таких как академические институты, в разработке климатического обслуживания. Кроме того, в ней последовательно организованы различные типы климатической информации, а также предусмотрено техническое содействие, помогающее лицам, принимающим решения, понять, как интегрировать климатическую информацию в процессы планирования.

ИСКО является основным механизмом ГРОКО, с помощью которого осуществляется регулярное производство, архивирование, анализ, моделирование, обмен и обработка информации о климате. Являясь «оперативным двигателем» ГРОКО, ИСКО выполняет различные функции через глобальные, региональные и национальные сотрудничающие учреждения, охватывая



Рисунок 3. Компоненты и вспомогательные структуры в трехуровневом каскадном подходе к осуществлению климатического информационного обслуживания на глобальном, региональном и национальном уровнях

пространственные масштабы от местного до глобального и временные рамки от прошлого до будущего (рисунок 3). ИСКО поддерживает производство и предоставление надежной климатической информационной продукции и облегчает взаимодействие между поставщиками и пользователями климатического обслуживания с помощью оперативных механизмов, технических стандартов, связи и аутентификации.

Глобальные предсказания и проекции климата ИСКО обеспечивают 14 назначенных ВМО Глобальных центров подготовки долгосрочных прогнозов (ГЦП-ДП) и Ведущий центр долгосрочного прогнозирования на базе мультимодельных ансамблей (ВЦ-ДПМА), который собирает ретроспективные прогнозы и прогнозы в реальном времени от 14 центров ГЦП-ДП. Ведущий центр выпускает прогнозы на базе



Рисунок 4. 14 назначенных ВМО Глобальных центров подготовки долгосрочных прогнозов (ГЦП-ДП).

- Пекинский климатический центр (ПКЦ) Китайского метеорологического управления
- Европейско-средиземноморский центр по изучению изменения климата (ЕСЦИИК)
- Центр прогнозирования погоды и проведения климатических исследований (ЦПТЕК)
- Европейский центр среднесрочных прогнозов погоды (ЕЦСПП)
- Метеорологическое бюро (Соединенное Королевство) Экстер, Австралийское бюро метеорологии (Мельбурн)
- Метеорологическая служба Канады (Монреаль)
- Гидрометеорологический научно-исследовательский центр Российской Федерации (Москва)
- Метеорологическая служба Германии (Оффенбах)
- Метеорологическая служба Южно-Африканской Республики (Претория)
- Департамент метеорологии Индии (Пуна)
- Корейская метеорологическая администрация (Сеул)
- Токийский климатический центр, Японское метеорологическое агентство (Токио)
- Метеорологическая служба Франции (Тулуза)
- Национальные центры США для прогнозирования окружающей среды (Вашингтон)

мультимодельных ансамблей (ММА) и продукцию для проверки оправданности в масштабах от сезона до года, как определено в стандартной системе ВМО проверки оправданности долгосрочных прогнозов (рисунок 4).

Краткосрочные климатические предсказания — от месячных до сезонных и многолетних — полезны для обоснования принимаемых решений по адаптации к климату и повышению устойчивости к его изменению и являются важными инструментами для общества. Климатические модели, инициализированные на основе текущего состояния климата, теперь повседневно предоставляют краткосрочные предсказания. ВМО имеет пять назначенных ГЦП годового/десятилетнего прогнозирования климата (ГЦП-ГДПК) и ведущий центр (ВЦ-ГДПК), которые отвечают за сбор, координацию и распространение ГДПК и уточненных глобальных данных по годовому/десятилетнему прогнозированию климата (УГД-ГДПК) и сами участвуют в этой работе. В работу, проводимую ГЦП-ГДПК, вносят вклад еще несколько учреждений, а именно: Метеорологическое бюро в Соединенном Королевстве, Министерство охраны окружающей среды Канады, Метеорологическая служба Германии, Барселонский суперкомпьютерный центр в Испании и Организация научных и промышленных исследований стран Содружества в Австралии.

На региональном уровне к числу тех, кто способствует развитию ИСКО, относятся региональные климатические центры ВМО (РКЦ, рисунок 5). Эти центры передового опыта создают климатическую продукцию на основе предсказаний и проекций климата в поддержку региональной и национальной деятельности в области климата. Таким образом они укрепляют потенциал НМГС в своих регионах, которые по-прежнему отвечают за подготовку ориентированного на пользователя климатического обслуживания — продукции, предупреждений и рекомендаций — на национальном уровне. НМГС в каждом регионе являются основными пользователями продукции РКЦ; другие РКЦ и НМГС в соседних регионах также могут получать пользу от информации, создаваемой в любом таком РКЦ.

Назначенные ВМО ГЦП-ДП, ГЦП-ГДПК и РКЦ являются неотъемлемой частью [Комплексной системы обработки и прогнозирования ВМО \(КСОПВ\)](#), которая охватывает все системы, эксплуатируемые Членами ВМО, включая системы, которые координируются совместно с другими международными организациями.

Проекция на основе моделей климата, полученные в рамках [Проекта по сравнению совмещенных моделей](#) и [Скоординированного эксперимента по даунскейлингу региональных климатических моделей](#) под эгидой ВПИК, являются мощной поддержкой деятельности ИСКО во временных масштабах изменения климата. Эти проекции на основе моделей зависят от изменения концентраций парниковых газов, аэрозолей и других составляющих атмосферы. Мультимодельные ансамбли и большие ансамбли призваны охватить все сценарии будущего климата. Цель этих проекций на основе климатических моделей не в том, чтобы полностью отразить все детали повседневной эволюции климатической системы в будущем, а скорее в том, чтобы отобразить доминирующие физические процессы климатической системы таким образом, чтобы используемые инструменты подходили для конкретных целей. Одной из важных целей является понимание геофизических воздействий, оказываемых миром, в котором средняя глобальная температура поверхности Земли более чем на 1,5 °C выше, чем в доиндустриальную эпоху. Несмотря на широкий консенсус в отношении того, что продолжающиеся выбросы парниковых газов приведут к усилению долгосрочного потепления и увеличению интенсивности многочисленных и одновременно протекающих опасных явлений, неопределенность в изменениях климата возрастает по мере перехода от глобальных к региональным и национальным масштабам.

