



ВСЕМИРНАЯ  
МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКАЯ  
ОРГАНИЗАЦИЯ

# БЮЛЛЕТЕНЬ

Том 70 (1) — 2021 г.

ПОГОДА КЛИМАТ ВОДА

## Океан, наш климат и погода



**2021** Десятилетие науки об океане  
**2030** в интересах устойчивого развития  
Организации Объединенных Наций

# БЮЛЛЕТЕНЬ ВМО

Журнал Всемирной  
метеорологической  
организации

Том 70 (1) — 2021 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)  
П. Эгертон (политика)  
Й. Стандер (обслуживание)  
Й. Лютенбахер (наука, инновации)  
М. Пауер (обслуживание Членов)  
Э. Ри (инфраструктура)  
Й. Кульман (вода и криосфера)  
М. Дилли (климат)  
С. Граймс (океан)  
Д. Иванов (государственно-частное взаимодействие)  
С. Кастонгэ (секретарь)

## 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, 2021

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.

Front cover photo: Will Eades, Port Macquarie, Australia

# Содержание

Предисловие	
Петтери Таалас и Питер Томсон . . . . .	2
<b>Океан, погода, климат и система Земля — новые подходы и перспективы на совместное будущее</b>	
Луис У. Уччеллини . . . . .	4
<b>Сотрудничество для обеспечения лучшего будущего</b>	
Сара Граймс . . . . .	8
<b>ИМО и ВМО — Предоставление информации о погоде для поддержки безопасной навигации</b>	
Хайке Деггим . . . . .	10
<b>МГО и ВМО — более века сотрудничества</b>	
Дэвид Вятт . . . . .	13
<b>От взаимодействия между океаном и атмосферой до сотрудничества между МОК и ВМО</b>	
Владимир Рябинин . . . . .	15
<b>Связь океана и климата</b>	
Сабрина Спайч и Вейдун Ю . . . . .	18
<b>Роль океана в условиях изменяющегося климата</b>	
Ханс-Отто Пёртнер . . . . .	20
<b>Глобальные климатические показатели: теплосодержание океана, закисление, деоксигенация и голубой углерод</b>	
Кирстен Айзензи, Катерина Шу, Джон Кеннеди, Карина фон Шукманн, и Омар Баддур и Макс Дилли . . . . .	24
<b>Исследование климата и океана: Всемирная программа исследований климата (ВПИК)</b>	
Майкл Спарроу . . . . .	29
<b>Осмысление прошлого, чтобы понять будущее: исторические записи изменений в океане</b>	
Роб Аллан, Кевин Вуд, Эрик Фриман, Клайв Уилкинсон, Аксель Андерссон, Эндрю Лорри, Филип Брохан, Мартин Стендель, Джон Кеннеди. . . . .	36

Программы наблюдений за океаном для мониторинга климата и удовлетворения социальных потребностей: роль ГЭНОФК Сабрина Шпайх и Вейдун Ю . . . . .	43	<b>Прогнозирование экстремальных температур океана во временных масштабах, удобных для управления морскими ресурсами</b> Клэр Спиллман и Алистер Хобдей . . . . .	90
Глобальная служба криосферы — информация о морском льде для науки и оперативной деятельности Петра Хайль, Пенелопа Вагнер, Ник Хьюз, Томас Лаверн и Родика Ниту . . . . .	48	От нас к нам — расширение морского метеорологического и прибрежного обслуживания в Индонезии и за её пределами Двигорита Карнавати, Гусванто, Нелли Флорида Риама, Эко Прасетьо, Анни Арумсари Фитриани, Андри Рамдхани, Байу Эдо Пратама и Сучи Деви Ануграх . . . . .	93
От СКОММОПС к ОкеанОПС: поддержка океанографических и морских метеорологических наблюдений in situ Матье Бельбеоч и Эмануэла Рушано . . . . .	52	Вихревой мир — тропические циклоны и океан Анн-Клэр Фонтан, Таюун Пэн, СяоЧжоу, Сара Граймс Эстель де Конинг, Чжо Ван, Нанетт Ломарда, Чампика Галладж, Сирил Оноре, Юрг Лютербахер, Энтони Ри, Йохан Стандер . . . . .	95
<b>Шкиперы регаты Vendee Globe совершают кругосветное плавание и проводят наблюдения за океаном!</b> Эмануэла Рушано, Матье Бельбеок, Эмма Хеслоп и Альберт Фишер . . . . .	55	Система заблаговременных предупреждений о многих опасных явлениях (СЗПМОЯ) — инструмент для эффективного прогнозирования состояния океана и обслуживания Агнес Киджази, Уилберт Муруке, Мохамед Нгвали, Уилберфорс Кикваси, и Мэтью Ндаки . . . . .	98
Защита буёв для нашей безопасности Чампика Галладж и Сара Граймс . . . . .	60	Наука об океане для обслуживания в малых островных развивающихся государствах Арлин Лэйнг, Офа Фаануну и Дэвид Фаррелл . . . . .	101
Прогнозирование океана — моделирование для будущего Фрейзер Дэвидсон, Эндрю Робертсон, Фредерик Витар, Энтони Ри, Мишель Жан, Андреас Шиллер, Томас Дж. Кафф, Сара Граймс, Юнха Лим, Эстель де Конинг, Пейлянь Ши . . . . .	62	Системы заблаговременных предупреждений о многих опасных явлениях: Инициатива по прогнозированию наводнений в прибрежной зоне Вэл Суэйл . . . . .	105
Продукция и обслуживание с учётом меняющегося океана Томас Дж. Кафф, Вэл Суэйл, Сара Граймс, Кристин Бассетт, Йохан Стандер, Ян Лиск, Сирил Оноре, Уилфран Муфума Окиа, Патрик Пэрриш и Чжичао Ван . . . . .	76	<b>Прогнозирование и обслуживание для южной части Атлантического океана</b> Даниэль Пейшото де Карвалью . . . . .	107
Экстремальная морская погода: повышение безопасности жизни на море Джозеф Сенкевич и Томас Дж. Кафф . . . . .	84	Организация работ по ликвидации разлива нефти и спасению в Индийском океане Пьер Даниэль и Ренганаден Вирасами . . . . .	109
Скольжение по тонкому льду: вызовы меняющейся Арктики Томас Дж. Кафф, Келд Квистгаард, Джон Паркер и Кристин Бассетт . . . . .	86		
Мониторинг ЭНЮК и организация океанографического и климатического обслуживания — роль МНИЦЭН Фелипе Коста ду Карму и Хуан Хосе Ньето . . . . .	88		



# Предисловие

## Профессор Петтери Таалас

Всемирный метеорологический день знаменует собой годовщину Всемирной метеорологической организации, которая отмечается ежегодно 23 марта. В этом году выбрана тема «Океан, наш климат и погода».

Эта тема является напоминанием о том, что происхождение ВМО и её предшественницы — Международной метеорологической организации — связано с морской историей. Когда в 1800-х годах корабли пересекали открытый океан для торговли, транспорта и изыскательных работ, обмен погодной информацией в море имел решающее значение для безопасного плавания. Это было началом международного сотрудничества в области метеорологии. Действительно, Мэтью Мори, военно-морского офицера США, океанографа и метеоролога, инициировавшего Первую Международную конференцию по метеорологии в Брюсселе в 1853 году, с любовью называют «отцом современной океанографии и военно-морской метеорологии».

Взаимодействие между океаном и атмосферой является важным компонентом для понимания климатических и погодных процессов. Во время всё более интенсивных и частых опасных природных явлений, когда люди начинают ощущать последствия изменения климата, многие из которых связаны с океаном, как никогда важно понимать и придавать большое значение тесным связям между океанографией и метеорологией, что находит отражение в рамках реализуемого ВМО подхода, ориентированного на систему Земля в целом.

Ежегодный доклад ВМО о состоянии глобального климата показывает, что 2020 год был одним из трёх самых тёплых лет за всю историю наблюдений, несмотря на развитие охлаждения в Тихом океане, обусловленного Ла-Нинья. Многие страны испытали длительные засухи, которые продлили сезон пожаров во всём мире, усилили лесные пожары, например, разрушения в Австралии были связаны с температурой океана, оказавшей влияние на развитие более засушливых сезонных климатических условий. Высокие температуры океана способствовали формированию рекордного сезона ураганов в Атлантике и необычайно интенсивных тропических циклонов в Индийском океане и южной части Тихого океана. Ущерб, нанесённый штормовым нагоном в этих районах, продемонстрировал мощь океана и его разрушительное воздействие на прибрежные общины. Нетропические океанические

штормы также продолжали наносить серьёзный ущерб судам, что приводило к дополнительным человеческим жертвам и потере грузов на море. В 2020 году годовой минимум морского льда в Арктике был одним из самых низких за всю историю наблюдений. Общины в полярных районах пострадали от аномальных прибрежных наводнений и бедствий, связанных с морским льдом, в результате таяния льда.

