



ВСЕМИРНАЯ  
МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКАЯ  
ОРГАНИЗАЦИЯ

# БЮЛЛЕТЕНЬ

Том 69 (1) — 2020 г.

ПОГОДА КЛИМАТ ВОДА

## Климат и вода



# БЮЛЛЕТЕНЬ ВМО

## Журнал Всемирной метеорологической организации

Том 69 (1) — 2020 г.

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

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

**Редактор** Е. Манаенкова  
**Помощник редактора** С. Кастонгэ

**Редакционная коллегия**  
Е. Манаенкова (председатель)  
С. Кастонгэ (секретарь)  
Й. Кульман (вода и криосфера)  
М. Дилли (обслуживание, климат)  
П. Эгerton (политика)  
С. Граймс (океан)  
Д. Иванов (государственно-частное взаимодействие)  
Й. Лютенбахер (наука, инновации)  
М. Пауер (обслуживание Членов)  
Э. Ри (инфраструктура(ы))

**Стоимость подписки**

	Обычная почта	Авиапочта
1 год	30 шв. фр.	43 шв. фр.
2 года	55 шв. фр.	75 шв. фр.

E-mail: [pubsales@wmo.int](mailto:pubsales@wmo.int)

### © Всемирная метеорологическая организация, 2020

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 чёткого указания источника в полном объёме. Корреспонденцию редакционного характера и запросы в отношении частичного или полного опубликования, воспроизведения или перевода настоящей публикации (статей) следует направлять по адресу:

Chairperson, Publications Board  
World Meteorological Organization (WMO)  
7 bis, avenue de la Paix Тел.: +41 (0) 22 730 8403  
P.O.Box 2300 Факс: +41 (0) 22 730 8117  
CH-1211 Geneva 2, Э-почта: [publications@wmo.int](mailto:publications@wmo.int)  
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 отдаётся 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 её Членов.

# Содержание

## Погода, климат, вода — первые 70 лет ВМО

Петтери Таалас . . . . . 2

## Почему проблема воды так часто отсутствует в дискуссиях об изменении климата?

София Кеппель, Анил Мишр и Клаудио Капони . . . . . 5

## Ключевая роль управления водными ресурсами и данных в укреплении мира

Франсуа Мюнгер, Наташа Карми, Каролина  
Пеллатон, Жан Виллемин . . . . . 8

## ГидроСОП — Глобальная система ВМО для оценки текущей гидрологической ситуации и её ориентировочного прогнозирования в целях предоставления информации для более эффективного управления водными ресурсами

Алан Дженкинс, Хэрри Диксон, Виктория Барлоу,  
Кети Смит, Йоханнес Кульман, Доминик Бери,  
Хвирин Ким, Микаэль Шваб,  
Луис Роберто Силва Вара . . . . . 14

**Инновации в глобальном гидрологическом прогнозировании с использованием подхода на основе системы Земля**

Шон Харриган, Ханна Клок и Флориан Паппенбергер. . . . . 20

**Комплексный подход к управлению паводками и борьбе с засухой в бассейне реки Вольта**

Роберт Дессуаси, Арманд Хуанье, Хвирин Ким, Джакомо Теруджи и Рамеш Трипати . . . . . 24

**Система оценки риска возникновения быстроразвивающихся паводков: ответ на одно из самых губительных бедствий**

Милица Джорджевич, Петра Мутич и Хвирин Ким. . . . . 28

**Саммит по вопросам высокогорных районов: результаты и перспективы**

Каролина Адлер, Джон Померой и Родика Ниту. . 34

**Потепление климата в регионе Третьего полюса и изменения в системе криосферы**

Таньдун Яо, Лонни Томпсон, Дэлян Чэнь, Иньшэн Чжан, Нинлянь Ван, Линь Чжао, Тао Чэ, Байцин Сюй, Гуанцзянь У, Фань Чжан, Цюхун Тан, Вальтер Иммерзил, Тобиас Болх, Франческа Пелличотти, Синь Ли, Вэй Ян, Цзин Гао и Вэйцай Ван . . . . . 38

**Ледниковое озеро 513, Перу: уроки для развития обслуживания в области заблаговременных предупреждений**

Кристиан Хуггель, Алехо Кочачин, Фабиан Дренкан, Хавьер Флуикса-Санмартин, Хольгер Фрей, Хавьер Гарсиа Эрнандес, Кристин Юрт, Рэнди Муньос, Карен Прайс и Луис Викунья. . . . . 45

**Объединение данных измерений и результатов моделирования для оценки глобального суммарного атмосферного осаждения: инициатива ВМО**

Лоренцо Лабрадор, Клавдия Волощук и Аманда Коул . . . . . 53

**Показательный проект по космическому мониторингу экстремальных погодных и климатических явлений для Восточной Азии и западной части Тихого океана**

Юрий Кулешов, Такудзи Кубота, Томоко Тасима, Пинпин Се, Тосиюки Курино, Пер Хехлер и Лиза В. Александер . . . . . 60

**Женщины играют ведущую роль в науке на тихоокеанских островах**

Сильви Кастонгэ, Секретариат ВМО . . . . . 67

# Погода, климат, вода — первые 70 лет ВМО



ВМО отмечает своё 70-летие в 2020 году. Мероприятия, приуроченные к празднованию важной вехи для Организации, начинаются 23 марта — в день, когда Конвенция ВМО вступила в силу в 1950 году. Год спустя ВМО стала специализированным учреждением Организации Объединённых Наций, и сегодня число государств и территорий, являющихся Членами ВМО, составляет 193. Но история международного сотрудничества в области метеорологии началась гораздо раньше 1950 года. Международная метеорологическая организация (ИМО), предшественница ВМО, появляется в результате решения Международного метеорологического конгресса в Вене в 1873 году о разработке правил и устава международной метеорологической организации для облегчения обмена информации о погоде между странами. 150-я годовщина этого события будет с надлежащей ей торжественностью отмечаться в 2023 году.



23 марта Всемирный метеорологический день и Всемирный день воды будут впервые отмечаться совместно. Тема «Климат и вода» нашла свое отражение в лозунге празднования «Бережем каждую каплю, каждая капля на счету». Более подробная информация, а также информационно-просветительские материалы доступны в Интернете по адресу: [worldmetday.wmo.int](http://worldmetday.wmo.int). Мы приглашаем сообщество ВМО в полной мере использовать информацию, имеющуюся на веб-сайте, и материалы в своих праздничных мероприятиях.

В этом выпуске Бюллетеня ВМО, посвящённом теме климата и воды, подчёркивается важность включения вопросов, касающихся водных ресурсов, в обсуждение климатической политики. Женевский водный центр — швейцарская инициатива, способствующая рациональному использованию водных ресурсов в качестве инструмента мира и ключевого партнёра Глобального центра поддержки гидрометрии ВМО, со всей очевидностью свидетельствует о том, что нехватка водных ресурсов потенциально может привести к политическим и социальным волнениям. Данные о водных ресурсах являются основой эффективного управления водными ресурсами и заблаговременных предупреждений об опасности многих экстремальных явлений, связанных с водой. Статьи об инициативах и проектах ВМО — от ГидроСОП, космических наблюдений ВМО, Системы оценки риска возникновения быстроразвивающихся паводков до проектов в Африке и Америке — демонстрируют роль подхода на основе системы Земля в решении современных глобальных проблем.

В ознаменование 70-летнего юбилея ВМО проведет выставку фотографий, опубликованных в журнале National Geographic, из серии «Водонапорные башни и самые высокие метеорологические/климатические станции мира». Выставка «Погода, климат, вода» продлится 70 дней до начала сессии Исполнительного совета ВМО, которая была перенесена на осень из-за пандемии COVID-19. Параллельно виртуальный музей «Хронология развития науки о погоде в ВМО» проведёт в социальных сетях показ слайдов. Читателям предлагается присоединиться к этому показу по каналам социальных сетей ВМО, чтобы совершить короткое путешествие в историю изучения погоды, следуя по стопам людей и учреждений, которые поддерживали развитие науки о системе Земля. Эксперты будут сопровождать вас от начала исследований погоды в начале XX века до появления первых электронных компьютеров и спутников,

а затем и далее до суперкомпьютеров, которые произвели революцию в численном прогнозировании погоды.

Кроме того, в 2020 году при содействии учёных и экспертов со всего мира будет выпущена серия публикаций, специально посвящённых 70-летию юбилею. Эти публикации задуманы таким образом, чтобы дать возможность посмотреть одновременно в прошлое и в будущее. В них будут обсуждаться как важные исторические вехи Организации, включая её вклад в метеорологию во всём мире, так и ожидаемые преобразования и инновации по мере того, как мы вступаем в новое десятилетие, и за его пределами. В первой публикации из этой серии «Происхождение, воздействие и последствия резолюции 40 ВМО», вышедшей в январе, бывший Президент ВМО (1995–2003 гг.) Джон У. Зиллман делится своими богатыми воспоминаниями об этом важном периоде истории ВМО. Интересно отметить, что Восемнадцатая сессия Всемирного метеорологического конгресса в июне 2019 года поставила задачу провести обзор политики и практики ВМО в области данных, в том числе в отношении резолюции 40, и призвала ВМО организовать глобальную конференцию по вопросу данных в 2020 году. В связи с этими событиями исторический обзор политики в отношении данных ВМО является своевременным и полезным.

ВМО в течение семидесяти лет способствовала прогрессу в области погоды, климата и воды. Работа сообщества ВМО оказала влияние на жизнь многих миллионов людей дома, на работе и во время отдыха. Опираясь на успех своих первых семидесяти лет, ВМО и её партнёры во всех секторах будут продолжать работать вместе, чтобы обеспечить лучшее будущее для человечества и нашей планеты.

Петтери Таалас  
Генеральный секретарь  
Всемирной метеорологической организации

# Почему проблема воды так часто отсутствует в дискуссиях об изменении климата?

Соня Кеппель<sup>1</sup>, Анил Мишр<sup>2</sup> и Клаудио Капони<sup>3</sup>

Во всём мире миллиарды людей ощущают на себе последствия изменения климата через воду. Частота стихийных бедствий, связанных с водой, возрастает в связи с увеличением интенсивности таких природных явлений, как штормы, сильные ветры, сильные осадки и засушливые периоды. Наводнения, засухи, оползни, прорывы ледниковых озёр и штормовые нагоны влияют на жизнь людей и инфраструктуру в прибрежных зонах и на вершинах гор, на засушливых равнинах и в пустынях, на речных берегах и в поймах рек. Наиболее уязвимы самые бедные и наименее развитые страны. И все же, когда мир говорит о смягчении последствий и об адаптации к новой реальности изменения климата, проблема воды редко фигурирует в повестке дня. Такое положение дел должно измениться, и незамедлительно.

Изменение климата усиливает изменчивость в круговороте воды, вызывая большее число экстремальных явлений погоды, снижая предсказуемость наличия воды и влияя на качество воды. В свою очередь такой каскад последствий ставит под угрозу устойчивое развитие, биоразнообразие и осуществление права человека на воду и санитарии во всем мире.

Растущий спрос оказывает давление на систему, которая уже находится в состоянии стресса. Нельзя терять ни минуты.

## Концепция развития на 2020 год

В этом году в центре внимания системы Организации Объединённых Наций (ООН) находятся вопросы изменения климата и воды. Механизм «ООН — водные ресурсы» использует возможность, чтобы поставить водные ресурсы во главу угла в планах действий по борьбе с изменением климата и на передний план в сознании людей, когда они размышляют об изменении климата.

- 1 Европейская экономическая комиссия Организации Объединённых Наций (ЕЭК ООН)
- 2 Организация Объединённых Наций по вопросам образования, науки и культуры (ЮНЕСКО)
- 3 Секретариат ВМО

В 2019 году экспертная группа механизма «ООН — водные ресурсы» по водным ресурсам и климату, деятельность которой координируется ВМО, Европейской экономической комиссией Организации Объединённых Наций (ЕЭК ООН) и Организацией Объединённых Наций по вопросам образования, науки и культуры (ЮНЕСКО), подготовила аналитическую записку<sup>4</sup> по вопросам изменения климата и водных ресурсов. В этой записке кратко сформулированы пять ключевых действий.

1. Действовать сейчас — Изменение климата угрожает жизни людей и правам человека. Обеспечение водой населения, экономики и экосистем имеет решающее значение для сокращения масштабов нищеты, перехода к «зелёной» энергетике и обеспечения защиты от стихийных бедствий.
2. Рассматривать водные ресурсы в качестве составного компонента решения — Климатоустойчивое управление водными ресурсами является важным компонентом успешных стратегий смягчения последствий изменения климата и адаптации и может ускорить прогресс в достижении целей Повестки дня в области устойчивого развития на период до 2030 года и Сендайской рамочной программы по снижению риска бедствий.
3. Совершенствовать практики управления водными ресурсами — Население, правительства и органы управления бассейнами рек должны быть наделены полномочиями для принятия грамотных, обоснованных с точки зрения рисков решений, которые могут способствовать повышению устойчивости к изменению климата, улучшению здоровья экосистем и снижению риска бедствий, связанных с водными ресурсами.
4. Обеспечить трансграничное сотрудничество в области адаптации — Трансграничное сотрудничество в области адаптации необходимо для

4 [unwater.org/publication\\_categories/policy-and-analytical-briefs/](https://unwater.org/publication_categories/policy-and-analytical-briefs/)





управления климатическими воздействиями, которые пересекают национальные границы, а также может помочь в получении потенциальных дополнительных выгод от улучшения регионального сотрудничества, таких как обмен данными, а также укрепление мира и стабильности.

5. Переосмыслить финансирование — Финансирование климатической деятельности в интересах управления водными ресурсами способствует устойчивости населения к изменению климата, росту занятости на местном уровне в связи с появлением «зелёных», рабочих мест, а также достижению более высоких результатов в области устойчивого развития.

В аналитической записке также сформулированы ключевые практические рекомендации в двух основных областях деятельности: 1) глобальные и региональные переговоры и процессы, связанные с климатом и водными ресурсами, и 2) наращивание потенциала, планирование, осуществление и мониторинг на национальном и субнациональном уровнях. Рекомендации включают в себя следующее:

- призыв к установлению критериев и разработке набора глобальных приоритетов для осуществления климатоустойчивых мероприятий в области водоснабжения и санитарии в конкретных «горячих точках»;
- поддержка совершенствования проекций изменения климата и даунскейлинга соответствующей климатической информации, а также поддержка стран в устранении «пробелов в наблюдениях»;

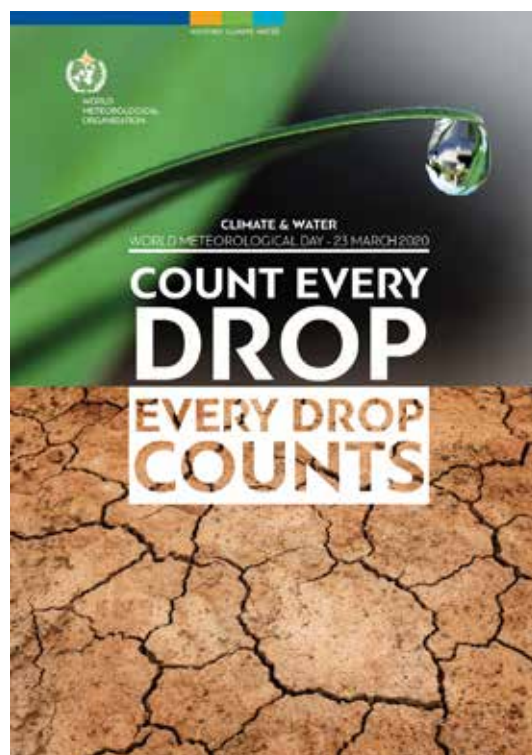
- разработка региональных и общеконтинентальных адаптационных стратегий в целях максимального повышения эффективности адаптации;
- стимулирование инноваций и содействие в наращивании потенциала и в повышении осведомлённости в области адаптивного управления водными ресурсами;
- призыв к вовлечению и расширению прав и возможностей молодёжи и молодых специалистов в области водных ресурсов, включая молодёжь коренных народов в качестве лидеров и носителей знаний, которые предлагают решения в области водной безопасности и деятельности, связанной с климатом.

Эти пять подходов и основные рекомендации должны получить поддержку и широко использоваться в национальных и международных речных бассейнах. Однако ни одно из этих решений не может быть полностью успешным без более широкого — глобального — участия общественности. Ежедневно людей необходимо вдохновлять на конкретные действия с помощью чётких, ясных и практических рекомендаций.

### **Всемирный день воды и Всемирный метеорологический день 2020 года**

Для того чтобы усилить рекомендации, касающиеся изменения климата и водных ресурсов, Всемирный день воды и Всемирный метеорологический день в 2020 году будут сосредоточены на вопросах





Один из трёх плакатов кампании по проведению Всемирного дня воды 2020 года (слева) и плакат Всемирного метеорологического дня 2020 года (справа).

изменения климата и водных ресурсов и направлены на то, чтобы вдохновить людей во всём мире на принятие соответствующих мер. В целях информирования и вовлечения людей Всемирный метеорологический день и Всемирный день водных ресурсов привлекут особое внимание к тому, как вода может способствовать борьбе с изменением климата.

Межправительственная группа экспертов по изменению климата (МГЭИК) утверждает, что «связь между мерами по смягчению последствий изменения климата и водными ресурсами является взаимной». Меры, принимаемые для сокращения выбросов парниковых газов (ПГ), непосредственным образом сказываются на использовании водных ресурсов и управлении ими. И наоборот, меры по забору воды и управлению водными ресурсами оказывают воздействие на выбросы углерода, что связано с энергоёмкостью систем очистки и распределения воды. В то же время вода играет центральную роль в адаптации к изменению климата, поскольку эффективное и устойчивое управление водными ресурсами позволяет более эффективно адаптировать связанные с водой секторы к изменению климата и повышает устойчивость экосистем. Роль, которую правительства и другие заинтересованные стороны, включая частный сектор, должны играть в управлении водными ресурсами для достижения устойчивого, низкоуглеродного будущего, признается в Целях в

области устойчивого развития (ЦУР) и в определяемых на национальном уровне вкладах (ОНУВ) Рамочной конвенции Организации Объединённых Наций об изменении климата (РКИКООН). Тем не менее, уровень осведомлённости всё ещё недостаточный.

В предстоящие 22 и 23 марта каждый может принять участие и предпринять действия. Веб-сайты Всемирного дня воды и Всемирного метеорологического дня содержат практические советы о том, как каждый из нас может действовать и менять к лучшему ситуацию в области изменения климата и воды. Вместе мы можем сделать так, чтобы следующие тезисы нашли отклик у всех и повсюду:

1. Мы не можем себе позволить ждать. Лица, принимающие решения по вопросам климата, должны поставить проблему водных ресурсов во главу угла в своих планах действий.
2. Водные ресурсы могут помочь в борьбе с изменением климата. Существуют устойчивые, доступные и масштабируемые решения в области водных ресурсов и санитарии.
3. Каждому отводится своя роль. В своей повседневной жизни мы можем предпринимать на удивление простые шаги для решения проблем, связанных с изменением климата.

# Ключевая роль управления водными ресурсами и данных в укреплении мира

Франсуа Мюнгер, Наташа Карми, Каролина Пеллатон, Жан Виллемин из Женевского водного центра



По мере того, как кризис, связанный с изменением климата, становится глобальной реальностью, возрастает и значение воды. Доступная питьевая вода имеет важнейшее значение для стабильных человеческих обществ и устойчивых экосистем. Более того, сейчас очевидно, что нехватка воды может привести к политическим и социальным волнениям. В Азии Договор о водах Инда 1960 года между Индией и Пакистаном в настоящее время оспаривается обеими странами в связи с недавними изменениями в характере выпадения осадков и растущими объёмами «забора воды» в результате строительства плотин в обеих странах<sup>1</sup>. В Австралии развивается другой вид водного кризиса: опустошительные лесные пожары происходят одновременно с цветением водорослей, угрожающим пресноводным экосистемам и снижающим качество питьевой воды<sup>2</sup>. В России под влиянием экстремальных погодных условий правительство было вынуждено принять план действий в связи с изменением климата; нехватка воды увеличивает спрос на выращивание засухоустойчивых культур и строительство новых плотин<sup>3</sup>. Примечательно, что судебное ведомство Нидерландов высказало мнение о том, что бездействие правительства в отношении изменения климата нарушает права человека<sup>4</sup>. Короче говоря, устойчивое управление водными ресурсами является важнейшей и всеобщей задачей в XXI веке.

Решение этой задачи затруднительно и усугубляется тем фактом, что численность населения Земли постоянно растёт. Проблемы, связанные с водными ресурсами, становятся постоянным фактором, провоцирующим нестабильность на местном, национальном и региональном уровнях<sup>5</sup>. Нехватка воды и ухудшающееся качество воды повсеместно рассматриваются как факторы, повышающие риск конфликтов<sup>6</sup>. Таким образом, неудивительно, что проблемы, связанные с управлением водными ресурсами, в настоящее время заняли верхние

строчки в политических повестках дня. В последние пять лет в ежегодном Докладе о глобальных рисках Всемирного экономического форума отмечается, что лидеры мирового бизнеса и мировые политические лидеры рассматривают водные кризисы как один из главных глобальных рисков<sup>7</sup>. В докладе за 2020 год утверждается, что экстремальные погодные явления, неспособность смягчить последствия изменения климата, стихийные бедствия и водный кризис входят в десятку наиболее вероятных и влияющих на глобальную стабильность рисков: «В десятилетней перспективе просчёты в политике в отношении экстремальных явлений погоды и изменения климата рассматриваются как самые серьёзные угрозы».

Последствия изменения климата часто проявляются в виде наводнений или засух. Кроме того, изменение климата выражается в большей изменчивости климата и в следующих друг за другом крупных явлениях экстремальной погоды, которые резко ослабляют устойчивое развитие. Таким образом, основными последствиями изменения климата являются либо значительный недостаток воды, либо сильное затопление водой. По данным Группы экспертов и руководителей высокого уровня по вопросам воды и стихийных бедствий (HELP) на долю связанных с водой стихийных бедствий приходится 90 % из 1000 наиболее серьёзных стихийных бедствий, имевших место с 1990 года. Связанные с водой бедствия в 2018 году привели к гибели 6500 человек и затронули источники средств к существованию более 57 млн человек, при этом экономический ущерб во всём мире составил 140 млрд долларов США (HELP, 2019).

Важно также отметить, что изменение климата окажет несоразмерное воздействие прежде всего на уязвимые государства и регионы, усугубляя существующие социальные, экономические, экологические и управленческие проблемы. Уязвимые регионы часто оказываются благодатной почвой для конфликтов и вооружённого экстремизма. Поэтому при принятии мер реагирования на изменение климата следует учитывать и дополнительные факторы, которые делают страны и регионы нестабильными. Смягчая воздействие этих факторов, наиболее уязвимые страны могут повысить уровень готовности к решению проблем, связанных с изменяющимся климатом.

Поэтому управление водными ресурсами имеет нераскрытый дипломатический потенциал. Наводнения и засухи не признают политических границ.

1 [www.ooskanews.com/story/2019/03/india-stops-water-flow-three-rivers-pakistan\\_177836](http://www.ooskanews.com/story/2019/03/india-stops-water-flow-three-rivers-pakistan_177836)

2 [www.ooskanews.com/story/2020/01/australia-bushfires-and-threat-drinking-water-ecosystems\\_179125](http://www.ooskanews.com/story/2020/01/australia-bushfires-and-threat-drinking-water-ecosystems_179125)

3 [www.ooskanews.com/story/2020/01/new-russia-climate-change-plan-acknowledges-extreme-weather-patterns-looks-drought](http://www.ooskanews.com/story/2020/01/new-russia-climate-change-plan-acknowledges-extreme-weather-patterns-looks-drought)

4 [amp.wbur.org/hereandnow/2020/01/13/netherlands-climate-change-human-rights](http://amp.wbur.org/hereandnow/2020/01/13/netherlands-climate-change-human-rights)

5 FAO 2018: Water Management in Fragile Systems: Building Resilience to Shocks and Protracted Crises in The Middle East and North Africa

6 [harvardnsj.org/2018/05/water-scarcity-the-most-understated-global-security-risk/](http://harvardnsj.org/2018/05/water-scarcity-the-most-understated-global-security-risk/), [www.weforum.org/agenda/2016/05/lack-of-water-will-raise-the-risk-of-conflict-heres-what-we-need-to-do](http://www.weforum.org/agenda/2016/05/lack-of-water-will-raise-the-risk-of-conflict-heres-what-we-need-to-do)

7 The Global Risks Report 2019, [www.weforum.org/reports/the-global-risks-report-2019](http://www.weforum.org/reports/the-global-risks-report-2019), last accessed on 8 January 2020

Для эффективного управления водными ресурсами необходимо международное сотрудничество. Таким образом, управление водными ресурсами можно использовать в качестве ключевого инструмента для укрепления сотрудничества и мира. Именно с этой позитивной целью в 2014 году при поддержке Швейцарского агентства по развитию и сотрудничеству и Женевского университета был создан Женевский водный центр (ЖВЦ). Цель ЖВЦ заключается в том, чтобы содействовать углублению понимания и предотвращению напряжённости, связанной с водными ресурсами, на межотраслевом и трансграничном уровнях, способствуя тем самым рациональному управлению водными ресурсами как инструменту мира и сотрудничества. ЖВЦ ведёт работу по налаживанию связей между различными сообществами специалистов-практиков и оптимальному использованию ресурсов, имеющихся в арсенале организации *International Geneva*, в целях разработки повестки дня в области «гидрополитики».

### **Актуальность данных для сотрудничества в области водных ресурсов и мира**

Опустошительные наводнения и засухи по всему миру широко освещались международными средствами массовой информации и подчеркнули необходимость получения всеобъемлющих данных о водных ресурсах. В течение последних трёх лет две крупные политических инициативы — Группа высокого уровня по вопросам воды (ГВУВ) и Глобальная группа высокого уровня по вопросам воды и мира (ГГВУВМ) — проводили совместную работу с целью выдвигания проблем воды на передний план в политической повестке дня. Они способствовали выработке единой позиции в отношении потребности в данных о водных ресурсах, рекомендаций по управлению водными ресурсами и важности управления водными ресурсами в деле содействия миру и устойчивому развитию.

В 2017 году ГГВУВМ опубликовала доклад «Вопрос выживания». В этом докладе содержатся аналитические выкладки и рекомендации, принятые Группой по итогам двухлетних консультаций и обсуждений с заинтересованными сторонами. Одна из его рекомендаций заключается в укреплении «процесса принятия решений, основанного на знаниях, и сотрудничества в области данных», а также в повышении «уровня знаний по вопросам качества и количества воды на всех уровнях. В качестве первоочередной задачи следует расширить знания о подземных водах и водоносных горизонтах, на

которые приходится более 90 % мировых запасов пресной воды в незамерзшем состоянии<sup>8</sup>».

В марте 2018 года ГВУВ выпустила свой собственный итоговый доклад «Бережное отношение к каждой капле воды — программа действий в области водных ресурсов». В этом докладе приводится ещё один перечень ключевых рекомендаций, в одной из которых подчёркивается необходимость разработки национальной политики и систем данных о водных ресурсах с использованием, где это возможно, подходов, основанных на открытых данных, при поддержке со стороны Всемирной инициативы по данным о водных ресурсах<sup>9</sup>.

В 2019 году HELP также опубликовала свой первый глобальный доклад, предназначенный для правительств и заинтересованных сторон. В докладе содержится призыв к лидерам и пользователям извлекать уроки из крупных стихийных бедствий, связанных с водными ресурсами, и инвестировать в информационные системы. Данные о водных ресурсах, говорится в докладе, являются ключевым фактором обеспечения готовности к стихийным бедствиям<sup>10</sup>.

### **Коалиция в поддержку данных о водных ресурсах и мира**

Для рассмотрения важности всеобъемлющих данных о водных ресурсах как для управления ресурсами, так и для укрепления мира, а также в поддержку Целей в области устойчивого развития и повестки дня Рамочной конвенции Организации Объединённых Наций об изменении климата (РКИКООН) ВМО и ЖВЦ совместно организовали два мероприятия:

Первое мероприятие — «Коалиция в поддержку данных о водных ресурсах и мира» было организовано ВМО и ЖВЦ при поддержке Постоянного представительства Германии при Организации Объединённых Наций в Женеве. Цель мероприятия заключалась в том, чтобы разъяснить важность сбора данных на международном уровне и обмена ими, а также, чтобы создать коалицию ответственных лиц представительств различных стран в Женеве для содействия повышению осведомлённости о важности данных о водных ресурсах и популяризации этого вопроса в правительствах их стран.

8 Global High-Level Panel on Water and Peace. (2017). A Matter of Survival (Report). Geneva: Geneva Water Hub

9 High Level Panel on Water (1018) Making Every Drop Count- An Agenda for Water Action- Outcome Report

10 HELP Global Report on Water and Disasters 2019

Вторым мероприятием стала экспертная дискуссия на тему «Гидрология на службе устойчивого развития и мира», которая состоялась на первом этапе Гидрологической ассамблеи ВМО в июне 2019 года во время Всемирного метеорологического конгресса с подзаголовком «Нацеленность на дальнейшее развитие концепции и стратегии ВМО в области гидрологии». В работе группы экспертов приняли участие несколько представительств, которые участвовали в первом мероприятии, и это помогло подготовить почву для обсуждений на Гидрологической ассамблее. Участники обсудили важность воды для устойчивого развития, а также актуальность сбора данных о воде и обмена ими в качестве механизмов обеспечения мира. Группа подчеркнула необходимость для лиц, ответственных за разработку политики, понимать связь между наукой и политикой, которая имеет важное значение для более эффективного принятия решений и более эффективного управления в интересах достижения целей устойчивого развития.

### **Глобальная обсерватория по проблемам воды и мира**

Многие существующие организации и механизмы вносят значительный вклад в сотрудничество в области водных ресурсов на международном уровне. Однако эти усилия сдерживаются в связи с ограниченными возможностями международных субъектов для коллективной и эффективной работы на политическом и дипломатическом уровнях. Для решения этой проблемы ГГВУВМ инициировала создание Глобальной обсерватории по проблемам воды и мира (ГОВМ) в целях объединения и поддержки предпринимаемых усилий и устранения критических пробелов в глобальном управлении водными ресурсами.

ГОВМ, работающая на базе Geneva International, была основана как международная платформа для мира и дипломатии с центральным офисом в Женевском водном центре. ГОВМ представляет собой открытую для всех сеть, которая объединяет и обеспечивает согласованность работы региональных и местных партнёров с работой нейтральных и заслуживающих доверие учреждений, приверженных повестке дня в области водных ресурсов, мира и безопасности.

ГОВМ поддерживает сотрудничество в области водных ресурсов как способ снижения напряжённости и конфликтов между различными заинтересованными сторонами и содействия миру. ГОВМ использует такие дипломатические инструменты, как «подход на основе управления знаниями» и «разумное содействие», вместо традиционных методов урегулирования споров, миротворчества или укрепления мира.

ГОВМ преследует различные цели, направленные на обеспечение совместного доступа к данным о водных ресурсах:

- проводить на основе собранных данных и научных исследований анализ глобальных усилий в области водных ресурсов, мира и безопасности и представлять ежегодный обзор полученных результатов;
- создавать «безопасное пространство» в ходе предварительных консультаций по разработке проектов и инициативному решению крупных проблем в области водных ресурсов, мира и безопасности, сознавая, что первой вехой в любом переговорном процессе и консультациях являются согласованные данные;
- поддерживать разработку и применение инновационных подходов и инструментов для более глубокого понимания и решения проблем, связанных с водными ресурсами, с использованием данных о водных ресурсах.

### **Роль данных в управлении трансграничными подземными водами: первые дипломатические шаги в отношении сенегало-мавританского бассейна подземных вод**

Конкретный пример того, как сотрудничество в области управления водными ресурсами может способствовать укреплению мира и доброй воли между странами, можно найти в Западной Африке. В целях решения проблемы устойчивого управления водными ресурсами Гамбия, Гвинея-Бисау, Мавритания и Сенегал инициировали дискуссию по совместному управлению общей системой водоносных горизонтов, имеющей важное значение для экономического и социального развития их региона. Четыре государства, на территории которых находится сенегало-мавританский бассейн подводных вод (СМБПВ), встретились в Женеве 6–7 февраля 2019 года для проведения «круглого стола» по стратегическому трансграничному сотрудничеству в области управления водными ресурсами. Эта дипломатическая встреча, совместно организованная ЖВЦ и Секретариатом Конвенции по охране и использованию трансграничных водотоков и международных озёр на базе ЭК ООН, была создана специально для того, чтобы дать возможность министерствам водного хозяйства четырёх стран наладить первый обмен знаниями о состоянии этой сложной системы водоносных горизонтов. Ключевыми компонентами этого обмена были вопросы



подготовки данных, обмена информацией и устойчивого финансирования.