Существует несколько инициатив и порталов, которые предоставляют пользователям информацию об изменении климата и укрепляют климатическую научную основу НПА. Например, [Консультативный совет по уязвимости, воздействию, адаптации и климатическому обслуживанию \(УВАКО\)](#) был создан, чтобы

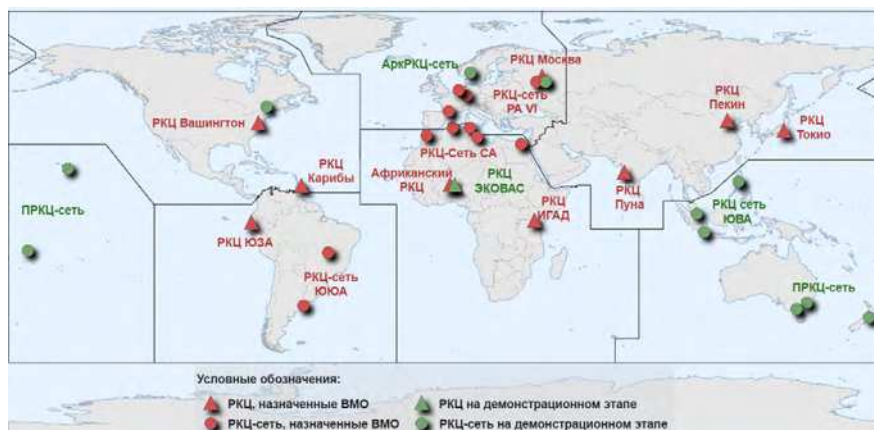


Рисунок 5. Статус региональных климатических центров (РКЦ) и сетей РКЦ (РКЦ-сеть) ВМО

обеспечить прочную связь между экспертами по применениям, касающимся изменения климата, и специалистами по моделированию климата для шестого этапа Проекта по сравнению совмещенных моделей (ПССМ-6) и совместно разрабатывать информацию для лиц, принимающих решения по управлению прогнозируемыми рисками (Ruane et al., 2016). Большая часть этой деятельности направлена на оценку уязвимости, воздействия и адаптации антропогенных и природных систем в связи с прошлым, настоящим и прогнозируемым изменением климата. Другой пример — [интер-активный атлас Шестого оценочного доклада МГЭИК](#), в котором оцениваются фундаментальные аспекты наблюдаемых, приписываемых и прогнозируемых изменений, а также эффективность климатических моделей (Gutierrez et al., 2021).

Большинство доступных проекций проекта ПССМ имеют пространственное разрешение порядка 100 километров (км). Некоторые региональные климатические модели (РКМ) предоставляют проекции с более высоким разрешением (10–50 км) с помощью КОРДЭКС. Однако, поскольку спрос на климатическое обслуживание часто стимулируется в субнациональном, национальном и региональном масштабах, существует острая необходимость в подготовке климатических проекций с гораздо более высоким разрешением. Например, [Служба по вопросам изменения климата в рамках программы «Коперник» \(C3S\)](#) под эгидой проекта проекта *Climate Data Factory* (Фабрика климатических данных) начала работу по уменьшению масштаба проекций ПССМ до разрешения около 9 км над Европой, сочетая передовые статистические методы и атмосферный реанализ глобального климата, охватывающий период с 1940 года по настоящее время. В настоящее время в исследовательском сообществе также ведутся активные работы по подготовке климатических проекций с горизонтальным разрешением около 1 км с использованием как глобальных, так и региональных климатических моделей (Schar et al., 2020). В случае успеха преимуществ будет заключаться в улучшении моделирования водного цикла и экстремальных явлений.

Центральное место в разработке, предоставлении и использовании климатического обслуживания занимают данные, информация и знания, которые лежат в основе этого обслуживания. Климатические модели являются важнейшими инструментами в этой области, помогая нам лучше понять климат и его изменчивость, восполнить пробелы в наших знаниях о прошлом и нынешнем климате, основанных на наблюдениях, и предсказать, как может выглядеть климат в будущем. Мы рекомендуем вам прочитать другие статьи в этом номере *Бюллетеня*.

Литература

Domeisen, D.I., White, C.J., Afargan-Gerstman, H., Muñoz, Á. G., Janiga, M.A., Vitart, F., Wulff, C.O., Antoine, S., Ardilouze, C., Batté, L., Bloomfield, H.C., Brayshaw, D.J., Camargo, S.J., Charlton-Pérez, A.,

Collins, D., Cowan, T., Chaves, M. d. M., Ferranti, L., Gómez, R., González, P.L., Romero, C.G., Infanti, J.M., Karozis, S., Kim, H., Kolstad, E.W., LaJoie, E., Lledó, L., Magnusson, L., Malguzzi, P., Manrique-Suñén, A., Mastrangelo, D., Materia, S., Medina, H., Palma, L., Pineda, L.E., Sfetsos, A., Son, S.-W., Soret, A., Strazzo, S., & Tian, D. (2022). Advances in the subseasonal prediction of extreme events: Relevant case studies across the globe. *Bull. Am. Meteorol. Soc.*, -1. URL: <https://journals.ametsoc.org/view/journals/bams/aop/BAMS-D-20-0221.1/BAMS-D-20-0221.1.xml>. 10.1175/BAMS-D-20-0221.1.

Gutiérrez, J.M., R.G. Jones, G.T. Narisma, L.M. Alves, M. Amjad, I.V. Gorodetskaya, M. Grose, N.A.B. Klutse, S. Krakovska, J. Li, D. Martínez-Castro, L.O. Mearns, S.H. Mernild, T. Ngo-Duc, B. van den Hurk, and J.-H. Yoon, 2021: Atlas. 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., P. Zhai, A. Pirani, S.L. Connors, C. Péan, S. Berger, N. Caud, Y. Chen, L. Goldfarb, M.I. Gomis, M. Huang, K. Leitzell, E. Lonnoy, J.B.R. Matthews, T.K. Maycock, T. Waterfield, O. Yelekçi, R. Yu, and B. Zhou (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, pp. 1927–2058, doi:10.1017/9781009157896.021.

Hewitt, C., Mason, S., & Walland, D. (2012). The Global Framework for Climate Services. *Nature Climate Change*, 2(12), 831–832. <https://doi.org/10.1038/nclimate1745>

Hewitt, C. D., & Stone, R. (2021). Climate services for managing societal risks and opportunities. *Climate Services*, 23, 100240. <https://doi.org/10.1016/j.cliser.2021.100240>.

Ruane, A. C., Teichmann, C., Arnell, N. W., Carter, T. R., Ebi, K. L., Frieler, K., Goodess, C. M., Hewitson, B., et al. (2016). The Vulnerability, Impacts, Adaptation and Climate Services Advisory Board (VIACS AB v1.0) contribution to CMIP6. *Geoscientific Model Development* 9 (9) 3493–3515. 10.5194/gmd-9-3493-2016.