Понимая океан и предоставляя обслуживание, связанное с океаном, ВМО высоко ценит многие прочные партнёрские связи, имеющие решающее значение для поддержки Членов ВМО в укреплении метеорологического, океанографического и климатического обслуживания. Международная морская организация (ММО), Международная гидрографическая организация (МГО) и Межправительственная океанографическая комиссия (МОК) ЮНЕСКО являются тремя ключевыми партнёрами из многих, принимающих участие в этой деятельности.

Празднуя Всемирный метеорологический день с тематикой по океану, ВМО также отмечает начало Десятилетия науки об океане в интересах устойчивого развития Организации Объединённых Наций (2021–2030 гг.) посредством публикации данного специального «океанического» выпуска Бюллетеня ВМО. В этом выпуске вы найдёте очень интересную и впечатляющую подборку материалов, отражающих широту деятельности в области океана, которую осуществляют ВМО, Члены и партнёры.

Параллельно с этим ВМО является учреждением, выдвигающим кандидатуры на получение престижной премии Earthshot Prize (с 2021 по 2030 год), которая стимулирует решения для поддержки столь необходимой работы по пониманию океана и климата в целях устойчивого развития. Вместе с тем я рассчитываю на сотрудничество со всеми вами по всему миру, принимая во внимание высокую активность, новаторство и приверженность со стороны Членов, партнёров и гражданского общества в развитии знаний, понимания и обслуживания в области «Океана, нашего климата и погоды».

**Петтери Таалас**  
Генеральный секретарь  
Всемирной метеорологической организации

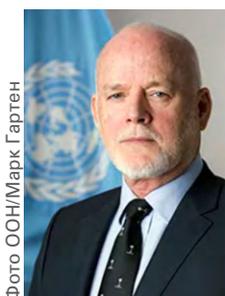


Фото ООН/Марк Гартен

# Предисловие Посол Питер Томсон

Являясь выходцем из островного региона и пережив множество экстремальных погодных явлений, я с огромным уважением отношусь к метеорологам. Я часто ловлю себя на том, что напеваю всем известную строчку из песни Саймона и Гарфункеля: «Я получаю все новости, которые мне нужны, в сводке погоды»; поэтому прежде всего от имени моряков, подвергающихся риску, уязвимых прибрежных жителей, зависящих от дождя фермеров и многих других, я хочу поблагодарить всех вас, людей, занимающихся прогнозированием погоды, за ту огромную работу, которую вы делаете в наших интересах.

Жизнь в детском и подростковом возрасте на вулканическом острове в южной части Тихого океана также дала мне возможность непосредственно наблюдать за гидрологическим циклом и из первых рук узнать о неразрывной связи между океаном и климатом. Даже для юношеского ума было совершенно очевидно то, как океан управляет круговоротом воды, погодой и климатом; как он становится причиной лёгкого дождя, от которого зеленеют наши поля, и как время от времени его мощная энергия вызывает невероятно разрушительные штормы.

Меня до сих пор удивляет, что, хотя океан покрывает более 70 % поверхности планеты и служит прибежищем для большей части форм жизни на этой планете, в очень многих наших экономических и научных начинаниях океан просто игнорируется. Фактически подавляющее большинство свойств океана остаются не известными науке, и мы лишь поверхностно оцениваем потенциальные преимущества устойчивой голубой экономики. Пришло время изменить всё это к лучшему, неизменно руководствуясь принципом устойчивости и привнося таким образом большее уважение и баланс в наши отношения с океаном.

Во времена надвигающегося климатического кризиса Генеральный секретарь Организации Объединённых Наций Антониу Гутерриш сказал, что человечество ведёт войну против природы и что нам пора заключить мир. Теперь мне ясно, что интересы океана должны быть в полной мере представлены за столом мирных переговоров. Наряду с энергией солнца океан является важным регулятором, поэтому мы должны проявлять к нему полное уважение, которого он требует от нас.

Чтобы понять, что от нас ожидается, нам нужно больше узнавать и понимать. Океан поглощает более 90 % тепла, удерживаемого в результате увеличения выбросов парниковых газов. Это согрело его воды, что привело к морским волнам тепла, гибели кораллов, таянию льда и повышению уровня моря. Чем лучше мы понимаем взаимосвязь между океаном, погодой и климатом, тем лучше можем прогнозировать погодные и климатические опасные явления как на суше, так и в океане, и подготовиться к ним.

В начале 2021 года мы начали Десятилетие науки об океане в интересах устойчивого развития Организации Объединённых Наций, в течение которого мы ожидаем стать свидетелями огромного всплеска знаний об океане. Я не сомневаюсь, что приверженность ВМО успешному проведению Десятилетия будет играть большую роль в достижении согласованных целей Десятилетия по созданию безопасного, предсказуемого и понятного океана.

Я благодарю авторов этого бюллетеня за плодотворную работу, выполняемую по всему миру; и от имени всех, кто привержен поддержанию здорового океана, я благодарю ВМО за выбор темы «Океан, наш климат и погода» в качестве темы Всемирного метеорологического дня в этом году.

**Питер Томсон**

Специальный посланник Генерального секретаря  
Организации Объединённых Наций по океанам

# Океан, погода, климат и система Земля — новые подходы и перспективы на совместное будущее

Луис У. Уччеллини, Национальное управление по исследованию океанов и атмосферы США (НУОА), директор Национальной метеорологической службы; постоянный представитель США при ВМО и сопредседатель Совместного совета по сотрудничеству ВМО-МОК (ССС)

*«Если вам нравится ваш 7-дневный прогноз погоды, поблагодарите океанографа». — Крейг Маклин<sup>1</sup>*

Как метеоролог я очень люблю эту цитату. Я часто ссылаюсь на неё, когда объясняю людям огромные изменения, произошедшие в метеорологическом сообществе за последние годы. Я думаю, что она отражает суть нашего растущего понимания того, что погода, вода, климат и океаны неразрывно связаны, и поэтому наша работа как отдельных метеорологических и гидрологических учреждений, а также наша совместная работа теперь должны отражать подход, ориентированный на комплексное исследование системы Земля (КИСЗ). Подход КИСЗ рассматривает планету в целом, связывая атмосферу, океан и гидросферу, земную сферу, криосферу и даже биосферу. Каждый компонент влияет на другие компоненты, и понимание океанов является неотъемлемой составляющей нашей способности предсказывать состояние системы Земля.

## Исторические изменения

Результатом такого сдвига стало историческое и значимое изменение в методах работы метеорологов и их миссии. Благодаря быстрому технологическому прогрессу и быстрому распространению научных данных и информации, поступающих в наше распоряжение, мы перешли от базовых прогнозов к предоставлению более быстрых, точных, предусматривающих оценку воздействий прогнозов, продукции и обслуживания, адаптированных к потребностям наших пользователей и партнёров для поддержки принятия решений. Эти решения затрагивают повышение уязвимости общества к экстремальным погодным, водным и климатическим явлениям, на которые оказывает влияние ускорение глобального изменения



*Структура исследований системы Земля, объединяющая атмосферу, океан, гидросферу и криосферу, включая фундаментальные биологические и химические составляющие, а также влияние человеческих факторов (рисунок любезно предоставлен Корпорацией университетов для исследования атмосферы).*

климата. Кроме того, в мире растёт спрос на интеллектуальные экологические системы, часто используемые на междисциплинарной основе. Это повышает важность интеграции наших прогнозов и средств поддержки принятия решений в разных погодных, гидрологических и климатических ситуациях.

Поскольку общество становится всё более уязвимым к экстремальным погодным, водным и климатическим явлениям, потребность в более комплексном подходе КИСЗ становится насущной как никогда. Спрос на всё более полезную, доступную и авторитетную метеорологическую, гидрологическую и океанографическую информацию и обслуживание растёт, поскольку мы коллективно стремимся реализовывать разумные решения по смягчению последствий и адаптации с

<sup>1</sup> НУОА, помощник руководителя по исследованию океанов и атмосферы; представитель США в МОК и член Совета по исследованиям ВМО.



Фото ООН/Марк Гартен

*Церемония закрытия 21-й сессии Конференции сторон (КС-21) Рамочной конвенции Организации Объединённых Наций об изменении климата (РКИК ООН) после исторического принятия Парижского соглашения.*

помощью граждан, правительств на всех уровнях и международных организаций. Эта информация и обслуживание имеют решающее значение для поддержки национальных программ по снижению риска бедствий и адаптации к изменению климату, а также для повышения устойчивости к экстремальным погодным, климатическим и водным явлениям со значительными воздействиями и последствиями. Они также обеспечивают необходимую основу для поддержки разработки и осуществления национальных планов адаптации в рамках Парижского соглашения Рамочной конвенции Организации Объединённых Наций об изменении климата и других потребностей системы ООН для управления гуманитарной деятельностью и регулирования кризисных ситуаций.