Имея площадь около 350 000 км<sup>2</sup>, СМБПВ является крупнейшим бассейном на атлантической окраине северо-западной Африки. Содержащиеся в нём подземные воды являются стратегическим ресурсом для всех четырёх государств бассейна, население которых — в общей сложности более 24 млн человек — в значительной степени зависит от бассейна в плане доступа к питьевой воде и различных видов её использования в различных секторах. СМБПВ обеспечивает водоснабжение таких крупных городов, как Дакар и Бисау. Однако сегодня все четыре государства бассейна сталкиваются с проблемами водоснабжения, включая засоление, загрязнение и воздействие изменения климата на количество осадков, необходимых для пополнения запасов подземных вод. Нестабильность ситуации с бассейном подводных вод требует сотрудничества на региональном уровне и развития более глубоких знаний о системах водоносных горизонтов.

Помимо четырёх государств СМБПВ, в работе «круглого стола» приняли участие основные трансграничные бассейновые организации региона: Организация по освоению бассейна реки Сенегал и Организация по освоению реки Гамбия. Эти бассейновые организации имели возможность рассказать об инновационных методах, с помощью которых они могли бы потенциально участвовать в управлении подземными водами в дополнение к их нынешним полномочиям по управлению поверхностными водами. В работе совещания также приняли активное участие эксперты и технические и финансовые партнёры.

На встрече было подчёркнуто, что сотрудничество в отношении СМБПВ должно касаться не только водоносных горизонтов, расположенных в маастрихтском слое, а распространяться на другие слои, которые в ряде случаев совместно используются не всеми четырьмя государствами СМБПВ. Следовательно, управление в рамках СМБПВ должно в конечном счёте основываться на комплексном гидрогеологическом подходе, учитывающем взаимодействие между поверхностными и подземными водами. Таким образом, партнёрство между обеими трансграничными бассейновыми организациями имеет большой потенциал для устойчивого управления СМБПВ. Институциональное соглашение между ними могло бы основываться на других примерах регионального сотрудничества, таких как практика управления подземными водами Комиссии по бассейну реки Оранжевая в Африке; Международная комиссия по защите реки Дунай и Международная комиссия по защите Рейна в Европе.

В результате этой встречи страны бассейна предложили создать рабочую группу по стимулированию трансграничного сотрудничества по СМБПВ. Рабочая группа разработает конкретные, удобные для пользователей институциональные механизмы для обеспечения постоянного сбора данных и обмена ими, повышения и выравнивания потенциалов и опыта государств и осуществления региональной стратегии устойчивого управления СМБПВ.

### **Роль организаций, занимающихся речными бассейнами в XXI веке, в обеспечении устойчивого развития и необходимость в данных для использования в совместных инвестиционных планах**

Для укрепления взаимосвязи между водными ресурсами, миром и безопасностью во всём мире необходимо наличие сильных институтов и политической воли. Необходимы коллективные усилия для создания и реализации эффективных межотраслевых, трансграничных и территориально-инклюзивных подходов. В этой связи ряд институциональных механизмов может служить в качестве моделей для дальнейшего продвижения вперёд, например организации, занимающиеся речными бассейнами (ОЗРБ).

ОЗРБ варьируются от небольших или местных ассоциаций водопользователей до крупных трансграничных водохозяйственных организаций. ОЗРБ обладают огромным потенциалом по целому ряду направлений, таким как внесение вклада в разработку инклюзивных подходов к управлению водными ресурсами; обеспечение в качестве разработчиков и уравнивающих сил разных точек зрения относительно управления водными ресурсами; предотвращение изменения климата и стихийных бедствий, связанных с водными ресурсами, и адаптация к ним; работа в качестве неформальных дипломатов или миротворцев. ЖВЦ считает, что ОЗРБ как глобальные связующие звенья обладают уникальными возможностями для построения водохозяйственных сетей; для устранения растущего разрыва в развитии между уязвимыми и стабильными странами; и для помощи регионам в преодолении непонимания, которое часто возникает между различными уровнями или секторами местных или национальных органов власти. Как показывает документально подтверждённый пример организации, занимающейся бассейном реки Сенегал, ОЗРБ могут играть важнейшую роль в эффективном использовании инновационных финансовых решений и привлечении новых инвестиций в трансграничные и многопрофильные проекты, связанные с водными ресурсами. Однако есть одно

предостережение: исторически сложилось так, что финансовый акцент был сделан в первую очередь на инвестициях на глобальном и национальном уровнях. Для обеспечения эффективности финансирования инициатив по управлению водными ресурсами должно также охватывать инициативы на местном (субнациональном), региональном и наднациональном уровнях.

В своём докладе ГВУВМ рекомендовала, чтобы совместные инвестиционные планы в речных бассейнах стали обычной практикой в финансовом сообществе. Такие планы способны уменьшить риски и мобилизовать политическую и финансовую волю, а также воплотить широкие цели сотрудничества в конкретные результаты на благо населения бассейнов. К сожалению, слишком много «генеральных планов» или инвестиционных стратегий осталось на бумаге, поскольку в них отсутствовали разработанные политические меры или стратегические рамки или обоснованная детальная концепция, что необходимо для оперативной деятельности, финансирования и реализации. Поэтому нашей целью является поддержка субнациональных или наднациональных организаций, таких как ОЗРБ, для решения проблем XXI века и активизации движения стран на пути к совместному управлению водными ресурсами. Важнейший компонент этой цели также зависит от наличия у стран доступа к данным о водных ресурсах и консенсуса в отношении этих данных.

## Подготовка данных для водной и климатической дипломатии

За последние два года Европейский совет утвердил выводы, касающиеся как водной, так климатической дипломатии<sup>11</sup>. Они показывают, что вода и климат становятся приоритетными вопросами при обсуждении внешней политики и превентивной дипломатии.

11 19 ноября 2018 года Совет утвердил выводы по водной дипломатии, в которых подчеркнул существенную связь между водными ресурсами и климатом. «Совет отмечает, что нехватка воды может повлиять на мир и безопасность, поскольку риски, связанные с водными ресурсами, могут привести к серьёзным людским и экономическим потерям, при этом все они могут иметь прямые последствия для ЕС, в том числе через миграционные потоки».

20 января 2020 года Совет подтвердил приверженность своим выводам по климатической дипломатии, принятым 18 февраля 2019 года. «Совет напоминает, что изменение климата является экзистенциальной угрозой человечеству и биоразнообразию во всех странах и регионах и требует срочных коллективных ответных мер. По этой причине лидерство ЕС, демонстрируемое на собственном примере, имеет решающее значение для повышения уровня глобальных климатических амбиций».

Однако дипломатические усилия должны быть основаны на использовании комплекса действенных механизмов для подготовки данных. Попросту говоря, страны не могут договориться об общих целях или совместных действиях, если они не оперируют общим набором фактов. Это тем более верно в условиях, когда политические институты и многосторонний подход ставятся под сомнение — иногда, как представляется, в связи с ограниченными возможностями по преодолению и предотвращению экологического кризиса. В свете этого механизмы подготовки данных должны быть разработаны в удобной для пользователя форме, способствующей политическому взаимодействию и мобилизации общественности. Как было отмечено на Всемирном экономическом форуме 2020 года, новые технологии обладают потенциалом для развития систем передачи и обработки данных таким образом, чтобы восстановить определённый уровень доверия общественности к науке, дипломатии и сотрудничеству. Таким образом, они могут помочь нам справиться с социальными вызовами XXI века и принять более инклюзивные подходы к устойчивому развитию и дипломатии.

В идеале, когда речь идёт об управлении водными ресурсами, информационные системы должны опираться не только на гидрометеорологические данные, но также использовать социальные, экономические и экологические данные. Они должны учитывать правовые рамки трансграничных вод и право человека на воду и санитарии. Подготовка данных и обеспечение доступа к информации являются важнейшими инвестициями для защиты наших природных ресурсов и глобальной стабильности, а также для укрепления доверия и конструктивного участия общественности.

Таким образом ЖВЦ стремится внести свой вклад в формирование глобальной повестки дня в области гидрополитики. Несмотря на то, что значительные усилия были сконцентрированы на выполнении рекомендаций ГВУВМ, необходимо приложить ещё больше усилий. Создание коалиции в поддержку данных о водных ресурсах и мира имеет решающее значение для решения проблем нашего века.



# ГидроСОП — Глобальная система ВМО для оценки текущей гидрологической ситуации и её ориентировочного прогнозирования в целях предоставления информации для более эффективного управления водными ресурсами

Алан Дженкинс<sup>1</sup>, Хэрри Диксон<sup>1</sup>, Виктория Барлоу<sup>1</sup>, Кети Смит<sup>1</sup>, Йоханнес Кульман<sup>2</sup>, Доминик Беро<sup>2</sup>, Хвирин Ким<sup>2</sup>, Микаэль Шваб<sup>2</sup>, Луис Роберто Силва Вара<sup>2</sup>

Опасные явления и угрозы, связанные с водными ресурсами, вызывают всё большую озабоченность во всём мире. Десятки миллионов людей во всём мире страдают от этих явлений, а ущерб, по оценкам, составляет миллиарды долларов США в год<sup>3</sup>. Опасные явления, связанные с водными ресурсами, постоянно фигурируют в числе самых высоких глобальных рисков с точки зрения их воздействия (Всемирный экономический форум (ВЭФ), 2020 г.). И учёные ожидают, что риски, связанные с водными ресурсами, в ближайшие годы усилятся в связи с изменением климата, ростом численности населения и увеличением экономической активности.

К числу основных проблем, связанных с водными ресурсами, относятся: обеспечение водоснабжения; проектирование соответствующих схем управления водными ресурсами; устойчивое обеспечение управления трансграничными бассейнами; управление паводками/борьба с засухой; обеспечение защиты и сохранности экосистем. Одной из основных трудностей на пути эффективного управления водными ресурсами и решения таких проблем является отсутствие гидрологической информационной продукции, предназначенной для удовлетворения потребностей различных секторов.

Этот недостаток информации часто обусловлен тремя факторами:

- недостаток данных местного масштаба;
- отсутствие согласованности в гидрологической информации и системах моделирования при переходе от регионального к глобальному уровню;
- ограниченный диалог между многочисленными участниками, что приводит к неясности в понимании потребностей заинтересованных сторон в управлении водными ресурсами.

Из-за этих недостатков водохозяйственные органы и заинтересованные стороны не могут надлежащим образом оценить наличие водных ресурсов в различных пространственно-временных масштабах. Они также не могут предвидеть, как наличие воды может измениться в ближайшем будущем, что затрудняет и даже делает практически невозможным управление водными ресурсами и их планирование. Необходим механизм, который сможет увязать данные регионального и глобального мониторинга с данными, собранными на местном уровне, с результатами анализа и с выходными данными систем моделирования в масштабе бассейна. Глобальная система ВМО для оценки текущей гидрологической ситуации и её ориентировочного прогнозирования (ГидроСОП) является таким механизмом. ГидроСОП нацелена на устранение этих недостатков, чтобы облегчить задачи водохозяйственных органов и заинтересованных сторон в условиях усиления угроз и рисков, связанных с водными ресурсами.

1 Центр экологии и гидрологии СК

2 Секретариат ВМО

3 The United Nations World Water Development Report 2019: Leaving No One Behind. Paris, UNESCO World Water Development Report 2019: Leaving No One Behind. Paris, UNESCO

## Элементы ГидроСОП

Цель ГидроСОП состоит в том, чтобы помочь странам оценить их текущие водные ресурсы относительно «ожидаемых» или «нормальных» условий для конкретного места и времени года. Используя эту информацию, страны могут разработать ориентировочные прогнозы относительно того, как ситуация с водными ресурсами может измениться в ближайшие недели и месяцы:



Информация будет предоставляться в различных пространственных масштабах, включая глобальный, региональный, национальный и местный (речной бассейн). Текущая ситуация и ориентировочный прогноз её развития будут определяться на основе данных наблюдений и/или результатов моделирования с использованием метеорологических моделей в качестве основы для гидрологических моделей, особенно в тех областях, где наблюдений мало или в наблюдениях имеются пробелы:



## Решение проблем, связанных с водными ресурсами, с помощью ГидроСОП

В рамках глобального механизма для подготовки информационной продукции по водным ресурсам и её совместного использования можно было создать унифицированную систему оценки и прогнозирования. Это в свою очередь могло бы помочь понять текущее состояние поверхностных и подземных гидрологических систем, а также спрогнозировать их эволюцию в ближайшие недели и месяцы. Основной целью ГидроСОП является разработка такой системы путём объединения усилий национальных метеорологических и гидрологических служб (НМГС) с целью улучшения предоставления надёжных, своевременных, точных и актуальных оценок гидрологической ситуации и продукции с ориентировочным прогнозом её развития для информационного обеспечения управления водными ресурсами.

Такую продукцию необходимо готовить на основе систематически собираемых, сопоставимых и достоверных данных местного масштаба. Эти данные должны согласовываться с национальной, региональной и глобальной информацией. Таким образом, ГидроСОП позволит НМГС ответить на насущные вопросы лиц, принимающих решения, такие как: «Сколько воды имеется в моём бассейне/регионе в настоящее время?»; «Нормальна ли нынешняя ситуация?»; «Как может измениться ситуация с местными и региональными паводками/засухами в ближайшие недели и месяцы?».

ГидроСОП поддержит национальные возможности по оценке текущей гидрологической ситуации и её ориентировочному прогнозированию, поскольку некоторые Члены ВМО до сих пор не располагают инструментами и навыками для проведения такой оценки. Кроме того, она обеспечит согласованную информацию о гидрологической ситуации и её

ориентировочном развитии, которая в настоящее время не всегда доступна в трансграничных бассейнах или регионах совместного использования водных ресурсов. Наконец, это позволит ликвидировать информационный разрыв между гидрологической и информационной продукцией, подготовленной на основе местной информации, и продукцией, разработанной на глобальном уровне.

## ГидроСОП в рамках ВМО

В декабре 2016 года Комиссия по гидрологии ВМО инициировала создание ГидроСОП и одобрила создание Целевой экспертной группы для контроля за осуществлением экспериментального этапа этой инициативы. В июне 2019 года Восемнадцатый Всемирный метеорологический конгресс признал инициативу ГидроСОП основополагающим компонентом Стратегического плана ВМО (резолюция 25, Кг-18). ГидроСОП поддержит восемь долгосрочных целей оперативного гидрологического сообщества (резолюция 24). Она будет непосредственно касаться достижения Шестой долгосрочной цели, которая гласит: «Мы обладаем глубокими знаниями о водных ресурсах нашего мира» (более подробную информацию см. в разделе «Долгосрочные амбиции ВМО для оперативного гидрологического сообщества»). Это будет достигнуто посредством создания системы мониторинга, позволяющей получать информацию, которая может быть использована для оптимизации существующего обслуживания, а также будущей политики, обслуживания и принятия решений на уровнях от местного до глобального.

ГидроСОП поддерживает всю цепочку создания ценности обслуживания, уделяя особое внимание разработке и совместному использованию функционально совместимой информационной продукции по оценке гидрологической ситуации и её ориентировочному прогнозированию, а также опираясь на существующие инициативы ВМО. Во-первых, она позволит расширить гидрологический мониторинг и обмен данными, например, в рамках Глобального центра поддержки гидрометрии (ГидроХаб), посредством трёх его компонентов: Всемирной системы наблюдений за гидрологическим циклом (ВСНГЦ), Системы гидрологических наблюдений ВМО (СГНВ) и Всемирной инициативы по данным о воде (ВИДВ). Во-вторых, она будет способствовать развитию возможностей в области гидрологического прогнозирования, оценки водных ресурсов и заблаговременных предупреждений, например, с помощью Инициативы по прогнозированию паводков (ИПП), Системы оценки риска возникновения быстроразвивающихся паводков

(СОРВБП) и Инструмента динамической оценки водных ресурсов (ИДОВР).

## Национальные гидрологические службы в центре внимания ГидроСОП

ГидроСОП ВМО предназначена для национальных гидрологических служб (НГС) и будет использоваться ими. Это позволит им оказывать более эффективную поддержку целому ряду заинтересованных сторон, включая государственные органы, различные социально-экономические секторы, такие как энергетика и сельское хозяйство, региональные и международные агентства по оказанию помощи, а также население, в принятии решений, связанных с управлением водными ресурсами.

ГидроСОП создаст потенциал для оценки гидрологической ситуации и её ориентировочного прогнозирования в рамках НГС; совместно с различными партнёрами она будет непосредственно опираться на существующие и планируемые инициативы ВМО, касающиеся гидрологического мониторинга, обмена данными и субсезонного/сезонного гидрологического и метеорологического прогнозирования.

## Рабочая структура ГидроСОП

Для экспериментального этапа ГидроСОП уже разработано несколько пакетов работ, касающихся координации, стандартизации технических подходов, осуществления и предоставления результатов.

Пакет работ 1 (ПР1) касается координации. Он сконцентрирован на управлении программами, вопросах коммуникации и мобилизации ресурсов. Кроме того, в рамках этого пакета рассматриваются связи с другими инициативами ВМО, такими как СГНВ, ВСНГЦ, ВИДВ и Глобальная система обработки данных и прогнозирования (ГСОДП).

Пакеты работ 2а, 2б и 2с касаются стандартизации технических подходов и направлены на разработку технических протоколов, необходимых для ГидроСОП. Кроме того, в рамках ПР2 сравниваются различные методологии, которые могли бы быть рекомендованы НМГС и другим организациям, которые не имеют в настоящее время надлежащих возможностей для оценки гидрологической ситуации и её ориентировочного прогнозирования, но хотят предоставлять информационные услуги.

В 2019 году в рамках ПР2а был проведён обзор данных по климату, гидрологии и рельефу местности, имеющихся в наличии на глобальном, региональном и страновом уровнях. В то же время в рамках ПР2б

был подготовлен ряд методологий оценки гидрологической ситуации, собранных по всему миру, включая рассмотрение определения «нормальных» гидрологических условий, как для речного стока, так и для подземных вод. В свою очередь в рамках ПР2с были достигнуты значительные успехи в оценке технической эффективности методов субсезонного/сезонного гидрологического прогнозирования. Таким образом, ПР2с позволил получить более глубокое понимание сильных и слабых сторон различных методов выпуска ориентировочных прогнозов на местном и глобальном уровнях, а также причин их различной эффективности.

В настоящее время реализация ПР3 и ПР4 продолжается на региональном и глобальном уровнях. В рамках ПР3а и 3b осуществляются два экспериментальных проекта по развитию регионального потенциала: один в бассейне озера Виктория, другой — в Южной Азии (бассейн рек Ганг, Брахмапутра и Мегхна). Два концептуальных экспериментальных проекта направлены на то, чтобы оценить, каким образом можно развивать общие возможности ГидроСОП в трансграничных бассейнах или регионах совместного использования водных ресурсов. Оценка региональных потребностей и возможностей уже была проведена в двух экспериментальных бассейнах в 2019 году путём обстоятельного обсуждения с НМГС и другими заинтересованными сторонами.

А между тем в рамках ПР4 проводится оценка роли крупномасштабной (глобальной/континентальной) продукции по оценке гидрологической ситуации и её ориентировочному прогнозированию, в плане поддержки и дополнения продукции местного масштаба (бассейновой/национальной/региональной). НМГС часто испытывают трудности с согласованием местной информации с крупномасштабной продукцией глобальных центров моделирования и исследовательских организаций. Целью ПР4 является оценка такой продукции, анализ её возможного использования в ГидроСОП и определение того, каким образом можно разработать новые виды продукции ВМО специально для поддержки НМГС на местном уровне. На данный момент работа сконцентрирована на сравнении глобальных гидрологических моделей, чтобы выяснить, можно ли использовать какую-то модель для конкретных бассейнов, и при каких условиях один вид продукции может быть более эффективным, чем другие.

Заключительный этап экспериментального проекта, в ходе которого происходит предоставление результатов, осуществляется в рамках двух пакетов работ. ПР5 охватывает передачу и распространение продукции, в то время как ПР6 касается вопросов развития потенциала и подготовки кадров. Чтобы

показать, как можно объединить продукцию по оценке гидрологической ситуации и её ориентировочному прогнозированию из разных стран мира, на ранней стадии проекта разрабатывается прототип глобального портала ГидроСОП, который будет введён в эксплуатацию на этапе предоставления результатов. В ноябре 2019 года Нанкинский институт гидравлических исследований (НИГИ) провёл в Нанкине, Китай, первый технический практикум по ГидроСОП. Участники практикума подвели итоги проделанной работы и определили шаги, необходимые для представления результатов экспериментального этапа на внеочередной сессии Всемирного метеорологического конгресса в 2021 году.

### **Экспериментальный проект в Южной Азии (бассейн рек Ганг, Брахмапутра и Мегхна)**

В рамках ПР3а была проведена оценка национальных возможностей и потребностей относительно ГидроСОП в четырёх странах бассейна рек Ганг, Брахмапутра и Мегхна: Бангладеш, Бутане, Индии и Непале. Основное внимание было уделено национальному институциональному потенциалу НМГС, наличию гидрометеорологических данных, определению потребностей и проблем заинтересованных сторон относительно осуществления ГидроСОП.

Во всех четырёх странах имеются хорошие сети гидрометеорологических наблюдений, и легкодоступные исторические данные в цифровом формате. В настоящее время сети гидрометеорологических наблюдений, работающие в реальном времени, расширяются, чтобы соответствовать требованиям ГидроСОП. Однако обмен данными о расходе воды в реках между некоторыми странами ограничен, а некоторые НМГС в бассейне ограничены в своей деятельности в связи с низким кадровым, бюджетным и технологическим потенциалами.

В бассейне есть большая потребность в региональной ГидроСОП, особенно для целей сельского хозяйства, энергетики и судоходства. Спрос на водные ресурсы растёт в бассейне, в котором в настоящее время имеется миллион гектаров орошаемых земель, мощность гидроэлектростанций составляет сто тысяч мегаватт (МВт) и осуществляется интенсивное речное судоходство. При этом бассейн страдает от частых наводнений, оползней и засух.

Повышение эффективности управления водными ресурсами, которое улучшит обеспечение средств к существованию для около 750 млн человек и повысит уровень экономического развития региона,

будет опираться на ГидроСОП. Многие секторы получают пользу от ГидроСОП, включая гидроэнергетические компании, организации по управлению водоснабжением, компании речного судоходства и агентства по борьбе со стихийными бедствиями. Особенно важно, что производство сельскохозяйственной продукции вырастет при более эффективном управлении подземными водами, водами для орошения и рисками наступления засухи.

### Экспериментальный проект в бассейне озера Виктория

В 2019 году в рамках ПРЗб была проведена оценка возможностей и потребностей относительно ГидроСОП в пяти странах бассейна озера Виктория: Бурунди, Кении, Руанде, Танзании и Уганде. Цель заключалась в том, чтобы получить полное представление о деятельности и возможностях НМГС и региональных учреждений, а также определить потребности и возможности для реализации ГидроСОП. Были проведены консультации с НГС, национальными метеорологическими службами, отдельными национальными учреждениями, отвечающими за борьбу со стихийными бедствиями и управление гидроэнергетикой, и региональными учреждениями, отвечающими за воду, климат и управление.

Инфраструктура для сбора как метеорологических, так и гидрологических данных имеется во всех странах. Однако потенциальное использование данных для управления водными ресурсами в режиме реального времени реализуется не везде, за исключением в определённой степени — Руанды, из-за отсутствия оперативной телеметрии и надлежащих систем обработки и управления данными. Уровень укомплектованности кадрами и финансовые ограничения не позволяют ни одной из стран эксплуатировать и поддерживать полномасштабную национальную сеть станций. Многие НГС и НМС по всему миру сталкиваются с аналогичными проблемами; усилия ВМО в рамках ГидроХаб будут сосредоточены на их решении.

Несмотря на проблемы, связанные с сетью наблюдений, в ходе оценки в рамках ПРЗб был сделан вывод о том, что с помощью ГидроСОП можно добиться значительного прогресса. Если региону будут предоставлены необходимые ресурсы для разработки и предоставления продукции по оценке гидрологической ситуации и её ориентировочному прогнозированию, это может принести значительные выгоды для всех заинтересованных сторон: предоставление такой продукции в конечном итоге обеспечит реальную отдачу от многочисленных

проектов, прошлых и настоящих, в рамках которых заинтересованные стороны в регионе получили оборудование и возможности для наращивания потенциала с целью подготовки данных и информации, пригодных для использования.

В выигрыше от использования как продукции по оценке гидрологической ситуации в бассейне, так и продукции по её ориентировочному прогнозированию окажутся гидроэнергетический сектор, сельскохозяйственные производители и те, кто обеспечивает эксплуатацию оросительных систем, то есть те организации, эффективность работы которых повышается благодаря ориентировочным прогнозам осадков, влажности почвы и температуры. Такая продукция также важна для специалистов из сектора здравоохранения и специалистов по контролю за использованием водохранилищ и забором грунтовых вод для бытовых, сельскохозяйственных и промышленных целей. Анализ в рамках ПРЗб также показывает, что большинство пользователей продукции по оценке гидрологической ситуации заинтересованы в краткосрочных ориентировочных прогнозах на неделю и месяц, то есть в регионе имеется большое количество готовых к сотрудничеству пользователей продукции ориентировочного гидрологического прогнозирования.

### Дальнейшие перспективы

ГидроСОП пока ещё находится на экспериментальном этапе. Продолжается работа по анализу методологий для оценки гидрологической ситуации и подготовки гидрологических ориентировочных прогнозов местного уровня и в масштабе бассейна, которые могут быть использованы в регионах и по всему миру. Это поможет определить первоначальные технические протоколы и стандарты, на которых будет строиться ГидроСОП.

В настоящее время разрабатываются планы мероприятий для распространения экспериментальных работ, выполняемых в рамках ПРЗа и ПРЗб на другие регионы. Эти планы будут включать технические протоколы и стандарты, а также практические семинары для заинтересованных сторон, чтобы лучше понять потребности пользователей. Они будут направлены на расширение сотрудничества между участвующими НМГС и региональными организациями в целях подготовки более содержательной гидрологической продукции для населения, проживающего в этих двух бассейнах.

Продолжается также работа по определению того, насколько глобальные гидрологические модели эффективны в сравнении с региональными/местными

моделями, и как можно построить глобальную систему на основе региональной информации.

В рамках ГидроСОП разрабатывается демонстрационный портал, на котором гидрологические данные из разных стран, в том числе из стран, в которых осуществляются экспериментальные проекты, становятся доступными через веб-интерфейс гидрологических показателей. Этот портал будет протестирован и доработан, чтобы лучше понять, как будет работать механизм предоставления результатов ГидроСОП.

Как только на экспериментальном этапе будут получены более существенные результаты, в рамках ПР6 по развитию потенциала начнётся определение и создание материалов, необходимых для успешной передачи технологии и ноу-хау участвующим странам. ПР6 обеспечит создание гидрологической продукции в соответствии с самыми высокими стандартами.

## Кто мы

В состав глобальной междисциплинарной и мультикультурной группы ГидроСОП входят эксперты из НМГС, академических и исследовательских учреждений. Многие международные и региональные организации оказывают ГидроСОП безвозмездную помощь в натуральной форме, предоставляя свой экспертный потенциал и тратя своё время. В настоящее время эксперты ГидроСОП представляют пять НМГС, четыре НМС и восемь НГС из пятнадцати стран, девять научно-исследовательских учреждений в семи странах, три региональные организации в Африке и четыре международные организации. Кроме того, сообщество региональных советников по гидрологии ВМО вносит свой вклад в эту инициативу с момента её инициирования.

Организации, ответственные за выполнение пакетов работ на сегодняшний день:

- ПР1 — Координация: Центр по экологии и гидрологии Соединённого Королевства (ЦЭГ СК);
- ПР2а — Источники данных и методы обмена данными: Нанкинский институт гидравлических исследований (НИГИ);
- ПР2b — Оценка текущей ситуации и методы моделирования: Геологическая служба США (ГС США);
- ПР2с — Методы гидрологического прогнозирования и моделирования: Австралийское бюро метеорологии (АБМ);
- ПР3а — Экспериментальный проект в Южной Азии: независимый консультант из Непала;

- ПР3b — Экспериментальный проект в бассейне озера Виктория: Министерство водных ресурсов и окружающей среды Уганды (МВРОС);
- ПР4 — Экспериментальный глобальный проект: ЦЭГ СК;
- ПР5 — Передача и распространение продукции: Национальный центр атмосферных исследований (НКАР) США;
- ПР6 — Развитие потенциала и подготовка кадров: в настоящее время позиция вакантна.

## Стать участником

По мере осуществления экспериментального этапа ГидроСОП, происходит поиск необходимых квалифицированных кадров для проекта. Например, специалисты по грунтовым водам и влажности почвы нужны для того, чтобы помочь группе лучше понять эти процессы и должным образом включить их в разработку системы. Кроме этого, метеорологическому сообществу предлагается оказать содействие в установлении связи между субсезонными и сезонными метеорологическими прогнозами. Также специалисты по развитию потенциала в области гидрологии привлекаются для оказания помощи ГидроСОП в разработке подробных материалов для НМГС, таких как руководящие принципы и учебные наставления.

ГидроСОП проявляет особый интерес к методологиям, применяемым в НМГС для подготовки и использования оценок гидрологической ситуации и её ориентировочного прогнозирования. Кроме того, ГидроСОП стремится развивать более тесные связи в рамках региональных ассоциаций ВМО путём взаимодействия с региональными рабочими группами по гидрологии.

Цель ГидроСОП состоит в том, чтобы на национальном, региональном и глобальном уровнях объединить усилия гидрологов и метеорологов, занимающихся оперативной деятельностью и научными исследованиями. Взаимодействуя с ГидроСОП, сообщества специалистов, занимающихся научными исследованиями и глобальным моделированием, смогут разрабатывать и дорабатывать продукцию совместно с сетью НГС ВМО, повышая практическую ценность продукции для водохозяйственников и увеличивая вклад НГС в будущую водную безопасность.

ВМО и группа ГидроСОП хотят сотрудничать с большим количеством членов и их экспертов в разработке рамочной основы для Системы. ГидроСОП рассчитывает на помощь как в натуральной, так и в финансовой форме для осуществления экспериментального этапа.

# Инновации в глобальном гидрологическом прогнозировании с использованием подхода на основе системы Земля

Шон Харриган<sup>1</sup>, Ханна Клок<sup>2,3</sup> и Флориан Паппенбергер<sup>1</sup>

Изменение климата, рост населения и деятельность человека в руслах рек и водосборных бассейнах затрудняют, как никогда ранее, предоставление достоверной информации о текущем и будущем состоянии водных ресурсов в реках мира. Однако общество срочно нуждается в своевременной и надёжной информации для заблаговременного предупреждения о наводнениях и засухах, которые и сегодня застают врасплох и опустошают целые районы. В этой статье утверждается, что подход к глобальному гидрологическому прогнозированию на основе системы Земля будет стимулировать инновации и более тесное междисциплинарное сотрудничество, необходимые для революционного научного прогресса.

## Традиционное гидрологическое прогнозирование

Гидрологическое прогнозирование имеет богатое прошлое. Его основные принципы были прочно установлены уже более 50 лет назад (Nash and Sutcliffe, 1970). Однако с тех пор, несмотря на значительные инвестиции, прогресс идёт медленно и по-прежнему сохраняются серьёзные ограничения в области научных достижений, данных и оперативной деятельности.