Schär C., Fuhrer O., Arteaga A., Ban N., Charpiroz C., Girolamo S.D., et al. Kilometer-scale climate models: Prospects and challenges. *Bull Am Meteorol Soc.* 2020; 101: E567-E587 <https://doi.org/10.1175/BAMS-D-18-0167.1>

Taylor, K. E., Stouffer, R. J., and Meehl, G. A. (2012). An overview of CMIP5 and the experiment design. *Bull. Am. Meteorol. Soc.* 93, 485–498. doi:10.1175/BAMS-D-11-00094.1

White, C.J., Carlsen, H., Robertson, A.W., Klein, R.J., Lazo, J.K., Kumar, A., Vitart, F., Coughlan de Perez, E., Ray, A.J., Murray, V., Bharwani, S., MacLeod, D., James, R., Fleming, L., Morse, A.P., Eggen, B., Graham, R., Kjellström, E., Becker, E., Pegion, K., Holbrook, N.J., McEvoy, D., Depledge, M., Perkins-Kirkpatrick, S., Brown, T.J., Street, R., Jones, L., Remenyi, T.A., Hodgson-Johnston, I., Buontempo, C., Lamb, R., Meinke, H., Arheimer, B., & Zebiak, S.E. (2017). Potential applications of subseasonal-to-seasonal (S2S) predictions. *Meteorol. Appl.*, URL: <http://doi.wiley.com/10.1002/met.1654>. DOI: 10.1002/met.1654.

Лекция лауреата премии ММО

Сью Баррелл



Сью Баррелл выступает с лекцией лауреата премии ММО на 19-м Всемирном метеорологическом конгрессе (май 2023 года)

Мы часто говорим о данных как об источнике жизненной силы ВМО. Действительно, данные с самого начала занимали центральное место в деятельности ВМО, а до нее — в деятельности ИМО. По мере того как ВМО расширяет концепцию систем Земли и вступает в цифровую эру, вопросы, связанные с данными, приобретают всё большее значение. Однако иногда мы забываем, что сердце ВМО — это люди, и что без них не было бы ни данных, ни систем, ни обмена, ни сотрудничества, ни обслуживания, ни исследований, ни инноваций.

Многие замечательные люди сыграли свою роль в формулировании и продвижении целей международной метеорологии, начиная с первых дней существования ИМО и вплоть до сегодняшнего дня, когда у нас есть по-настоящему глобальная организация, которой является ВМО. Но в центре моего внимания находятся люди как смысл существования ВМО сейчас и в будущем — люди как движущая сила в реализации Перспективы ВМО — целей международной метеорологии.



Церемония вручения премии ММО: Герхард Адриан, президент ВМО, и Сью Баррелл, лауреат премии ММО, с мужем Квином Барреллом

Мы, люди, составляющие глобальное сообщество ВМО, знаем, что погода, вода, климат, криосфера и другие опасные явления оказывают на людей воздействие различным образом. Мы признаем, что масштабы этих воздействий зависят от многих факторов, особенно от места и обстоятельств, и, как правило, люди, которые страдают от самых серьезных воздействий, наиболее уязвимы и подвержены риску. В связи с этим люди уполномочивают сообщество ВМО осуществлять мониторинг, исследовать, понимать и предсказывать состояние системы Земля, а также предоставлять столь необходимые данные, информацию и обслуживание для оказания помощи и обеспечения руководства в случае угрозы опасных явлений. Поскольку мы готовимся к экстремальным погодным, климатическим, связанным с водой и другим явлениям окружающей среды, и преодолеваем их воздействие и социально-экономические последствия, Перспектива ВМО направлена на обеспечение устойчивости и устойчивого развития всех стран, особенно наиболее уязвимых.

Во время празднования Всемирного метеорологического дня — 23 марта 2022 года — акцент на людях стал более четко выраженным, когда Генеральный секретарь ООН Антониу Гутерриш объявил о стремлении обеспечить защиту каждого человека на Земле с помощью систем заблаговременных предупреждений в течение пяти лет и предложил ВМО возглавить эту инициативу. В 2022 году [Верховный комиссар ООН по делам беженцев](#) (УВКБ ООН) говорил об очевидной и растущей связи между изменением климата и перемещением населения, ссылаясь на то, что с января 2021 года более миллиона человек были вынуждены покинуть Сомали из-за вооруженного конфликта и засухи. Беженцы и перемещенные лица кровно заинтересованы в принятии решительных мер по борьбе с изменением климата, но при обсуждении этого вопроса о них часто забывают. Верховный комиссар подчеркнул острую необходимость совместной работы мирового сообщества над решением этой проблемы.

Сообщество ВМО приняло вызов Генерального секретаря ООН в тесном сотрудничестве с другими учреждениями ООН. Вместе с нашими коллегами из [Межправительственной океанографической комиссии ЮНЕСКО](#) и [Программы ООН по окружающей среде](#) мы обеспечиваем поистине глобальный голос в решении задач мониторинга, понимания и информирования о состоянии системы Земля. Совместно с [Управлением ООН по снижению риска бедствий \(УСРБ ООН\)](#) мы разрабатываем компоненты обслуживания в области заблаговременных предупреждений, чтобы удовлетворить потребности наиболее уязвимых слоев населения. Мы предоставляем информацию глобальным структурам, таким как [Межправительственная группа экспертов по изменению климата \(МГЭИК\)](#) и [Рамочная](#)

конвенция ООН об изменении климата (РКИК ООН), с целью стимулирования реальных обязательств и действий по пониманию, сокращению, смягчению и адаптации к изменению климата на благо людей во всем мире. Важную роль в этой работе играют такие международные инициативы, как [Глобальная система наблюдений за климатом \(ГСНК\)](#), [Глобальная служба атмосферы](#), [Всемирная программа исследований климата \(ВПИК\)](#), [Всемирная программа метеорологических исследований погоды \(ВПМИ\)](#) и развивающаяся [Глобальная служба наблюдения за парниковыми газами](#). Все эти структуры опираются именно на базовые системы и виды обслуживания постоянно развивающейся [Всемирной службы погоды](#), стратегически контролируемой ВМО и реализуемой ее Членами через их сотрудников.

Соединить элементы глобальных программ на национальном уровне и на уровне простых людей, которых нужно информировать, предупреждать, предостерегать, мобилизовывать и обеспечивать их безопасность — сложная задача. Людям отводится место в центре, а не на периферии.