В ответ на эти вызовы ВМО осуществляет процесс исторических изменений. В 2019 году 18-й Всемирный метеорологический конгресс принял несколько важнейших решений, чтобы дать Организации и её Членам возможность сломать бюрократические и дисциплинарные перегородки для более качественного удовлетворения потребностей общества. Одним из решений было принятие Стратегического плана ВМО, который устанавливает новый курс для ВМО, обеспечивая его актуальность на грядущие десятилетия путём создания структуры, в рамках которой Члены могут успешно удовлетворять такие потребности. К 2030 году ВМО видит мир, в котором все страны, особенно наиболее уязвимые, будут

более устойчивыми к социально-экономическим последствиям экстремальных погодных, климатических, водных и других экологических явлений; их устойчивое развитие будет поддерживаться за счёт предоставления максимально эффективного обслуживания, будь то на земле, на море или в воздухе. Отражая комплексный и всеохватывающий подход, новый Стратегический план:

- содействует применению в полной мере комбинированного подхода, ориентированного на систему Земля в целом, в науке и технологии;
- повышает уровень понимания потребностей заинтересованных сторон и улучшает предоставление услуг;
- охватывает развитие и рост партнёрств и развитие потенциала, что расширяет возможности Членов ВМО для наблюдений, прогнозирования и обслуживания, включая возможности растущего частного сектора.

Благодаря этому процессу ВМО повысила значимость океана как важного компонента системы Земля. Члены приветствовали это и согласились с тем, что ВМО следует продолжать применять стратегический подход, обеспечивающий работу по широкому спектру, связанную с океаном, чтобы деятельность была бы взаимосвязана внутри ВМО и охватывала основные партнёрства.

## ВМО и партнёрские связи в области океана

Использование комплексного подхода, ориентированного на систему Земля в целом, также означает, что сообщества, занимающиеся вопросами океана и атмосферы, должны работать в более тесном контакте и сотрудничать по всей цепочке создания стоимости, которая включает в себя наблюдения, управление данными, моделирование и прогнозирование, а также предоставление обслуживания. Эта цепочка создания стоимости опирается на междисциплинарные исследования, а также на наращивание потенциала. Для поддержки этих намерений (также в 2019 году) 18-й Конгресс и 13-я сессия Межправительственной океанографической комиссии (МОК) ЮНЕСКО создали Совместный совет по сотрудничеству между ВМО и МОК (ССС). СССР является консультативным и координационным органом для поддержки сотрудничества на высоком уровне и широкого участия соответствующих органов ВМО и МОК с намерением работать вместе для достижения общих целей.

В настоящее время СССР разрабатывает Совместную стратегию по поддержанию, укреплению и развитию связей между сообществами, занимающимися погодой, климатом и океаном, с целью реализации концепций развития как ВМО, так и МОК.

В рамках этой стратегии мы видим возможности для совместной работы для улучшения научного диалога и междисциплинарного обслуживания, чтобы сделать его более доступным для развивающихся стран. Кроме того, мы видим возможности для совместного развития глобальной системы наблюдения и численного моделирования, чтобы обеспечить основу для эффективного удовлетворения растущих требований к решениям, связанным с широким спектром применений — от безопасности на море и транспорта до сельского хозяйства, энергетики, здравоохранения и управления водными ресурсами.

ССС располагает всем необходимым, чтобы обеспечить возможность для улучшения координации и сотрудничества между хорошо зарекомендовавшими себя региональными органами ВМО и МОК, такими как региональные ассоциации ВМО

и региональные альянсы Глобальной системы наблюдений за океаном (ГСНО). Национальные метеорологические и гидрологические службы (НМГС) государств и территорий — членов ВМО и национальные океанографические учреждения теперь будут иметь возможность более тесно сотрудничать в целях улучшения прогнозов погоды, в том числе для экстремальных явлений. Кроме того, партнёрские связи с другими органами ООН, например с Международной морской организацией (ИМО) по вопросам судоходства и Продовольственной и сельскохозяйственной организацией (ФАО) по вопросам рыболовства, можно использовать для содействия более широкому пониманию прибрежными государствами проблем, связанных со сбором данных об океане и научно обоснованными мерами по обеспечению устойчивости.

Я считаю, что мы можем успешно решить эти глобальные проблемы, действуя в духе партнёрства между многими дисциплинами физических и социальных наук. Мы должны воспользоваться достижениями в нашей области, чтобы гарантировать всем Членам возможность эффективно реагировать на растущую уязвимость к экстремальным погодным, водным и климатическим явлениям. Вместе мы можем обеспечить предоставление научных знаний и обслуживания, необходимых для смягчения последствий экстремальных явлений и защиты жизни и средств к существованию во всём мире.

# Сотрудничество для обеспечения лучшего будущего

Сара Граймс, Секретариат ВМО



**2021** Десятилетие науки об океане  
**2030** в интересах устойчивого развития  
Организации Объединенных Наций

*«Отдельно мы одна капля; но вместе мы океан» — Рюносоке Саторо*

Совместная цель — основа прочного партнёрства. ВМО, как специализированное учреждение Организации Объединённых Наций по вопросам погоды, климата и воды, ведёт работу в направлении более глубокого понимания системы Земля, включая важные связи между океаном, климатом и погодой. Более глубокое понимание мира, в котором мы живём, поможет, помимо прочего, улучшить прогнозы погоды, оценить последствия изменения климата и управлять водными ресурсами. Эти навыки в свою очередь помогут странам укрепить свою способность защищать жизнь и имущество от стихийных бедствий путём снижения риска бедствий и поддерживать жизнеспособную экономику. С этой целью ВМО функционирует в общем пространстве совместно с различными партнёрами для реализации и поддержки различных международных инициатив высокого уровня. К их числу среди многих других относятся Цели в области устойчивого развития Организации Объединённых Наций, Сендайская рамочная программа по сокращению риска бедствий, Парижское соглашение Рамочной конвенции об изменении климата Организации Объединённых Наций и Международная конвенция об охране человеческой жизни на море.

При работе в этом общем пространстве жизненно важное значение имеют партнёрские связи. В рамках системы Организации Объединённых Наций ВМО и другие учреждения, занимающиеся вопросами океана, образуют сеть «ООН-океаны». Этот межучрежденческий механизм повышает координацию, согласованность и эффективность внутри участвующих организаций и при взаимодействии с другими международными организациями. Десятилетие науки об океане в интересах устойчивого развития Организации Объединённых Наций, стартовавшее в январе 2021 года, укрепит тесное сотрудничество в рамках сети «ООН-океаны» и с другими партнёрами в целях обеспечения более высокого уровня взаимодействия, чтобы обмениваться идеями и инициативно вырабатывать решения для устойчивого развития океана.

ВМО гордится сотрудничеством с широким кругом партнёров для достижения общей цели, заключающейся в поддержке стран и служении общему благу. В следующих статьях рассказывается о трёх основных партнёрах ВМО по океану: Межправительственной океанографической комиссии (МОК) ЮНЕСКО, Международной морской организации (ИМО) и Международной гидрографической организации (МГО).



*В состав ООН-океаны входит много учреждений-участников, сотрудничающих с целью укрепления совместных усилий в деятельности по океану.*

# ИМО и ВМО — Предоставление информации о погоде для поддержки безопасной навигации

Хайке Деггим, директор Отдела безопасности на море, Секретариат ИМО



«Какие максимальные ветры ожидаются в районе шторма?» Это одна из стандартных фраз при обеспечении связи на море в рамках Международной морской организации (ИМО), которую офицеры, отвечающие за навигацию судов, должны уметь использовать и понимать на английском языке независимо от их национальности.

Около 1,6 миллиона моряков обеспечивают работу 60 000 океанских морских грузовых судов со всего мира, пересекающих земной шар и перевозящих 11 миллиардов тонн товаров ежегодно, что составляет 80% мирового товарооборота<sup>1</sup>. С сильным ветром, волнами, туманом и штормами, то есть с погодой, которая влияет на безопасность судоходства, можно встретиться в каждом плавании. Это было признано в первой Международной конвенции по охране человеческой жизни на море (СОЛАС), принятой после печально известной катастрофы «Титаника» в 1912 году. Договор СОЛАС 1914 года учредил международный ледовый патруль, действующий по сей день для наблюдения за айсбергами в Северной Атлантике, и включил в себя «Кодекс для радиотелеграфной передачи информации, связанной со льдом, дрейфующими обломками и погодой<sup>2</sup>».