Отсутствие во всём мире наблюдений за расходом воды в реках является основным препятствием для систем гидрологического прогнозирования (Lavers et al., 2019). С другой стороны, традиционные подходы к прогнозированию также имеют ограниченные возможности для использования целого ряда существующих и планируемых наблюдений за системой Земля — в отношении снега, влажности

почвы, испарения, подземных вод и расхода воды в реках — особенно с распространением дистанционного зондирования. Кроме того, традиционные модели с трудом рассчитывают прогнозы экстремальных явлений за пределами диапазонов, которые для них заданы. Эта проблема усугубляется тем, что водосборы и их речной сток претерпевают изменения с течением времени в соответствии с изменениями в землепользовании и изменением климата. Учитывая сложность и масштаб проблемы, уместно задать вопрос о том, не приведёт ли альтернативный и более междисциплинарный подход к ускорению научного прогресса.

## Преимущества подхода на основе системы Земля

В рамках подхода на основе системы Земля, на который опирается Стратегия Европейского центра среднесрочных прогнозов погоды (ЕЦСПП) на 2016–2025 годы и реализуемая в настоящее время реформа управления ВМО, Земля моделируется как единое целое. Это включает в себя взаимодействие между атмосферой, океанами и сушей, а также биосферой и деятельностью человека. Такой подход по своей сути является междисциплинарным, охватывает многие области науки и требует более тесного сотрудничества.

Преимущества, получаемых от использования моделирования системы Земля для задачи глобального гидрологического прогнозирования, много. Возможность моделировать взаимодействие между всеми компонентами системы Земля позволяет составлять более точные и согласованные прогнозы в отношении всех переменных. Например, правильно рассчитанный водный баланс<sup>4</sup> обеспечил бы не только оптимальные условия на поверхности суши, определяющие приземную погоду, но и наилучший

1 Европейский центр среднесрочных прогнозов погоды (ЕЦСПП)

2 Университет Рединга, Рединг, Соединённое Королевство

3 Уппсальский университет, Уппсала, Швеция

4 Водный баланс — это соотношение между притоком и оттоком воды.





Рисунок 1. Подход на основе системы Земля занимает центральное место в Стратегии ЕЦСПП на 2016–2025 гг.

приток пресной воды в океан, что в свою очередь улучшило бы атмосферные прогнозы, которые оказали бы положительное воздействие на гидрологическое прогнозирование. Такая физическая и техническая согласованность обеспечивает основу для бесшовного прогнозирования во временных масштабах от краткосрочного до сезонного без необходимости использования отдельных систем для наводнений и засух, как это имеет место в настоящее время, например использование Глобальной системы оповещения о наводнениях (ГлоСОН) (Alfieri et al., 2013) и ГлоСОН для подготовки сезонных оповещений (Emerton et al., 2018).

Крупномасштабное гидрологическое прогностическое обслуживание должно быть устойчивым в плане научных, технических и вычислительных знаний и ресурсов. Центры оперативного численного прогнозирования погоды (ЧПП) уже взяли на вооружение подход на основе системы Земля. Поэтому осуществление гидрологического прогнозирования в центрах ЧПП позволяет получить беспрецедентный доступ к ресурсам и знаниям. К ним относятся достижения в области наблюдений за системой Земля и усвоения полученных данных, высокопроизводительная вычислительная и облачная инфраструктура, круглосуточный выпуск оперативных прогнозов и сотрудничество по новым разработкам в таких областях, как искусственный интеллект и машинное обучение на должном уровне. Вместе всё это стимулирует сотрудничество

и инновации и обеспечивает значительную экономию средств.

### Подход на основе системы Земля в ЕЦСПП

В ЕЦСПП основой для всей деятельности по усвоению данных и прогнозированию служит всеобъемлющая модель системы Земля, известная как Интегрированная система прогнозирования (ИСП). Достижение прогресса в моделировании взаимодействия между компонентами системы Земля занимает центральное место в Стратегии ЕЦСПП на 2016–2025 годы (рисунок 1).

Концепция ЕЦСПП состоит в том, чтобы использовать подход на основе системы Земля, с целью выведения глобального гидрологического прогнозирования на новый уровень. Закрытие водного баланса<sup>5</sup> в оперативных моделях остаётся одной из основных научных задач (Zsoter et al., 2019). Как указывалось ранее, более детальный охват гидрологии будет способствовать улучшению прогнозирования других взаимосвязанных атмосферных и океанических компонентов. Однако это непростая задача. Для её решения требуется тесное сотрудничество между учёными из многих областей. Многие научные вопросы остаются открытыми, и также много существует препятствий,

5 Закрытие водного баланса подразумевает измерение всех притоков и оттоков воды.

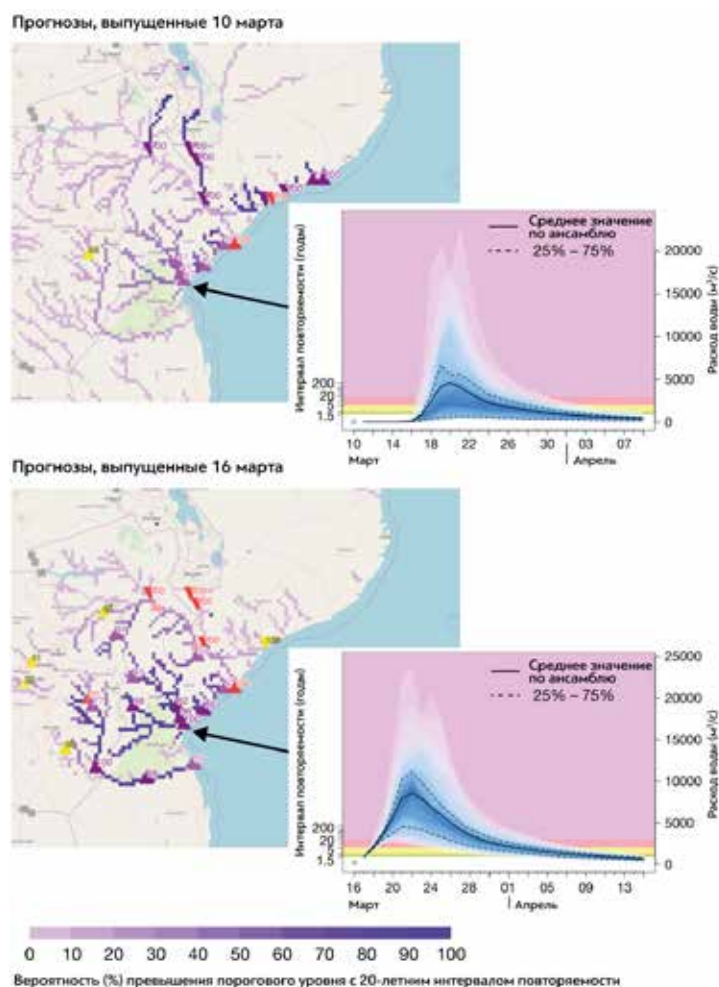


Рисунок 2. Прогнозы риска наводнений, выпущенные ГлоСОН на основе выходных результатов модели системы Земля ЕЦСПП. Затенение рек на картах показывает прогнозируемую вероятность (в %) превышения величины расхода воды в реках порогового уровня оповещения о сильном наводнении (интервал повторяемости таких наводнений составляет 20 лет) в течение следующих 30 дней в прогнозах, выпущенных 10 марта 2019 г. (вверху) и 16 марта 2019 г. (внизу). На вставках показана эволюция расхода воды в реке Пунгве, г. Бейра, Мозамбик (источник: Магнуссон и др., 2019).

когда дело касается доступности гидрологических данных. Однако использование моделирования системы Земля для прогнозирования наводнений чётко указывает на обоснованность концепции. Глобальная система оповещения о наводнениях (ГлоСОН, [www.globalfloods.eu/](http://www.globalfloods.eu/)), вычислительным центром для которой служит ЕЦСПП, является полностью функциональным, круглосуточно работающим компонентом Службы управления чрезвычайными ситуациями (СУЧС) программы «Коперник» Европейской комиссии. ГлоСОН предоставляет информацию для поддержки заблаговременных предупреждений о наводнениях по всему миру. На рисунке 2, например, представлены прогнозы наводнений ГлоСОН, использовавшиеся в Мозамбике в марте 2019 года во время разрушительного тропического циклона Идай.

### Трудности, связанные с использованием подхода на основе системы Земля в области гидрологии

Пространственное разрешение моделей системы Земля в настоящее время является довольно низким для гидрологического прогнозирования

в небольших водосборных бассейнах. Например, ГлоСОН с разрешением ячейки сетки по горизонтали приблизительно 10 км рекомендуется для использования в средних и крупных водосборных бассейнах с площадью более 1000 км<sup>2</sup>. Для сравнения, при наличии наблюдений *in situ* традиционные модели можно использовать для гораздо меньших водосборных бассейнов. Для того чтобы гидрологическое прогнозирование с использованием подхода на основе системы Земля было применимо на местном уровне, целевой показатель в отношении разрешения (гиперразрешение) на глобальном уровне должен составлять порядка 1 км (Wood et al., 2011).

Уменьшить ошибки в водном балансе гораздо проще при использовании традиционных гидрологических моделей, поскольку они ориентированы только на правильное прогнозирование расхода воды в реках. Закрывание водного баланса при использовании моделей системы Земля должно быть сделано таким образом, чтобы не ухудшать прогнозы других компонентов, которые необходимы для прогнозирования погоды и климата.

Отслеживание прогресса, достигнутого в ходе каких-либо новых разработок в области гидрологического прогнозирования, а также выверка данных о расходе воды в реках, полученных с использованием новых возможностей дистанционного зондирования путём их сравнения с данными наземных измерений, зависят от доступа к оперативным и историческим данным гидрологических наблюдений в рамках стандартизированной системы данных. Такие инициативы, как Система гидрологических наблюдений ВМО (СГНВ, [www.wmo.int/pages/prog/hwrrp/chy/whos/index.php](http://www.wmo.int/pages/prog/hwrrp/chy/whos/index.php)), которая обеспечит доступ к таким данным, имеют решающее значение для улучшения глобального гидрологического прогнозирования (Lavers et al., 2019).

### Претворение концепции в жизнь

Нельзя игнорировать значительный прогресс, достигнутый в области гидрологического прогнозирования с использованием традиционных моделей. Крайне важно, чтобы такой прогресс продолжался. Однако подход на основе системы Земля является более эффективным для прогнозирования в глобальном масштабе, поскольку он обеспечивает чёткую основу и перспективу для более тесного междисциплинарного сотрудничества, усовершенствованное усвоение данных и возможности наблюдения за системой Земля, доступ к высокопроизводительным вычислениям и устойчивое обслуживание. Когда мы сталкиваемся с давлением, которое оказывают изменения климата и рост численности населения, наша цель и обязанность как сообщества на службе общества должны быть в том, чтобы обеспечить готовность и системы прогнозирования, способные решать глобальные проблемы. В рамках подхода на основе системы Земля есть потенциал для выполнения этой задачи.

При наличии надлежащего руководства, ресурсах и группы междисциплинарных учёных, готовых выйти за пределы своих зон комфорта и осваивать разные принципы решения своих проблем, расширение границы гидрологического прогнозирования с целью использования подхода на основе системы Земля представляется достижимым. Прогресс уже начался, о чём свидетельствует ГлоСОН. Благодаря ещё более мощным суперкомпьютерам, позволяющим протестировать инновационные глобальные модели системы Земля с разрешением 1 км (ECMWF, 2020), концепцию полностью совмещённого гидрологического прогнозирования в рамках моделей системы Земля можно реализовать в течение следующего десятилетия.

### Литература

Alfieri, L., Burek, P., Dutra, E., Krzeminski, B., Muraro, D., Thielen, J. and Pappenberger, F., 2013: GloFAS - global ensemble streamflow forecasting and flood early warning, *Hydrol. Earth Syst. Sci.*, 17(3), 1161–1175, doi:10.5194/hess-17-1161-2013.

ECMWF, 2020: ECMWF scientists to simulate global weather at 1 km resolution, accessed 23 January 2020, ECMWF news article, available: <https://www.ecmwf.int/en/about/media-centre/news/2020/ecmwf-scientists-simulate-global-weather-1-km-resolution>

Emerton, R., Zsoter, E., Arnal, L., Cloke, H. L., Muraro, D., Prudhomme, C., Stephens, E. M., Salamon, P. and Pappenberger, F., 2018: Developing a global operational seasonal hydro-meteorological forecasting system: GloFAS-Seasonal v1.0, *Geosci. Model Dev.*, 11(8), 3327–3346, doi:<https://doi.org/10.5194/gmd-11-3327-2018>.

Lavers, D., Harrigan, S., Andersson, E., Richardson, D. S., Prudhomme, C. and Pappenberger, F., 2019: A vision for improving global flood forecasting, *Environ. Res. Lett.*, doi:10.1088/1748-9326/ab52b2.

Magnusson, L., Zsoter, E., Prudhomme, C., Baugh, C., Harrigan, S., Ficchi, A., Emerton, R., Cloke, H., Stephens, L. and Speight, L., 2019: ECMWF works with universities to support response to tropical cyclone Idai, *ECMWF Newsletter*, 160, 2–3.

Nash, J. E. and Sutcliffe, J. V., 1970: River flow forecasting through conceptual models part I — A discussion of principles, *Journal of Hydrology*, 10(3), 282–290, doi:10.1016/0022-1694(70)90255-6.

Wood, E. F., Roundy, J. K., Troy, T. J., Beek, L. P. H. van, Bierkens, M. F. P., Blyth, E., Roo, A. de, Döll, P., Ek, M., Famiglietti, J., Gochis, D., Giesen, N. van de, Houser, P., Jaffé, P. R., Kollet, S., Lehner, B., Lettenmaier, D. P., Peters-Lidard, C., Sivapalan, M., Sheffield, J., Wade, A. and Whitehead, P., 2011: Hyperresolution global land surface modeling: Meeting a grand challenge for monitoring Earth's terrestrial water, *Water Resources Research*, 47(5), doi:10.1029/2010WR010090.

Zsoter, E., Cloke, H., Stephens, E., de Rosnay, P., Muñoz-Sabater, J., Prudhomme, C. and Pappenberger, F., 2019: How Well Do Operational Numerical Weather Prediction Configurations Represent Hydrology?, *J. Hydrometeorol.*, 20(8), 1533–1552, doi:10.1175/JHM-D-18-0086.1.

# Комплексный подход к управлению паводками и борьбе с засухой в бассейне реки Вольта

Роберт Дессуаси<sup>1</sup>, Арманд Хуанье<sup>2</sup>, Хвирин Ким<sup>3</sup>, Джакомо Теруджи<sup>3</sup> и Рамеш Трипати<sup>3</sup>

Бассейн реки Вольта охватывает район площадью около 400 000 км<sup>2</sup> с населением около 29 млн человек. Бассейн реки Вольта проходит через полувлажные и полувлажные районы шести стран: Бенина, Буркина-Фасо, Ганы, Кот-д'Ивуара, Мали и Того. Бассейн весьма уязвим к метеорологическим и гидрологическим явлениям. Базовые социально-экономические проблемы в регионе сегодня усугубляются значительными изменениями климата за последние десятилетия — уменьшением количества осадков и повышением температуры. И климат, как ожидается, продолжит меняться. Учёные прогнозируют, что сухие сезоны будут более продолжительными и сухими, в то время как муссонные сезоны станут короче с более интенсивными осадками. Если меры по адаптации к изменению климата не будут приняты, то под угрозой окажется продовольственная безопасность, фермеры потеряют источники средств к существованию, а число людей, живущих в неформальных поселениях в зонах повышенного риска наводнений в городских центрах, возрастёт.

Национальные учреждения стран бассейна реки Вольта, в основном национальные метеорологические и гидрологические службы (НМГС), остро осознают необходимость подготовки региона к социально-экономическим и экологическим последствиям изменения климата. Они определили осуществление стратегий комплексного управления водными ресурсами и разработку карт рисков и систем заблаговременных предупреждений в качестве приоритетной задачи для повышения устойчивости к бедствиям и обеспечения устойчивого развития в регионе. К числу других выявленных потребностей относятся включение стратегий снижения риска бедствий в национальные планы развития и адаптации к изменению климата, усиление синергизма и создание координационных механизмов на региональном, национальном и местном уровнях в целях содействия комплексному

управлению паводками и борьбе с засухой, обеспечение наличия стандартизированных данных, особенно данных в режиме реального времени, а также разработка скоординированных информационных каналов и процедур для сквозной системы заблаговременных предупреждений. На местном уровне общины, подверженные риску, нуждаются в обучении и знаниях по системам заблаговременных предупреждений и стратегиям управления рисками стихийных бедствий и активного участия в разработке планов по обеспечению готовности и действиям в чрезвычайных ситуациях.

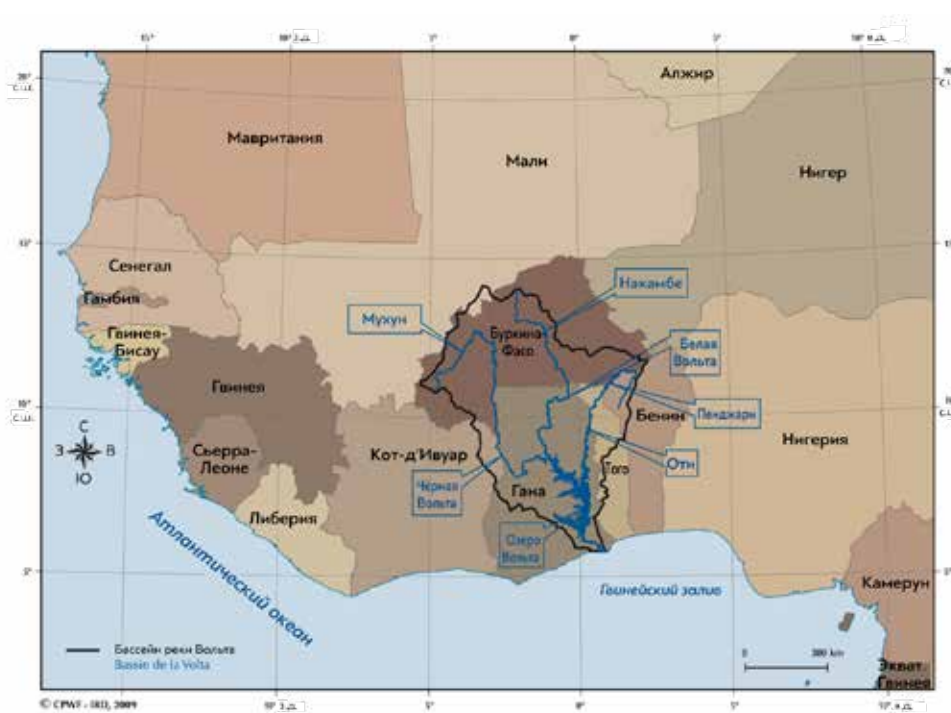
ВМО в сотрудничестве с Международным органом по бассейну реки Вольта и Глобальным водным партнёрством (ГВП)–Западная Африка при поддержке национальных учреждений шести прибрежных стран разработала и представила в Адаптационный фонд предложение по региональному проекту адаптации к изменению климата, охватывающему все упомянутые аспекты. Предложение о выделении 7,92 млн долларов США было одобрено Советом Адаптационного фонда в октябре 2018 года для реализации.

*В проекте по бассейну реки Вольта используется комплексный подход для укрепления целевых национальных учреждений и потенциала устойчивости и адаптации на уровне общин к последствиям изменения климата — паводкам и засухе. Он основан на концепции Интегрированного управления паводками (ИУП) и Комплексной борьбы с засухой (КБЗ), осуществлению которой в течение последних 17 лет содействуют Ассоциированная программа по управлению паводками (АПУП) и Комплексная программа борьбы с засухой (КПБЗ).*

1 Международный орган по бассейну реки Вольта

2 ГВП–ЗА

3 Секретариат ВМО



*В последние 20 лет около двух миллионов человек, живущих вдоль реки Вольта, пострадали от паводков, при этом паводки затронули 68% населения, работающего в сельском хозяйстве.*

Четырёхлетний проект по бассейну реки Вольта официально стартовал в июне 2019 года. Основная цель заключается в оказании шести странам помощи в осуществлении скоординированных и совместных мер по совершенствованию имеющихся у них планов по управлению паводками и борьбе с засухой на региональном, национальном и местном уровнях. Это будет достигнуто за счёт опоры на уроки, извлечённые из прошлых, а также текущих и будущих проектов, связанных со снижением риска бедствий и адаптацией к изменению климата.

### Задачи и компоненты проекта

Перед Проектом стоят три конкретные задачи:

1. Развивать потенциал и создавать механизмы на местном, национальном и региональном уровнях для обеспечения принятия решений с учётом факторов риска.
2. Разработать конкретные меры по адаптации и обеспечению безопасной окружающей среды с использованием комплексного подхода.
3. Укреплять политический и институциональный потенциал для интегрированного управления паводками и комплексной борьбы с засухой на местном, национальном и трансграничном уровнях.

Задачи будут выполняться в рамках трёх компонентов: предупреждение рисков, конкретная адаптация

и вовлечение заинтересованных сторон, а также управление.

В рамках **первого компонента** будут определены нынешние и будущие зоны уязвимости, потенциал для управления паводками и борьбы с засухой, подверженность воздействию и риски (определённые в предложении по проекту как УППР) с тем, чтобы разработать карты риска паводков и засух на местном, национальном и региональном уровнях. В ходе заседаний по наращиванию потенциала будут собраны и распространены среди заинтересованных сторон климатические сценарии вместе с картами рисков для изучения возможного воздействия изменения климата на выявленные зоны. Рекомендации заинтересованных сторон по этим вопросам будут учтены в подходах к адаптации к изменению климата и в стратегиях снижения риска бедствий. Показатели и инструменты будут также предоставлены заинтересованным сторонам для повышения осведомлённости о том, как функционируют экосистемы для обеспечения благосостояния человека, и о важности их защиты и восстановления. Эти инструменты помогут заинтересованным сторонам внести свой вклад в сохранение водно-болотных угодий и других территорий трансграничного значения, таких как зоны значительного биоразнообразия.

**Второй компонент** обеспечит основу для комплексного подхода к управлению паводками и борьбе с засухой в регионе с помощью систем данных и информации и систем заблаговременных предупреждений, которые будут введены в действие в этом бассейне.



Ключевым результатом проекта будет разработка и осуществление сквозной системы заблаговременных предупреждений о паводках и засухе в масштабе бассейна реки Вольта. Платформа myDewetra.world<sup>4</sup> с открытым исходным кодом будет использоваться для интеграции метеорологических, гидрологических, климатологических, УПР баз данных и других подтверждённых результатов, таких как системы гидрологического моделирования, поддержки принятия решений и заблаговременных предупреждений, полученных в рамках родственных проектов и инициатив на местном, национальном и региональном уровнях. В целях улучшения обмена информацией система заблаговременных предупреждений будет охватывать всю стоимостную цепочку снижения рисков — от картирования зон уязвимости и рисков до прогнозирования, распространения предупреждений и поддержки принятия решений. Оперативное использование новой сквозной платформы заблаговременных предупреждений будет подкреплено серией экспериментальных испытаний в различных подбассейнах и уязвимых районах, имеющих различные социально-экологические условия. Будут проводиться мероприятия по развитию потенциала в целях обеспечения надлежащего освоения новой продукции, обслуживания и инструментов. Кроме того, на местном и национальном уровнях будут разработаны модули самопомощи по природоохранным решениям и подходам, основанным на широком участии и учитывающим гендерные факторы.

*"...каждая страна бассейна реки Вольта должна располагать гидрометеорологической информацией для предотвращения и регулирования пагубных последствий изменения климата. Но также и прежде всего каждая страна должна предпринять шаги по улучшению условий жизни населения, проживающего в бассейне реки Вольта".*

*Полковник Марциаль Ме, представляющий Министра водных ресурсов и лесного хозяйства Кот-д'Ивуара на первом рабочем совещании по проекту.*

В рамках **Компонента 3** будут рассмотрены выгоды, полученные от реализации проекта, с целью доработки действующих или разработки новых политических мер, планов и руководящих принципов по снижению риска бедствий и адаптации к изменению климата. Адаптационные меры и стратегии, приведённые в соответствие с природоохранной и социальной политикой, а также с гендерными принципами, будут обсуждаться на местном уровне в целях повышения устойчивости к воздействию паводков и засухи. Участие и вовлечение местных заинтересованных сторон будет способствовать принятию стратегий снижения риска бедствий и адаптации к изменению климата и приведёт к долгосрочной устойчивости.

### Текущее состояние дел и ожидаемые результаты

Осуществление проекта по управлению паводками и борьбе с засухой в бассейне реки Вольта началось на первом рабочем совещании, состоявшемся в Абиджане, Кот-д'Ивуар, 25–26 июня 2019 года. Первый шаг заключался в том, чтобы понять нынешние возможности и потребности в отношении сквозной системы заблаговременных предупреждений о паводках и засухе путём проведения национальных консультативных совещаний с заинтересованными сторонами в шести странах. Платформа myDewetra.world, полностью сопряжённая с имеющейся информацией и продукцией по управлению паводками и борьбе с засухой, будет доступна для заинтересованных сторон в конце первого года осуществления проекта (июнь 2020 года).

В рамках проекта будет развиваться базовый потенциал национальных и региональных учреждений для обеспечения долгосрочной устойчивости и масштабирования результатов. Проект будет оказывать поддержку заинтересованным сторонам на всех уровнях путём предоставления руководящих указаний по вопросам политики и управления, а также путём обмена научной информацией, знаниями и передовым опытом в целях комплексного снижения риска бедствий и адаптации к изменению климата. Шесть прибрежных стран получают выгоды от общекосовской системы трансграничного управления для обеспечения долгосрочного экологического и экономического развития. В регионе будут найдены конкретные решения по смягчению потенциального роста уязвимости в связи с изменением климата и созданию эффективной сети заинтересованных

4 Исследовательский фонд CIMA и Департамент гражданской обороны Италии совместно разработали платформу myDEWETRA.world с открытым исходным кодом, которая вносит свой вклад в прогнозирование гидрометеорологических рисков и рисков лесных пожаров и смягчение их последствий.



Рисунок 2. Ориентировочные места экспериментальных испытаний сквозной системы заблаговременных предупреждений

участников для решения проблем адаптации к изменению климата.

Обширная учебная программа проекта, охватывающая такие аспекты, как картирование опасностей и рисков, управление водными ресурсами, гидрологические прогнозы, управление паводками на уровне общин, агрометеорология, комплексная борьба с засухой и т.д., обеспечит техническую поддержку и новые средства поддержки принятия решений для национальных оперативных центров.

Совместная деятельность организаций-партнёров, такая как спецификации требований, установка оборудования в НМГС и предоставление новой информации населению, полевые работы на местах проведения экспериментальных испытаний, также будет способствовать обмену, созданию групп пользователей и подготовке инструкторов, которые в будущем возьмут на себя ответственность за проект и продолжат работу в рамках проекта.

### Устойчивость

Долгосрочная устойчивость результатов проекта будет зависеть от метеорологических, гидрологических и климатологических данных и сопутствующей продукции, предоставляемых НМГС прибрежных стран. Несколько НМГС, а также другие учреждения, отвечающие за охрану окружающей среды, уже предоставили письма поддержки для обеспечения долгосрочной передачи информации из национальных


баз данных, чтобы продолжить работу группы по координации ожидаемой трансграничной системы заблаговременных предупреждений.

Международным организациям и финансовым учреждениям будет предложено отслеживать успешные примеры осуществления проекта и выявлять дополнительные потребности на местном, национальном и региональном уровнях. Это может привести к появлению новых источников финансирования или развитию синергизма с другими текущими и будущими проектами в шести странах.

### Доноры и партнёры проекта





A photograph showing a woman in a blue shirt holding a young child with wet hair in a flooded street. The water is murky brown. The woman has a concerned expression. The child is looking off to the side. The background is blurred, showing buildings and trees.

**Система оценки  
риска возникновения  
быстроразвивающихся паводков:  
ответ на одно из самых  
губительных бедствий**

Милица Джорджевич, Петра Мутич и Хвирин Ким, Секретариат ВМО

Быстроразвивающиеся паводки относятся к числу самых губительных стихийных бедствий в мире, в результате которых каждый год гибнут более 5 000 человек и которые приводят к серьезным социальным, экономическим и экологическим последствиям<sup>1</sup>. На долю быстроразвивающихся паводков приходится около 85 % всех паводков, и они имеют самый высокий показатель смертности среди всех категорий паводков. Быстроразвивающиеся паводки внезапны и кратковременны с интервалом времени меньше шести часов между наблюдаемым причинным явлением и самим паводком, для которого, как правило, характерен высокий максимальный расход воды. Быстроразвивающиеся паводки обладают достаточной силой, чтобы изменять течение рек, погребать дома под потоками грязи и сметать или уничтожать всё на своём пути. Это сложные гидрометеорологические явления, которые трудно предсказать. Поэтому чтобы подготовиться к ним, необходимы специальные знания в области гидрологии и метеорологии в сочетании со знанием местных условий.

Когда в 1998 году на Центральную Америку обрушился ураган «Митч», он привёл к гибели более 11 000 человек и разрушил сотни тысяч домов. Быстроразвивающиеся паводки, наводнения, оползни и сели, вызванные сильными дождями, разрушили целые деревни, и большая часть посевов и объектов инфраструктуры в странах была уничтожена. Сумма ущерба превысила 5 млрд долларов США.

После этих катастрофических событий Бюро по оказанию помощи другим странам в случае стихийных бедствий (ОФДА) Агентства США по международному развитию (ЮСАИД) инициировало проект по координации разработки системы заблаговременных предупреждений о быстроразвивающихся паводках в регионе. В 2001 году Гидрологический научно-исследовательский центр в сотрудничестве с Национальным управлением США по исследованию океанов и атмосферы (НУОА) приступил к разработке региональной Системы оценки риска возникновения быстроразвивающихся паводков (СОРВБП) для подготовки предупреждений о быстроразвивающихся паводках. Затем в 2007 году Всемирный метеорологический конгресс одобрил осуществление СОРВБП по всему миру в рамках проектов, разработанных ВМО на совместной основе в сотрудничестве с НУОА, Гидрологическим научно-исследовательским центром и ОФДА/ЮСАИД.

Сегодня в результате осуществления 13 региональных и 2 национальных проектов СОРВБП заблаговременные предупреждения получают около трёх миллиардов человек в более чем 60 странах — 40% мирового населения. При этом по всему миру разрабатываются новые проекты. Министерство охраны окружающей среды и изменения климата Канады финансирует осуществление СОРВБП в рамках текущего проекта «Обеспечение устойчивости к гидрометеорологическим явлениям со значительными воздействиями и последствиями путём укрепления систем заблаговременных предупреждений о многих опасных явлениях в Малых островных развивающихся государствах и в Юго-Восточной Азии». В рамках начатого в 2019 году проекта «Системы бесшовных оперативных прогнозов и техническая помощь в создании потенциала в Западной Африке», осуществляемого в рамках Инициативы КРСЗП<sup>2</sup>, СОРВБП разрабатывается в трёх странах этого региона.

## Цели Системы

СОРВБП была разработана с целью расширения возможностей национальных метеорологических и гидрологических служб (НМГС) по выпуску предупреждений и оповещений о быстроразвивающихся паводках для смягчения неблагоприятных последствий гидрометеорологических опасных явлений. СОРВБП укрепляет сотрудничество между национальными метеорологическими и гидрологическими службами, агентствами по борьбе со стихийными бедствиями и другими заинтересованными сторонами и внедряет современные гидрометеорологические модели и технологии прогнозирования. Она обеспечивает широкую подготовку гидрологов, метеорологов и специалистов по ликвидации последствий стихийных бедствий. Поскольку быстроразвивающиеся паводки часто пересекают национальные границы, региональные проекты СОРВБП и сотрудничество имеют большое значение: таким образом, СОРВБП способствует национальному, региональному и глобальному развитию и сотрудничеству.