Обширное сообщество

ВМО должна как никогда сосредоточиться на своем обширном сообществе людей:

- сотрудники, работающие непосредственно в ВМО, — от руководящего состава до тех, кто обеспечивает ее повседневную работу и выполнение программ;
- выборные должностные лица — Исполнительный совет и конституционные органы;
- эксперты, которые возглавляют и вносят вклад в работу технических комиссий, исследовательских программ и координируемых на региональном уровне мероприятий;
- постоянные представители, которые вместе с Всемирным метеорологическим конгрессом определяют стратегические приоритеты Организации и правила, которым должны следовать ее Члены;

- партнерские учреждения ООН и организации по оказанию помощи, региональные объединения, космические агентства и международные исследовательские программы, частный сектор, благотворительные организации и многие другие — вместе мы обеспечиваем комплексное и согласованное реагирование на глобальные проблемы, связанные с погодой, водой и климатом;
- самое главное — сами Члены ВМО — их национальные метеорологические и гидрологические службы (НМГС) и другие национальные учреждения, их руководители и сотрудники, которые управляют инфраструктурой, собирают данные и обмениваются ими, а также разрабатывают и предоставляют информацию и обслуживание конечным пользователям, которых они обслуживают;
- и, что немаловажно, волонтеры, которые помогают собирать данные, от которых мы зависим.

Это большое сообщество и множество людей. Однако глобальные, региональные, национальные и местные сообщества пользователей обслуживания и данных ВМО гораздо шире и столь же разнообразны. В их число входят национальные и местные разработчики политики, которые разрабатывают правовую базу и выделяют ресурсы для создания, поддержки и обеспечения возможности для своих сообществ быть устойчивыми и организованными при реагировании на экстремальные погодные условия и последствия изменения климата. В их состав входят службы по оказанию экстренной помощи населению, которые помогают сообществам планировать, готовиться к экстремальным явлениям и реагировать на них. Организации и предприятия сферы обслуживания также планируют повседневные и стратегические работы на основе информации ВМО. И давайте не забывать, что мы также обслуживаем исследовательское сообщество, которое создает будущие научные разработки и модели, которые в свою очередь помогут ВМО лучше обслуживать будущие сообщества.



Сью и Хелен Клью посетили станцию Кеннаук/мыс Грим [Глобальной службы атмосферы \(ГСА\)](#) на северо-западной оконечности Тасмании в 2010 году, когда они были сопредседателями Группы по управлению мыса Грим



На борту судна, отправлявшегося в рейс в целях установки буя [Австралийского бюро метеорологии \(АБМ\)](#) для регистрации цунами (Таунсвилл, 2010 год). Сю была первой женщиной-метеорологом, ставшей руководителем высшего звена в АБМ.



Сю с коллегами по установке автоматических зондов на станции АБМ на острове Лорд Хау, когда она возглавляла подразделение «Наблюдения и инженерные работы» в 2011 году

С одной стороны, есть механизмы и люди сообщества ВМО, которые совместно работают над созданием и предоставлением данных, информации и знаний, а с другой — люди, которые используют эти ресурсы, для того, чтобы преуспевать и в очень многих случаях — для того чтобы выживать. Развитие науки, данных и технологий меняет в настоящее время эту динамику. Автоматизация на основе моделей и новые инструменты, такие как искусственный интеллект (ИИ), позволяют быстро создавать продукцию с добавленной стоимостью, а также создают спрос на новые навыки и меняют роль специалистов учреждений. На самом деле сегодня нет никаких сторон — есть непрерывный ряд людей, стремящихся получить пользу от науки, технологий и инноваций. В этом ряду во главу угла должны быть поставлены потребности людей.

Для этого нам необходимо лучше оценить роль людей в комплексной системе Земля. Если мы всё сделаем правильно, мы наладим более прочные связи между всеми сообществами и народами, станем более информированными, умными, инклюзивными

и продуктивными, а также добьемся лучших и более эффективных результатов во всем мире.

Соответствие, доверие и возможности

Призыв к равенству, разнообразию и инклюзивности чаще всего связан с привлечением большего числа женщин, расширением культурного, расового, возрастного и регионального участия и включением людей с ограниченными возможностями здоровья в штат сотрудников, но дело не в справедливости: речь идет о расширении возможностей и раскрытии потенциала тех групп, которые представлены в меньшей степени, для создания более равноправных обществ. Равенство, многообразие и инклюзивность, реализованные эффективно, принесут реальную пользу организациям и обществу за счет равенства участия, возможностей и повышения производительности.

Однако для обеспечения более комплексного подхода, ориентированного на интересы людей, при взаимодействии со всеми нашими сотрудниками и при предоставлении обслуживания, нам также необходимо смотреть сквозь призму таких категорий, как соответствие, доверие и возможности.

Соответствие. Большинство правительственных учреждений обязаны следить за точностью своей информации и продукции. Но насколько хорошо они оценивают их эффективность? Знают ли они, соответствует ли предоставляемая ими информация потребностям конечных пользователей для принятия решений? Какая часть информации, если таковая имеется, используется? Может ли пользователь интерпретировать информацию и понять, что именно предполагалось передать в полученном сообщении?

Обеспечение соответствия информации потребностям конечных пользователей зависит от того, насколько хорошо сотрудники организаций, особенно НМГС, взаимодействуют с теми, кто использует эту информацию. Это непростая задача, учитывая разнообразие сообществ, различные способы доступа пользователей к информации и множество сфер применения и решений, где используется эта информация. Преодолеть разрыв в построении непрерывной связи между поставщиком и пользователем гораздо проще, когда оба говорят на одном языке, как в буквальном, так и в метафорическом смысле. Люди, работающие в НМГС, должны по-настоящему соответствовать интересам населения, которое они обслуживают, с учетом культурных, языковых, местных, связанных с возможностями, географических и других различий.

Государственные учреждения могут наилучшим образом обслуживать свое сообщество, когда они выглядят, как их пользователи, говорят, как они и активно работают с ними, чтобы понять их потребности, а также планировать и совместно разрабатывать обслуживание и системы предоставления обслуживания. Когда такой уровень связи достигнут — между сотрудниками учреждения

и людьми, которые используют информацию, — повышение эффективности и ее оценка станут более простыми и значимыми.

Доверие. Люди с большей вероятностью будут искать и применять информацию, полученную из источника, которому доверяют, а также действовать на основе этой информации. Доверие зависит от многих вещей, но в первую очередь — от нашей способности прислушиваться к мнению пользователей, а затем надежно предоставлять пригодную для использования и нужную информацию, которая действительно отражает их потребности. Доверие проистекает из того, что сообщество хорошо представлено в учреждении и зависит от поддержания прочных связей между сообществом и учреждениями, которые его обслуживают. Поставщик услуг укрепляет доверие, уважая пользователя настолько, чтобы быть открытым и прозрачным, когда неопределенность слишком высока, и признавая свою вину, когда не всё получается. Доверие, возникшее в хорошую погоду, особенно важно при угрозе экстремальных явлений. Раннее предупреждение эффективно только в том случае, если ему доверяют настолько, чтобы вызвать соответствующее реагирование.