ИМО, созданная в 1948 году как специализированное учреждение Организации Объединённых Наций для разработки стандартов безопасного, безвредного для окружающей среды, надёжного и эффективного судоходства, приняла и обновила Конвенцию СОЛАС, которая насчитывает в настоящее время 166 Договаривающихся правительств, что составляет 98,98% мирового судоходства по тоннажу<sup>3</sup>. Глава Конвенции СОЛАС о безопасности мореплавания<sup>4</sup> устанавливает обязательства Договаривающихся правительств по выпуску и распространению метеорологической информации, прогнозов и предупреждений и призывает суда собирать метеорологические данные и обмениваться ими. Глава СОЛАС о радиосвязи содержит положения, регламентирующие функционирование Глобальной морской системы связи при бедствии и для обеспечения безопасности (ГМССБ), и требует, чтобы на судах было оборудование для приёма и передачи сигналов бедствия, информации о безопасности на море, средств связи, связанных с поиском и спасением, и других общих средств радиосвязи.

Сегодня тесное сотрудничество между ИМО, ВМО и Международной гидрографической организацией (МГО) гарантирует, что суда имеют автоматический

1 [Review of Maritime Transport 2020](#).

2 [Text of the Convention for the Safety of Life at Sea](#). Signed at London, January 20, 1914. Source: Open Library.

3 [IMO Status of Treaties](#).

4 SOLAS regulation V/5, in particular, refers to WMO publication WMO No.9, [Information for Shipping \(Volume D\) through resolution A.528\(13\)](#).



Моряки на судах  
(Фото: Саймон ЛеБрун)

доступ к информации о безопасности на море. Это включает навигационные предупреждения, метеорологические предупреждения и прогнозы, получаемые через Всемирную службу ИМО/ВМО метеорологической и океанографической информации и предупреждений (ВСМОИП)<sup>5</sup> и Всемирную службу навигационных предупреждений (ВСНП)<sup>6</sup>. Три организации координируют предоставление информации по безопасности на море<sup>7</sup>, что несомненно способствует планированию более безопасного плавания.

ВМО тесно сотрудничает с ИМО для поддержки более широкого использования оцифровки для интеграции данных о прогнозах погоды и сопутствующей информации в морское обслуживание в контексте «электронной навигации». Их цель состоит в том, чтобы унифицировать сбор и интеграцию морской информации для обеспечения безопасности на море и защиты морской среды. Основное внимание уделяется унификации формата и структуры морского обслуживания с учётом

потребностей пользователей, что в конечном итоге приведёт к осуществлению улучшенного и более эффективного технического обслуживания.

ИМО осознаёт, что нехватка данных по обширным районам океана (так называемые районы с недостаточным охватом данными) для поддержки базового прогнозирования погоды, предоставления морского метеорологического и океанографического обслуживания, а также анализа и исследований климата является проблемой в отношении как метеорологии, так и океанографии. Это побуждает моряков участвовать в Схеме судов добровольных наблюдений (СДН) ВМО, которая приглашает морские суда присоединяться к сбору данных морских метеорологических и океанографических наблюдений для поддержки прогнозирования, изучения изменения климата и исследовательских применений<sup>8</sup>. Сегодня в СДН зарегистрировано более 4000 судов; из них 2740 судов были определены в процессе работы в 2020 году, которые представили более 2,5 миллионов наблюдений (Источник: OceanOps, 2021). Сообщения с этих судов иногда являются единственными данными, доступными для отдалённых районов, например полярных регионов.

5 [IMO/WMO Worldwide Met-Ocean Information and Warning Service – Guidance Document](#) (resolution A.1051(27), as amended)

6 [World-Wide Navigational Warning Service](https://www.wco.int/en/our-work/activities/World-Wide-Navigational-Warning-Service) (resolution A.706(17), as amended) <https://www.wco.int/en/our-work/activities/World-Wide-Navigational-Warning-Service>

7 [Promulgation of Maritime Safety Information](#) (resolution A.705(17), as amended)

8 [Participation in the WMO voluntary observing ships scheme](#) (MSC.1/Circ.1293/Rev.1)

## Погода способствует гибели судов

За последние десятилетия количество крупных кораблей, погибших в море, снизилось со 130 в 2010 году до 41 — в 2019 году, при этом скользящее среднее значение составило 95<sup>9</sup>. Этот прогресс в значительной степени объясняется повышением безопасности судоходства за прошедшие годы благодаря, среди прочего, более широкому осуществлению договоров ИМО, повышенному вниманию к управлению безопасностью (в 1994 году был принят Международный кодекс управления безопасностью ИМО) и более строгими глобальными стандартами обучения (в рамках договора об обучении СОАН<sup>10</sup> ИМО). ИМО также возглавляет работу по наращиванию потенциала для поддержки более тесной координации контроля со стороны государства порта, процесса, с помощью которого государства инспектируют суда, прибывающие в их порты, для обеспечения соблюдения стандартов. Внедряется обязательная система проверки государств-членов для оценки способности государств выполнять свои обязанности в качестве государства флага, государства порта и прибрежного государства и предлагать техническую помощь для устранения пробелов, связанных с недостаточностью потенциала.

Тем не менее статистика аварий показывает, что «плохая погода» считается одним из факторов, способствующих гибели каждого пятого судна<sup>11</sup>. Несмотря на то, что расследование каждой аварии может дать представление о точной цепочке событий, ведущих к потере, существует очевидная необходимость для ИМО, ВМО и МГО продолжать совместную работу по изучению способов дальнейшего повышения точности и своевременности прогнозов погоды и их передачи.

## Задачи на будущее

Изменение климата привело к более частым экстремальным погодным явлениям, угрожающим

источникам средств к существованию, особенно в уязвимых общинах. Морской сектор должен осознавать повышенные риски для судоходства и портов из-за более сильных штормов.

В 2019 году ИМО и ВМО провели первый совместный симпозиум «Экстремальная морская погода: на пути к безопасности жизни на море и устойчивой голубой экономике». Были определены ключевые области, требующие неотложного внимания, включая необходимость для морских пользователей лучше понимать метеорологические и океанографические данные<sup>12</sup>. Существуют особые проблемы для торговых судов в полярных регионах и для судов, на которые не распространяются обязательные стандарты ИМО, такие как небольшие прибрежные грузовые суда, большие прогулочные яхты и рыболовные суда. С мобильных устройств может быть доступно множество коммерческих данных о погоде, но пользователям необходимо знать, какие данные заслуживают доверия.

Такие вопросы необходимо решать. Во время пандемии COVID-19 мир сосредоточил внимание на более неотложных проблемах, но теперь он ожидает устойчивого восстановления. На протяжении 2020 и 2021 годов моряки и судоходство продолжали доставлять жизненно важные товары, в том числе продукты питания и медикаменты, сталкиваясь с огромными логистическими проблемами, в частности с проблемами глобального характера, связанными со сменой экипажей. Обеспечение безопасности моряков от различных рисков, включая погодные риски, должно быть приоритетом, поскольку моряки имеют важное значение для глобальных логистических цепочек и экономики во всём мире.

Данные о погоде и прогнозы всегда будут иметь ключевое значение для судоходства. ИМО надеется на продолжение сотрудничества с ВМО в предстоящие годы с целью развития систем, созданных на сегодняшний день, и обеспечения устойчивости и оперативности метеорологических и океанографических данных для судоходства.

9 [Allianz Global Corporate & Specialty's \(AGCS\) Safety and Shipping Review 2020.](#)

10 International Convention on Standards of Training, Certification and Watchkeeping, 1978.

11 Allianz Global Corporate & Specialty's (AGCS) Safety and Shipping Review 2020 [www.agcs.allianz.com/news-and-insights/news/safety-shipping-review-2020.html](http://www.agcs.allianz.com/news-and-insights/news/safety-shipping-review-2020.html).

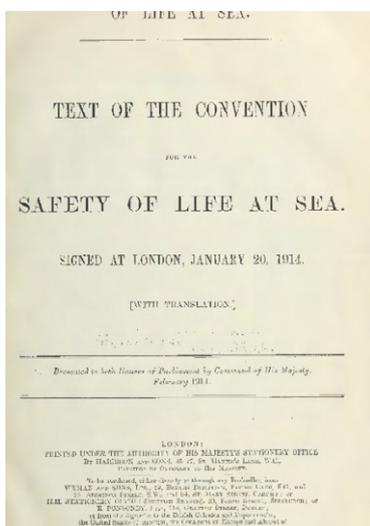
12 [public.wmo.int/en/media/news/wmo-imo-symposium-addresses-extreme-maritime-weather](http://public.wmo.int/en/media/news/wmo-imo-symposium-addresses-extreme-maritime-weather).

# МГО и ВМО — более века сотрудничества

Дэвид Вятт, помощник директора Международной гидрографической организации (МГО)



Катастрофическое крушение судна «Титаник» в ночь с 14 на 15 апреля 1912 года послужило катализатором для многих нововведений, инициатив и правил, которые теперь морское сообщество принимает как должное. Одним из наиболее значимых результатов трагедии стало учреждение Международной конференции, которая разработала первоначальный текст Конвенции по охране человеческой жизни на море (СОЛАС), подписанной в Лондоне 20 января 1914 года.