СОРВБП была разработана как инструмент обеспечения метеорологов-прогнозистов и гидрологов-прогнозистов как информацией в режиме реального времени, так и диагностической продукцией для повышения их возможностей по подготовке и выпуску своевременных и точных предупреждений о быстроразвивающихся паводках. После ввода СОРВБП в действие большинство стран, использующих её, впервые получили доступ к продукции,

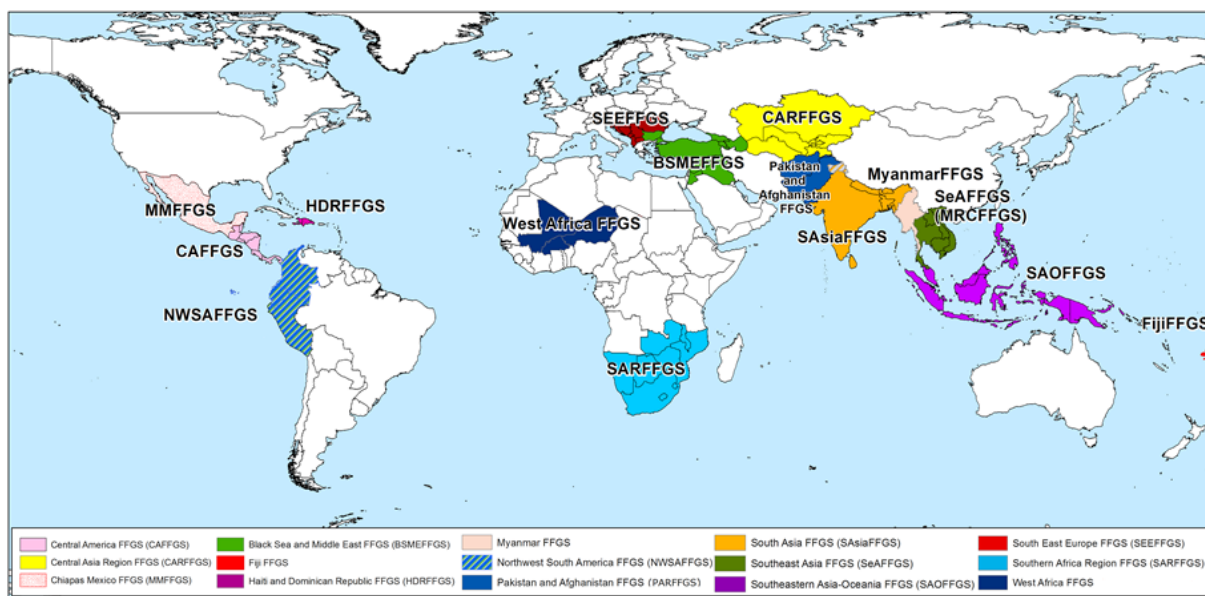
1 [www.wmo.int/pages/prog/www/CBS/Meetings/MG\\_7/Doc5\(7\)\\_CHy.doc](http://www.wmo.int/pages/prog/www/CBS/Meetings/MG_7/Doc5(7)_CHy.doc)

2 Климатические риски и система заблаговременных предупреждений





## СИСТЕМА ОЦЕНКИ РИСКА ВОЗНИКНОВЕНИЯ БЫСТРОРАЗВИВАЮЩИХСЯ ПАВОДКОВ С ГЛОБАЛЬНЫМ ОХВАТОМ



Система оценки риска возникновения быстроразвивающихся паводков с глобальным охватом



Цели Системы оценки риска возникновения быстроразвивающихся паводков



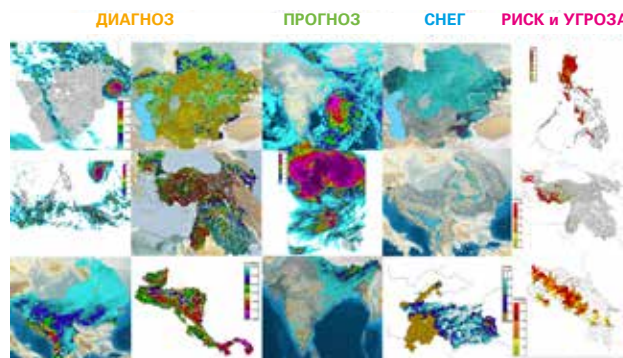
которая позволяет им выпускать предупреждения о быстроразвивающихся паводках и обеспечивает возможность службам реагирования в чрезвычайных ситуациях для быстрой мобилизации.

Продукция СОРВБП включает:

- прошедшие контроль качества оценки осадков, полученные с помощью радаров и спутников;
- данные измерений осадков с помощью осадкомеров;
- рекомендации по определению средней влажности почвы и быстроразвивающимся паводкам;
- прогностическую продукцию, такую как количественные прогнозы осадков на основе моделей численного прогнозирования погоды;
- продукцию по снегу, обеспечивающую данные о снежном покрове, таянии снега и водном эквиваленте снега;
- продукцию с оценкой рисков и угроз, связанных с быстроразвивающимися паводками.

Имеются специальные модули и компоненты СОРВБП для оценки угрозы оползней, быстроразвивающихся паводков в городских районах и прослеживания пути паводка. Ожидается, что городское население мира увеличится с 55% в 2018 году (около 4,2 млрд человек) до 68% к 2050 году<sup>3</sup>. При таком значительном росте центров сосредоточенности населения крайне важно, чтобы города по

3 United Nations, Department of Economic and Social Affairs [www.un.org/development/desa/en/news/population/2018-revision-of-world-urbanization-prospects.html](http://www.un.org/development/desa/en/news/population/2018-revision-of-world-urbanization-prospects.html)

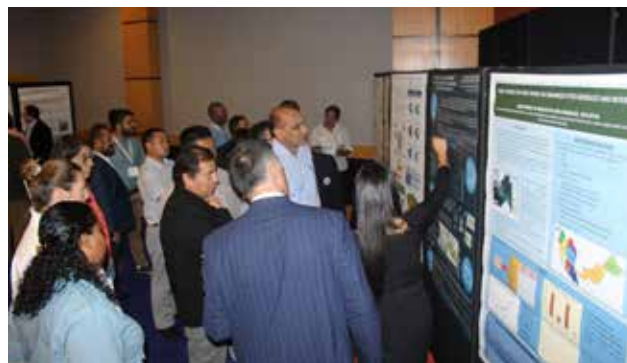


Индекс угрозы оползней, показывающий вероятность возникновения оползней в Центральной Америке (слева), и продукция Системы оценки риска возникновения быстроразвивающихся паводков (сверху).

всему миру вкладывали средства в снижение риска быстроразвивающихся паводков.

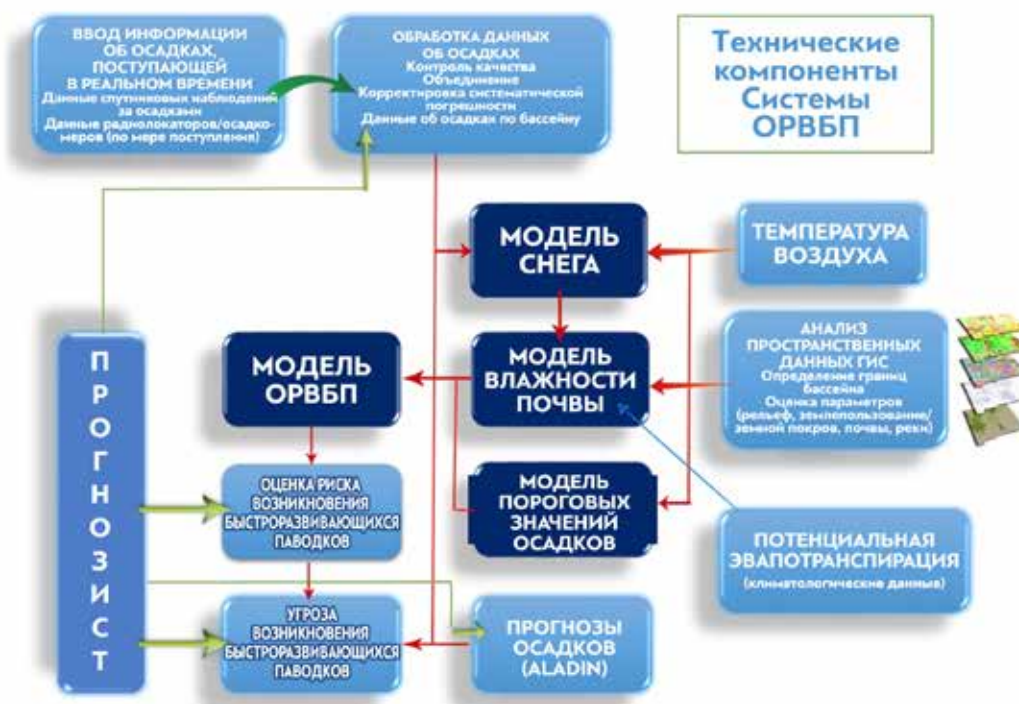
### Анталийское заявление

Подготовка гидрологов, метеорологов и специалистов по управлению чрезвычайными ситуациями является неотъемлемой частью осуществления СОРВБП и имеет решающее значение для создания устойчивого местного потенциала в участвующих НМГС. С момента начала её осуществления десять лет назад более 400 метеорологов-прогнозистов и гидрологов-прогнозистов прошли углублённую подготовку по вопросам СОРВБП. В ноябре 2019 года в Анталии, Турция, состоялся международный глобальный научно-практический семинар по СОРВБП, организованный Государственной метеорологической организацией Турции, в котором приняли участие 169 экспертов из 59 стран<sup>4</sup> для обмена опытом, демонстрации достижений, определения проблем, выявления пробелов в обслуживании и



Представление стендовых докладов в ходе глобального научно-практического семинара по СОРВБП

4 [community.wmo.int/meetings/hydrology-and-water-resources/flash-flood-guidance-system-ffgs-global-workshop](http://community.wmo.int/meetings/hydrology-and-water-resources/flash-flood-guidance-system-ffgs-global-workshop)



Технические компоненты Системы оценки риска возникновения быстроразвивающихся паводков

выработке рекомендуемых приёмов и методов работы. Их цель состояла в том, чтобы повысить надёжность функционирования СОРВБП.

Участники признали, что осуществление СОРВБП в течение последнего десятилетия привело к значительному сокращению людских и материальных потерь. Они призвали национальные правительства признать СОРВБП в качестве эффективного средства защиты своих стран от быстроразвивающихся паводков, особенно по мере увеличения численности населения во всём мире, роста городских районов, а также того, как население продолжает селиться на территориях, подверженных быстроразвивающимся паводкам. Потребность в системах заблаговременных предупреждений о быстроразвивающихся паводках имеет первостепенное значение.

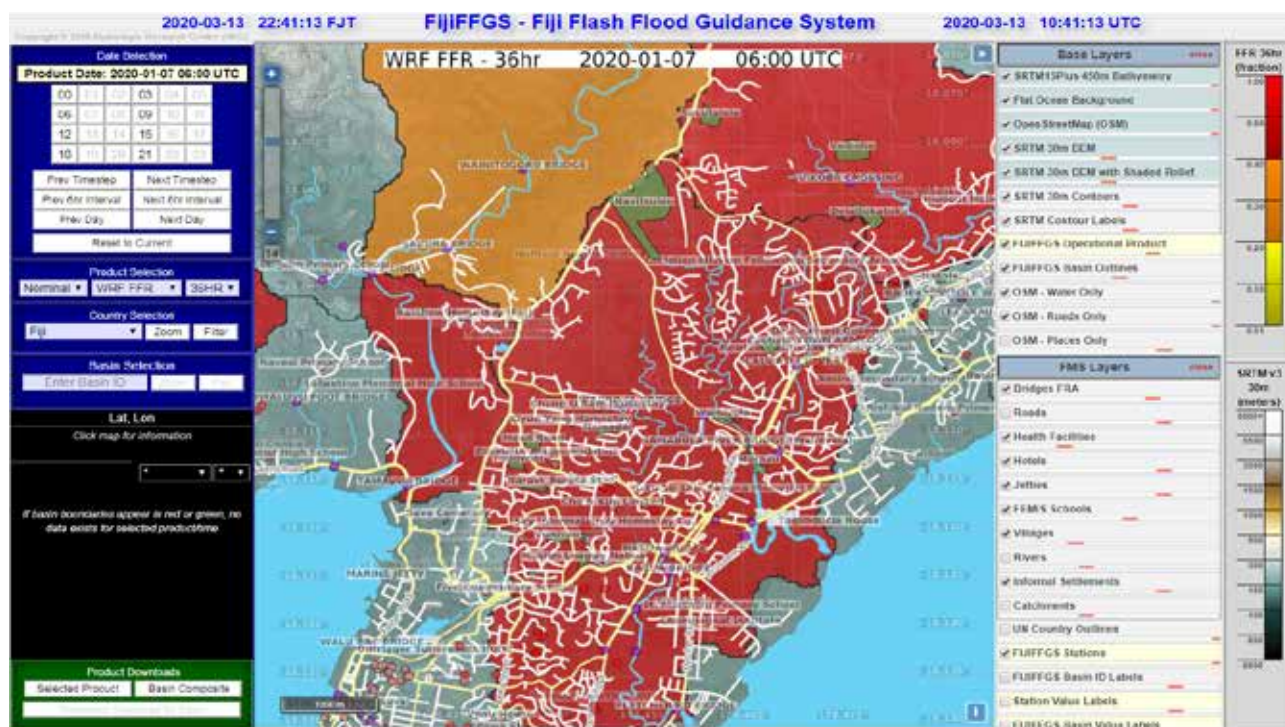
В Анталийском заявлении подробно изложены основные выводы семинара и в общих чертах даны рекомендации по осуществлению СОРВБП в будущем. В нём подчёркивается, что для укрепления и поддержания СОРВБП необходимы дальнейшие инвестиции в новые области науки и технологии. Усилия также должны быть направлены на совершенствование управления, повышение уровня подготовки и расширение возможностей, повышение значимости роли и преимуществ СОРВБП

и мобилизацию дополнительных ресурсов. Для обеспечения надёжности функционирования СОРВБП участники рекомендовали более эффективно решать технические вопросы. В их рекомендациях содержались призывы к принятию более формализованного и всеохватывающего процесса перехода от научных исследований к оперативной деятельности, а также к облегчению доступа к цифровым данным, поступающим от автоматических осадкомеров в Систему оценки риска возникновения быстроразвивающихся паводков, и их распространения.

### Анталийское заявление

Для обеспечения благосостояния и процветания своих граждан национальные правительства должны признать, что Система определения риска возникновения быстроразвивающихся паводков достигла состояния зрелости, что оправдывает затраты их ресурсов на её осуществление и поддержание её оперативной готовности. Необходимы согласованные глобальные усилия для обеспечения того, чтобы достигнутые на сегодняшний день успехи получили дальнейшее развитие на благо нынешнего и будущих поколений.





Интерфейс MapServer СОРВБП Фиджи показывает продукцию с описанием риска возникновения быстроразвивающихся паводков, включая описание уязвимости инфраструктуры.

### Интеграция в систему о многих опасных явлениях

СОРВБП использовала данные, полученные в рамках проекта ВМО по прогнозированию явлений суровой погоды, в качестве входных данных для создания продукции по рискам и угрозам возникновения быстроразвивающихся паводков везде, где позволяло географическое соответствие. Уже ведётся работа по улучшению прогностических возможностей СОРВБП путём предоставления более точных прогнозов с большей заблаговременностью — оба эти аспекта крайне важны для снижения риска бедствий.

На основе этих положительных результатов Всемирный метеорологический конгресс 2019 года принял решение объединить три проекта — СОРВБП, Проект по прогнозированию явлений суровой погоды и Инициативу по прогнозированию наводнений в прибрежной зоне — в более крупную Систему заблаговременных предупреждений о многих опасных явлениях. Таким образом, будет создана система, которая объединит возможности прогнозирования наводнений в прибрежной зоне, быстроразвивающихся паводков явлений суровой погоды. В соответствии с этим решением Координационная группа экспертов по гидрологии рекомендовала подготовить стратегический план для обеспечения плавной интеграции трёх проектов и поддержки подпроектов соответствующими экспертами.

Интерфейс MapServer СОРВБП уже предоставляет метеорологам-прогнозидам и гидрологам-прогнозидам возможность совмещать продукцию СОРВБП с данными географической информационной системы (ГИС), включая демографические данные, карты уязвимости, эвакуационные средства, инфраструктуру, а также объекты образовательного и медицинского назначения. Предоставляя агентствам по гидрометеорологии и борьбе со стихийными бедствиями информацию об уязвимости инфраструктуры, НМГС могли бы помочь свести к минимуму негативные последствия стихийных бедствий, связанных с погодными условиями, и сократить число человеческих жертв и объём потерь и ущерба<sup>5</sup>.

Учёные ожидают, что частота и интенсивность быстроразвивающихся паводков возрастёт главным образом из-за изменения климата, роста численности населения и изменений в землепользовании. Поэтому разработка и осуществление СОРВБП как никогда важны для защиты населения, сохранения экономики и спасения бесчисленных жизней. Совместными усилиями партнёры СОРВБП, страны-участницы и регионы продолжают работу по смягчению последствий быстроразвивающихся паводков путём расширения возможностей заблаговременных предупреждений.

5 Руководящие указания ВМО по обслуживанию прогнозами и предупреждениями о многих опасных явлениях с учетом их возможных последствий, ВМО-№ 1150



# Саммит по вопросам высокогорных районов: результаты и перспективы

Каролина Адлер<sup>1</sup>, Джон Померой<sup>2</sup> и Родика Ниту<sup>3</sup>



Результатами Саммита ВМО по вопросам высокогорных районов, состоявшегося 29–31 октября 2019 года явились Призыв к действию и дорожная карта приоритетных действий. Цель приоритетных действий направлена на поддержку более устойчивого развития, снижения риска бедствий и адаптации к изменению климата, как в высокогорных районах, так и на нижерасположенных территориях.

Горные районы покрывают почти четверть поверхности Земли. Они являются важным источником пресной воды, сосредоточением биологического и культурного многообразия, а также традиционных знаний, будучи местом проживания для четверти мирового населения. Высокогорные зоны включают все горные районы, где характерными особенностями ландшафта являются ледники, снег или многолетняя мерзлота (МГЭИК<sup>4</sup>). Речные бассейны с истоками рек в горах снабжают пресной водой свыше половины населения планеты, поэтому горы часто называют «водонапорными башнями» земного шара.

Однако повышение глобальной температуры вызывает изменения горной метеорологии, гидрологии и экологии, включая криосферу — снег, ледники и мёрзлый грунт. Природные опасные явления, изменения окружающей среды и утрата жизненно важных горных экосистем повышают риск в горах и на нижерасположенных территориях. Большие горные районы играют ключевую роль в эволюции крупномасштабных метеорологических систем. Ожидаемое повышение степени неопределённости относительно доступности воды из горных рек является важным фактором риска для сельского хозяйства, лесного хозяйства, производства продовольствия, рыболовства, гидроэнергетики, транспорта, туризма, индустрии отдыха и развлечений, инфраструктуры, хозяйственно-бытового водоснабжения и здравоохранения в горных районах и на нижерасположенных территориях.

На Саммите ВМО подчёркнуто, что, несмотря на вышеуказанные факты, за процессами в системе

Земля в районах со сложным горным ландшафтом наблюдения проводятся в недостаточной степени, и они недостаточно понятны для надёжного моделирования их поведения. Поэтому итоговое воздействие этих изменений на население и экономику не было чётко сформулировано в основных международных рамочных программах, таких как Сендайская рамочная программа по снижению риска бедствий или Парижское соглашение по изменению климата. Поскольку водная безопасность становится одной из важнейших проблем для человечества и источником политического напряжения внутри стран и между ними, отсутствие такой информации значительно затрудняет задачу развития и осуществления соответствующих политических мер.

### Призыв к более глубокому научному пониманию

Имеющиеся научные данные о горных районах весьма неоднородны. Часто новые наблюдения, знания, суждения и опыт получают в рамках международных научно-исследовательских инициатив при ограниченном участии (или его полном отсутствии) местных научных или оперативных сообществ.

Необходимо существенно укрепить научное понимание социально-экологических систем в высокогорных районах. Кроме того, необходимы более полные знания о товарах и услугах экосистем, обеспечиваемых криосферой и другими важнейшими системами в горных районах, и об их использовании человеком.

Участники Саммита неоднократно приводили выводы Специального доклада МГЭИК об океанах и криосфере в условиях изменяющегося климата, одна из глав которого посвящена высокогорным районам. В докладе МГЭИК отмечено, что, как ожидается, текущие тенденции изменений в высокогорных экосистемах, связанных с криосферой, сохранятся, а их влияние усилится. Согласно прогнозам, в течение XXI века снежный покров, ледники и вечная мерзлота будут продолжать сокращаться почти во всех районах. Выводы, содержащиеся в этом докладе, свидетельствуют о необходимости срочного рассмотрения проблемы

1 Инициатива по исследованию горных районов (ИИГР)

2 Программа «Будущее глобальных водных ресурсов», Глобальный институт водной безопасности и Центр гидрологии, университет провинции Саскачеван, Канада

3 Секретариат ВМО

4 [www.ipcc.ch/srocc/](http://www.ipcc.ch/srocc/)



гидрологических и климатических изменений в высокогорных районах, их воздействий и их последствий на нижерасположенных территориях.

### **Призыв Саммита по вопросам высокогорных районов к действию**

После интересных докладов и междисциплинарных и трансдисциплинарных диалогов участники Саммита приняли решение открыть доступ к использованию соответствующего целевому назначению гидрологического, метеорологического и климатического информационного обслуживания для людей, проживающих в горной местности и на нижерасположенных территориях. Это помогло бы учитывать их потребности в адаптации к угрозам, вызванным беспрецедентным антропогенным изменением климата, и в устранении этих угроз, признавая важность горных районов как местонахождения криосферы и глобального источника пресной воды.

Инициатива по комплексному наблюдению, прогнозированию и предоставлению обслуживания была признана исключительно важной для достижения этой цели. Эта Инициатива будет преследовать цели, ориентированные на пользователя, и основываться на существующих знаниях и мероприятиях, на международной координации и междисциплинарных подходах. Она будет включать серию интенсивных коллективных кампаний по осуществлению показательных проектов по прогнозированию и анализу в ключевых горных массивах и в верховьях рек по всему миру, включая массивы и реки трансграничного характера. Инициатива позволит совместно разрабатывать решения, наращивать потенциал, поддерживать и облегчать инвестиции, активно привлекая пользователей информации, поставщиков и производителей к решению наиболее острых проблем, связанных с изменением климата, криосферы и гидрологии. Её результаты будут способствовать управлению водными ресурсами и адаптации к риску стихийных бедствий ниже по течению крупных рек, затрагивая тем самым широкие слои населения и экосистемы Земли. Она обеспечит обмен и взаимодействие между населением, пользователями, наукой и обслуживанием и внесёт соответствующий вклад в разработку политики.

Сопредседатели Встречи — г-жа Каролина Адлер, исполнительный директор Инициативы по исследованию горных районов, и г-н Джон Померой, ведущий профессор-исследователь Канады в области водных ресурсов и изменения климата, директор Центра гидрологии Инициативы «Будущее глобальных водных ресурсов» — представили эти результаты на Конференции Сторон Рамочной конвенции Организации Объединённых Наций об изменении климата 2019 года (КС-25) в Мадриде на параллельных мероприятиях, организованных 11 декабря в Международный день гор ООН. Резолюция Генеральной Ассамблеи ООН А/74/209 об устойчивом развитии горных районов, принятая 19 декабря, рекомендовала государствам-членам «разрабатывать и осуществлять меры по укреплению адаптационного потенциала и устойчивости к изменению климата горных общин и по снижению подверженности климатическим рискам путём расширения подготовки и использования информации о климате и рисках стихийных бедствий, разработки карт риска опасных явлений и платформ, совершенствования систем заблаговременных предупреждений и применения подхода, учитывающего факторы риска, во всей деятельности, связанной с планированием развития» в качестве средства повышения устойчивости к изменению климата и стихийным бедствиям и защиты биоразнообразия.

### **Дальнейшие действия**

Комплексные системы прогнозирования необходимы для гор для всестороннего моделирования сценариев и прогнозирования климата, метеорологии, гидрологии, экологии, социальной системы и изменения криосферы в горных районах, а также для горных речных бассейнов. Дополнительные наблюдения в горах чрезвычайно важны для систем комплексного прогнозирования в горных районах. Они, в свою очередь, позволят получить более надёжную продукцию и информацию о меняющихся рисках вследствие изменения климата. Такая информация будет лежать в основе стратегий адаптации для уменьшения воздействия и подверженности природным опасным явлениям и связанным с ними бедствиям.

Для претворения Призыва к действию в жизнь необходимо объединение национальных и

международных учреждений, представляющих политику, практическую деятельность, научные исследования, академическое сообщество и финансирующие организации. Этот призыв требует совместных и коллективных действий в поддержку предлагаемого Проекта по комплексному наблюдению, прогнозированию и предоставлению обслуживания в высокогорных районах, а также организации скоординированных кампаний по наблюдению и прогнозированию, возможно, в рамках Года прогнозирования в горных районах (ГПГР). ВМО играет важную роль в удовлетворении потребностей, определённых в Сендайской рамочной программе для того, чтобы «укрепить научно-технический потенциал в целях оптимального использования и консолидации существующих знаний, а также в целях разработки и применения методологий и моделей для оценки риска стихийных бедствий, уязвимости и подверженности воздействию всех опасных явлений».

Заместитель Генерального секретаря ВМО Елена Манаенкова заявила на закрытии Саммита: «ВМО будет играть ведущую и руководящую роль в реализации Инициативы по комплексному наблюдению и прогнозированию в высокогорных районах. Нам необходимо повышать качество наблюдений, прогнозов и обмена данными в горных массивах и верховьях горных рек по всему миру. Это необходимо для решения проблемы ускоряющегося изменения климата, которое оказывает возрастающее влияние на уязвимые группы населения».

С этой целью ВМО призывает национальные и международные учреждения, представляющие

политику, практическую деятельность, научные исследования, академическое сообщество и финансирующие организации объединить усилия и поддержать предлагаемый проект по комплексному наблюдению, прогнозированию и предоставлению обслуживания в высокогорных районах. Необходимы дополнительные ресурсы, а также скоординированные мероприятия по наблюдениям и прогнозам. Международный полярный год 2007, координацию которого осуществляла ВМО, послужил доказательством её способности стимулировать действия международного сообщества, направленные на достижение важных научных целей. Успех таких мероприятий зависит от твёрдой приверженности ведущих организаций мира, которые приглашаются присоединиться к ВМО для воплощения на практике приоритетных действий, предусмотренных в Призыве к действию.

К числу спонсоров Саммита относятся Глобальный фонд уменьшения опасности бедствий и восстановления и Программа по энергетическим и водным ресурсам в Центральной Азии Всемирного банка, а также правительственные учреждения Швейцарии (Федеральное бюро метеорологии и климатологии Швейцарии, Федеральное бюро по окружающей среде, Швейцарский федеральный институт по исследованию леса, снежного покрова и ландшафта и Швейцарское агентство по развитию и сотрудничеству). Свыше 150 участников представляли академическое сообщество, научно-оперативные сообщества, пользователей гидрометеорологического обслуживания, директивные органы, а также гражданское общество из 45 стран и несколько международных организаций.

## Доноры и партнёры



# Потепление климата в регионе Третьего полюса и изменения в системе криосферы

Таньдун Яо<sup>1</sup>, Лонни Томпсон<sup>2</sup>, Дэлян Чэнь<sup>3</sup>, Иньшэн Чжан<sup>1</sup>, Нинлянь Ван<sup>4</sup>, Линь Чжао<sup>5</sup>, Тао Чэ<sup>6</sup>, Байцин Сюй<sup>1</sup>, Гуанцзянь У<sup>1</sup>, Фань Чжан<sup>1</sup>, Цюхун Тан<sup>7</sup>, Вальтер Иммерзил<sup>8</sup>, Тобиас Болх<sup>9</sup>, Франческа Пелличотти<sup>10</sup>, Синь Ли<sup>1</sup>, Вэй Ян<sup>1</sup>, Цзин Гао<sup>1</sup> и Вэйцай Ван<sup>1</sup>

Горы являются источниками воды, энергии, минералов, лесных и сельскохозяйственных продуктов, а также популярными местами отдыха. Высокие горные районы являются крупнейшим после Арктики и Антарктики резервуаром льда и снега. В высокогорном регионе Азии находятся 14 самых высоких в мире вершин и около 100 000 км<sup>2</sup> ледников. Этот так называемый Третий полюс (ТП) охватывает Тибетское нагорье, Гималаи, Гиндукуш, Памир и Тянь-Шань. Талые воды, образующиеся из льда и снега на Третьем полюсе, питают многие крупные озёра и реки Азии, в том числе Инд, Брахмапутру, Ганг, Хуанхэ и Янцзы. Этот горный регион известен как «Водонапорные башни Азии» (ВБА), чрезвычайно важен для водной безопасности и социально-экономической устойчивости многих стран. Он поддерживает жизнь 1,7 млрд людей и обеспечивает валовой внутренний продукт (ВВП) в размере 12,7 трлн долларов США (рис. 1).

За последние пять лет в регионе Третьего полюса произошли значительные изменения окружающей среды. На состояние и стабильность Водонапорных башен Азии влияют вызванное потеплением отступление ледников, обвалы льда, увеличение

площади ледниковых озёр и частые наводнения в результате прорыва ледниковых озёр (НПЛО), что сказывается на социально-экономическом развитии стран региона. Стремительные изменения ледников, вечной мерзлоты, снежного покрова, озёр и рек в регионе Третьего полюса, а также их влияние на территориях, расположенных ниже, исследуются с 2010 года в рамках программы по изучению окружающей среды Третьего полюса (ОСТП), финансируемой Китайской академией наук. В рамках этой ключевой инициативы международных исследований рассматривается многообразное взаимодействие системы Земля в регионе Третьего полюса. Изменения криосферы гор и их влияние на региональную гидрологию и водные ресурсы являются важными аспектами исследований по программе ОСТП.

Учитывая опыт десятилетних исследований, целесообразно обобщить научные результаты и обсудить проблему доступности воды и социально-экономические последствия для более широких горных районов. В этом отчёте, который является первой частью обобщённого материала, основное внимание уделяется потеплению климата и изменениям

- 1 Институт исследований Тибетского нагорья, Китайская академия наук
- 2 Центр полярных и климатических исследований Бэрда, университет штата Огайо
- 3 Гетеборгский университет
- 4 Северо-западный университет
- 5 Нанкинский университет информационных наук и технологий
- 6 Северо-западный институт окружающей среды и ресурсов, Китайская академия наук
- 7 Институт географических наук и исследования природных ресурсов, Китайская академия наук
- 8 Утрехтский университет
- 9 Университет Святого Андрея
- 10 Швейцарский федеральный институт по исследованию леса, снежного покрова и ландшафта

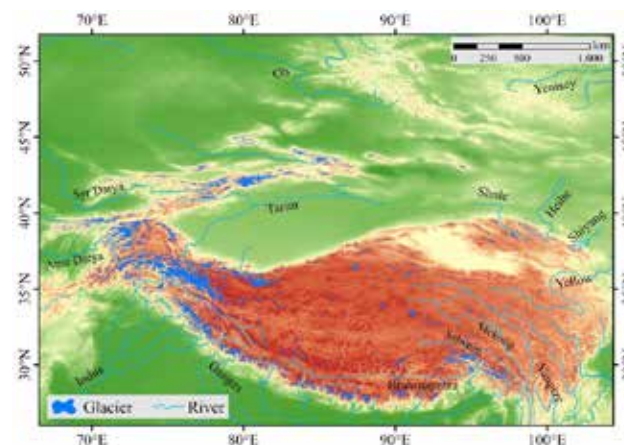


Рисунок 1. Распределение ледников на территории Третьего полюса и прилегающих районов.

в системе криосферы Третьего полюса, т.е. изменениям состояния снежного покрова, ледников и вечной мерзлоты. Во второй части отчёта (которая будет опубликована в следующем номере Бюллетеня) будет рассматриваться гидрологическая реакция на изменения в криосфере Третьего полюса, а также проблемы водной безопасности и социально-экономической устойчивости.