Возможности. Люди, особенно принадлежащие к различным и многообразным группам, сталкивались и преодолевали множество разнородных проблем, учились мыслить и подходить к проблемам творчески, а также накопили богатый жизненный опыт. Имеет смысл использовать все потенциально доступные возможности путем активного поиска и использования всех имеющихся способностей и разнообразных навыков, опыта и перспектив. Существует множество доказательств того, что разноплановые группы работают эффективнее и принимают более обоснованные решения, поэтому все поставщики товаров и обслуживания должны использовать преимущества естественного разнообразия, представленного в местном населении.

Мы можем сделать еще больше как в Секретариате ВМО, так и в национальных учреждениях Членов, чтобы применять принципы **справедливости, многообразия и инклюзивности** с большей отдачей, рассматривая их через призму **соответствия, доверия и возможностей**. Это то, что нам всем необходимо сделать как по отдельности, так и вместе.



Сью выступает с докладом на Технической конференции Комиссии по основным системам (КОС), посвященной Интегрированной глобальной системе наблюдений ВМО (ИГСНВ) в Дубровнике (Хорватия) в марте 2009 года. На последующей сессии она была избрана вице-президентом КОС.



Сью на борту судна, следовавшего вдоль побережья Хорватии, с Фредом Брански в 2009 году, после их избрания в качестве вице-президента и президента КОС

«Женщины держат половину неба», — заявил Мао Цзэдун, подчеркивая необходимость присутствия женщин во всех профессиональных сферах.

Гендерное равенство — это лишь часть стоящей перед нами задачи, но очень важная. В своем обращении по случаю Международного женского дня в начале этого года Генеральный секретарь ООН Гутерриш предупредил, что при нынешних темпах изменений для достижения всё более отдаленной цели — гендерного равенства — потребуется еще три столетия. Он призвал правительства, гражданское общество и частный сектор к «коллективным действиям» по всему миру для обеспечения гендерно-ориентированного образования, повышения квалификации и увеличения инвестиций в «преодоление гендерного разрыва в цифровых технологиях». Он обратил особое внимание на огромный гендерный разрыв в области науки и технологий. Поучительно, что первой женщине, получившей премию ИМО, потребовалось 47 лет — в 2002 году ею стала Джоан Симпсон. Темпы немного возросли, но спустя 20 лет я стала лишь четвертой женщиной, получившей эту премию.

Как мы в ВМО можем добиться необходимых перемен и стать примером для ООН и учреждений Членов? Как мы можем повысить уровень справедливости, разнообразия и инклюзивности всех наших сотрудников, чтобы полнее соответствовать интересам сообществ пользователей и укреплять их доверие к нам, а также использовать все имеющиеся у нас возможности и благодаря этому укрепить нашу способность действительно поставить людей в центр нашей комплексной системы Земля?

Начните с собственного дома

Я обращаюсь к сообществу ВМО, особенно к постоянным представителям, руководителям учреждений, лидерам и всем тем, кто влияет на политику и практику в наших учреждениях, с несколькими задачами. Это тот случай, когда решение начинается с собственного дома. Этого не произойдет без вашего руководства, но это несложно.

Во-первых, вы должны показать реальное стремление к расширению разнообразия ваших национальных учреждений как для повышения производительности и национальной выгоды, так и для глобальной выгоды посредством ВМО. Преимущества будут иметь много направлений: более точное представление имеющегося разнообразия, предлагаемого населению, приведет к повышению доступности и качества обслуживания для всех, повысит эффективность и продуктивность работы групп специалистов, оптимизирует возрастной разброс в организации, что поможет планировать замещение ключевых должностей, а также повысит доверие широкой общественности в отношении предоставляемого обслуживания и его авторитет.

Для достижения этого имеются простые пути:

- Работайте усерднее над сохранением уже имеющегося разнообразия, улучшая условия предоставления отпуска по семейным обстоятельствам, частичной занятости или гибкого графика работы для ВСЕХ сотрудников, а не только для женщин. Нормализация таких положений для всех сотрудников гарантирует равное отношение ко всем и уважение их выбора, и они с большей вероятностью останутся в организации и будут стремиться к карьерному росту – все сотрудники также станут наглядным примером для потенциальных работников.
- При хорошем обращении ваши сотрудники станут вашими самыми преданными сторонниками, особенно если они похожи на тех, кого обслуживают. Вы можете использовать эту поддержку с помощью послов программы STEM (наука, технологии, инженерия и математика). Поощряйте всех сотрудников и представителей всех дисциплин STEM рассказывать о своей работе: посещайте школы и общественные группы, а также собрания представителей коренных народов, языков и культур как в городах, так и в сельской местности. Продемонстрируйте, что разнообразие и инклюзивность являются нормальной практикой на ваших рабочих местах. Распространяйте информацию, поощряйте студентов всех возрастов и полов изучать предметы STEM и стремиться работать в ваших учреждениях. Вооружите своих послов простым реквизитом, а также информацией об исследованиях, данных и обслуживании. Но наибольшее воздействие окажет то, что сотрудники расскажут о своей работе как метеорологи, гидрологи, специалисты по информационным технологиям, инженеры, исследователи, климатологи, гляциологи и другие.

Как говорится: если ты не видишь этого, ты не можешь быть этим!

- Пересмотрите процедуры найма и продвижения по службе для всех должностей, а не только для должностей в области STEM, чтобы убедиться, что равенство и разнообразие отражены во всех аспектах, в том числе в описании должности и в отборочной комиссии. Активно продвигайте работу, которую вы выполняете, и навыки, которые вам нужны, в областях и среди групп, недостаточно представленных в вашем штате сотрудников. Разместите рекламу о вакансиях или наборе стажеров в средствах массовой информации, доступных в этих сообществах. Привлеките уполномоченных сотрудников к информационно-просветительской работе.
- Взаимодействуйте с сотрудниками из различных и разнообразных групп чтобы понять, как выглядит и какое впечатление производит успешная инклюзия, и формируйте свои действия соответствующим образом.
- Пересмотрите свои методы работы и программы обучения, особенно для технических должностей, чтобы устранить скрытые барьеры или подсознательные предубеждения, которые могут препятствовать привлечению более разнообразного круга кандидатов.
- Наставничество и создание неформальных сетей являются простыми и экономически эффективными инструментами для укрепления доверия и вовлеченности, а также для поощрения удержания сотрудников и их развития. Если вы не можете создать собственную программу наставничества, присоединитесь к национальной инициативе, например к инициативе в рамках образовательной Академии наук или других учреждений STEM, или обратитесь за советом к Секретариату ВМО.



Сью возле знака «Южный полярный круг» на пути к австралийской станции в Кейси, февраль 2018 года. «Антарктические исследования являются ключом к решению многих проблем, — заявила Сью, — и особенно к пониманию и смягчению последствий изменения климата и к защите окружающей природной среды в будущем».