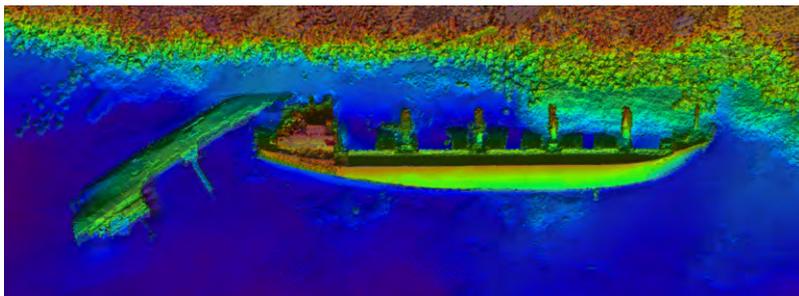
*Конвенция по охране человеческой жизни на море (СОЛАС), подписанная в Лондоне 20 января 1914 года*

В нескольких статьях Конвенции говорится о том, что суда должны быть оборудованы приборами для приёма сигналов безопасности, в частности информации о льдах и погоде. Неудивительно, что первоначальные требования СОЛАС были в значительной степени сосредоточены на предоставлении ледовой и метеорологической информации и обязывали суда предоставлять информацию, касающуюся льда и дрейфующих обломков, другим судам и органам власти на берегу, хотя подробные сведения о погоде

были необязательными. Текст включал в себя конкретные инструкции в отношении льда, обломков и погоды, которые следовало предоставлять, но в меньшей степени – информацию, относящуюся к навигации и прокладыванию курса на карте.

Международное гидрографическое бюро, ныне известное как Международная гидрографическая организация (МГО), и Метеорологический конгресс, ныне – Всемирная метеорологическая организация (ВМО), тесно сотрудничали со времён принятия первой Конвенции СОЛАС в 1914 году с целью поддержания, развития и совершенствования информации для обеспечения безопасности на море (ИОБМ). ИОБМ охватывает как навигационные предупреждения, так и метеорологические прогнозы и предупреждения для обеспечения безопасности судоходства и безопасности человеческой жизни на море. Сотрудничество между двумя организациями привело к унификации процедур и правил и стандартизации форматов сообщений, содержащих предупреждения, для удобства передачи и чёткости понимания потребителями морской информации.

Служба радионавигационных предупреждений была сформирована для выполнения требований СОЛАС к судам о получении сообщений о безопасности. Она была предшественницей Глобальной морской системы связи при бедствии и для обеспечения безопасности (ГМССБ) Международной морской организации (ИМО), Всемирной службы навигационных предупреждений МГО/ИМО и Всемирной службы метеорологической и океанографической информации и предупреждений ИМО/ВМО. Это сотрудничество продолжается путём оперативного внедрения в работу ГМССБ новых поставщиков услуг мобильной спутниковой связи, признанных ИМО.



*Столкновение двух судов  
привело к двойному  
кораблекрушению у берегов  
Констанцы, Румыния  
(Kongsberg Maritime)*

## Данные о дне океана

У МГО и ВМО есть другие общие интересы и цели, включая предоставление точной информации, касающейся заблаговременного предупреждения прибрежных общин, что остаётся серьёзной проблемой. ВМО и Межправительственная океанографическая комиссия (МОК) ЮНЕСКО поддержали своих Членов в отношении разработки моделей для прогнозирования воздействия прибрежных наводнений, в том числе в результате цунами и штормовых нагонов; однако отсутствие полных данных с высоким разрешением о глубине прибрежных зон, особенно для прибрежных районов глубиной менее 1000 метров, снижает точность этих моделей. Данные о глубине и информация о морском дне также имеют важнейшее значение для лучшего понимания других процессов в океане.

МГО осуществляет несколько инициатив, направленных на увеличение количества данных о глубине океанского дна:

- гражданская научная инициатива, известная как получение батиметрических данных с использованием возможностей краудсорсинга (БКС);
- совместный проект МГО/МОК по генеральной батиметрической карте океанов (ГЕБКО) и подчинённый ему проект «Морское дно ГЕБКО 2030», финансируемый фондом Nippon Foundation.

Все эти инициативы направлены на получение полной картины дна океана от его самых глубоких частей до самого края суши, то есть на предоставление информации, которая обеспечивает крайне необходимый базовый набор данных для моделей, созданных Членами ВМО и МОК. Поскольку форма морского дна влияет на циркуляцию океана, которая в свою очередь влияет на климат и атмосферу, данные о глубине также могут использоваться для уточнения и повышения точности моделей воздействий изменения климата.

## Единство действий

В сотрудничестве МГО и ВМО также присутствует сильный человеческий фактор. В рамках мероприятий по совместной<sup>1</sup> координации наращивания потенциала МГО и ВМО определяют и реализуют возможности для развития и наращивания потенциала в развивающихся прибрежных государствах и малых островных развивающихся государствах (МОСРГ). Их совместная деятельность сосредоточена в особенности на Карибском бассейне, Индийском океане, островах Тихого океана и в прибрежных государствах Африки. Инициатива Организации Объединённых Наций «единство действий» лежит в основе этих скоординированных усилий по максимально эффективному использованию ограниченных ресурсов и обеспечению устойчивости государств в достижении целей МГО и ВМО, а также в выполнении ими обязательств, связанных с СОЛАС, Конвенцией Организации Объединённых Наций по морскому праву (ЮНКЛОС) и другими международными договорами.

За столетие, прошедшее с момента крушения «Титаника», названия организаций изменились и методы работы получили дальнейшее развитие, однако цели и задачи остались прежними: безопасность мореплавания, безопасность человеческой жизни на море и защита морской окружающей среды. Они станут основополагающими принципами развития сотрудничества между МГО и ВМО в будущем. Цифровой мир обещает дальнейший прорыв и развитие в области совмещения навигационной информации с метеорологической информацией для отображения на мостовых системах и использования для принятия решений по спасению жизней.

<sup>1</sup> МГО, ИМО, МОК ЮНЕСКО, Международная ассоциация ответственных за эксплуатацию маяков (ИАЛА), Международное агентство по атомной энергии (МАГАТЭ), Международная федерация геодезистов (МФГ), Международная ассоциация морских лоцманов (МАМЛ).

# От взаимодействия между океаном и атмосферой до сотрудничества между МОК и ВМО

Владимир Рябинин, исполнительный секретарь  
Межправительственной океанографической комиссии; помощник  
Генерального директора ЮНЕСКО



Тема Всемирного метеорологического дня 2021 года подчёркивает неразрывные связи и долгосрочное сотрудничество между океанографией и метеорологией. Два столетия назад соображения безопасности морского судоходства стали решающим фактором созыва первой конференции по морским метеорологическим наблюдениям. Конференция, состоявшаяся 23–25 августа 1853 года в Брюсселе, положила начало совместному планированию и сотрудничеству между национальными метеорологическими службами. Во время Крымской войны Великий Балаклавский шторм нанёс серьёзный ущерб флоту союзников 14 ноября 1854 года. Вскоре после этого стало понятно, что можно было бы предсказать шторм, если бы имел место своевременный обмен метеорологическими наблюдениями. Продолжение консультаций привело в 1879 году к созданию Международной метеорологической организации, преобразованной в ВМО 23 марта 1950 года. Эту дату мы отмечаем теперь как Всемирный метеорологический день.

Пути развития метеорологии и океанографии до их нынешнего состояния были разными. Когда в 1950 году вступила в силу Конвенция ВМО, сообщество гидрометеорологических служб получило правовую основу для устойчивого и регулярного проведения стандартных наблюдений на основе мандата на предоставление скоординированного обслуживания. Вскоре после этого в 1963 году была предложена эпохальная концепция Всемирной службы погоды, первой ВСП. Этот огромный шаг вперёд имел решающее значение, и последующие положительные сдвиги привели нас сегодня к жизни в мире, который получает пользу от надёжного повседневного метеорологического

обслуживания, даже не осознавая полностью масштабов этого достижения и сложности стоящей за ним системы.

Прогресс в науке об океане достигался иным образом. Исследования океана в значительной степени основывались на любопытстве и стремлении к открытиям, сначала интерес был географическим, позднее он стал научным. До недавнего времени роль океана и науки об океане в практических аспектах жизни исторически недооценивалась. На праздновании 60-й годовщины МОК ЮНЕСКО в 2020 году один из её бывших президентов Джефф Холланд напомнил, что необходимость обмена океанографическими данными в реальном времени не была очевидной даже в 1980-х годах.

Сейчас мы живём в геологической эпохе антропоцена. Влияние человека на планету возросло до уровня геологических факторов. Повестка дня Организации Объединённых Наций в области устойчивого развития на период до 2030 года определяет 17 целей в области устойчивого развития (ЦУР), направленных на выживание, благополучие и достойную жизнь в нашу эпоху. Каждая из них зависит от науки, включая науку о системе Земля и её атмосферные, гидрологические и океанические компоненты. Успех организаций и учреждений ООН в поддержке людей и народов, а также государств — Членов МОК и Членов ВМО требует сосредоточения внимания на наших общих усилиях по обеспечению устойчивости, совместному проектированию, эффективному разделению труда, равноправному партнёрству и привлечению талантов из академического сообщества, работающего в области науки о системе Земля.