### Потепление климата в регионах Третьего полюса

Третий полюс является одним из наиболее чувствительных регионов к изменению климата. Этот регион считается местом, где наблюдаются сигналы заблаговременного предупреждения о глобальном потеплении (Yao et al., 2019; You et al., 2019). За последние пятьдесят лет в этом регионе отмечено потепление примерно на 1,8 °C (рис. 2), что значительно превышает темпы потепления в Северном полушарии и средние темпы потепления на земном

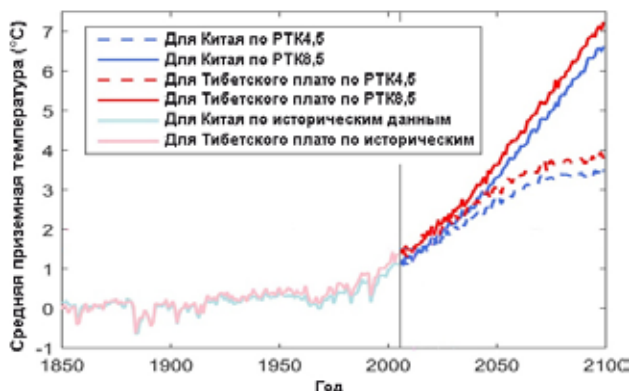


Рисунок 2. Средняя по региону приземная температура для Китая и Тибетского нагорья в период 1850–2100 годов на основе средних значений по ансамблю из 21 модели Проекта по сравнению совмещённых моделей (ПССМ)5 в рамках репрезентативных траектории концентраций (РТК) 8,5 и 4,5 МГЭИК. Вертикальной коричневой линией отмечена граница между историческими данными и результатами моделирования на основе РТК ПССМ5 (You et al., 2019).

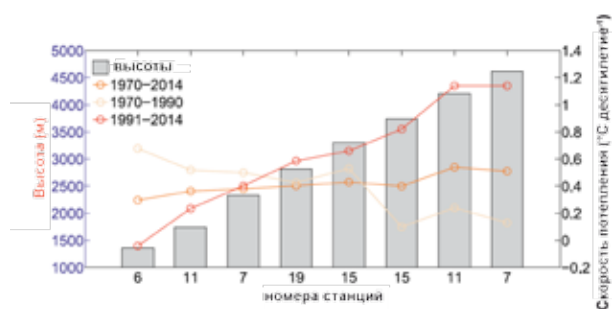


Рисунок 3. Повышение средней зимней температуры воздуха на территории Тибетского нагорья в зависимости от высоты в период с 1970 по 2014 год. (Yao et al., 2019)

шаре (Kang et al., 2010; Kiu and Chen, 2000; Yang et al., 2014). Годовые и сезонные температуры повысились заметнее в более высоко расположенных зонах Третьего полюса (рис. 3; Gao et al., 2018; Liu and Chen, 2000; Liu et al., 2009; Yao et al., 2019). Такое зависящее от высоты потепление особенно ярко выражено зимой и осенью (Yao et al., 2019) в районах ниже 5000 метров над уровнем моря.

Для климата Третьего полюса характерны сырое и влажное лето и прохладная и сухая зима. Примерно 60–90 % годового количества осадков выпадает в период с июня по сентябрь. С 1960 года годовое количество осадков при весьма высокой межгодовой изменчивости незначительно увеличилось в большинстве районов Третьего полюса, за исключением юга и юго-востока региона (Gao et al., 2015) (рис. 4 а, б). Из-за недоступности и сложного рельефа данные об осадках на большей части северо-западной области Третьего полюса, по существу, отсутствуют вследствие недостатка наблюдений (см. рис. 4 б). Аналогично зависящему от высоты потеплению отмечается тенденция к значительному увеличению летних

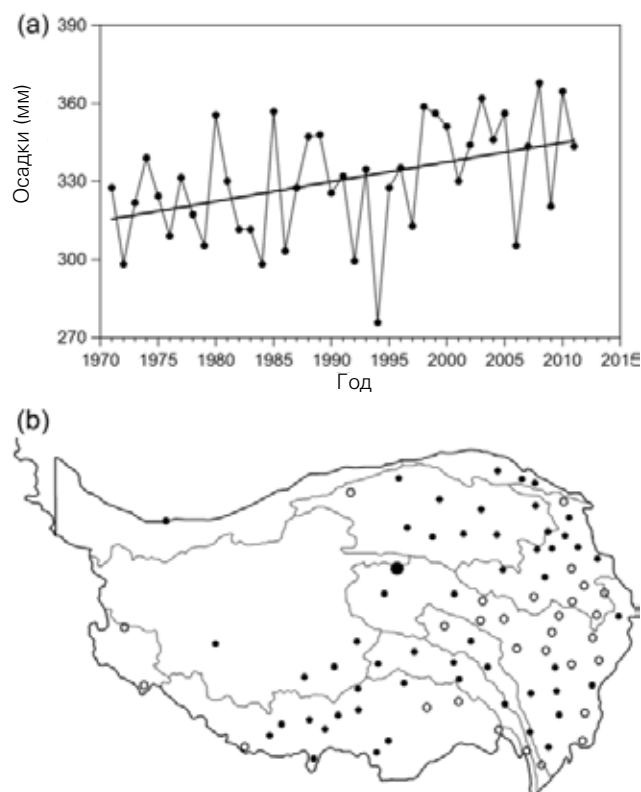


Рисунок 4 (а). Колебания среднегодовых осадков, осреднённых по региону Третьего полюса с 1971 по 2011 год (Gao et al., 2014); (б) пространственная характеристика трендов годовых осадков на Тибетском нагорье в период 1979–2011 годов. Тёмные кружки указывают на повышающийся тренд, а светлые — на понижающийся. Более крупные кружки обозначают значительные тренды (Gao et al., 2015).





Рисунок 4 (с). Зависимость от высоты (% десятилетие<sup>-1</sup>) трендов летних осадков для трёх периодов (1970–1990 годы, 1991–2014 годы и 1970–2014 годы) на Тибетском нагорье

осадков с высотой в этом регионе (рис. 4 с) — на 0,83 % десятилетие<sup>-1</sup> км<sup>-1</sup> в период 1970–2014 годов и на 2,23 % десятилетие<sup>-1</sup> км<sup>-1</sup> в период 1991–2014 годов (Li et al., 2017). Прогнозируется, что в XXI веке осадки в этом регионе увеличатся, особенно в северных и западных областях.

### Характеристики и изменения снежного покрова

Потепление климата напрямую влияет на систему криосферы Третьего полюса, приводя к значительному отступлению ледников, изменению снежного покрова и деградации вечной мерзлоты (Yao et al., 2019). Данные дистанционного зондирования показывают изменения состояния снежного покрова с 1980 по 2018 год. Средняя максимальная и минимальная площадь снежного покрова в период накопления (ноябрь–март) была большой в 1980-е и 1990-е годы, но последовательно снижалась с 2000 года. (Che et al., 2008). Максимальная площадь снежного покрова составляла примерно 2,5x10<sup>6</sup> км<sup>2</sup> зимой 1994/95 года. В период 1980–2016 годов на большей части Тибетского нагорья наблюдалось меньше дней со снежным покровом; в среднем уменьшение составило менее 2 дней в год почти на половине территории региона, а в некоторых районах — более 4 дней в год. Сокращение продолжительности залегания снежного покрова также очевидно на Тибетском нагорье с 80-х годов XX века. Так же и высота снежного покрова уменьшилась с 1980 по 2018 год при значительных межгодовых колебаниях до 2000 года и менее значительном колебании после 2000 года (Che et al., 2019). Пространственные несоответствия отмечены в изменении высоты снежного покрова на Тибетском нагорье, при этом в горах Ньенчен-Тангла наблюдается явное уменьшение на 0,1–0,2 см/год,

а в горах Цилян и Хохсил и на северном склоне Гималаев — незначительное увеличение (менее 0,1 см/год) (рис. 5).

Процессы снеготаяния претерпевают пространственно-временные изменения на всей территории Третьего полюса. Правда, весеннее таяние снега не является доминирующим фактором в формировании речного стока, оно происходит в конце весны, в чрезвычайно важный период для орошения и роста растений. Следовательно, таяние снега является важным источником воды для поддержания почвенной влаги и речного стока на территории Третьего полюса. Изменение климата оказывает значительное влияние на гидрологические процессы на Тибетском нагорье. В последние годы в нескольких исследованиях отмечается увеличение стока и более ранний пик стока талых вод (Immerzeel et al., 2010; Wang and Li, 2006). Результаты моделирования указывают на региональные различия в процессе таяния снега и формирования стока в ответ на потепление климата в Гималаях (Rees and Collins, 2006). Например, увеличение весенних снегопадов в восточной части Гималаев может уменьшить увеличение стока талых вод и отодвинуть на более поздний срок пиковый сток.

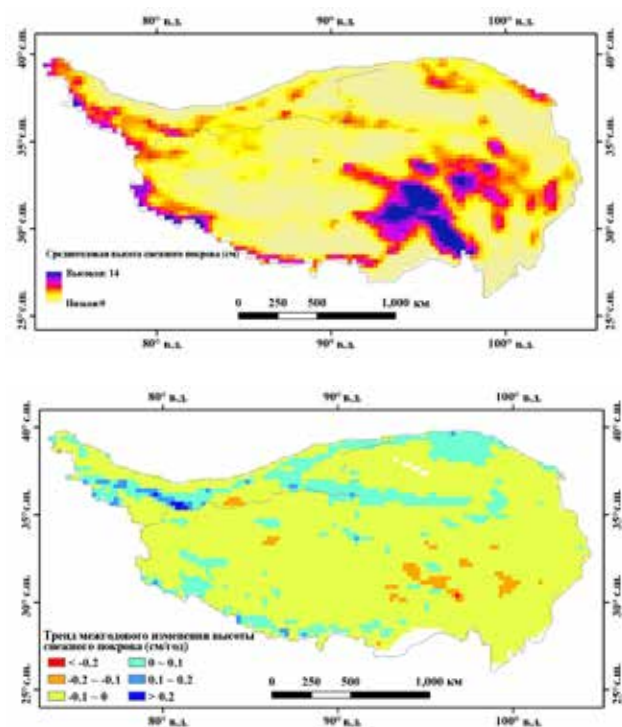


Рисунок 5. Распределение и изменение высоты снежного покрова в период 1980–2018 годов на территории Третьего полюса

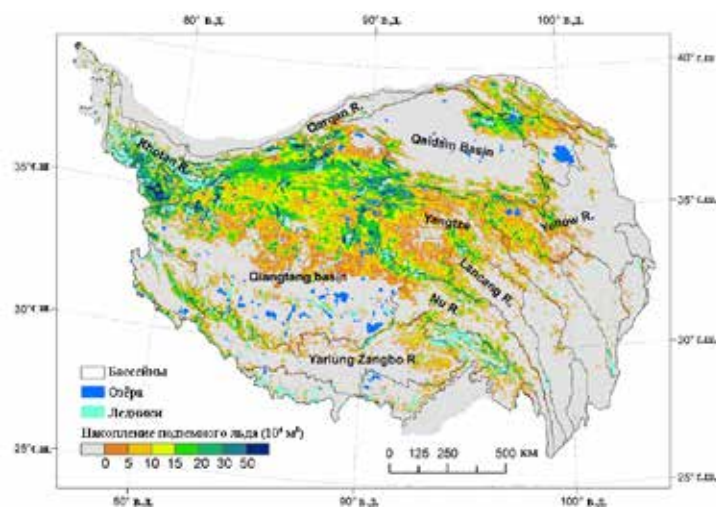


Рисунок 6. Распределение вечной мерзлоты и подземного льда на территории Третьего полюса

### Состояние и изменение вечной мерзлоты

Вечная мерзлота представляет собой слой грунта — почвы или твёрдых пород, включая лёд или органические вещества, — в котором температура сохраняется на уровне 0 °С и ниже в течение, по меньшей мере, двух лет подряд (Harris et al., 1988). Вечная мерзлота покрывает около 40 % площади земной поверхности Третьего полюса, т.е. примерно 1,06×10<sup>6</sup> км<sup>2</sup> (Zou et al., 2017). Вечная мерзлота существует в верховьях многих крупных речных бассейнов; площадь её охвата в водосборах варьируется от менее 10 % до свыше 60 % в горах Циянь и в районе между горами Куньлунь и Тангла. В период образования вечной мерзлоты и многократной сегрегации льда большое количество воды под землёй накапливается и хранится в твёрдом состоянии в виде подземного льда, погребённого возле верхней границы вечной мерзлоты. Запас подземного льда возле верхней границы вечной мерзлоты на Цинхай-Тибетском нагорье составляет около 1,27×10<sup>13</sup> м<sup>3</sup> (Zhao et al., 2019) (рис. 6).

Глобальное потепление, вызванное изменением климата, привело к масштабной деградации вечной

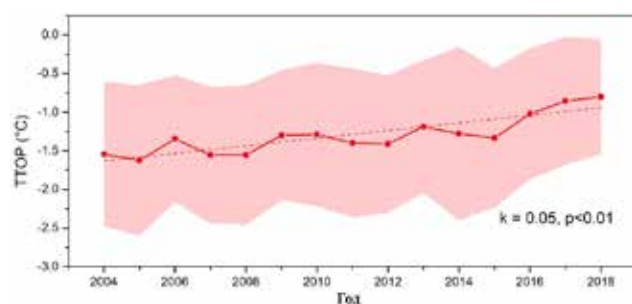


Рисунок 7. Температура почвы на дне активного слоя в период 2004–2018 годов

мерзлоты на всей территории Третьего полюса. Мониторинг *in situ* показывает значительное увеличение толщины активного слоя и повышение температуры поверхности земли. Скважинные наблюдения вдоль автострады Цинхай-Тибет, проводившиеся с 2004 по 2018 год, показывают потепление в среднем на 0,48°С десятилетие<sup>-1</sup> на дне активного слоя и на 0,02–0,31°С десятилетие<sup>-1</sup> на глубине 10 м (Cheng et al., 2019) (рис. 7). Результаты моделирования также указывают на тенденцию к увеличению толщины активного слоя на 19,5 см десятилетие<sup>-1</sup> (Hu et al., 2019). Изменение в активном слое свидетельствует о пространственной неоднородности; она более ярко выражена в холодных зонах вечной мерзлоты, на более высоких участках, высокогорных лугах и районах с мелкозернистым грунтом.

Деградация вечной мерзлоты может привести к изменениям гидрологических процессов, включая изменение запасов воды в поверхностных водохранилищах (например, озёрах, водно-болотных угодьях), а также гидрологических связей и взаимодействия поверхностных и грунтовых вод (Connop et al., 2014). В условиях вечной мерзлоты взаимодействие между грунтовыми и поверхностными водами ограничено, поскольку вечная мерзлота действует как непроницаемый слой. С деградацией вечной мерзлоты предполагается увеличение запасов и пополнения грунтовых вод (Niu et al., 2011; Bense et al., 2012). Деградация вечной мерзлоты явилась потенциальной причиной увеличения руслового речного стока зимой в верхнем бассейне реки Хэйхэ (Gao et al., 2018) и в реке Лхаса (Gong et al., 2006).

Утолщение активного слоя влияет на производственные, конвергентные и экологические процессы в зонах вечной мерзлоты; таяние



подземного льда приводит к дополнительному выбросу воды и её участию в гидрологическом цикле. В зонах вечной мерзлоты в сезон оттаивания в почвенном профиле повысилось содержание почвенной воды (Zhao et al., 2000). Под влиянием утолщения активного слоя и таяния подземного льда влажность на дне активного слоя в целом увеличилась на 11–32 % с 2004 по 2018 год, тогда как влажность поверхности почвы уменьшилась или осталась неизменной (Wu et al., 2017; Zhao et al., 2019).

Изотопные исследования показывают, что вклад таяния вечной мерзлоты в термокарстовые озёра может достичь 61,3 % в районе Бейлухэ (Yang et al., 2016). Вклад талой воды из подземного льда в речной сток достигает 37,4 % в типичной горной реке на перевале горы Куньлунь (Yang et al., 2016) и от 13,2 до 16,7 % в верховьях реки Хуанхэ (Yang et al., 2019). Объём таяния подземного льда и его влияние на региональный гидрологический цикл трудно оценить количественно, поскольку реакция вечной мерзлоты на потепление климата происходит относительно медленно. Следовательно, воздействие деградации вечной мерзлоты на гидрологический процесс также происходит постепенно. Конкретные процессы изменений и колебаний вечной мерзлоты в более тёплом и влажном климате и их воздействие на гидрологические условия в регионе Третьего полюса нуждаются в дальнейших исследованиях.

## Изменение и потеря массы ледников

Изменения ледников и их воздействие на водные ресурсы и подъём уровня моря привлекли внимание во всём мире [Immerzeel et al., 2019; Zemp et al., 2019]. В средних широтах Третий полюс является регионом с наиболее концентрированным распределением ледников (рис. 1). Согласно новой версии Всемирного кадастра ледников Randolph v.6.0 [RGI, 2017], на Тибетском нагорье и прилегающих территориях, включая Гиндукуш, Памир, Тянь-Шань и Алтай имелось 97 760 ледников площадью 98 739,7 км<sup>2</sup>. По оценкам, объём льда в этих ледниках составляет около 7 481 км<sup>3</sup> [Zemp et al., 2019]. Для управления водными ресурсами и устойчивого социально-экономического развития на нижерасположенных территориях важно понимать изменения в состоянии ледников и их влияние на речной сток.

Изменения ледников находят наибольшее отражение в изменениях высоты границы питания (ВГП),

площади и баланса массы. Изменения площади и баланса массы ледников непосредственно обуславливаются изменениями ВГП. На Тибетском нагорье и прилегающих территориях имеются лишь несколько ледников, взятых под контроль. За последние 50 лет все эти ледники демонстрировали общую тенденцию к отступлению, а их ВГП показали тенденцию к увеличению. Например, ВГП ледника № 1 в верховьях реки Урумчи в горах Тянь-Шаня, ледника Малый Актру в Алтайских горах и ледника Цийи в горах Цилян поднялись с 1960-х годов примерно на 110, 140 и 250 м соответственно (Wang et al., 2010; Ye et al., 2016). Данные дистанционного зондирования обеспечивают важную основу для изучения изменений ледников и инвентаризации ледников в больших пространственных масштабах. Оценка изменений площади ледников на Тибетском нагорье и прилегающих к нему территориях, полученная Wang et al (2019) путём обобщения результатов многих исследований, показала чёткую пространственную картину изменений площади ледников за последние 40 лет. То есть отмечено уменьшение площади ледников менее чем на 0,2 % в год в западной части гор Куньлунь, на Памире и в горах Каракорум (в центральной части гор Каракорум уменьшение составило всего лишь 0,04 % в год), на 0,4 % в год — в западной части Алтайских гор, в горах Тянь-Шань, Цилян, в западной части гор Куньлунь, в горах Тангла, Гангдисе, на юге Тибета и в Гималаях и более чем на 0,7 % в год — на юго-востоке Тибета. Wang et al (2019) также обобщили результаты исследований изменения баланса массы ледников, полученные геодезическими и гляциологическими методами, и сообщили, что удельный баланс массы ледников за последние 50 лет был близок к нулю и/или немного больше или меньше нуля в горах Каракорум, в западной части гор Куньлунь и на Памире, но значительно меньше нуля в других районах (рис. 8). С другой стороны, после 2000 года масса ледников увеличилась или сокращалась в меньшей степени в горах Каракорум, в западной части гор Куньлунь и на Памире. Хотя в других районах после 2000 года масса ледников стремительно уменьшалась. Это, по-видимому, означает, что «Каракорумская аномалия» может частично распространяться на прилегающую западную часть гор Куньлунь и на Памир (Farinotti et al., 2020), а также что поступление воды от ледников в районе «Каракорумской аномалии» на нижерасположенные территории должно быть относительно стабильным.

Ледники на территории Третьего полюса в основном сосредоточены в бассейнах рек Трим, Инд и

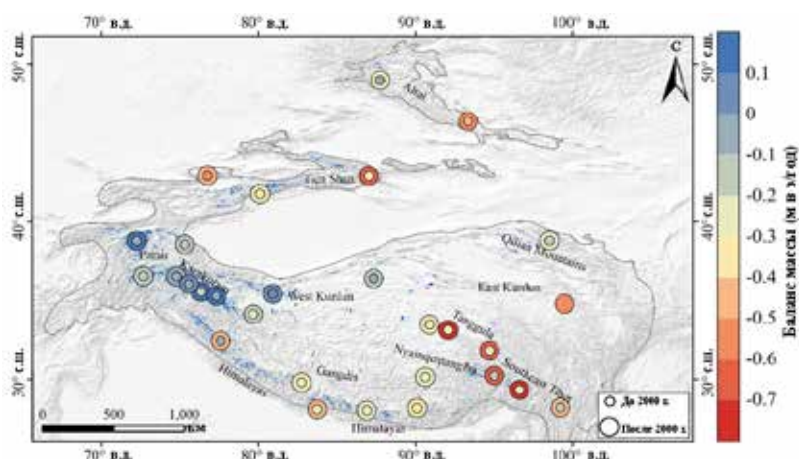


Рисунок 8. Пространственно-временные изменения баланса массы ледников в регионе Третьего полюса и на прилегающих территориях. Используются данные из следующих работ [Bolch et al., 2017; Cao et al., 2014; Chen et al., 2017; Gardelle et al., 2013; Gardner et al., 2013; Kaab et al., 2012; Ke et al., 2015; Maurer et al., 2019; Neckel et al., 2014; Pieczonka et al., 2013; Scherler et al., 2011; Shangguan et al., 2010; Wang et al., 2008; Wang et al., 2013; Wei et al., 2015a; Wei et al., 2015b; WGMS, 2017; Wu et al., 2018; Xu et al., 2013; Zhang et al., 2016; Zhou et al., 2018; 2019].

Амударья (см. рис. 1, около 60% общей площади ледников приходится на эти три бассейна). Большие ледники в этих бассейнах могут привести к обильным ледниковым талым водам. Например, более 40% общего стока реки Трим приходится на талые воды ледников. Даже несмотря на то, что площадь ледников в бассейне реки Трим сократилась, сток талых вод ледников увеличился в период 1961–2006 годов (Gao et al., 2010). Однако так как ледники продолжают отступать, основной вопрос заключается в том, когда годовой сток ледников достигнет максимума. Эту точку часто называют «пик поступления воды», и ниже этого пика сток уменьшается, поскольку ледник, площадь которого сократилась, не может больше обеспечивать повышение объёма талой воды. По оценке недавнего исследования, в бассейнах большинства крупных рек Третьего полюса пик поступления воды будет достигнут в период 2030–2050 годов в зависимости от различных сценариев выбросов парниковых газов (Huss and Hock, 2018). Эти сроки очень важны для нынешнего и будущего управления водными ресурсами в низовьях рек.

### Опасность ледников и связанные с ними бедствия

Стремительные изменения ледников в регионе Третьего полюса могут привести к бедствиям, связанным с природными опасными явлениями, такими как обрушение ледников, пульсация (резкое увеличение скорости движения) ледников, поток ледниковых обломков и наводнения в результате прорыва ледниковых озёр (НПЛО). Эти ледниковые явления имеют свои характеристики пространственно-временного распределения, динамические процессы и механизмы. Пульсация ледников часто возникает в горах Каракорум, Гималаях и на

юго-востоке Третьего полюса. Скорость движения поверхности льда может достигать сотен метров каждый год. В период 1978–2015 годов на Третьем полюсе насчитывалось 27 движущихся ледников, площадь и протяжённость которых значительно увеличилась. Скорость изменения для западной стороны ледника Вуд Старк составляла 904 м/год с 1996 по 1998 год, 446 м/год для восточной стороны ледника K2 с 2007 по 2009 год и 238 м/год с 1978 по 1990 год для ледника 5Y654D497 (Xu et al., 2016). Пульсирующие ледники могут быстро перемещаться в ледниковые озёра и вызывать наводнения в результате прорыва этих озёр. Поток ледниковых обломков может быть вызван сильным и стремительным таянием ледников, НПЛО и обрушением ледника или лавиной. Высокая температура и сильные осадки — это два важных метеорологических фактора, которые непосредственно связаны с возникновением потока ледниковых обломков.

В регионе Третьего полюса отмечены новые виды бедствий, связанные с ледниками. 17 июля и 21 сентября 2016 года произошли два массивных обвала льда на хребте Ару (округ Нгари) на западе Третьего полюса (Kaab et al, 2017). Обрушения ледника Ару привели к гибели девяти человек (пастухов) и потере сотен голов крупного рогатого скота (рис. 9). 17 и 29 октября 2018 года обрушение ледника вызвало поток ледниковых обломков и заблокировало реку Ярлунг Замбо в долине Седонгпу на юго-востоке Третьего полюса. Тот факт, что ледники, как континентального (Ару), так и морского (Седонгпу) типа, подвержены обрушению, позволяет предположить, что ледники на Тибетском нагорье могут находиться в неустойчивом состоянии.



Рисунок 9. Спасение уцелевших после обрушения ледника Ару, июль 2016 г. (фото Сеть Синьхуа)

### Важные последствия

Более половины населения планеты живут в бассейнах крупных рек, берущих начало в горах и питающихся ледниковыми и талыми водами (Kaltenborn et al., 2010). Изменения криосферы Третьего полюса влияют на региональную гидрологию, экосистему и людей, проживающих на всей территории речных бассейнов. Например, в связи с уменьшением вклада ледникового стока речной сток будет более чувствителен к колебаниям осадков, что приведёт к более стохастическим гидрологическим процессам. В долгосрочной перспективе талые ледниковые воды в речном стоке будут уменьшаться, если горные ледники будут продолжать терять свою массу или исчезать.

В Гималайском районе и его окрестностях до 45 % общего речного стока образуется в результате сезонного таяния снега и льда (World Resources Institute, 2003; Kehrwal et al., 2008). В низовьях Высоких Гималаев растёт потребность в воде из-за быстрого роста населения и экономики. Изменения ледникового стока — сокращение, вероятно, уменьшится в будущем — приведут к снижению доступности воды для орошения, снизят продуктивность сельского хозяйства и поставят под угрозу

продовольственную безопасность в регионе. Из-за нехватки воды продовольственная безопасность 4,5 % населения в бассейнах рек Брахмапутра, Инд, Янцзы и Ганг будет поставлена под угрозу в связи с сокращением ледникового стока (Immerzeel et al., 2010).

Очевидно, что изменения криосферы Третьего полюса будут иметь широкие последствия. Существует настоятельная необходимость предпринять следующие шаги:

- осуществлять мониторинг изменений криосферы Третьего полюса и понимать их влияние на водные ресурсы;
- разработать стратегию адаптации не только на региональном или национальном уровнях, но и в масштабе бассейна, с участием всех прибрежных стран, особенно в регионе Третьего полюса, чтобы учитывать и сбалансировать спрос на воду всех заинтересованных сторон, находящихся на территории крупных речных бассейнов.

**\*Библиография размещена в электронной версии.**

# Ледниковое озеро 513, Перу: уроки для развития обслуживания в области заблаговременных предупреждений

Кристиан Хуггель<sup>1</sup>, Алехо Кочачин<sup>2</sup>, Фабиан Дренкан<sup>1,3,4</sup>, Хавьер Флуикса-Санмартин<sup>5</sup>, Хольгер Фрей<sup>1</sup>, Хавьер Гарсиа Эрнандес<sup>5</sup>, Кристин Юрт<sup>6</sup>, Рэнди Муньос<sup>1</sup>, Карен Прайс<sup>7</sup> и Луис Видуния<sup>1</sup>

Сокращение размеров ледников, происходящее в последние десятилетия ускоренными темпами из-за изменения климата, обнажает большие площади в горных регионах по всему миру. Но ещё более страшным последствием таяния льда является образование всё большего количества ледниковых озёр, размеры которых увеличиваются. Ледниковые озёра вызвали несколько самых разрушительных наводнений в мире, например в Андах, Гималаях и Альпах, где погибли тысячи людей и был нанесён огромный ущерб инфраструктуре (Carrivick and Tweed, 2013; Bajracharya et al., 2007; Carey, 2005). Изменение климата стремительно меняет условия жизни в высокогорье, изменяя характер паводков и создавая новые опасности наводнений, в результате чего в нескольких регионах население неизбежно подвергается риску (Cook et al., 2016; Emmer et al., 2015; Frey et al., 2016; Drenkhan et al., 2019).

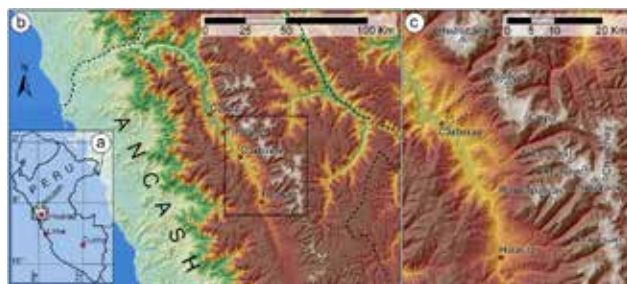
Климатическая, гляциологическая и гидрологическая информация и соответствующее обслуживание могут играть важную роль в заблаговременном выявлении потенциальных опасностей и рисков, а также в эффективном снижении рисков. Однако во многих высокогорных районах инфраструктура для климатического

и сопутствующих видов обслуживания развита слабо, и её необходимо существенно укрепить. В настоящей статье о разработке, осуществлении, эксплуатации и обстоятельствах, связанных с созданием системы заблаговременных предупреждений о наводнениях в результате прорыва ледниковых озёр (НПЛО) в перуанских Андах, освещаются проблемы, связанные с доступом к оборудованию и его установкой во многих высокогорных регионах.

## Бедствие в Лагуне 513

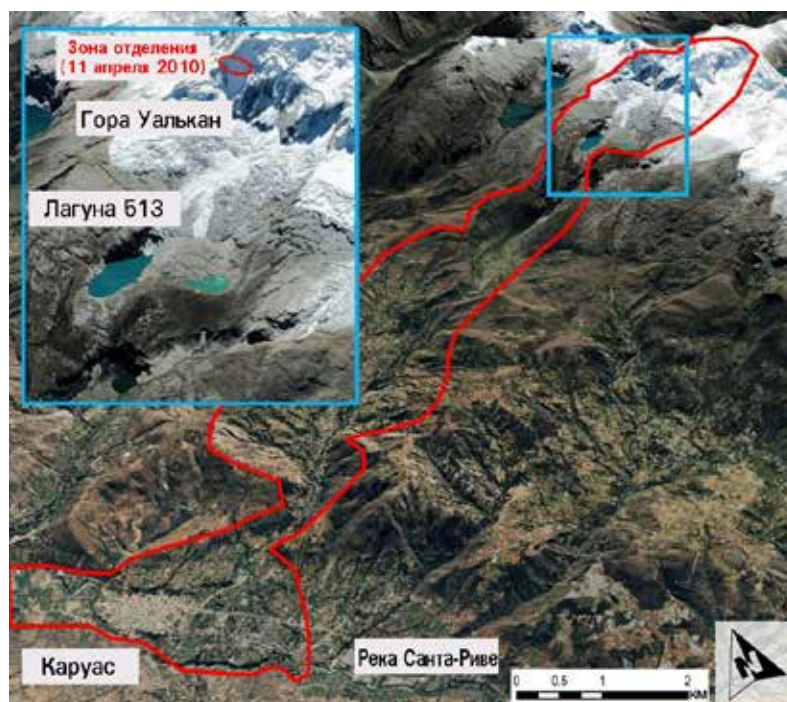
Кордильера-Бланка в тропических Андах Перу — это покрытый ледником горный хребет с давней историей катастрофических наводнений в результате прорыва ледниковых озёр (НПЛО) (Carey 2005; 2010 г.) Риски возникновения НПЛО связаны с повышенным уровнем физической опасности и высоким уровнем уязвимости и незащищённости жителей нижерасположенных районов (Frey et al., 2018). Ледниковое озеро в лагуне 513 (9°12'45 " ю.ш., 77°33 '00 " з.д.) расположено на высоте 4 428 метров над уровнем моря у подножья горы Уалькан (6 104 м) в бассейне реки Санта-Риве (рис. 1, 2). Озеро, образовавшееся в конце 1960-х годов в результате таяния ледника, было объявлено крайне опасным в 1988 году и подвергнуто всеобъемлющим

- 1 Факультет географии, Цюрихский университет, Цюрих, Швейцария
- 2 Отдел оценки ледников и озёр, Национальное управление водных ресурсов, Уарас, Перу
- 3 Католический университет Перу, Лима, Перу
- 4 Факультет гражданского строительства и технических средств охраны окружающей среды Королевского колледжа Лондона, Лондон, Великобритания
- 5 Центр исследований окружающей среды в Альпах (CREALP), Сьон, Швейцария
- 6 Бернский университет прикладных наук, Школа сельскохозяйственных, лесоводческих и продовольственных наук (HAFL), Берн, Швейцария
- 7 Неправительственная гуманитарная организация (НГО) CARE Peru, Лима, Перу



Местоположение системы: а) Перу, б) Кордильера-Бланка и в) район Уалькан-Каруас (обозначен пунктирной линией)





*Обзорная карта Озера 513 и Каруаса, на которой отмечена зона зарождения ледниковой лавины в 2010 г., вызвавшей НПЛО, достигшее города Каруас.*

работам по обеспечению безопасности, чтобы искусственно понизить его уровень примерно на 20 м до 1994 года. Это не свело риск НПЛО к нулю, хотя вероятность возникновения и масштаб НПЛО были существенно снижены. В 2004 году власти и специалисты подготовили доклад, в котором указывается, что озеро можно считать безопасным благодаря имеющейся инфраструктуре (INDECI 2004; Miñoz et al., 2016).