Сью, возможно, установила рекорд, посетив Арктику менее чем через месяц для участия в работе Группы экспертов Исполнительного совета по полярным и высокогорным наблюдениям, исследовательской деятельности и обслуживанию (ГЭИС-ПВНИДО) в Лапландии в марте 2018 года

- Поощряйте сотрудников к участию в [программах наставничества, создания сетей и союзов ВМО](#), объединяющих опытных экспертов с молодыми или начинающими сотрудниками для обмена опытом и стимулирования роста, а также для содействия планированию преемственности в экспертных группах и внутри вашей организации.

Во-вторых, необходимо более активно выдвигать экспертов для участия в экспертных и рабочих группах на региональном уровне и через базу данных экспертов ВМО. Это приносит пользу по нескольким направлениям и обеспечивает окупаемость затрат вашей службы благодаря личному развитию людей, передаче новых методов, идей, систем и данных между вашим учреждением и ВМО (в обе стороны), а также благодаря сетям, которые создают ваши эксперты, и связям, которые они устанавливают. Нынешняя нехватка разноплановых экспертов в базе данных ставит под сомнение процессы, происходящие в учреждениях Членов: то ли женщины и представители меньшинств не представлены в учреждениях, то ли их не замечают при выдвижении на роль эксперта ВМО?

Чтобы изменить эту ситуацию, необходимы конкретные действия:

- применяйте принципы равенства и многообразия, а также квоты, если они существуют, при отборе экспертов для включения в базу данных экспертов ВМО с целью обеспечения инклюзивности и представленности всех разнообразных групп;
- выдвигайте больше, а не меньше экспертов, это особенно важно для регионов с более высокой долей развивающихся и наименее развитых стран — возможно, не все они будут востребованы, но технические комиссии и другие органы смогут выбрать экспертов из более широкого круга, который отражает как разнообразие нашего сообщества, так и множество областей знаний;

- обращайтесь к экспертам за пределами НМГС, если ключевые знания и опыт можно получить в других местах — обратитесь к океаническим, гляциологическим, гидрологическим, климатическим, космическим и другим учреждениям, а также к научным кругам с просьбой о выдвижении кандидатур. Это также позволит создать более эффективные сети и связи на национальном уровне;
- обратитесь к техническим комиссиям и председателям/координаторам за отзывами о вкладе ваших экспертов. Поощряйте тех, кто обладает высоким потенциалом, к дальнейшему выполнению своих обязательств с тем, чтобы в будущем они могли стать председателями экспертных групп и занимать руководящие должности.

В-третьих, система управления ВМО служит отличным примером международного сотрудничества. Нам, как лидерам сообщества ВМО, необходимо уделять особое внимание включению молодых и самых разных людей в состав делегаций для участия в сессиях Конгресса, Исполнительного совета и конституционных органов. Это будущие лидеры нашего сообщества. Участие в таких сессиях предоставляет возможности для профессионального развития и налаживания контактов, создания долгосрочных альянсов, а также знакомит с процессами управления, которые являются основой ВМО.

В-четвертых, [Единая политика ВМО в области данных](#) является прекрасным средством для повышения осведомленности и сотрудничества между соответствующими национальными организациями, академическими учреждениями и частным сектором. Основная цель этой политики состоит в том, чтобы расширить доступ к комплексным данным наблюдений за системой Земля в качестве основы для предоставления всестороннего обслуживания. Но это также является средством для расширения сотрудничества и сетей, увеличения числа экспертов и наставников, а также для создания новых образцов карьерного роста для следующего поколения профессионалов в области STEM. Это также может способствовать взаимобмену и развитию персонала, расширению возможностей для карьерного роста и повышению разнообразия различными способами.

Секретариат и эксперты

Секретариат ВМО, как работодатель и через работу своих технических и экспертных органов, также должен быть более инициативным. В обновленном [Плане действий ВМО по гендерным вопросам](#) хорошо проработано обоснование того, почему действия в этой области важны, и представлен широкий набор действий, которые позволят изменить ситуацию к лучшему. Но эти действия должны быть подкреплены реальными обязательствами по выделению как человеческих, так и финансовых ресурсов из основного бюджета. Гендерное равенство — это не игра с числами; пользу от равенства и разнообразия



Встреча австралийских сотрудников и делегатов на Исполнительном совете (2016 год)

нельзя получить без обеспечения подлинной инклюзивности и уважения.

В ходе своей работы сотрудники и эксперты ВМО путешествуют по всему миру как физически, так и виртуально. Они взаимодействуют с коллегами из всех Членов ВМО и всей системы ООН, причем в самых разных областях знаний. Они имеют все возможности для того, чтобы быть послами ВМО и ее миссии, объединять людей в рамках ВМО и партнерских сообществ, а также на всех этапах развития науки и обслуживания, и держать людей в центре всего, что мы делаем.

Технические комиссии и Совет по исследованиям, а также координаторы региональных рабочих групп опираются на экспертов, назначенных Членами, для комплектования своих групп и выполнения критически важных планов работы. Описанные выше действия позволяют расширить круг квалифицированных и доступных специалистов, к которым они могут обратиться. Однако на них по-прежнему лежит ответственность за подбор экспертов и создание эффективных и многопрофильных групп. Наставничество со стороны более опытных экспертов будет способствовать внедрению в группы новых разнообразных экспертов и опыта, а также расширению участия группы, привнесению новых идей и подходов. Важно отметить, что это также поможет в планировании преемственности путем выявления и подготовки потенциально новых председателей для обеспечения более структурированной смены руководства. Аналогичным образом молодым ученым, которые только начинают участвовать в исследовательских программах ВМО, также будет полезно получить наставническую помощь от тех, кто имеет большой опыт. Начинающие исследователи часто стремятся внести свой вклад и полны энергии, их еще не обременяют другие неотложные дела, требующие времени и знаний.

Большее разнообразие и более сбалансированное [региональное представительство](#) в группах технических комиссий поможет наладить мосты с региональными ассоциациями. Оно также поможет сделать преемственность реальностью, преодолевая

разрыв между ВМО, Членами и их сотрудниками, и людьми, зависящими от информации и обслуживания, которые они предоставляют.

Заблаговременные предупреждения для всех

В заключение я возвращаюсь к задаче, которую поставил перед ВМО Генеральный секретарь ООН Гутерриш. Цель инициативы «Заблаговременные предупреждения для всех» отражает ценность жизни каждого человека на Земле. В ней признается растущая угроза, с которой сталкиваемся мы все, особенно наиболее уязвимые слои населения, не только от экстремальных погодных явлений, но и от их обострения в условиях неуправляемого изменения климата.