## Успешное сотрудничество

Сотрудничество между МОК и ВМО было очень интенсивным практически с момента создания МОК 14 декабря 1960 года. Было несколько важных этапов. Я помню, как следил за развитием Объединённой глобальной системы океанических станций МОК/ВМО, возникшей в 1969 году, когда был студентом в 1970-х годах. МОК и ВМО участвовали во множестве исторических программ, включая Программу изучения глобальных атмосферных процессов (ПИГАП) ВМО-МСНС.

Затем, в 1990-х годах, МОК и ВМО совместно осуществили спонсирование Глобальной системы наблюдений за климатом (ГСНК), Глобальной системы наблюдений за океаном (ГСНО) и Всемирной программы исследований климата (ВПИК). В последние годы МОК вносила вклад в освещение аспектов, касающихся океана, в рамках ежегодных заявлений ВМО о состоянии глобального климата и в доклад «Единство в науке», в подготовке которого ВМО принимала участие. Обе организации также обеспечивают научное руководство для продолжающихся критически важных переговоров в рамках Рамочной конвенции Организации Объединённых Наций об изменении климата (РКИК ООН).

С точки зрения управления наиболее тесная связь между океанографией и метеорологией была достигнута с учреждением Совместной технической комиссии ВМО-МОК по океанографии и морской метеорологии (СКОММ). В течение 20 лет существования СКОММ (1999–2019 годы) метеорологическое и океанографическое сообщества действительно работали вместе, корректируя методы работы там, где это необходимо, и действуя как единое целое. Эта работа продолжается. Центр СКОММ для поддержки программ наблюдений *in situ* (СКОММОПС) сегодня действует как совместное предприятие под названием ОкеанОПС. Связанные с МОК эксперты уже работают в новых структурах конституционных органов ВМО, созданных в результате реформы управления ВМО.

Работа недавно созданного Совместного совета по сотрудничеству между ВМО и МОК (ССС) быстро набирает обороты. В моём интервью в Бюллетене ВМО за 2015 год, том 64 (2), я упомянул о «сильной взаимодополняемости МОК и ВМО,

[которая] требует разработки совместных стратегий и планов». Теперь, шесть лет спустя, ССС реально впервые обсуждает совместную стратегию сотрудничества двух наших организаций.

ВМО является наблюдателем во многих программах МОК, включая систему предупреждения о цунами и смягчения их последствий. Многие национальные метеорологические и гидрологические службы (НМГС) Членов ВМО вносят свой вклад в мониторинг цунами и предупреждение о них. Программа международного обмена океанографическими данными и информацией (МООД) МОК сотрудничает с Информационной системой ВМО (ИСВ).

## Заглядывая в будущее

ВМО, «голос ООН по вопросам погоды, климата и воды», в настоящее время быстро укрепляет



Создание Совместной технической комиссии ВМО/МОК по океанографии и морской метеорологии. Личная история. Автор Питер Декстер. Публикация вышла в 2020 году в ознаменование 70-летия ВМО и 60-летия МОК.

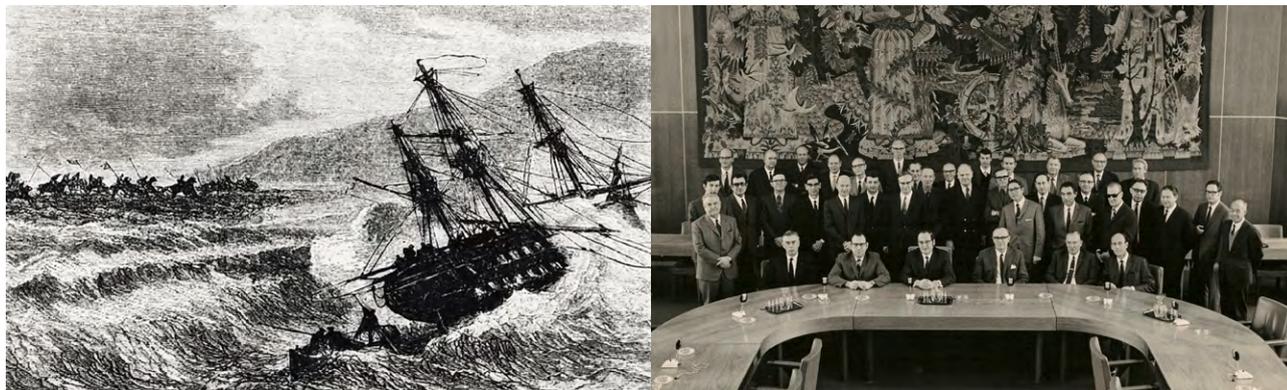


Рисунок тонущего судна, Чёрное море, Крымская война (слева) и совместное совещание ВМО-МОК ОГСОС/МАОА<sup>1</sup>, 1972 год (справа).

направление деятельности, связанное с океаном, включая инвестирование в наблюдения за физическим состоянием океана и стремление содействовать обмену данными об океане для метеорологических и климатических применений.

МОК также переживает период критической переоценки и укрепления своих позиций как центра науки об океане в системе ООН. МОК выполняет функции по обеспечению достижения двух показателей ЦУР 14 («ЦУР в области океана»). Она координирует Десятилетие науки об океане в интересах устойчивого развития ООН (2021–2030 годы). Два из ожидаемых социальных результатов Десятилетия, а именно «безопасный и предсказуемый океан», имеют непосредственное отношение к ВМО.

По мере того, как мы продвигаемся вперёд, укрепляя наше сотрудничество, нам необходимо более всесторонне и точно понимать роль океана в атмосферных процессах, чтобы использовать огромные возможности.

Совместная работа МОК/ВМО в области наблюдений за океаном и предоставления входных данных для краткосрочных прогнозов погоды со значительными воздействиями и последствиями, включая тропические и внетропические циклоны, которые зависят от состояния океана, принесёт новые прорывы. Используя источники предсказуемости, связанные с океаном, мы сможем повысить оправдываемость климатических проекций и предсказаний для ряда важных временных масштабов.

Существует насущная необходимость в рамках многостороннего партнёрства рассматривать проблемы устойчивости прибрежных зон, что включает ряд океанографических, метеорологических, гидрологических, экологических, экономических и социальных вопросов.

Этот краткий анализ не может охватить ни все аспекты нашего текущего сотрудничества, ни даже ещё более многочисленные возможности совместной работы в будущем. Однако я надеюсь, что он иллюстрирует парадигму, согласно которой в современном мире истинное лидерство проявляется через партнёрство.

1 Совместный рабочий комитет МОК/ВМО по Объединённой глобальной системе океанических служб и Группа экспертов Исполнительного совета ВМО по метеорологическим аспектам вопросов, связанных с океаном.

# Связь океана и климата

Сабрина Спайч, профессор, Высшая нормальная школа, и Вейдун Ю, профессор,  
Университет Сунь Ятсена



Океан представляет собой тонкий слой солёной воды, который охватывает 71 % поверхности Земли и содержит 96 % её воды. Он обладает самым широким биоразнообразием на планете и обеспечивает около 50 % валовой первичной продукции. Он также действует как терморегулятор Земли, поглощая и преобразуя значительную часть солнечного излучения, которое достигает поверхности Земли. Он обеспечивает водяной пар для атмосферы и обменивается с ней теплом, формируя погоду и климат Земли, а также их изменчивость в диапазоне временных масштабов от часов до тысячелетий. Он смягчает изменение климата за счёт поглощения почти всего избыточного тепла (89%: Von Schuckmann *et al.*, 2020) и четвертой части CO<sub>2</sub> (Friedlingstein *et al.*, 2020), производимого в результате деятельности человека.

Океан получает тепло за счёт солнечного электромагнитного излучения в основном в тропических регионах. Между поверхностью океана и атмосферой происходит постоянный обмен водой, энергией и углеродом на всех широтах, где поверхность не покрыта льдом. Океан не статичен, и океанические течения перераспределяют избыточное тепло, полученное в тропиках в направлении более высоких широт и глубоководных частей океана. Этот перенос сильнее в высоких широтах — в полярных регионах, где поверхностные воды становятся более плотными и опускаются в основном из-за высоких тепловых потерь. Временной масштаб переноса и перераспределения сильно варьируется: от сезона или года в тропических регионах до десятилетия — в поверхностных слоях и до нескольких сотен лет и даже тысяч лет — в глубоководных слоях.