Однако Лагуна 513 подверглась серьёзному испытанию, когда 11 апреля 2010 года примерно в 8 часов утра по местному времени с юго-западного склона горы Уалькан (Carey et al., 2012) отделилась лавина из камней и льда объёмом 450 000 м<sup>3</sup>. Лавина вызвала на озере похожую на цунами толкающую волну, что привело к переливу воды через плотину несмотря на то, что высота надводного борта плотины составляла более 20 м. Оставленные волной следы указывают на перелив надводного борта плотины примерно на 5 м, что соответствует высоте волны примерно от 24 до 25 м с пиковым расходом в несколько десятков тысяч м<sup>3</sup> в секунду (Schneider et al., 2014). Возникшее в результате НПЛО повредило несколько мостов, инфраструктуру водоснабжения по ходу её расположения и в конечном счёте достигло конуса выноса в городе Каруас (около 20 000 жителей), где произошло скопление крупных обломков горных пород. В общей сложности под обломками оказались 0,7 км<sup>2</sup> сельскохозяйственных угодий, пострадала автомагистраль Санта-Вэлли, но никто не погиб.

Местные и национальные органы власти, а также перуанские и международные эксперты проводили совещания в последующие после бедствия недели, чтобы обсудить способы более эффективной защиты людей и их имущества в будущем. В результате в 2011 году были инициированы планы по созданию системы заблаговременных предупреждений (СЗП) НПЛО, которые были реализованы в течение трёх лет. СЗП НПЛО, первая в регионе Анд, была создана в рамках Проекта по ледникам ([www.projectoglaciales.pe](http://www.projectoglaciales.pe)) при финансовой поддержке Швейцарского управления по развитию и сотрудничеству (ШУРС). НГО CARE Перу и Цюрихский университет совместно осуществили СЗП в тесном сотрудничестве с муниципалитетом Каруаса, Национальным управлением водных ресурсов Перу (НУВР) и его Отделом по оценке ледников и озёр (бывшее подразделение по гляциологии и водным ресурсам — UGRH) в Уарасе.

### **Разработка и осуществление системы заблаговременных предупреждений НПЛО**

Структура конструкции, организации и функционирования СЗП НПЛО были построены таким образом, чтобы обеспечить соответствие компонентам СЗП, признанным на международном уровне (см. Fluixá-Sanmartín et al., 2018):

- 1) знание рисков;
- 2) мониторинг и предупреждение;

- 3) распространение и передача информации;
- 4) возможности для реагирования.

## Знание рисков

Понимание рисков, возникающих в том или ином конкретном месте, имеет основополагающее значение для разработки СЗП. Риски могут оцениваться с помощью установленных методов, анализирующих физические опасности с помощью критических показателей и пороговых величин (в данном случае связанных с различными компонентами, вовлечёнными в процесс НПЛЮ), степени подверженности людей и активов (например, инфраструктуры) и степени уязвимости (например, социальной, экономической) элементов, подвергающихся риску. Всеобъемлющие оценки риска для НПЛЮ редки (Allen et al., 2016) и сложны, поскольку НПЛЮ, как правило, являются результатом каскада процессов возникновения и распространения потока масс (Schneider et al., 2014; Westoby et al., 2014).

НПЛЮ 2010 года послужило эталоном для анализа физических опасностей путём моделирования каскада процессов с помощью итерационного подхода при использовании сопряжённых, физически обоснованных численных моделей движения масс и гидродинамических моделей (RAMMS и IBER). Эта модельная цепочка затем была использована для моделирования трёх потенциальных будущих сценариев различного масштаба (малый, средний, большой) и соответствующих вероятностей возникновения (высокая, средняя, низкая соответственно). Эта процедура оценки опасности соответствует международным стандартам и недавно разработанным руководящим принципам Международной комиссии по оценке опасности ледников и вечной мерзлоты в горах ([www.gaphaz.org](http://www.gaphaz.org)), которая является совместной комиссией Международной ассоциации криосферных наук (МАКН) и Международной ассоциации по вечной мерзлоте (МАВМ). В результате моделирования и полевых исследований была составлена карта опасности НПЛЮ для местных общин и города Каруаса (Schneider et al., 2014) (рис. 3). Воздействие и уязвимость оценивались с использованием общедоступных источников данных (таких как данные переписи) и дополнительных обследований в водосборных бассейнах.

Однако разные субъекты воспринимают риски по-разному. Понимание и учёт этих различий в восприятии является сложной задачей, однако это необходимо для

широкого признания со стороны пользователей и долгосрочного успеха мер по снижению риска. Неоднократно проводились семинары в различных общинах водосборного бассейна, чтобы узнать о восприятии риска и приоритетах местных лидеров и населения. На более позднем этапе в водосборном бассейне также проводились этнографические исследования, включавшие более длительные (несколько месяцев) исследовательские поездки для работы с местными общинами. Это было важно для более глубокого понимания того, как местные жители воспринимают окружающую их природную среду, и тех отношений, которые они поддерживают с горами, ледниками и озёрами, которые их окружают. Это привело к более глубокому пониманию того, как они воспринимают различные виды рисков и как они понимают связи между этими рисками и теми, которые связаны с проектом СЗП-НПЛЮ. Таким образом, были выделены культурные и политические аспекты, и на передний план вышли вопросы, вызывающие озабоченность людей в отношении воды, т.е. обеспеченности водой, главным образом, с точки зрения доступа к ней (например, права на воду, её распределение).

## Мониторинг и предупреждения

Мониторинг и предупреждение являются центральными элементами СЗП. Средства мониторинга и технические измерения должны быть ориентированы на обнаружение опасностей с тем, чтобы можно было своевременно выпускать предупреждения. Задача состоит в том, чтобы определить процессы в окружающей среде и переменные, которые чрезвычайно важны для заблаговременного обнаружения экстремального явления (например, НПЛЮ) и которые можно измерить с помощью датчиков. Аналитическая информация и более глубокое понимание процессов, полученные в результате реконструкции бурного наводнения 2010 года и моделирования потенциальных будущих сценариев (элемент знания рисков), помогли определить, где и что измерять и контролировать. Знания о времени распространения НПЛЮ — от инициирования возникновения до охвата населённых пунктов — имеют, например, важное значение для проектирования СЗП и для последующей визуализации и планирования совместно с местными органами власти и общинами (см. Распространение и передача информации).

На момент разработки проекта для Лагуны 513 (2011/12 годы) эталонные проекты для СЗП-НПЛЮ были редкими и полностью отсутствовали для региона Латинской Америки.





*Станции и центр приёма данных СЗП на Озере 513: слева направо: станция на Озере 513, станция в Пампа-Шонквиль, ретранслятор и центр приёма данных в городе Каруас*

«Искусство» такой разработки заключается в том, чтобы учитывать все возможные процессы, инициирующие возникновение наводнения, и при этом выполнять измерения в тот момент времени, когда ещё возможно своевременное предупреждение. Различные типы процессов, инициирующих возникновение наводнения, — ледяные лавины, неустойчивость ледниковых отложений, горные обвалы — сильно зависят от местных условий. Крайне важно адекватно понимать физические условия окружающей среды и взаимодействие процессов, которые могут привести к различным сценариям НПЛЮ.

Суровые, экстремальные физические условия, в которых формируются ледниковые озёра (как источники возникновения НПЛЮ), часто являются самой большой проблемой. На больших высотах, таких как высота расположения Лагуны 513, наблюдаются большие суточные колебания температуры, длительные периоды облачности, сильные осадки и высокая солнечная радиация, а также рельеф местности с сильными перепадами высот, что характерно для отдалённых районов. Все эти факторы необходимо учитывать при разработке и реализации. Учёные, рискнувшие заниматься СЗП НПЛЮ, должны были принять во внимание сокращение потребления энергии, трудности с передачей данных с датчиков и ограниченный доступ для установки датчиков, их частых проверок и технического обслуживания.

Ещё одним важнейшим элементом для мониторинга и предупреждения, в частности для СЗП в экстремальных условиях, таких как в рассматриваемом случае, является резервирование системы. Даже в хорошо откалиброванной и протестированной СЗП существует вероятность того, что в какой-то

момент произойдёт сбой датчика или передачи данных, поэтому необходимо обеспечить надлежащий уровень резервирования, чтобы избежать ситуации, при которой выход из строя датчика приведёт к выходу из строя всей СЗП.

Дополнительной проблемой является финансирование долгосрочного технического обслуживания СЗП. У небольших муниципалитетов с ограниченным бюджетом есть и другие приоритеты, такие как инвестирование в здравоохранение и образование.

Используя собранные знания и информацию, совместно работали местная и международная группы, при этом каждая вложила свои экспертные знания и опыт в разработку СЗП, которая смогла бы преодолеть проблемы, связанные с Лагуной 513. Проект предусматривал наличие двух станций — главной станции на плотине Лагуна 513 и станции в Пампа-Шонквиле, которые оснащены метеорологическими измерительными приборами, а также центра данных в муниципалитете Каруас, станции предупреждения в общине Париакака и ретрансляционной станции для передачи сигнала от озера к центру данных (рис. 3).

Станции были оснащены следующими приборами:

1. Центр данных в Каруасе (2 640 м над уровнем моря): приёмная антенна, экран с доступом к данным в реальном времени, сервер для хранения данных, инфраструктура для подачи сигналов тревоги.
2. Ретрансляционная станция (3 189 м над уровнем моря): приёмная и передающая антенна.

3. Станция Лагуны 513 (4491 м над уровнем моря): 2 камеры снимают каждые 5 секунд в светлое время суток, одна следит за склоном горы Уалькан, другая наблюдает за плотиной; 4 геофона, расположенных вблизи станции, непрерывно измеряют и передают данные с интервалом 5 секунд с целью обнаружения потенциального движения масс (например, ледяная лавина), оказывающего воздействие на озеро; приёмная и передающая антенна и регистратор данных.
4. Станция в Пампа-Шонквиль (3600 м над уровнем моря): станция для измерения расхода воды в реке (с использованием датчиков давления); метеорологическая станция с датчиками для измерения температуры и влажности воздуха, осадков, скорости ветра и солнечной радиации; приёмная и передающая антенна и регистратор данных.
5. Станция приёма информации и предупреждения в Париакака (3138 м над уровнем моря): система мониторинга информирует местных жителей о ситуации в Лагуне 513 и сирены, которые включаются из Центра данных Каруаса, для облегчения эвакуации.

Все станции были оборудованы солнечными батареями и батареями для выработки и хранения энергии, однако обеспеченность энергией остаётся сдерживающим фактором, в частности на станции ледникового озера, поскольку вершины горного хребта Кордильера-Бланка очень часто покрыты облаками. На каждой станции есть мачта, на которой закреплено большинство приборов, бетонный запирающийся бокс для электронного оборудования и защитное ограждение. Агрегаты аварийного электроснабжения располагаются в муниципальном здании для предотвращения потери данных и прерывания доступа во время отключений электроэнергии.

Основными приборами, используемыми для регистрации потенциального процесса, инициирующего возникновение НПЛЮ, являются геофоны (устройства, регистрирующие движения земной поверхности и преобразующие их в напряжение). Резервные камеры могут быть использованы для получения общего представления о текущей ситуации и, в частности, на этапе тестирования системы, для того чтобы соотнести данные измерений геофонов с масштабом явлений (лавины). Датчик давления в русле реки на станции Пампа-Шонквиль добавил резервирование в систему и в случае проведения калибровочных измерений мог бы использоваться для непрерывной регистрации стока. Позднее на дне речного русла ниже Лагуны

513 планировалось установить проволочные датчики для выявления необычайно высокого и опасного расхода речного стока, данные о котором можно было бы применять в системах предупреждения о потоке обломочного материала.

Служебное помещение с постоянным обслуживающим персоналом рядом со станцией в Пампа-Шонквиль было важным элементом СЗП, особенно по соображениям резервирования. Основная цель заключалась в том, чтобы контролировать забор пресной воды для города Каруас, но местоположение помещения давало персоналу возможность отлично видеть Лагуну 513, и они могли предупредить власти по радиосвязи в случае угрозы опасного явления (как это было в 2010 году).

В целях безопасности все данные сначала накапливаются в регистраторе данных на каждой станции, а затем с интервалом в 5 секунд передаются на сервер центра данных, который имеет облачный сервис резервного копирования. Все данные передаются непосредственно на веб-сайт, который обеспечивает удалённый доступ в режиме реального времени. В самом центре обработки данных — отдельном здании в городе Каруас — на экране постоянно отображаются данные с этого веб-сайта.

Протоколы предупреждения являются важнейшими элементами СЗП. Протокол предусматривает документирование и определение процедур предупреждения, как правило, с разграничением уровней предупреждения и связанных с ними действий, а также ответственных учреждений, организаций или комитетов и людей. В протоколе предупреждения для Лагуны 513 необходимо было учесть местные, региональные и национальные законы, правила и руководящие принципы. К этому должны были быть привлечены члены местного оперативного центра по чрезвычайным ситуациям, представители гражданской обороны, отдельные правительственные чиновники и мэр, в полномочия которого входит включение сигнала тревоги для эвакуации. Соответственно, к протоколу прилагался список ответственных лиц и их телефонные номера. В протоколе определено три уровня предупреждений — жёлтый, оранжевый и красный — плюс нормальный базовый зелёный уровень, а также то, как эти уровни предупреждений достигаются и какие действия необходимо предпринять. Для этого нужно было определить пороговые значения физических величин и процессов на основе измерений датчиков. Определение этих пороговых значений является чрезвычайно важным и предполагает длительный период калибровки и тестирования, обычно продолжающийся несколько

месяцев, особенно если отсутствуют предыдущие измерения, как в случае с Лагуной 513.

## Распространение и сообщение информации

Если показания геофона превышают установленное пороговое значение, на мобильные телефоны всех ответственных сотрудников, указанных в протоколе предупреждения, автоматически посылается короткое сообщение для немедленной проверки данных и информации СЗП. Последующие шаги, которые необходимо предпринять, основаны на плане действий и на имеющихся данных. СЗП не может автоматически включить сигналы тревоги, поскольку, согласно законодательству Перу, лишь мэр может санкционировать эвакуацию.

Блок сигнализации в городе Каруас имеет две акустических сирены дальнего радиуса действия и возможность отправлять текстовые сообщения заранее установленного содержания в населённый пункт, руководителям округа и другим заинтересованным лицам, таким как директора школ, главврачи, полицейские и пожарные.

Населённые пункты, расположенные выше Каруаса получают предупреждения и соответствующую информацию через местный оперативный центр по чрезвычайным ситуациям и центральные органы власти Каруаса. В Париакаке, которая находится на пути распространения наводнения, есть станция предупреждения с сиренами. Кроме того, протоколы СЗП были адаптированы в соответствии с перуанскими протоколами оценки рисков, что позволило наладить связь с Национальным центром по чрезвычайным ситуациям в Лиме для обращения за помощью (Muñoz et al., 2016).

## Возможности для реагирования

Способность людей, подвергающихся опасности, надлежащим образом реагировать на уровни выпускаемых предупреждений, возможно, является наиболее важным элементом СЗП — этот элемент, являясь последним в цепочке СЗП, также в наибольшей степени подвержен сбою. Неисправности или ошибки в цепочке мониторинга и предупреждения должны быть сглажены таким образом, чтобы этот последний элемент не подвергался негативному влиянию или угрозе.

Что касается СЗП Лагуны 513, то для населения, подверженного риску, были проведены

информационные консультации. В ходе консультаций были разъяснены и обсуждены концепция и функциональные характеристики СЗП, а также её возможности и ограничения, и даны чёткие инструкции в отношении действий, которые должны быть предприняты в случае тревоги. В инструкциях содержится указание на немедленный выход из опасных зон, а также чётко обозначены пути эвакуации и зоны безопасности. Организация гражданской обороной Каруаса подготовила подробную карту со всеми маршрутами эвакуации на основе карты вероятности опасных явлений, разработанной на этапе знания рисков при проектировании СЗП НПЛЮ. Моделирование чрезвычайных ситуаций планируется проводить несколько раз в год по всей стране, поскольку сейсмический риск в Перу очень высок. Такие мероприятия по моделированию, часть которых проводится в ночное время, были использованы для того, чтобы подвергнуть население, а также ответственные органы власти тестовой эвакуации в условиях, близких к реальным, и ознакомить их с СЗП Лагуна 513.

## Функциональные аспекты и приобретённый опыт

В 2010 году, когда начались обсуждения и мероприятия, связанные с СЗП-НПЛЮ, город Каруас стал основным местным участником и центром по приёму данных и информации. Однако технические, оперативные и социальные аспекты СЗП выходят за рамки возможностей такого маленького города. Для решения этих проблем жизненно необходимым был многолетний национальный и международный опыт, требующий регулярного присутствия на местах выполнения работ, постоянного совместного наращивания потенциала и обмена информацией с местным населением и властями. В июле 2015 года на церемонии, на которой присутствовали представители местных, провинциальных и национальных органов власти Перу, швейцарского правительства, местных общин и школ, а также национальные и международные эксперты, вся полнота ответственности за СЗП была передана местным властям. К тому времени СЗП стала широко освещаться в перуанских, швейцарских и международных средствах массовой информации.

В 2016 году большая территория центральной части тропических Анд, включая регион Кордильера-Бланка, пострадала от сильной засухи. В обычные годы после долгой сухой зимы в Южном полушарии фермеры рассчитывают на начало сезона дождей в октябре. В 2016 году осадков в октябре и ноябре не выпадало.

После первых требований некоторых местных жителей убрать СЗП (ср. Fraser, 2017) фермеры пришли в отчаяние, и к тому же стали распространяться слухи о том, что причиной отсутствия осадков являются дождемеры и антенны СЗП в Лагуне 513. Под влиянием факторов силовой политики на уровне сообществ и плохого оповещения о чрезвычайных метеорологических явлениях со стороны властей события приняли довольно драматический поворот, и 24 ноября у Лагуны 513 собралось большое количество местных жителей, которые решили демонтировать станцию СЗП на озере. Реакция на местном, национальном и международном уровнях была бурной. В социальных сетях появилась энергичная спонтанная группа сторонников СЗП. Другие заинтересованные лица выразили непонимание, раздражение, стыд и подвергли критике тот факт, что в результате такого деструктивного действия человеческие жизни добровольно подвергаются опасности.

Демонтаж станции отрицательно сказался на компонентах мониторинга и предупреждения СЗП с технической и оперативной точек зрения. Однако обслуживание системы могло бы поддерживаться благодаря персоналу на промежуточной станции (Пампа-Шонквиль). Возможности для реагирования и институциональные механизмы не пострадали. Однако чрезвычайно важно было понять исходные предпосылки случившегося.

Ниже кратко излагаются результаты тщательного исследования этого инцидента с акцентом на социальных аспектах. Накопленный опыт актуален для развития климатических обслуживания и системы предупреждений за пределами Перу.

- Демонтаж метеорологических станций и станций СЗП местными жителями не является уникальным ни для этого места, ни для Перу в целом. Аналогичные инциденты имели место и в других регионах, таких как Гималаи, Анды и Альпы в Европе, хотя эти случаи были недостаточно подтверждены документально.
- Местные внутриобщинные и межобщинные конфликты, а также недоверие и предубеждение в отношении участия внешних организаций в установке оборудования могут оказывать сильное, хотя и невидимое влияние на положительное отношение.
- Отношение местных (подверженных риску) людей к окружающей их природной среде и их восприятие различных рисков в значительной степени определяют их отношение к усилиям

по снижению риска. Позиция местных жителей может существенно отличаться от позиции правительства или научно-технического сообщества. Например, местные жители могут иметь тесную связь с горами, ледниками и озёрами как местами духовности и происхождения жизни. Поэтому НПЛЮ может пониматься как реакция, например, ледника (как духа гор) и озера (как живого существа) на вмешательство человека или его неподобающее поведение. Традиционные знания и стереотипы необходимо признать и принять во внимание в рамках конструктивного диалога и поиска приемлемых решений.

- Поэтому приобретение глубокого понимания социальных, политических и культурных условий, особенно с точки зрения расстановки сил, является необходимым условием для организации заблаговременных предупреждений, а также, в более общем плане, для предоставления обслуживания, связанного с адаптацией к изменению климата. Это необходимо для сотрудничества между самыми разными людьми, заинтересованными сторонами и экспертами, включая местное население, учёных-физиков и социологов, инженеров, местные органы власти, технические правительственные учреждения и неправительственные организации (НПО). Рекомендуется, чтобы социология играла более заметную роль.
- Власти часто полагают, что СЗП представляет собой в первую очередь техническую систему измерения и передачи данных. Признание того, что СЗП имеет также институциональные, социальные и культурные компоненты имеют принципиальное значение, так как СЗП может работать только в том случае, если все компоненты выполняют свою функцию. Кроме того, крайне важно, чтобы местные органы власти и население понимали, что СЗП не может свести риски к нулю, её основная цель заключается в том, чтобы избежать причинения вреда жизни людей. Поэтому СЗП должна дополняться другими мерами по снижению рисков, в частности надлежащим планированием землепользования.

## Заключение

При работе СЗП в экстремальных условиях окружающей среды, например в условиях ледниковых озёр, возникает множество проблем. Система должна быть тщательно спроектирована, чтобы обеспечить

устойчивое энергоснабжение, бесперебойную и надёжную передачу данных, измерение критически важных физических величин и необходимую степень резервирования. Необходима многомесячная калибровка системы. Местные органы власти должны это чётко понимать. Кроме того, для того чтобы гарантировать устойчивость системы, местные органы власти должны ежегодно выделять средства на содержание СЗП.

СЗП Лагуны 513 стала моделью для нескольких других СЗП в Перуанских Андах (например, в Уарас-Пальчакаче, в Урубамба-Чиконе) и за их пределами. Несмотря на то, что можно использовать накопленный опыт и созданный потенциал, важно также признать, что каждое место размещения системы — это индивидуальный случай с особыми характеристиками, которые требуют соответствующего внимания.

## Литература

- Allen, S.K., Linsbauer, A., Randhawa, S.S., Huggel, C., Rana, P., Kumari, A., 2016. Glacial lake outburst flood risk in Himachal Pradesh, India: an integrative and anticipatory approach considering current and future threats. *Nat Hazards* 84, 1741–1763. <https://doi.org/10.1007/s11069-016-2511-x>
- Bajracharya, B., Shrestha, A.B., Rajbhandari, L., 2007. Glacial Lake Outburst Floods in the Sagarmatha Region. *Mt. Res. Dev.* 27, 336–344. <https://doi.org/10.1659/mrd.0783>
- Carey, M., 2010. In the Shadow of Melting Glaciers: Climate Change and Andean Society. Oxford University Press, Oxford.
- Carey, M., 2005. Living and dying with glaciers: people's historical vulnerability to avalanches and outburst floods in Peru. *Glob. Planet. Change* 47, 122–134. <https://doi.org/10.1016/j.gloplacha.2004.10.007>
- Carrivick, J.L., Tweed, F.S., 2013. Proglacial Lakes: Character, behaviour and geological importance. *Quat. Sci. Rev.* 78, 34–52. <https://doi.org/10.1016/j.quascirev.2013.07.02>
- Cook, S.J., Kougkoulos, I., Edwards, L.A., Dortch, J., Hoffmann, D., 2016. Glacier change and glacial lake outburst flood risk in the Bolivian Andes. *Cryosph.* 10, 2399–2413. <https://doi.org/10.5194/tc-2016-140>
- Drenkhan, F., Huggel, C., Guardamino, L., Haerberli, W., 2019. Managing risks and future options from new lakes in the deglaciating Andes of Peru: The example of the Vilcanota-Urubamba basin. *Sci. Total Environ.* 665, 465–483. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.02.070>
- Emmer, A., Merkl, S., Mergili, M., 2015. Spatiotemporal patterns of high-mountain lakes and related hazards in western Austria. *Geomorphology* 246, 602–616. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2015.06.032>
- Fluixá-Sanmartín, J., García Hernández, J., Huggel, C., Frey, H., Cochachin Rapre, A., Gonzales Alfaro, C.A., Román, L.M., Masías Chacón, P.A., 2018. Highlights and Lessons from the Implementation of an Early Warning System for Glacier Lake Outburst Floods in Carhuaz, Peru. *Technol. Dev.* 187–200. [https://doi.org/10.1007/978-3-319-91068-0\\_16](https://doi.org/10.1007/978-3-319-91068-0_16)
- Fraser, B., 2017. Learning from flood-alarm system's fate - Carhuaz, Peru. *EcoAméricas* April 2017, 6-8.
- Frey, H., Huggel, C., Bühler, Y., Buis, D., Burga, M.D., Choquevilca, W., Fernandez, F., García Hernández, J., Giráldez, C., Loarte, E., Masías, P., Portocarrero, C., Vicuña, L., Walser, M., 2016. A robust debris-flow and GLOF risk management strategy for a data-scarce catchment in Santa Teresa, Peru. *Landslides* 1–15. <https://doi.org/10.1007/s10346-015-0669-z>
- Frey, H., Huggel, C., Chisolm, R.E., Baer, P., McArdell, B., Cochachin, A., Portocarrero, C., 2018. Multi-Source Glacial Lake Outburst Flood Hazard Assessment and Mapping for Huaraz, Cordillera Blanca, Peru. *Front. Earth Sci.* 6, 1–16. <https://doi.org/10.3389/feart.2018.00210>
- INDECI (2004) Mapa de peligro, plan de usos de suelo y medidas de mitigación ante desastres Ciudad de Carhuaz, Primera. INDECI, Lima, Perú
- Muñoz R, Gonzales C, Price K, Rosario A, Huggel C, Frey H, García J, Cochachin A, Portocarrero C, Mesa L (2016) Managing Glacier Related Risks Disaster in the Chucchún Catchment, Cordillera Blanca, Peru. In: Climate Change Adaptation Strategies – An Upstream-downstream Perspective. Springer International Publishing, Cham, pp 59–78
- Schneider, D., Huggel, C., Cochachin, A., Guillén, S., García, J., 2014. Mapping hazards from glacier lake outburst floods based on modelling of process cascades at Lake 513, Carhuaz, Peru. *Adv. Geosci.* 35, 145–155. <https://doi.org/10.5194/adgeo-35-145-2014>
- Westoby, M.J., Glasser, N.F., Brasington, J., Hambrey, M.J., Quincey, D.J., Reynolds, J.M., 2014. Modelling outburst floods from moraine-dammed glacial lakes. *Earth-Science Reviews* 134, 137–159. <https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2014.03.009>

# Объединение данных измерений и результатов моделирования для оценки глобального суммарного атмосферного осаднения: инициатива ВМО

Лоренцо Лабрадор<sup>1</sup>, Клавдия Волощук<sup>1</sup> и Аманда Коул<sup>2</sup>

Основной механизм очистки атмосферы Земли удаляет химические вещества из воздуха и осаждаёт их на поверхность суши и вод. Хотя последствия этих процессов очистки в основном благоприятны, некоторые из них могут оказать негативное воздействие на здоровье человека, экосистемы и продовольственную безопасность. Например, кислотные дожди — подкисление дождевой воды из-за выбросов азота и серы — наносят ущерб лесам, губят насекомых, подвергают коррозии промышленные металлоконструкции и т. д. Такие неблагоприятные последствия осаднения представляют большой интерес для общества в целом и, в частности, для директивных органов, поэтому ВМО решила осуществить Инициативу по объединению данных измерений и результатов моделирования для оценки глобального суммарного атмосферного осаднения.

С изменением объёма выбросов загрязняющих веществ в атмосферу атмосферные осаднения существенно изменились за последние десятилетия. Без надлежащего понимания и оценки количества атмосферных загрязнителей, осаждаемых на сушу и на водную поверхность, атмосферное осаднение может иметь ещё более пагубные, неизвестные последствия для благосостояния общества и экосистем и функционирования системы атмосфера–суша–океан. С учётом этого многие заинтересованные стороны на глобальном и национальном уровнях, занимающиеся вопросами науки, экосистем, здоровья человека

и продовольственной безопасности, проявляют большой интерес к более глубокому пониманию атмосферных осаднений во всех пространственных масштабах с тем, чтобы лучше оценить их пагубные последствия и выработать необходимые меры по их смягчению. Инициатива по объединению данных измерений и результатов моделирования для оценки глобального суммарного атмосферного осаднения, предложенная Глобальной службой атмосферы (ГСА) ВМО, позволит преодолеть ограничения и получить максимальную пользу от использования существующих подходов к картографированию осаднений в глобальном масштабе.

## Атмосферные осаднения

Атмосфера Земли, состоящая в основном из азота и кислорода, представляет собой сложную среду. Помимо этих двух основных составляющих, она является носителем целого ряда дополнительных малых газовых примесей и микроэлементов, одни из которых выделяются из природных источников, другие — в результате человеческой деятельности, а третьи — в результате химических процессов, происходящих в атмосфере. Многие из этих примесей и микроэлементов считаются «загрязняющими веществами» из-за их негативного воздействия на здоровье человека или на природную или антропогенную окружающую среду. Загрязнители удаляются из атмосферы и осаждаются на поверхность суши и водную поверхность в результате процесса, известного как атмосферное осаднение. Атмосферные загрязнители могут быть удалены посредством либо влажного осаднения, т.е. осадков, либо сухого

1 Секретариат ВМО

2 Министерство окружающей среды и изменения климата Канады



осаждения. Сухое осаждение может включать гравитационное осаждение частиц, или диффузию и турбулентный перенос на поверхность и последующее поглощение растениями, или адсорбцию на поверхности.

Атмосферное осаждение является основным процессом удаления для большинства химически активных химических соединений в атмосфере. Во многих регионах это — основной механизм попадания загрязняющих веществ в экосистему, представляющий собой ключевой процесс в системе Земля.

Скорость осаждения атмосферных загрязнителей на сушу и водные поверхности Земли определяется метеорологическими факторами, такими как температура, осадки, влажность и ветер, свойствами осаждённого газа или частиц (как физических, так и химических), а также характеристиками поверхностей, на которые осаждаются эти соединения. Сочетание всех этих факторов определяет, как долго данный атмосферный загрязнитель будет оставаться в атмосфере, на каком расстоянии от своего источника он будет переноситься ветром и какое количество этого загрязнителя будет удалено из атмосферы.

## Соответствие Целям в области устойчивого развития

Атмосферное осаждение связано посредством различных воздействий на систему Земля с несколькими целями Организации Объединённых Наций в области устойчивого развития (ЦУР). Осаждение определённых атмосферных загрязнителей, таких как химически активные азот, сера, озон, ртуть и чёрный углерод, могут влиять на здоровье человека и наносить серьёзный ущерб экосистемам и растительности, оказывая при этом негативное воздействие на продуктивность сельского хозяйства и усугубляя влияние изменения климата.

Например, осаждение озона на растительность серьёзно влияет на устойчивое обеспечение продовольствием, кормами и волокнами во всём мире (ЦУР 2 — Ликвидация голода). Помимо своего прямого вклада в радиационное воздействие, озон также может влиять на него косвенно путём нанесения ущерба растительности, что снижает продуктивность растений и тем самым приводит к сокращению поглощения двуокси углерода растениями и в результате к повышению её содержания в атмосфере (ЦУР 13 — Борьба с изменением климата) (IPCC, 2013; WMO, 2018). По оценкам, ущерб,



К. Шарпс, Программа ICP Vegetation

Рисунок 1. Ущерб, нанесённый озоном листьям фасоли обыкновенной (фасоль чёрная Прето), возрастает при продолжении воздействия озона: вначале уровень ущерба невелик (слева), затем симптомы усиливаются (в центре и справа)



*Рисунок 2. Во время учебного курса ЦОПКГСА по суммарному атмосферному осадчению на станции ГСА в Хоенпайсенберге. Пробоотборники осадков (слева) и различные пробы собранного атмосферного осадчения на фильтрах (справа)*

нанесённый озоном, может привести к глобальным экономическим потерям в размере 10–20 млрд долларов США из-за его пагубного воздействия на основные продовольственные культуры, такие как пшеница, соя и кукуруза (Avnery et al, 2011). Ориентировочно годовые потери урожая из-за озона (связанные с озоном разрывы в урожайности, средняя величина за 2010–2012 годы) составили 12,4%, 7,1%, 4,4% и 6,1% для сои, пшеницы, риса и кукурузы соответственно, в результате чего общий объём потерянного урожая составил 227 Тг (Mills et al., 2018). На рисунке 1 показан пример ущерба растению, нанесённого озоном, а также ухудшение состояния растения с течением времени. Более старые листья растения пострадают больше, чем молодые, поскольку они будут подвержены воздействию озона в течение более длительного периода.