Прошло уже больше года с момента истечения пятилетнего срока, установленного Генеральным секретарем ООН. Сейчас самое время задуматься о том, насколько хорошо представлены и связаны друг с другом люди на всех этапах цикла создания стоимости, касающегося комплексной системы Земля — от поставщиков до предполагаемых бенефициаров. Решение этой проблемы начинается с собственного дома, поэтому особенно своевременно, чтобы Члены через своих постоянных представителей активизировали усилия по созданию разнообразной и инклюзивной рабочей силы, необходимой сейчас и в будущем для более эффективного выполнения нашей общей миссии, а также для обеспечения того, чтобы информация, предоставляемая пользователям, действительно отражала их потребности. Речь идет о том, чтобы максимально эффективно использовать ресурсы и возможности, которыми мы обладаем, для достижения наилучших результатов для всех. И это нужно для того, чтобы убедиться, что мы действительно держим все небо.

Слова благодарности

Я хотела бы воспользоваться возможностью, чтобы поблагодарить и отметить многих людей: за 20 лет моего участия в работе ВМО меня поддерживали многие друзья в Женеве, а также эксперты и сотрудники по всему миру; мои друзья, наставники, коллеги; сменявшие друг друга руководители Метеорологического бюро ценили и поощряли мое постоянное участие в работе ВМО; и самое главное — моя семья, особенно мой муж Кевин и наши сыновья, Кристофер и Дэвид, являются постоянным источником ободрения, поддержки и любви, а также терпимости к моим долгим, поздним часам работы и частым отлучкам.

Интервью со Сью Баррелл, лауреатом премии ММО

Сильви Кастонгэ, Секретариат ВМО

Советы начинающим руководителям



Сью Баррелл на станции
ГСА Кеннаук/мыс-Грим
в 2010 году

Сьюзан (Сью) Баррелл была удостоена Премии ММО 2022 года, высшей награды ВМО, за достижения на национальном уровне и на международной арене в области научной политики, мониторинга климата, исследований и наблюдений за системами Земли. Она стала четвертой женщиной-ученым, удостоенной премии ММО с момента ее первого вручения в 1956 году. Ввиду редкости этого события

у Бюллетеня было много вопросов к ней.

Бюллетень: Сью, на Вашей странице в Википедии написано, что в школе Вам говорили, что Вы «можете делать всё, что угодно», и Вас вдохновляли школьные научные программы и стимулировали учителя. Расскажите нам подробнее о том, что на Вас оказало влияние в раннем возрасте и как Вы пришли к метеорологии.

Основное влияние на меня в раннем возрасте оказали мои родители. Я была одной из пяти детей (две девочки и три мальчика), и нас всех поощряли заниматься тем, что нас интересовало, а мое природное любопытство к тому, как

всё устроено, привело меня к математике и естественным наукам. Благодаря вдохновенным учителям математики и естественных наук в моей школе для девочек у меня никогда не возникало сомнений в том, что, поступив в университет, я буду заниматься именно наукой. Моя ранняя страсть к физике и астрономии привела меня к получению степени PhD по астрономии, но моя более практичная сторона взяла верх, и к моменту получения степени PhD я была полна решимости сделать карьеру в прикладной науке. Именно тогда я открыла для себя метеорологию, а остальное, как говорится, уже история!

Бюллетень: Были ли на этом пути важные люди и моменты, о которые Вы с удовольствием вспоминаете?

На меня оказало влияние множество людей и наставников. Мой учитель математики в средней школе, который «взорвал» учебную программу по математике и открыл мне глаза на то, какой интересной может быть прикладная и более сложная математика. Мой научный руководитель, который напомнил мне, когда я сказала ему, что не собираюсь заниматься астрономией после получения степени PhD, что степень PhD предназначена для того, чтобы научить вас проводить исследования, а не сделать вас лучшим астрономом в мире. Моя единственная женщина-профессор, у которой на стене висела табличка «Чтобы женщину приняли наравне с мужчиной, она должна доказать, что она вдвое лучше; к счастью, это несложно!».

И, конечно, такие наставники, как Джон Зиллман, которые побуждали меня расширять границы моих интересов и возможностей. Я горжусь моментом, когда меня удостоили звания кавалера ордена Австралии IV степени, по крайней мере хотя бы отчасти благодаря номинации от одного из моих учеников.

Бюллетень: Что побудило Вас сделать карьеру в метеорологии, а не продолжать заниматься астрономией



Сью в раннем детстве (Дарлингтон, Соединенное Королевство) со своим отцом, одним из самых первых авторитетов, который знал, как вдохновить свою умную, изобретательную и упрямую девочку. Семья иммигрировала в Новую Зеландию, когда ей было около 4 лет.

после получения степени PhD? Расскажите нам также о начале Вашей карьеры.

Именно возникшая тогда проблема изменения климата впервые привлекла мое внимание к метеорологии. Вскоре после работы в сфере оперативной деятельности, исследований и мониторинга климата я обнаружила, что очень активно занимаюсь вопросами изменения климата. Я представляла Австралию по вопросам научной политики на сессиях со 2-й по 10-ю Конференции Сторон (КС) Рамочной конвенции Организации Объединенных Наций об изменении климата (РКИК ООН). В течение всего этого времени я возглавляла неофициальные консультации во Вспомогательном органе для консультирования по научным и техническим аспектам (ВОКНТА) по статье 5 «Исследования и систематические наблюдения», тесно сотрудничая с Глобальной системой наблюдений за климатом (ГСНК). Я также принимала участие в подготовке оценочных докладов Межправительственной группы экспертов по изменению климата (МГЭИК) с конца 2-го по начало 4-го, в том числе в качестве редактора-рецензента при подготовке Третьего оценочного доклада (ОДЗ). Как и многие другие, я получила свою небольшую долю признания через Нобелевскую премию мира. Именно усиление внимания к комплексным наблюдениям привело меня к более тесному взаимодействию с ВМО.

Бюллетень: С чем Вы связываете свой успех?

Мне кажется, я не признавала успех даже до конца своей трудовой карьеры, когда люди стали просить у меня совета о том, как добиться успеха. Вообще-то, когда я ставлю перед собою какую-то цель, то всецело сосредоточиваюсь на ее достижении, а моя сила — в самоограничении. Я просто не могла представить себе, что можно делать что-то по-другому поэтому я шла вперед и изучала новые возможности, когда они появлялись. По большей части на протяжении всей моей карьеры в [Бюро метеорологии](#) и международной деятельности меня окружали интеллигентные и позитивные люди, и я умела игнорировать тех, кто таковыми не являлся.

Бюллетень: С Вашей точки зрения, почему так мало женщин получают признание от научного сообщества?