Глобальный перенос тепла, пресной воды и углерода в океане не только сопоставим по объёму с переносом в атмосфере, но океан является основным резервуаром для этих компонентов атмосферы. Непрерывный обмен этими компонентами между океаном и атмосферой и их хранение в океане делают океан ключевым регулятором погоды и климата во всех временных масштабах (от минут до тысячелетий: например, Smith *et al.*, 2012; Doblas-Reyes *et al.*, 2013; Kirtman *et al.*, 2013; Meehl *et al.*, 2014), расширяя предсказуемость системы Земля в этих масштабах. Системы сезонного и десятилетнего прогнозирования большей частью опираются на точное прогнозирование быстрых динамических и медленных режимов изменчивости океана и их роли в модуляции атмосферы (Kirtman *et al.*, 2013). Чтобы обеспечить точные и пригодные прогнозы для инициализации моделей, следует использовать данные наблюдений за океаном.

Своевременные и устойчивые наблюдения за океаном, как спутниковые, так и *in situ*, имеют решающее значение для подготовки успешных прогнозов, отвечающих ожиданиям и потребностям общества (Smith *et al.*, 2012). Большая часть информации, лежащей в основе таких прогнозов, поступает от глобально скоординированных систем наблюдений в масштабах бассейнов океанов. Основные международные объединения, занимающиеся прогнозированием погоды и климата, включая Европейский центр среднесрочных прогнозов погоды (ЕЦСПП), Национальную метеорологическую службу (НМЦ) Национального управления по исследованию океанов и атмосферы (НУОА) и ВМО, предъявляют требования к информации об океане для обеспечения устойчивой и жизнеспособной голубой экономики. Кроме того, растёт общественное признание критической важности информации о текущих и будущих условиях океана для удовлетворения разнообразных потребностей пользователей. К их числу относятся более качественное наблюдение и прогнозирование волн, течений, уровня моря, качества воды и обилия морских биологических ресурсов, а также предоставление более качественного обслуживания по прогнозированию морской погоды и климата.

*Список литературы доступен в онлайн-режиме*

# Роль океана в условиях изменяющегося климата

Ханс-Отто Пёртнер, Институт Альфреда Вегенера, Бремерхафен; сопредседатель Рабочей группы II Межправительственной группы экспертов по изменению климата (МГЭИК)<sup>1</sup>

Вся жизнь на Земле прямо или косвенно зависит от океана и криосферы (криосфера — это термин, обозначающий часть Земли, где вода находится в замороженном состоянии). Океан и криосфера поддерживают уникальные среды обитания и связаны с другими компонентами системы Земли посредством глобального обмена водой, энергией и углеродом. Прогнозируемые реакции океана и криосферы на антропогенные выбросы парниковых газов и глобальное потепление включают климатическую обратную связь, изменения на протяжении десятилетий и тысячелетий, которых невозможно избежать, пороговые значения резких изменений и необратимость. Принимая такие прогнозы во внимание, в 2016 году правительства обратились к Межправительственной группе экспертов по изменению климата (МГЭИК) с просьбой подготовить специальный доклад об океане и криосфере в условиях изменяющегося климата.

## Роль МГЭИК

МГЭИК — это орган Организации Объединённых Наций по оценке научных данных, связанных с изменением климата. Она была учреждена в 1988 году ВМО и Программой Организации Объединённых Наций по окружающей среде (ЮНЕП) и в том же году одобрена Генеральной Ассамблеей ООН. Секретариат МГЭИК размещается в ВМО в Женеве, причём секретарь МГЭИК назначается и финансируется ВМО, а заместитель секретаря назначается и финансируется ЮНЕП.

МГЭИК готовит комплексные оценки состояния научных знаний об изменении климата и связанных с ним экологических, социальных и экономических последствиях, а также потенциальных стратегий

реагирования. МГЭИК была награждена Нобелевской премией мира в 2007 году совместно с Альбертом Гором «за их усилия по накоплению и распространению более глубоких знаний об антропогенном изменении климата и закладке основы для мер, необходимых для противодействия таким изменениям».

С момента своего создания МГЭИК подготовила пять оценочных докладов (ОД) и сейчас работает над шестым. Доклады МГЭИК способствовали созданию Рамочной конвенции Организации Объединённых Наций об изменении климата (РКИК ООН), которая отвечает за ежегодные переговоры по климату. Пятый оценочный доклад (ОД5) обеспечил научный вклад в переговоры в рамках РКИК ООН, приведшие к Парижскому соглашению в 2015 году. Кроме того, МГЭИК выпустила методологические и специальные доклады, а также технические документы в ответ на запросы РКИК ООН, правительств и международных организаций.

Каждый доклад МГЭИК основан на опыте и знаниях сотен авторов со всего мира, и ещё многие эксперты вносят свой вклад в подготовку докладов посредством комментариев на этапах официального рецензирования. Резюме для политиков дорабатывается на заседании МГЭИК с участием представителей правительства и авторов, работающих над текстом, чтобы обеспечить его соответствие полной версии оценочного доклада. Доклады МГЭИК опираются на эту поддержку со стороны политиков и научного сообщества.

## Океан и криосфера в условиях изменяющегося климата

В 2016 году МГЭИК согласилась подготовить запрошенный специальный доклад об океане и

<sup>1</sup> Заявление об ограничении ответственности: автор внёс свой вклад в эту статью в личном качестве. Взгляды и мнения, выраженные в этой статье, принадлежат автору и не отражают точку зрения МГЭИК.

криосфере в рамках своей программы работы над ОДб. В результате в сентябре 2019 года был выпущен специальный доклад МГЭИК об океане и криосфере в условиях изменяющегося климата (СДОКК). Более 100 авторов из 36 стран произвели оценку новейшей научной литературы для этого доклада, сделав ссылку на примерно 7000 научных публикаций и рассмотрев более 31 000 замечаний, высказанных экспертами и правительствами в ходе работы.

Доклад явился знаковым вкладом в глобальное понимание океана, погоды и климата и привлёк внимание на «голубой» конференции сторон (КС-25) РККИК ООН в Мадриде, Испания, в декабре 2019 года. СДОКК подчеркнул необходимость уделить приоритетное внимание чётко скоординированным действиям по снижению рисков, связанных с изменениями в океане. Он также подчеркнул преимущества объединения научных знаний и знаний местного населения или коренных народов для разработки надлежащих вариантов управления рисками изменения климата и повышения устойчивости.

Океан поглощает более 90 % избыточного тепла в климатической системе. К 2100 году океан поглотит в два–четыре раза больше тепла, чем за последние 50 лет, если глобальное потепление ограничится 2 °С, и в четыре–семь раз больше, если выбросы будут выше. В более тёплых водах океана перемешивание между слоями воды уменьшается, а вместе с ним и поступление кислорода и питательных веществ для морских обитателей. Кроме того, за последние 40 лет океан поглотил от 20 до 30 % антропогенных выбросов углекислого газа, что привело к закислению океана. Потепление океана, потеря кислорода и закисление, а также изменения в снабжении питательными веществами уже оказывают влияние на распределение и численность морской флоры и фауны в прибрежных районах, в открытом океане и на дне океана.

Имеются убедительные научные данные, свидетельствующие о том, что это приведёт к серьёзным последствиям для экосистем, общества и экономики. Потепление океана и изменения в химическом составе океана уже нарушают пищевую сеть океана, оказывая воздействие на морские экосистемы и людей, которые от них зависят. Сообщества, которые сильно зависят от морепродуктов, могут столкнуться с рисками в будущем для здорового питания и продовольственной безопасности.

В течение XX века уровень моря поднялся примерно на 15 см. Повышение уровня моря происходит из-за талой воды, поступающей из ледников, расширения нагревающейся морской воды и увеличения поступления талой воды из ледяных щитов Гренландии и Антарктиды. Увеличивающийся вклад этих ледяных щитов ускоряет скорость повышения уровня моря, которая в настоящее время составляет 3,6 мм /год.

Уровень моря продолжит повышаться в течение следующих столетий. Прогнозы показывают, что к 2100 году повышение уровня моря может составить от 30 до 60 см, даже если выбросы парниковых газов резко сократятся, а глобальное потепление ограничится на уровне значительно ниже 2 °С. Однако если выбросы парниковых газов продолжатся прежними темпами, то к 2100 году рост уровня моря составит от 60 до 110 см и значительно превысит эти цифры в последующие столетия. Повышение уровня моря не является однородным в глобальном масштабе, но варьируется в зависимости от региона; процессы, не вызванные недавним изменением климата, могут усугубить повышение уровня моря на региональном уровне.