Аналогичным образом атмосферное осадчение химически активного азота оказывает непосредственное влияние на состояние экосистемы, сельскохозяйственное производство на обрабатываемых и необрабатываемых землях и изменение климата. Было показано, что высокие уровни осадчения азота вызывают подкисление почвы и поверхностных вод, ухудшение качества воды и эвтрофикацию, а также влияют на рост растений и разнообразие видов растений и животных. Суммарное осадчение азота может привести к насыщению почв азотом, что, в свою очередь, может привести к утрате биоразнообразия, подкислению почвы, ухудшению качества воды и сокращению роста лесов. Таким образом, понимание и картографирование атмосферных осадчений в глобальном масштабе

имеет чрезвычайно важное значение, особенно в связи с тем, что атмосферные осадчения связаны с 7 из 17 ЦУР Организации Объединённых Наций.

### **Измерение атмосферного осадчения и метод объединения данных измерений и результатов моделирования**

Влажное осадчение атмосферных загрязнителей измеряется путём отбора проб осадков и измерения концентраций рассматриваемых загрязнителей и количества выпавших осадков (рис. 2). Сухое осадчение обычно оценивается путём измерения концентраций газов и частиц у поверхности Земли и использования компьютерных моделей для расчёта соответствующей скорости их сухого осадчения, т. е. скорости, с которой эти загрязнители осаждаются на поверхность Земли. Оба метода требуют дорогостоящих и сложных сетей измерений, которые охватывают большие территории, таких как сети, координируемые ГСА. Влажное и сухое осадчение также оценивается с помощью моделей переноса химических веществ (МПХВ), объединяющих данные кадастров выбросов с результатами моделирования метеорологических и атмосферных процессов в региональном и/или глобальном масштабах. Подходы, использующие измерения и моделирование, имеют свои преимущества и недостатки, и ни один из них не является совершенным.

Существующие карты атмосферного осадчения в глобальном масштабе основаны на ограниченном количестве данных измерений или на расчётах

Рисунок 3 (a)

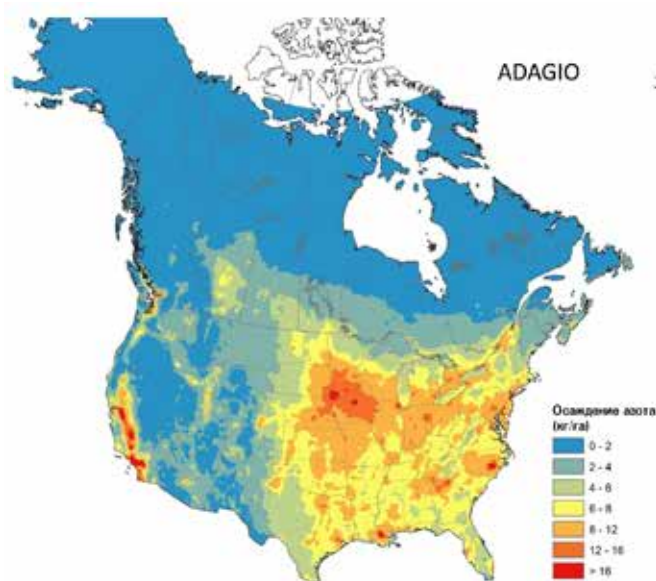


Рисунок 3 (b)

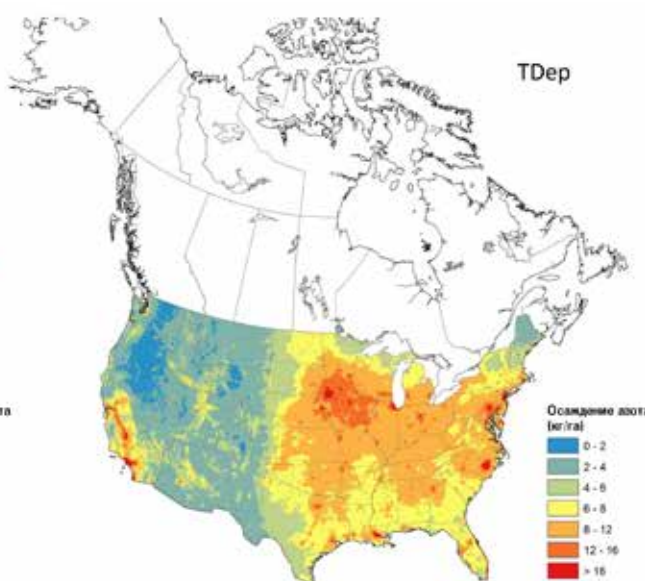


Рисунок 3 (a) и (b). Современные карты суммарного атмосферного осаднения, подготовленные на основе объединения данных измерений и результатов моделирования. Рисунок 3 (a) (слева) — карта суммарного осаднения азота в 2010 году в  $\text{kg N ha}^{-1} \text{год}^{-1}$ , подготовленная Министерством окружающей среды и изменения климата Канады (Schwede et al., 2019), рисунок 3 (b) (справа) — карта суммарного осаднения азота в 2010 году в  $\text{kg N ha}^{-1} \text{год}^{-1}$ , подготовленная Управлением по охране окружающей среды США (Schwede et al., 2019)

#### Суммарное осаднение $\text{SO}_x$ ( $\text{mg S/m}^2$ ) в 2017 году

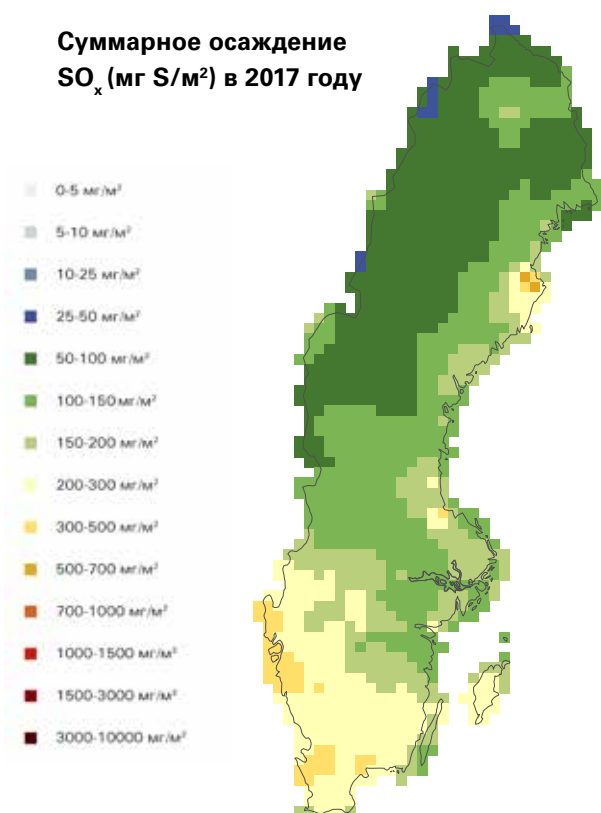


Рисунок 4. Карта осаднения серы в 2017 году в Швеции в  $\text{mg S m}^{-2} \text{год}^{-1}$ , подготовленная Шведским гидрологическим и метеорологическим институтом (Leung et al., 2019)

МПХВ. Оба типа карт содержат большие неопределённости: измерения осаднений недостаточны или вообще отсутствуют на больших территориях планеты (Африка, Азия, Австралия, Южная Америка и океаны), а модели переноса химических веществ неизбежно зависят от допущений и упрощений в распределении и параметризации выбросов.

Чтобы преодолеть эти ограничения и получить максимальную пользу от обоих подходов, был разработан новый метод создания карт осаднения, названный «Объединение данных измерений и результатов моделирования» (ОИМ). ОИМ объединяет наилучшие имеющиеся данные измерений влажных и сухих осаднений, включая атмосферные концентрации, с наилучшими имеющимися оценками осаднения на основе МПХВ с использованием статистических методов. Этот метод «сдвигает» или корректирует модельные оценки, приближая их к истинным значениям путём включения или «усвоения» данных измерений подобно тому, как данные наблюдений метеорологических переменных, таких как температура, скорость ветра, направление ветра и относительная влажность усваиваются в моделях численного прогноза погоды (ЧПП) для повышения точности прогнозов погоды. Однако

в отличие от ЧПП данные измерений атмосферного осаднения не могут включаться в модели осаднения в реальном времени или в режиме, близком к реальному времени, поскольку данные измерений, связанных с осаднением, после сбора должны обрабатываться и анализироваться. Поэтому данные наблюдений усваиваются на более поздней стадии или задним числом.

---

*Результатом этого процесса являются карты атмосферного осаднения, обеспечивающие более точные оценки как влажного, так и сухого осаднения, чем те, которые могли бы быть получены с помощью одних только наблюдений или одних только оценок на основе моделей.*

---

Методы ОИМ были разработаны и успешно применены в нескольких странах, включая Канаду, Швецию и США, но их ещё предстоит использовать в глобальном масштабе. На рисунках 3 (a, b) и 4 показаны примеры карт осаднения высокого разрешения, созданных на основе ОИМ соответственно в Канаде, США и Швеции. Эти методы обеспечивают научно-методическую основу для увеличения масштабов карт осаднения от национального и регионального до глобального масштаба.

### **Инициатива ВМО по объединению данных измерений и результатов моделирования для оценки глобального суммарного атмосферного осаднения (ОИМ-ГСАО)**

В настоящее время ГСА имеет возможность привлечь и координировать деятельность ведущих экспертов по атмосферному осаднению и ОИМ со всего мира, чтобы разрабатывать и применять методы ОИМ для подготовки глобальных карт осаднения. Они будут опираться на последние достижения в области моделирования переноса химических веществ и использовать спутниковые

наблюдения за атмосферными осаднениями, а также сеть станций приземных измерений концентраций и потоков осаднений, которые координируются Научной консультативной группой ВМО по суммарным атмосферным осаднениям.

Цель инициативы состоит в том, чтобы использовать сочетание региональных и глобальных моделей атмосферного переноса и наблюдений для подготовки высококачественных карт суммарного (влажного и сухого) атмосферного осаднения, а также оценок потоков атмосферных загрязнителей в глобальном масштабе в режиме, близком к оперативному. Эта инициатива, находящаяся пока ещё на ранних этапах, известна под названием «Объединение данных измерений и результатов моделирования для оценки глобального суммарного атмосферного осаднения» (ОИМ-ГСАО). Стоит отметить, что современные карты атмосферного осаднения на основе ОИМ представляют собой результат усилий, предпринятых отдельными странами или двумя странами, работающими совместно, и они являются национальными или региональными по масштабу.

В настоящее время многим странам не хватает возможностей и знаний, чтобы объяснить необходимость учёта атмосферного осаднения при принятии научных решений и решений для выработки политики и планирования, которые связаны с Целями ООН в области устойчивого развития. Карты осаднения на основе ОИМ в глобальном масштабе, созданные на основе наилучших оценок измерений и моделей, послужат для информационного обеспечения и поддержки этих процессов принятия решений.

Глобальные высококачественные карты осаднения и концентраций и файлы соответствующих данных позволят правительственным учреждениям и другим заинтересованным сторонам оценить влияние атмосферного осаднения химических веществ на здоровье населения, экосистемы суши и океанов, поверхность сельскохозяйственных угодий и изменение климата. Их решения и действия должны основываться на наилучших из имеющихся научных данных. ГСА уже играет ведущую роль в сборе данных и контроле качества приземных измерений осаднения. В рамках ОИМ-ГСАО она



также будет играть ключевую роль в содействии оперативному выпуску карт атмосферного осадения на основе ОИМ в глобальном масштабе (а также в региональном масштабе в районах мира, не достаточно охваченных измерениями) и в обеспечении ООН и её государств-членов достоверными результатами и знаниями. Это нашло отражение в следующем Заявлении о перспективном видении для Инициативы ОИМ-ГСАО:

*Заинтересованные стороны смогут получить доступ к высококачественным глобальным картам высокого разрешения, отображающим суммарное атмосферное осадение, для удовлетворения нужд общества, поскольку они касаются окружающей средой и глобального устойчивого развития.*

## Осуществление Инициативы ОИМ-ГСАО

План осуществления ГСА ВМО на 2016–2023 годы основывается на концепции «наука для обслуживания». В этом контексте Инициатива ОИМ-ГСАО является одним из новых видов обслуживания ГСА, указанных на Всемирном метеорологическом конгрессе в июне 2019 года в резолюции 60, касающейся потребностей пользователей. С учётом этой перспективы ОИМ-ГСАО ставит следующие цели.

- Создавать и распространять высококачественные глобальные карты на основе ОИМ и информационную продукцию высокого пространственного разрешения в отношении атмосферного осадения в режиме, близком к оперативному (включая соответствующие массивы данных измерений и результаты моделирования переноса химических веществ с гарантированным качеством).
- Постоянно совершенствовать оперативную продукцию посредством научно-исследовательских инноваций в области мониторинга осадения, моделирования переноса химических веществ, методов усвоения/объединения данных и других систем наблюдения (например, спутниковые измерения).
- Постоянно взаимодействовать с пользователями данных, заинтересованными сторонами и

партнёрами для удовлетворения их растущих потребностей и решения важнейших задач.

- Обеспечивать специализированные процедуры, технические консультации и заказную продукцию для конкретных пользователей и заинтересованных сторон (например, продукцию, касающуюся осадения, характерного для конкретной экосистемы; производные индикаторы; долгосрочные тренды осадения).
- Нарращивать потенциал (технический/институциональный/кадровый) и устанавливать контакты с соответствующими научными/политическими сообществами и организациями, для которых информация об осадении не известна, недостаточно используется ими или доступ к ней ограничен.
- Сотрудничать с существующими партнёрами в рамках ВМО и ООН, региональными и национальными программами измерений (например, сети, спутники) в целях поддержки расширения и совершенствования наблюдений за осадением в малоизученных районах.
- Повышать точность и совершенствовать прогнозы осадения, качества воздуха и климата за счёт подготовки рекомендаций о рассмотрении атмосферного осадения в рамках подхода к моделированию системы Земля для суши, льда, океанов и атмосферы.
- Обеспечивать возможности и сотрудничать с пользователями и заинтересованными сторонами в целях применения текущих и будущих знаний о глобальном осадении, полученных на основе ОИМ-ГСАО, для оценки влияния изменений в осадении на изменение климата Земли, экосистем, выбросов и общества в рамках взаимосвязи с соответствующими Целями ООН в области устойчивого развития.
- Разработать официальный План осуществления для организации и реализации Инициативы ОИМ-ГСАО в соответствии с заявленными краткосрочными и среднесрочными целями.

В рамках Инициативы ОИМ-ГСАО будет введена в эксплуатацию комплексная оперативная система,



которая включает сбор данных измерений и результатов моделирования, применение методов ОИМ, а также разработку и предоставление продукции и обслуживания. Для осуществления Инициативы потребуется комплексный и скоординированный подход к деятельности, которая охватывает несколько различных областей науки об атмосфере. К этим областям относятся: изучение состава атмосферы и измерение осаждения (например, с помощью станций ГСА, региональных и национальных измерительных сетей), моделирование переноса химических веществ (в региональном, национальном и глобальном масштабах), кадастры выбросов, усвоение данных измерений/результатов моделирования, управление базами данных и распространение и предоставление продукции.

Для достижения целей Инициативы ОИМ-ГСАО всё обслуживание и продукция, предоставляемые в рамках этой Инициативы, будут ориентированы на потребности пользователей. Это будет достигнуто путём консультаций и обеспечения обратной связи на совещаниях и рабочих семинарах, направленных на определение конкретных потребностей пользователей.

Инициатива ОИМ-ГСАО была выдвинута в феврале 2019 года на совещании экспертов в штаб-квартире ВМО в Женеве с участием специалистов в области наблюдений и моделирования атмосферного осаждения, аэрозолей и химически активных газов, методов ОИМ для обеспечения продовольственной безопасности и экосистем. Совещание определило технические и финансовые аспекты, связанные с осуществлением этой Инициативы, и началась работа над планом её осуществления.

В данный момент введены в действие многие научные и технические элементы. В настоящее время в рамках Инициативы изыскиваются финансовые средства для дальнейшей работы по подготовке карт глобального осаждения. ГСА приветствует как взносы в натуральной форме, так и финансовые взносы Членов и партнёров ВМО на реализацию инициативы ОИМ-ГСАО. Несколько научных, общественных и политических организаций ожидают регулярного выпуска глобальных карт на основе ОИМ-ГСАО в рамках этой Инициативы.

Выражение признательности: В основе данной статьи лежит Концептуальная записка Инициативы ОИМ-ГСАО, в подготовке которой принимали участие Венке Ос, Камилла Андерссон, Аманда Коул, Фрэнк Дентенер, Джошуа Фу, Коринн Гэли-Лако, Мария Канакиду, Лоренцо Лабрадор, Кобус Пинаар, Донна Шведе и Роберт Вет.

## Литература

Avnery, S., Mauzerall, D.L., Liu, J. and Horowitz, L.W. (2011). Global crop yield reductions due to surface ozone exposure: 1. Year 2000 crop production losses and economic damage. *Atmospheric Environment*, 45:13, pp. 2284–2296.

Leung, W., Alpfjord Wylde, H. and Andersson, C. (2019). National environmental assessment with the MATCH Sweden system, evaluation of results for the years 2015-2017 (in Swedish 2015-2017. Swedish Meteorological and Hydrological Institute. [https://www.smhi.se/polopoly\\_fs/1.146627!/Slutrapport2015-17\\_M%C3%96.pdf](https://www.smhi.se/polopoly_fs/1.146627!/Slutrapport2015-17_M%C3%96.pdf).

Mills, G., Sharps, K., Simpson, D., Pleijel, H., Broberg, M., Uddling, J., Jaramillo, F., Davies, D., Dentener, F., Van den Berg, M., Agrawal, M., Agrawal, S.B., Ainsworth, E.A., Büker, P., Emberson, L., Feng, Z., Harmens, H., Hayes, F., Kobayashi, K., Paoletti, E., and Van Dingenen, R. (2018). Ozone pollution will compromise efforts to increase global wheat production. (2018). *Global Change Biology*, 24: 8, pp. 3560-3574. doi.org/10.1111/gcb.14157.

Schwede, D., Cole, A., Vet, R., and Lear, G. (2019). On-going U.S.-Canada collaboration on nitrogen and sulfur deposition. *EM: The Magazine for Environmental Managers*, June 2019.

IPCC, 2013: *Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge (UK) and New York, Cambridge University Press

WMO, 2018: *WMO Reactive Gases Bulletin. No 2: Highlights from the Global Atmosphere Watch Programme*. Geneva.

# Показательный проект по космическому мониторингу экстремальных погодных и климатических явлений для Восточной Азии и западной части Тихого океана

Юрий Кулешов<sup>1</sup>, Такудзи Кубота<sup>2</sup>, Томоко Тасима<sup>2</sup>, Пинпин Се<sup>3</sup>, Тосиюки Курино<sup>4</sup>, Пер Хехлер<sup>4</sup> и Лиза В. Александер<sup>5</sup>

Метеорологические наблюдения ясно показывают, что глобальное изменение климата происходит с начала промышленной революции. Это изменение особенно заметно примерно с 1950 года и включает в себя изменения в экстремальных погодных и климатических явлениях. Изменения в экстремальных погодных и климатических явлениях могут значительно усилить воздействие на общество, что приведёт к увеличению числа бедствий во всём мире. Одним из наиболее подверженных стихийным бедствиям регионов мира является Азиатско-Тихоокеанский регион. С 1970 года в результате стихийных бедствий в Азиатско-Тихоокеанском регионе погибло два миллиона человек, что составляет 59% от общего числа погибших в мире. Наиболее частыми опасными природными явлениями в регионе являются гидрометеорологические явления [1]. Существует настоятельная необходимость в том, чтобы разработать и применить новые средства глобального мониторинга этих всё более частых и серьёзных опасных явлений, в том числе с использованием современных методов спутникового дистанционного зондирования.

1 Австралийское бюро метеорологии, Австралия

2 Научно-исследовательский центр наблюдений за Землёй, Японское агентство аэрокосмических исследований (ДЖАКСА), Япония

3 Центр климатических предсказаний, Национальное управление по исследованию океанов и атмосферы (НУОА), США

4 Секретариат ВМО

5 Университет Нового Южного Уэльса, Австралия

Признавая важность этой проблемы, ВМО приступила к осуществлению двухгодичного (2018–2019 годы) показательного проекта по космическому мониторингу экстремальных погодных и климатических явлений. Основное внимание в рамках проекта уделяется засухе и сильным осадкам в регионе Юго-Восточной Азии и Тихого океана. В июне 2019 года Восемнадцатый Всемирный метеорологический конгресс (Кг-18) рассмотрел результаты и рекомендовал распространить этот проект на другие регионы ВМО, а также принял план осуществления для перехода к оперативной стадии. В этой статье рассматриваются результаты показательного проекта, полученные в рамках двух тематических исследований в Австралии: во время засухи тысячелетия и в период экстремальных осадков, вызванных явлением Ла-Нинья 2010/11 года.

## Важность передачи знаний

Показательный проект был развёрнут в соответствии с рекомендациями состоявшегося в феврале 2017 года практического семинара ВМО по оперативному космическому мониторингу экстремальных погодных и климатических явлений. В работе семинара приняли участие представители спутниковых операторов, научно-исследовательских учреждений, региональных климатических центров ВМО (РКЦ) и национальных метеорологических и гидрологических служб (НМГС) с целью активизации диалога по вопросам более широкого использования данных и продукции космических наблюдений

для мониторинга экстремальных погодных и климатических явлений.

В ходе этого практического семинара было признано, что многие развивающиеся и наименее развитые страны не получают пользы от существенного прогресса, достигнутого в сфере космических наблюдений в большинстве геофизических областей, при этом некоторые виды продукции с высоким разрешением доступны в квазиреальном режиме времени, что даёт возможности для их более широкого использования в целях космического мониторинга экстремальных погодных и климатических явлений. Участники рекомендовали укреплять кадровый и технологический потенциал путём передачи знаний с тем, чтобы все страны могли в полной мере пользоваться преимуществами современных космических данных и производной продукции. РКЦ могли бы обеспечить такую передачу знаний. В соответствии с рекомендациями практического семинара ВМО развернула показательный проект, чтобы обосновать необходимость использования данных космических наблюдений и продукции для мониторинга экстремальных погодных и климатических явлений.

## Ситуация в Азиатско-Тихоокеанском регионе

Большинство НМГС в странах Юго-Восточной Азии и Тихого океана для мониторинга экстремальных осадков применяют традиционные наземные наблюдения с использованием дождемеров. Наблюдения с помощью дождемеров обеспечивают точные точечные измерения осадков, однако данные ограничены местоположением станций метеорологических наблюдений. В Австралии, например, пространственное распределение дождемеров неравномерно: в то время как наиболее густонаселённые регионы хорошо охвачены наблюдениями, пространственный охват в других регионах, таких, как западная часть Тасмании и внутренние районы страны, недостаточен. Эта проблема неравномерного пространственного охвата типична для Азиатско-Тихоокеанского региона, где плотность размещения дождемеров во многих районах недостаточна. Поэтому дополнительные оценки осадков, полученные на основе наблюдений из космоса, позволили бы лучше изучить потребности различных пользователей в информации об осадках.

Современная оперативная климатическая продукция для мониторинга засухи, полученная на основе

наземных наблюдений, как правило, ориентирована на выявление дефицита осадков в течение продолжительных периодов времени (от месяцев до лет) с использованием процентильного и/или децильного анализа. Сильные осадки обычно определяются в месячном временном масштабе (хотя дождемеры позволяют получить данные с более высоким временным разрешением). Используя наблюдения из космоса, можно осуществлять мониторинг экстремальных осадков в течение более коротких периодов времени — пяти дней, недели и более продолжительных периодов, вплоть до одного месяца с тем, чтобы удовлетворить текущие и будущие потребности пользователей. Таким образом, с помощью наблюдений из космоса можно удовлетворять потребности пользователей в информации об экстремальных осадках в более коротких временных масштабах. Как РКЦ, так и НМГС рассматривают мониторинг экстремальных погодных и климатических явлений в более коротких временных масштабах как ценное дополнение к своей оперативной продукции для расширения климатического обслуживания пользователей в Азиатско-Тихоокеанском регионе.

Стандартизированный индекс осадков (СИО) также широко используется для обнаружения и мониторинга метеорологической засухи. Положительные значения СИО соответствуют количеству осадков выше медианного значения, а отрицательные — количеству осадков ниже медианного значения. Условия засухи классифицируются, когда значения СИО равны или ниже  $-1,0$ . Например, условия, при которых СИО равен  $-1,0$  или ниже классифицируется как «умеренно сухие»,  $-1,5$  или ниже — как «очень сухие» и  $-2,0$  или ниже — как «чрезвычайно сухие».

## Продукция по осадкам

Цель показательного проекта заключалась в том, чтобы продемонстрировать преимущества использования космических наблюдений за экстремальными осадками для оперативного обслуживания, предоставляемого РКЦ и НМГС. Проект осуществлялся в Регионах II (Азия) и V (юго-западная часть Тихого океана) ВМО, охватывая географическую область региона Юго-Восточной Азии и Тихого океана — от  $40^\circ$  с.ш. до  $45^\circ$  ю.ш; от  $50^\circ$  в.д. до  $160^\circ$  з.д. Спутниковые данные и продукцию для региона обеспечивают две организации — Японское агентство аэрокосмических исследований (ДЖАКСА) и Центр климатических предсказаний Национального управления по исследованию океанов и атмосферы (ЦКП/НУОА).

В рамках показательного проекта определение засухи и сильных осадков основывалось на определении экстремальных явлений, приведённом в Пятом оценочном докладе Рабочей группы I Межправительственной группы экспертов по изменению климата (МГЭИК): «Экстремальное метеорологическое явление представляет собой явление, которое редко наблюдается в конкретном месте и в конкретное время года. Определений понятия “редко” множество, однако метеорологическое явление обычно считается экстремальным, если наблюдается столь же редко или ещё реже, чем 10-й или 90-й перцентиль функции распределения вероятности, оцениваемой по данным наблюдений. По определению, характеристики того, что называют экстремальной погодой, в абсолютном смысле могут варьировать в зависимости от того или иного места. Если режим экстремальной погоды сохраняется некоторое время, например в течение сезона, то его можно классифицировать как экстремальное климатическое явление, особенно если он приводит в среднем или в целом к явлению, которое само по себе является экстремальным (например засуха или сильные дожди в течение сезона)».

Рекомендации ВМО и широкие консультации с поставщиками и пользователями спутниковых данных (РКЦ и НМГС в регионе Юго-Восточной Азии и Тихого океана) определили, что показательный проект должен быть направлен на удовлетворение потребностей пользователей в мониторинге экстремальных осадков в коротких временных масштабах. Используя предоставляемую в режиме, близком к реальному времени, спутниковую продукцию ДЖАКСА и ЦКП/НУОА для оперативного мониторинга «сильных осадков» и «засухи» в целях климатического анализа в рамках показательного проекта для пользователей, было разработано обслуживание климатической информацией на период от пяти дней до недели и месяца.

Продукция ДЖАКСА по осадкам готовится на основе Системы глобального спутникового картирования осадков (ГСКО)[3]. Для пользователей показательного проекта в Азиатско-Тихоокеанском регионе ДЖАКСА предоставило оценки средних значений количества осадков, полученные на основе версии 6 ГСКО для часовых, суточных (00.00–23.00 по Всемирному скоординированному времени), пятидневных, недельных (понедельник — воскресенье), десятидневных и месячных осадков с пространственным разрешением квадрата сетки 0,1° по широте и долготе. Кроме того, были предоставлены статистические

данные по суточным, пятидневным и недельным экстремальным осадкам (от 90-го до 99-го перцентилья) и процентной доле дождливых дней ( $\geq 1$  мм/день) в месяце. Для мониторинга засухи был предоставлен СИО (за 1 месяц, за 2 месяца и за 3 месяца) для квадратов сетки над сушей с пространственным разрешением квадрата сетки 0,25° по широте и долготе. Эти данные предоставлялись в течение нескольких часов с момента наблюдения.

ЦКП/НУОА предоставил пользователям показательного проекта аналогичный набор продукции на основе спутниковых оценок осадков, полученных методом морфинга в Центре климатических предсказаний (КМОРФ) (подробная информация содержится в [4]). Климатология продукции КМОРФ определена на 20-летний период — с 1998 по 2017 год. В дополнение к СИО были также предоставлены еженедельный приведённый разностный индекс растительности (ПРИР) и еженедельный индекс состояния растительного покрова (ИРП).

### Тематическое исследование: мониторинг засухи в Австралии

В рамках показательного проекта была рассмотрена полезность космических наблюдений для мониторинга засухи в Австралии в 2007 году, который стал чрезвычайно важным годом засухи тысячелетия, с использованием значений СИО за три месяца, полученных на основе данных ГСКО ДЖАКСА.

Около 70% территории Австралии получает менее 500 мм осадков в год, за счёт чего эти районы относятся к категории засушливых или полузасушливых. Поэтому в Австралии мониторинг засухи имеет чрезвычайно важное значение для принятия обоснованных решений в сельском хозяйстве, управлении рисками стихийных бедствий, водопользовании и других секторах. Австралийское бюро метеорологии (АБМ) объявляет о засухе, если осадки в течение трёх месяцев остаются в пределах самого нижнего дециля осадков, зарегистрированных для этого района в прошлом [5]. Оперативные данные АБМ, сбор которых начался в Австралии более 100 лет назад, показывают, что в среднем засуха наблюдается раз в 18 лет, однако степень и продолжительность засух варьируются.