В начале существования премии ММО в метеорологии было не так много женщин, поэтому вполне понятно, что награда доставалась мужчинам, но в наши дни это гораздо менее оправданно. В метеорологии мы всё еще не достигли паритета, хотя гендерный баланс постепенно улучшается. Тем не менее, награждение женщин по-прежнему не пропорционально их заслугам, и я подозреваю, что причины этого в основном кроются в неадекватном признании достижений женщин и неосознанном предубеждении. Как говорится, чтобы выиграть, нужно быть в деле. Первый шаг на пути к награде — быть номинированным, и нам нужны активисты,



Сью со своими друзьями, коллегами-экспертами ВМО Мишелем Жаном и Хитер Окойн в Женеве в 2017 году

которые повысят социальную значимость вклада и достижений женщин и создадут образцы для подражания, которые в свою очередь будут вдохновлять других.

Бюллетень: Что можно сделать, чтобы привлечь и удержать больше девушек в сфере науки, технологий, инженерии и математики (STEM), научной карьеры?

Привлечение девушек в STEM должно начинаться с раннего возраста, когда учителя и родители создают условия, поощряющие и развивающие их любознательность. Девушек вдохновляет то, что они могут изменить жизнь к лучшему, а наука — мощный инструмент для достижения этой цели. Задача номер один, как мне кажется, заключается в создании чувства равенства и равных возможностей — STEM предназначен как для мальчиков, так и для девушек; нам нужны и те и другие, и мы хотим, чтобы они понимали это. Может быть, если мы сможем сделать этот шаг, то удержать девушек в STEM в процессе обучения в школе, получения высшего образования и начала карьеры будет проще.

Существуют реальные доказательства того, что более разнородные группы и группы с разными взглядами работают лучше и приводят к более эффективным решениям и общим результатам. Это особенно актуально в областях STEM, где разные способы мышления и подхода к проблемам у мужчин и женщин расширяют возможности для инновационных и практических решений.

Бюллетень: В недавней статье в журнале Nature были представлены результаты исследования, согласно которым работа женщин-ученых недооценивается и «женщины получают меньше признания, чем мужчины: они систематически реже указываются в качестве авторов статей и патентов¹». Как мы можем изменить эту ситуацию и тем самым создать больше образцов для подражания для следующего поколения?

1 Ross, M.B., Glennon, B.M., Murciano-Goroff, R. et al. Women are credited less in science than men. *Nature* **608**, 135–145 (2022). <https://doi.org/10.1038/s41586-022-04966-w> (22 June 2022, <https://www.nature.com/articles/s41586-022-04966-w>)

Мы все, мужчины и женщины, можем стать союзниками и помочь повысить авторитет, уверенность и социальную значимость женщин на рабочих местах; быть справедливыми и гармоничными в признании достижений, в признании вклада и идей, в предоставлении возможностей наставничества и обучения, и, например, в поощрении участия в экспертной деятельности ВМО. Мы должны кричать о предвзятости и предубеждениях, где бы мы их ни увидели, и оказывать практическую поддержку, когда это необходимо для устранения несправедливости. Как уже говорилось выше, мы можем номинировать женщин с высокими достижениями на получение наград и широко пропагандировать их успех.



Сью на заслуженном отдыхе в Бутане в 2015 году

Бюллетень: Как Вы руководили другими людьми, наставляли и развивали их на протяжении своей карьеры?

На протяжении всей своей карьеры я пользовалась щедрой наставнической помощью и всегда старалась предложить то же самое другим как во время работы в Бюро, так и сейчас, когда я вышла на пенсию. Будучи руководителем, я стараюсь выявить тех, кому была бы полезна наставническая помощь, иногда с моей стороны, но чаще всего со стороны других людей, не входящих в их сферу деятельности, как для объективности, так и для того, чтобы привнести различные точки зрения. Я склоняюсь к тому, что наставничество — это совместный контракт, поскольку мне всегда есть чему поучиться у других. Слышать об их успехах в продвижении по службе или смелых шагах к новым полномочиям всегда очень приятно. Мне особенно приятно, когда подопечные, как мужчины, так и женщины, обращаются ко мне как к наставнику после моего выступления или после того, как они прочитали написанную мной статью. Иногда они представляют сферы, далекие от метеорологии и даже науки, — у меня были подопечные из разных министерств и ведомств, включая здравоохранение, налоговые и промышленные департаменты.

Бюллетень: Какие черты характера, по Вашему мнению, наиболее ценны для лидерства?

Важно, что лидер — это не просто человек на вершине карьеры, определяющий и поддерживающий



Посещение Гренландии в 2017 году

стратегию своей группы и/или организации. Вы становитесь лидером всякий раз, когда влияете на выбор или решения, которые кто-то принимает, и вы должны ценить и принимать ответственность и доверие, которые связаны с этой ролью. Помимо этого, наиболее ценными чертами характера я бы назвала честность, эмпатию, доступность, объективность и способность слушать, слышать и рассматривать различные точки зрения. И никакого давления!

Бюллетень: Что Вы посоветуете женщинам, которые стремятся к лидерству — во всех областях науки, в качестве лиц, разрабатывающих политику, наставников или примеров для подражания для начинающих ученых и новых лидеров?

После окончания моей долгой карьеры меня часто просят дать совет начинающим женщинам-руководителям. Некоторые из них вы найдете в моих ответах на предыдущие вопросы, но вкратце мои пять советов таковы:

1. Правильно выбирайте родителей — ладно, вы не можете выбрать своих родителей, но вы можете стать таким родителем, учителем, наставником или лидером, которого вы хотели бы иметь (или имели!), того, кто поддерживает, вдохновляет, устраняет барьеры и побуждает вас делать свой собственный выбор.
2. Верьте в себя, иначе никто в вас не поверит.
3. Не существует такого понятия, как удача, — всё дело в том, чтобы создать или найти возможности и использовать их по максимуму.
4. Речь идет не только о женщинах — нам нужны и мужчины, и мы должны работать вместе, уважая друг друга, — в этом и заключается смысл разнообразия.
5. У вас может быть всё: семья, карьера и возможность внести реальный вклад в выбранную вами область. Это требует работы, выбора и компромиссов, но это легче, если у вас есть хорошие союзники (и вы в свою очередь сами являетесь союзником) и вы окружаете себя позитивными людьми.

Ссылки

[Женщины в метеорологии](#) (Бюллетень ВМО 63/2)

World Meteorological Organization

7 bis, avenue de la Paix — Case postale 2300 — CH-1211 Geneva 2 — Switzerland

Тел.: +41 (0) 22 730 81 11 — Факс: +41 (0) 22 730 81 81

Э-почта: wmo@wmo.int — Веб-сайт: www.public.wmo.int

ISSN 0250-6076