Одна из сильнейших засух в Австралии — засуха тысячелетия — произошла в 2000-е годы, затронув обширные территории страны. Сильно пострадал бассейн рек Мюррей и Дарлинг, являющийся

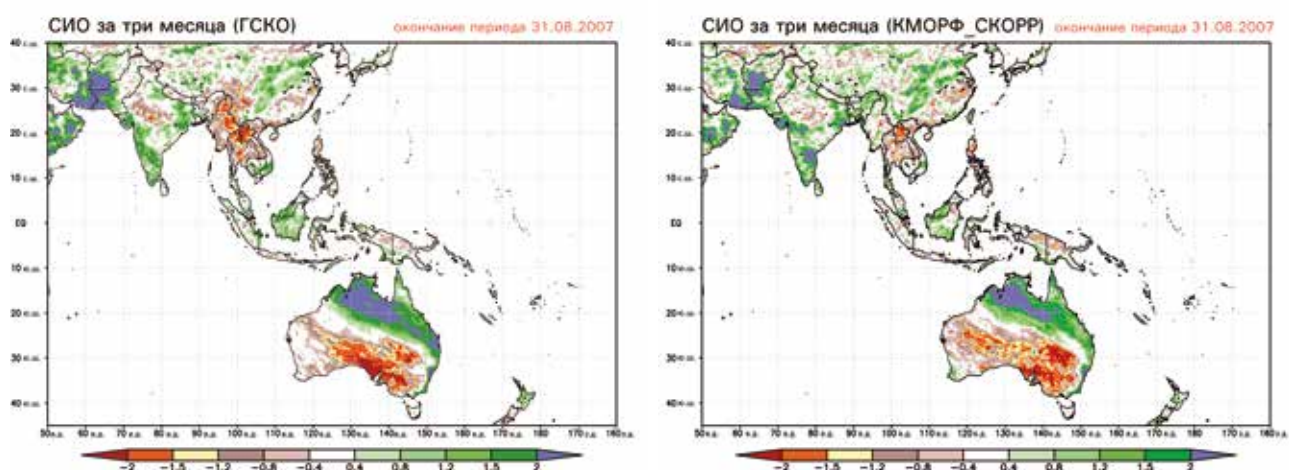


Рисунок 1. СИО за период июнь–июль–август 2007 года, полученный на основе ГСКО ДЖАКСА (слева) и скорректированных на смещение данных осадков (СКОРР) КМОФ ЦКП/НУОА (справа)

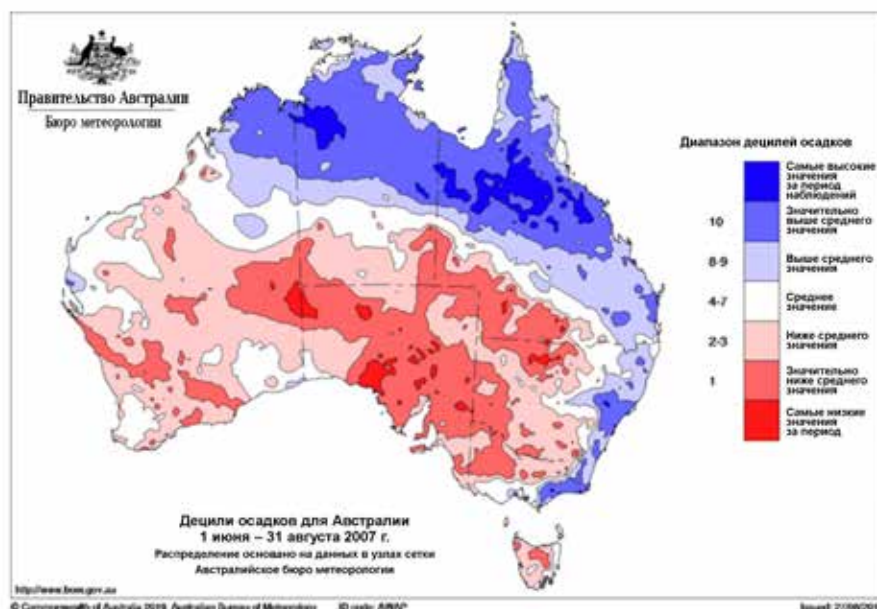


Рисунок 2. Децили осадков для Австралии за период июнь–июль–август 2007 года, полученные по дождемерным наблюдениям Австралийского бюро метеорологии.

крупнейшим сельскохозяйственным районом Австралии. Так же сильно пострадало водоснабжение многих крупных и небольших городов, включая Мельбурн, Сидней, Брисбен и Аделаиду. Засуха началась с дефицита дождевых осадков в 1996/97 году и продолжалась в течение нескольких засушливых лет, вплоть до 2001/02 года. В 2006 году юго-восточные части Австралии пережили второй, самый засушливый год за весь период наблюдений. К 2007 году в бассейне рек Мюррей и Дарлинг седьмой год подряд количество осадков было ниже средней величины. Сухая жаркая погода продолжалась в Австралии вплоть до начала 2010 года. Явление Ла-Нинья 2010/11 года — одно из сильнейших за период наблюдений — положило конец засухе тысячелетия. Оно вызвало рекордные

осадки в бассейне рек Мюррей и Дарлинг и осадки выше средней величины на юго-востоке страны. Непрерывающиеся осадки выше средней величины значительно увеличили запасы поверхностных вод и почвенной влаги, прекратив засуху.

Значения СИО за три месяца для периода июнь–июль–август 2007 года (рис. 1) в бассейне рек Мюррей и Дарлинг, полученные на основе ГСКО ДЖАКСА и КМОФ ЦКП/НУОА, оказались ниже  $-1,5$  («очень сухо») в районах, определённых как «районы с осадками значительно ниже среднего» на карте децилей осадков, составленной на основе наблюдений дождемеров АБМ (рис. 2). Таким образом, наблюдения из космоса согласовывались с наблюдениям *in situ* в бассейне рек Мюррей и Дарлинг



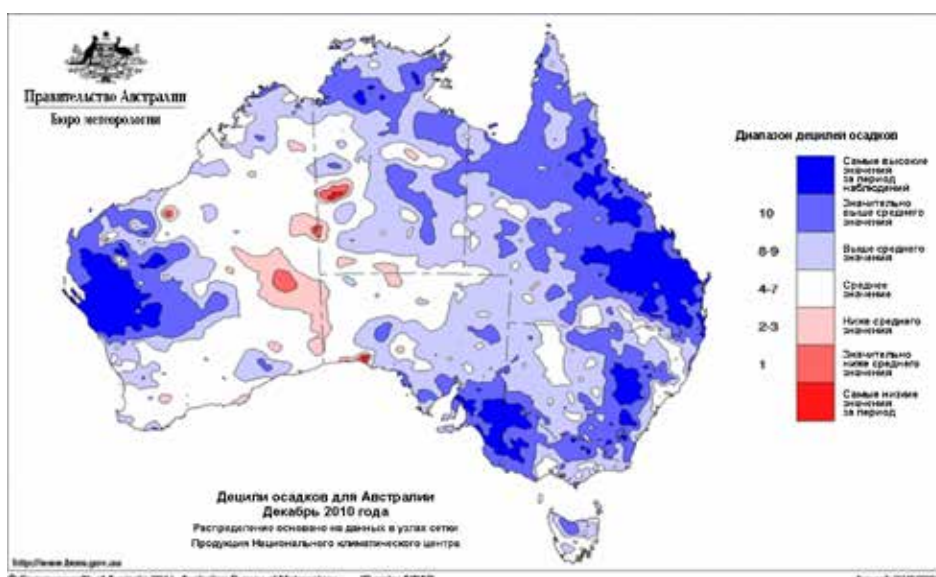


Рисунок 3. Децили осадков для Австралии за декабрь 2010 года, полученные по дождемерным наблюдениям Австралийского бюро метеорологии. Экстремальные осадки, зарегистрированные в некоторых частях на западе и востоке Австралии в декабре 2010 года, были связаны с явлением Ла-Нинья 2010/11 года.

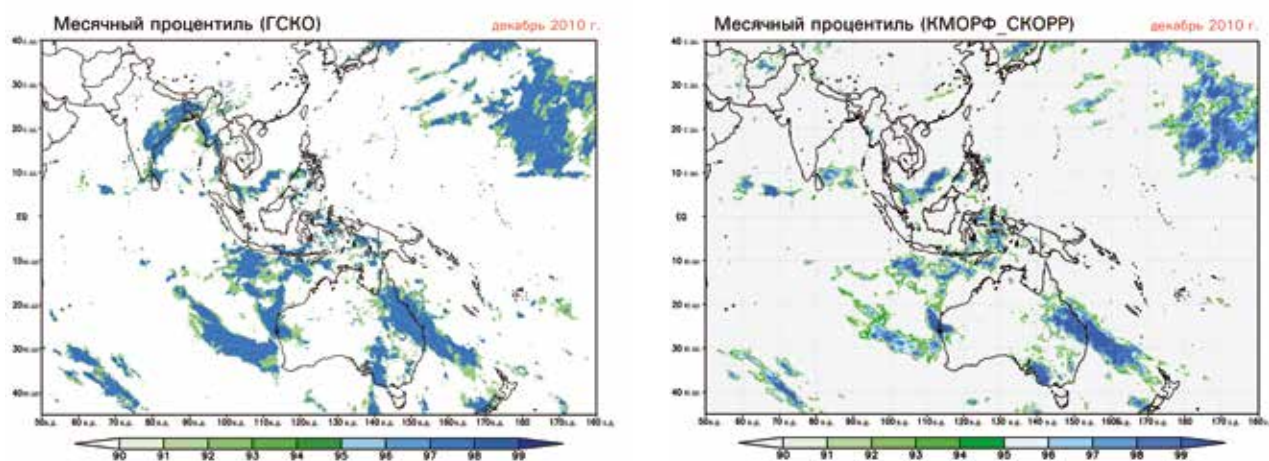


Рисунок 4. Месячные процентиля осадков ГСКО ДЖАКСА (слева) и КМОРФ ЦКП/НУОА (справа) за декабрь 2010 года

на юго-востоке Австралии, где плотность наземных наблюдений является высокой. Однако наблюдались заметные расхождения между значениями СИО и картами децилей осадков в центральных областях страны, где плотность наземных наблюдений очень низкая. Это показывает ценность спутниковых оценок осадков для обнаружения и мониторинга засухи, особенно в районах, где дождемерные наблюдения ограничены или отсутствуют.

### Тематическое исследование: сильные дожди в Австралии

Во втором исследовании рассматриваются два случая сильных осадков на территории Австралии в декабре 2010 года и январе 2011 года, которые вызвали обширное наводнение.

«Экстремальными» считаются осадки, когда их среднее количество за установленный период превышает определённый процентильный порог, например, от 90-го до 99-го процентиля. В Австралии наблюдались такие экстремальные осадки во время явления Ла-Нинья в 2010/11 году, при этом 2011 год был третьим по влажности годом с 1900 года, когда в Австралии на национальном уровне начались наблюдения за осадками. В среднем по Австралии и в том и в другом году осадки значительно превысили среднее значение: 690 мм (на 225 мм выше среднего многолетнего значения, составлявшего 465 мм) в 2010 году и 699 мм (на 234 мм выше среднего многолетнего значения, составлявшего 465 мм) в 2011 году.

Явление Ла-Нинья 2010/11 года оказало значительное влияние на осадки в Австралии. Это явление

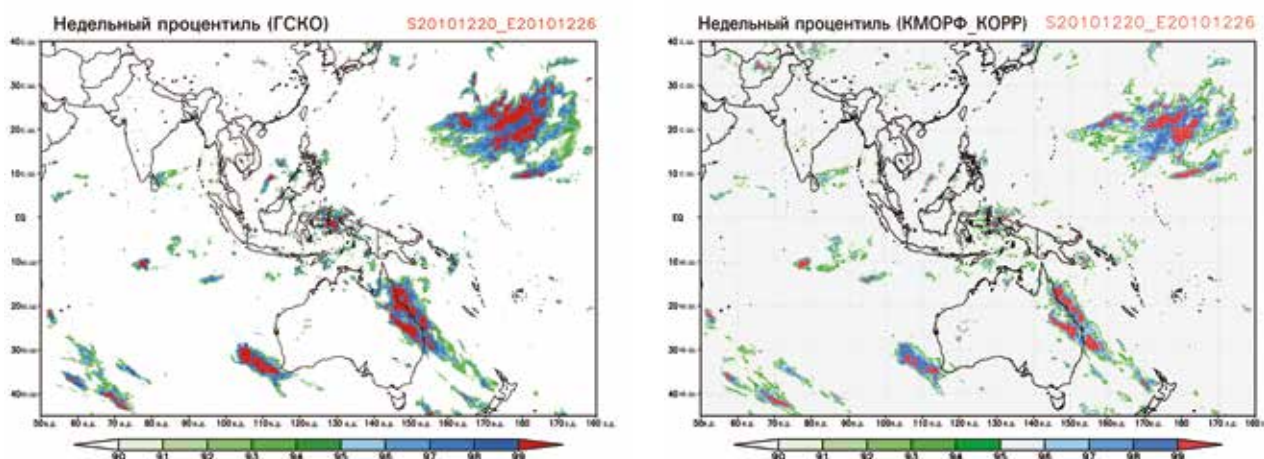


Рисунок 5. Недельные процентили осадков ГСКО ДЖАКСА (слева) и КМОРФ ЦКП/НУОА (справа) за 20–26 декабря 2010 года

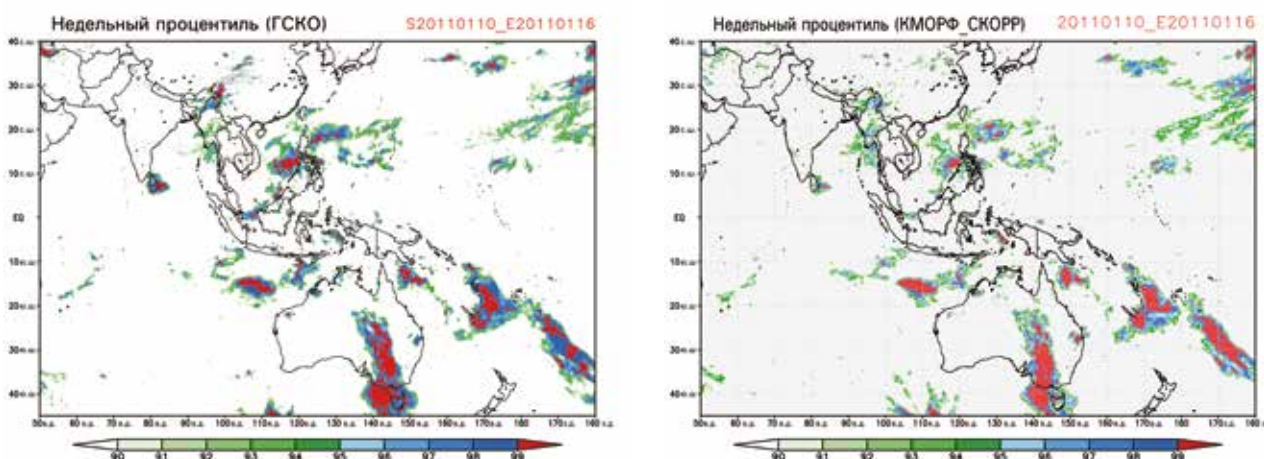


Рисунок 6. Недельные процентили осадков ГСКО ДЖАКСА (слева) и КМОРФ ЦКП/НУОА (справа) за 10–16 января 2011 года

обычно связано с увеличением количества осадков на севере и востоке страны. В период Ла-Нинья 2010/11 года осадки существенно превышали среднее значение на большей части материковой Австралии в течение девяти месяцев с июля 2010 года до марта 2011 года. Было установлено несколько новых рекордов по количеству осадков в Австралии: сентябрь, декабрь и март оказались самыми влажными за весь период наблюдений, а октябрь и февраль оказались вторыми по влажности за этот период. Рекордные осадки во время Ла-Нинья 2010/11 года привели к обширному наводнению во многих районах в период с сентября 2010 года по март 2011 года, включая Квинсленд, большие территории на севере и западе Виктории, Новый Южный Уэльс, северо-западную область Западной Австралии и восточную часть Тасмании.

Процентили месячных осадков, полученные с помощью ГСКО ДЖАКСА и КМОРФ ЦКП/НУОА за декабрь 2010 года (см. рис. 4 на стр. 64), использовались для анализа широкомасштабного наводнения, произошедшего в австралийском штате Квинсленд в декабре 2010 года. Муссонная ложбина пересекла побережье Кораллового моря 23 декабря, вызвав проливные дожди на обширной территории штата Квинсленд от залива Карпентария до Золотого Берега. Затем последовали обильные осадки 25 декабря, обусловленные выходом на побережье тропического циклона «Таша». К 28 декабря почти половина штата Квинсленд была затоплена; экономический ущерб достиг 6 миллиардов австралийских долларов. Области осадков выше 95-го процентиля, показанные на картах ГСКО и КМОРФ, соответствовали децилям осадков «значительно выше средних», полученным на основе дождемерных наблюдений

АБМ (рис. 3). Более того, процентили недельных осадков за 20–26 декабря (рис. 5) показывают, что экстремальные осадки в Квинсленде были успешно выявлены с помощью двух видов спутниковой продукции по осадкам.

Сильные осадки в австралийском штате Виктория в январе 2011 года стали вторым рассмотренным случаем сильных осадков. Очень интенсивные осадки с 12 по 14 января вызвали серьёзное наводнение на большой территории западной и центральной частей штата Виктория. Наводнение 2011 года было описано как одно из сильнейших наводнений в истории штата; от него пострадали свыше 50 населённых пунктов. Свыше 1730 земельных участков было затоплено и свыше 17000 домов лишились электроснабжения. Общий ущерб составил два миллиарда австралийских долларов.

Процентили недельных осадков ГСКО ДЖАКСА и КМОФ ЦКП/НУОА за период 10–16 января 2011 года (рис. 6) показывают области осадков выше 99-го процентиля, чётко свидетельствуя о том, что эти части штата Виктория находились под влиянием экстремальных осадков. Во всех этих случаях ГСКО и КМОФ показали весьма схожие результаты в описании общих пространственных характеристик и масштаба экстремальных явлений, хотя существуют небольшие различия из-за разницы как в продукции, так и в периодах, определяющих базовую климатологию экстремальных явлений.

Эти примеры показывают, что наблюдения из космоса обеспечивают ценную информацию для мониторинга сильных осадков.

## Заключение

Чрезвычайно важно поддерживать дождемерные сети *in situ*; однако первые результаты показательного проекта в Азиатско-Тихоокеанском регионе демонстрируют, что оценки экстремальных осадков на основе космических наблюдений представляют собой эффективное решение для расширения возможностей РКЦ и НМГС для мониторинга засухи и сильных осадков. Такие возможности позволят поставщикам обслуживания оказывать помощь правительственным структурам и местным

сообществам в информационной поддержке принятия решений для адаптации к изменчивости и изменению климата. Признавая достижения показательного проекта в оказании помощи РКЦ и НМГС в странах Восточной Азии и Тихого океана, Восемнадцатый Всемирный метеорологический конгресс (Кг-18) принял План осуществления космического мониторинга экстремальных погодных и климатических явлений (КМЭПКЯ) (подробная информация содержится в [6]). Он также одобрил его ввод в действие с 1 января 2020 года, что будет указывать на переход проекта в оперативную фазу. Кг-18 также обратился к техническим комиссиям ВМО и соответствующим региональным ассоциациям с просьбой рассмотреть возможность осуществления подобных показательных проектов в Африке и Южной Америке.

## Литература

1. Asia-Pacific Disaster Report 2019: The Disaster Riskscape across Asia-Pacific — Passways for Resilience, Inclusion and Empowerment. UNESCAP [Internet]. 2019.
2. IPCC AR5 WG I, Annex III Glossary [Internet]. 2013.
3. Kubota T, Shige S, Hashizume H, Aonashi K, Takahashi N, Seto S, Hirose M, Takayabu YN, Ushio T, Nakagawa K, Iwanami K, Kachi M & Okamoto K. Global Precipitation Map Using Satellite-borne Microwave Radiometers by the GSMaP Project: Production and Validation. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*. 2007;45(7, part 2):2259-2275. DOI: 10.1109/TGRS.2007.895337
4. Xie P, Joyce R, Wu S, Yoo S-H, Yarosh Y, Sun F & Lin R. Reprocessed, Bias-Corrected CMORPH Global High-Resolution Precipitation Estimates from 1998. *Journal of Hydrometeorology*. 2017;18(6):1617–1641. DOI: 10.1175/JHM-D-16-0168.1
5. Drought definition in Australia [Internet]. 2019.
6. The Space-based Weather and Climate Extremes Monitoring (SWCEM) — East Asia and Western Pacific Regional Sub-project in Operation — Implementation Plan [Internet]. 2019.



# Женщины играют ведущую роль в науке на тихоокеанских островах

Сильви Кастонгэ, Секретариат ВМО



Участники семинара в Самоа по обучению лидерским навыкам в рамках проекта КРСЗП по малым островным развивающимся государствам (МОСРГ) Тихоокеанского региона, включая заместителя премьер-министра и верховного вождя Самоа достопочтенную Фиаме Наоми Мата'афа

Изменение климата и его последствия затрагивают всех членов общества — женщин, мужчин, девочек и мальчиков, — но не всегда одинаково. На широко разбросанных тихоокеанских островах с различными географическими условиями, культурами и социальными структурами эти различия усиливаются. Полин Поги, гидролог Отдела водных ресурсов Министерства природных ресурсов и охраны окружающей среды Самоа, заявила: «Женщины, особенно женщины, ухаживающие за детьми или престарелыми, относятся к группам, наиболее уязвимым к последствиям изменения климата. Поэтому их мнение имеет важное значение при рассмотрении вопросов, возникающих в этих тематических областях». В связи с этим заместитель премьер-министра и верховный вождь Самоа достопочтенная Фиаме Наоми Мата'афа призвала женщин-учёных в Тихоокеанском регионе быть примером для девочек, обучающихся в школе, и черпать силы друг у друга, сформировав сеть женщин тихоокеанских островов.

Инициатива КРСЗП (Климатические риски и система заблаговременных предупреждений) включает гендерный аспект в осуществление проектов в знак признания того факта, что представители разных полов имеют

разный доступ к предупреждениям и реагируют на них по-разному. Это позволяет национальным системам заблаговременных предупреждений, которые поддерживает ВМО, учитывать гендерные факторы. Культура, социальные и религиозные структуры и институциональные системы являются основными факторами, влияющими на гендерные роли в семье и в более широком сообществе. Гендерные роли разные, поэтому передача заблаговременных предупреждений о рисках, а также сами риски могут восприниматься по-разному. В рамках проекта КРСЗП по малым островным развивающимся государствам (МОСРГ) Тихоокеанского региона женщинам, работающим в национальных метеорологических и гидрологических службах, предложено обучение лидерским навыкам с тем, чтобы дать им возможность и полномочия учитывать гендерные аспекты в своей работе, смело призывать девушек к выбору научной карьеры, а также создать мощную сеть женщин-лидеров в островных государствах Тихого океана.

В ознаменование Международного женского дня 8 Марта 2020 года ВМО организовала интервью с женщинами из островных государств Тихого океана, которые возглавляют эту инициативу.



## Полин Поги

Главный сотрудник, Отдел водных ресурсов, Министерство природных ресурсов и охраны окружающей среды, Самоа

### О своей карьере в гидрологии

Меня всегда интересовало управление водными ресурсами, так как я считаю, что вода — это один из важнейших природных ресурсов для поддержания жизни на Земле. Самоа посчастливилось обладать изобилием водных ресурсов, и мы стремимся сохранить это с учётом роста численности населения. Очень важно обеспечить наличие достаточного количества водных ресурсов для будущих поколений, но существует проблема, состоящая в том, что нужно попытаться изменить мышление людей, которые считают воду «бесплатной», с целью убедить их использовать её более мудро и экономно. Мы стремимся просвещать наши общины о важности управления водными ресурсами. Это достигается посредством программ вовлечения общин и обеспечения участия людей в разработке инструментов управления водными ресурсами, а также путём развития чувства сопричастности среди наших людей к заботе о наших водных ресурсах. Наш подход до сих пор был очень успешным, мы нацелены двигаться вперёд, используя его в качестве основы.

### Женщины и изменение климата

Женщины, особенно женщины, ухаживающие за детьми или престарелыми, относятся к группам, наиболее уязвимым к последствиям изменения

климата. Поэтому их мнение имеет важное значение при рассмотрении вопросов, возникающих в этих тематических областях.

### Женщины в науке

Научную карьеру и карьеру в технических областях часто называют «мужской работой», и эту психологическую установку необходимо изменить. Также обычно считается, что курсы обучения, соответствующие выбору научной карьеры, больше подходят для мужчин. Часто женщины не верят в собственные силы, когда речь заходит о том, в какой профессиональной деятельности они могут преуспеть, и является ли научная деятельность одной из них.

Женщинам необходимо расширять свои права и возможности и быть прекрасным примером для подражания для молодых женщин. Те, кто уже работают в научной области, должны продвигаться по служебной лестнице и оказывать влияние, чтобы молодые женщины могли расширить свои права и возможности и добиться успеха в области, где в основном доминируют мужчины.

Качества, которые я стремлюсь приобрести, а также хотела бы видеть в сильных женщинах-лидерах — это уверенность, сочувствие, честность, мотивация и коммуникабельность.





**Россилин Пулеэтоа-Митиэпо**  
Директор Метеорологической  
службы Ниуэ

### О своей карьере в области климата

В школе я выбирала научные предметы, так как мне нравится изучать физические динамические процессы, чтобы понять, почему всё устроено так, как устроено. Затем я подала заявку на получение стипендии для работы в качестве помощника прогнозиста, и с этого момента смогла построить карьеру в области погоды, которая позднее охватила климат и проблемы изменения климата.

### О стремлении к успеху

Я всегда вспоминаю рассказ моего отца о том, насколько трудной была жизнь в его молодые годы, когда он пешком преодолевал значительное расстояние до школы и использовал дневной свет для выполнения домашних заданий, так как в его доме не было электричества. Когда он устроился на работу, и у него родились дети, он усердно трудился, чтобы накормить всех нас. Это ещё больше подтолкнуло меня к использованию возможностей, которые появлялись, для того, чтобы стать успешной.

### Трудности

Это было серьёзное испытание, когда меня назначили исполняющим обязанности директора на два года, а затем я официально заняла эту должность. Теперь я стремлюсь превратить своих сотрудников в сильных будущих лидеров. Находясь на руководящей должности впервые, я понимаю, что на моих плечах лежит большая ответственность.

Быть сильной женщиной-лидером означает быть смелой и иметь чувство собственного достоинства. Неверие в себя — это то, что может удержать женщин от научной карьеры. Как только они сделают решительный шаг и изменят свою систему убеждений, результаты их поразят.

Нам необходимо создать региональный женский научный форум, чтобы поднимать и обсуждать вопросы и реализовывать решения для продвижения вперёд. Женщины обладают способностью руководить работой по повышению устойчивости уязвимых групп населения и общин.



## Селувия 'Иолахия

Старший прогнозист,  
Метеорологическая служба Тонга  
(Министерство метеорологии,  
энергетики, информации, борьбы  
с бедствиями, окружающей среды,  
изменения климата и коммуникаций)

### Трудности, связанные с сочетанием семейных и служебных обязанностей

На протяжении всех моих школьных лет математика и естественные науки всегда были моими любимыми предметами. Самыми большими трудностями, с которыми я столкнулась во время учёбы, были деньги и семья. Я изо всех сил старалась ухаживать за матерью, младшими братьями, сёстрами и моим 9-летним сыном. Моё самое большое достижение — это моя роль на работе: я возглавляю отдел климата, продолжая, при этом, получать высшее образование.

То, что сдерживает женщин, находится в сознании человека. Мать должна воспитывать своих детей в позитивном направлении, объясняя им с самого раннего возраста важное значение равенства. Пока дети маленькие, их нужно учить понимать, что в школе можно делать всё, что угодно, и что у всех везде есть равные возможности.

### Участие женщин в осуществлении повестки дня в области изменения климата

Изменение климата и погода являются очень важными темами. Женщины служат для всех хорошим

примером для подражания, особенно когда дело доходит до того, чтобы возглавить инициативы, направленные на перемены.

### Качества, необходимые для сильного лидера

Я считаю, что сильная женщина-лидер должна быть мужественной, бесстрашной, уверенной и всем сердцем должна доверять Богу.

### У всех нас своя роль

Поощряйте своих коллег-женщин на рабочем месте. Используйте посещение школьниками подразделений метеорологической службы как подходящий момент для того, чтобы рассказать учащимся о важности науки. Будьте примером для подражания, будьте сильными, творческими, лояльными, помогайте друг другу и, самое главное, имейте крепкую веру и твёрдую уверенность.



**Элино́р Луту-Макмур**  
Директор Национальной  
метеорологической службы —  
Паго-Паго (Американское Самоа),  
Национальное управление США  
по исследованию океанов  
и атмосферы (НУОА)

**О своей карьере в метеорологической службе**

Я начала свою карьеру в Бюро национальной метеорологической службы (БМС) в Американском Самоа в 2005 году в качестве техника-метеоролога. Когда я была членом коллектива БМС Паго-Паго, я поняла, что лучший способ использовать мою степень в области делового администрирования — это стать метеорологом. В 2008 году я решила получить диплом бакалавра по метеорологии в Гавайском университете (ГУ) в Маноа и завершила обучение за два года. По окончании учёбы я начала стажировку в Бюро национальной метеорологической службы США в Гонолулу, а спустя немного времени стала работать на полную ставку. В 2012 году я получила степень магистра государственного администрирования (МГА), а через год вновь вернулась в Американское Самоа в качестве прогнозиста в БМС Паго-Паго, поскольку для меня было важно служить моему сообществу. В 2017 году я стала директором БМС Паго-Паго.

Я столкнулась со многими трудностями на пути к тому, чтобы стать метеорологом; однако меня учили всегда смотреть на них, как на уроки жизни,

которые я могла бы усваивать и развиваться. Понимание того факта, что предназначение трудностей в том, чтобы вооружить меня инструментами для прохождения моего жизненного пути, сделало меня тем человеком, которым я являюсь сегодня. Я буду продолжать передавать эти уроки моим детям, которые являются моим величайшим достижением.

Для меня большая честь и счастье быть директором БМС Паго-Паго. Мои сотрудники — это моя семья, и поиск новых путей быть ещё более полезным для них всегда является для меня поучительным опытом. Возможность обеспечить удовлетворение потребностей моих сотрудников позволяет нам предоставлять обслуживание, которое заслуживает наше население. Кроме того, это позволяет нам предоставлять нашим местным специалистам по чрезвычайным ситуациям и руководителям информацию, необходимую для принятия жёстких решений для нашего населения.

За время прохождения своего жизненного пути я встретила очень много людей, с кем-то эти встречи были мимолётными, а кто-то сохранился в памяти. Каждый человек научил меня чему-то и

внёс свой вклад в то, чтобы я стала тем человеком, которым являюсь сейчас, и за это я им благодарна. Я отдаю всю славу и честь Богу, моей семье за их поддержку и терпение, моему самоанскому народу и культуре.

### Женщины в метеорологии

Женщины всегда были терпеливыми хранительницами очага. Они без паники реагируют на любую надвигающуюся опасность для своих семей и общин. В регионе, где женщины являются сокровищами общин и семей, где ценятся их терпение и педагогические навыки, тихоокеанские женщины-лидеры могут присоединиться к голосам нынешних и прошлых руководителей Тихоокеанского региона относительно подготовки островных общин к любому надвигающемуся стихийному бедствию с тем, чтобы наши острова могли и далее сохранять жизнестойкость.

Я счастлива, что живу в стране с безграничными возможностями, и я счастлива, что работаю в учреждении федерального правительства, которое проводит политику, направленную на защиту любого человека от дискриминации. Возможностей много, и они могут быть реализованы с помощью упорного труда и энтузиазма. Я считаю научную карьеру трудной, но трудности могут быть преодолены за счёт настойчивости и способности использовать имеющиеся ресурсы и обращаться за рекомендациями к тем, кто уже добился успеха в этой области.

### Женщины-лидеры

Каждая женщина проходит свой жизненный путь. В соответствии с культурой тихоокеанских островов нас воспитывают так, чтобы мы учились у тех, кто был до нас, задавали вопросы, слушали и были полезными, чтобы затем вести за собой. Женщины играют ключевую роль в структуре любой семьи, деревни или общины. Признать сильные стороны, которые они привносят для выполнения каких-либо задач, независимо от того, насколько они малы или велики, значит признавать разные типы лидеров, которые есть в наших общинах. В области науки женщин-лидеров мало. Именно поэтому признание каждой из них и той роли, которую они продолжают играть для успеха своей миссии и служения, имеет большое значение. Кроме того, идея создать программу наставничества, которая может вдохновить будущих женщин-лидеров в нашем регионе, может также проложить путь к увеличению числа женщин-лидеров в науке.

Сильные женщины-лидеры служат источником вдохновения, проявляют гибкость в своих подходах к обучению и поощрению. Они признают сильные стороны людей, которые находятся у них в подчинении и являются прекрасными слушателями. Они скромны, но в то же время бесстрашны в отстаивании того, что правильно, чтобы принести большую пользу своей общине и стране. Они самоотверженны и полны желания служить, неравнодушны и трудолюбивы.

# Хронология развития науки о погоде в ВМО

1916



октябрь 1916  
Кливленд Эббе  
(1838–1916)  
Американский  
метеоролог  
и астроном



март 1917 – май 1991  
Джон Чанг  
(1917–1991)



март 1917 – февраль 2008  
Эдвард Лоренц  
(1917–2008)



ноябрь 1905  
Вильгельм Бьеркнес —  
Основатель современной  
метеорологии  
Комментарий Эйстейна  
Хова



декабрь 1905  
Вильгельм Бьеркнес

Посетите виртуальный музей «Хронология развития науки о погоде в ВМО» и совершите короткое путешествие в историю изучения погоды, следуя по стопам людей и учреждений, которые поддерживали развитие науки о системе Земля.





## 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](mailto:wmo@wmo.int) — Веб-сайт: [www.public.wmo.int](http://www.public.wmo.int)

ISSN 0250-6076