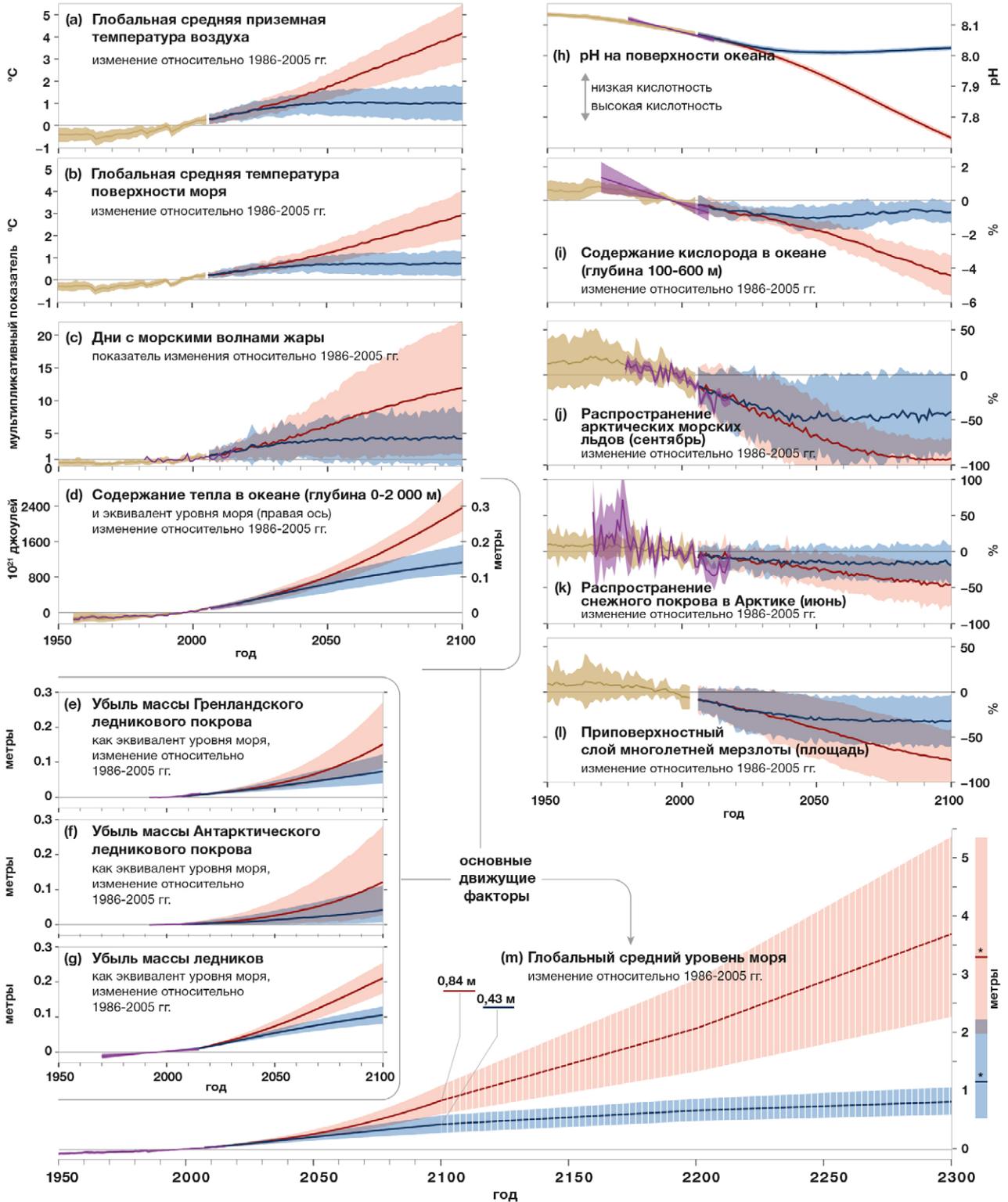
Повышение уровня моря и более интенсивные штормы также увеличат частоту экстремальных явлений, связанных с уровнем моря, которые происходят во время приливов, при этом повысится риск для многих низколежащих прибрежных городов и небольших островов. Кроме того, усиление интенсивности ветров и осадков, вызванных тропическими циклонами, усугубит экстремальные явления, связанные с уровнем моря, и прибрежные опасности, такие как штормовые нагоны. Без крупных инвестиций в адаптацию низколежащие регионы будут подвержены повышенному риску наводнений, а некоторые из них, включая островные государства, вероятно, станут не пригодными для проживания из-за связанных с климатом изменений океана и криосферы. Когда это произойдёт, во многих регионах оценить сложно. Более низкая скорость и степень изменения океана и криосферы предоставят больше возможностей для адаптации.

Другой тип экстремальных явлений — морские волны тепла (периоды чрезвычайно высокой температуры у поверхности моря, которые сохраняются от нескольких дней до месяцев и могут простираться на тысячи километров) — стали более частыми и интенсивными с начала 1980-х годов. В условиях будущего антропогенного потепления прогнозируется дальнейшее увеличение продолжительности, интенсивности, частоты и пространственной

## Прошлые и будущие изменения в океане и криосфере

Исторические изменения (наблюдаемые и смоделированные) и проекции при РТК2.6 и РТК8.5 для ключевых индикаторов

Исторические (наблюдаемые) Исторические (смоделированные) Проекция (РТК2.6) Проекция (РТК8.5)



Наблюдаемые и моделируемые исторические изменения в океане и криосфере с 1950 года, а также проекции будущих изменений в рамках сценариев низких (РТК.6) и высоких (РТК8.5) выбросов парниковых газов. Полный текст подписи под рисунком смотри в РП СДОКК, рисунок РП.1.



Рисунок 2. Оценка рисков для прибрежных экосистем и экосистем открытого океана основывается на наблюдаемых и ожидаемых согласно проекциям воздействиях климата на структуру, функционирование и биоразнообразие экосистем. Воздействия и риски показаны по отношению к изменениям глобальной средней приземной температуры (ГСПТ) по сравнению с доиндустриальным уровнем. Поскольку оценки рисков и воздействий основаны на глобальной средней температуре поверхности моря (ТПМ), показаны соответствующие уровни ТПМ. Полный текст подписи под рисунком смотри в РП СДОКК, рисунок РП.3d.

протяжённости морских волн тепла. Прогнозы показывают, что при потеплении на 2°C морские волны тепла будут наблюдаться в 20 раз чаще по сравнению с доиндустриальными уровнями. Последствия умеренного и экстремального потепления включают массовую гибель прибрежных видов и крупномасштабное обесцвечивание коралловых рифов, а также перемещение рыбных ресурсов с сокращением результатов рыбного промысла.

### Знания и действия

Оценка СДОКК выявляет преимущества активного смягчения последствий и эффективной адаптации для устойчивого развития и, наоборот, растущие затраты и риски в случае отсроченных действий. Знания и действия могут быть важным фактором. Поддержку океану, от которого мы все зависим, можно оказать посредством параллельных действий: сильного сокращения выбросов парниковых газов в сочетании с комплексными мерами реагирования, включая восстановление деградировавших прибрежных мест обитания, и вдумчивого управления ресурсами океана.

Повышение климатической грамотности и использование систем местных знаний, знаний коренного населения и научных знаний позволяет повысить осведомлённость, понимание и социальное обучение населения в отношении рисков и возможностей реагирования, характерных для данной местности. Устойчивый долгосрочный мониторинг, обмен данными, информацией и знаниями и улучшенные прогнозы с учётом конкретной ситуации, включая использование систем заблаговременного предупреждения для прогнозирования экстремальных явлений Эль-Ниньо/Ла-Нинья, тропических циклонов и морских волн тепла, помогают управлять негативными последствиями изменений океана.

В предстоящем шестом оценочном докладе МГЭИК будут представлены последние сведения об океане в Рабочей группе I (Физические научные основы изменения климата) и Рабочей группе II (Воздействие, адаптация и уязвимость).

**Список литературы доступен в онлайн-режиме**

# Глобальные климатические показатели: теплосодержание океана, закисление, деоксигенация и голубой углерод

Кирстен Айзензи<sup>1</sup>, Катерина Шу<sup>1</sup>, Джон Кеннеди<sup>2</sup>, Карина фон Шукманн<sup>3</sup>, и Омар Баддур<sup>4</sup> и Макс Дилли<sup>4</sup>

ВМО публикует ежегодные отчёты о состоянии глобального климата с 1993 года. В 2020 году она опубликовала [пятилетний отчёт о климате за 2015–2019 годы](#), включающий данные и анализ о состоянии глобального климата за этот период. Первоначальной целью ежегодного отчёта было информирование Членов о климатических тенденциях, экстремальных явлениях и воздействиях. В 2016 году цель была расширена за счёт включения резюме по ключевым климатическим показателям для информирования делегатов Конференции сторон (КС) Рамочной конвенции Организации Объединённых Наций об изменении климата (РКИК ООН). Резюме охватывают атмосферу, сушу, океан и криосферу и обобщают результаты анализа самых последних данных за прошлый год. Существует четыре климатических показателя, связанных с океаном: [теплосодержание океана](#), [уровень моря](#), [морской лёд](#) и [закисление океана](#).

В этой статье основное внимание уделяется теплосодержанию на основе отчёта о состоянии глобального климата на 2020 год, закислению океана, деоксигенации и голубому углероду на основе отчёта ВМО о состоянии глобального климата на 2018, 2019 и 2020 годы.

## Теплосодержание

Измерения теплосодержания океана в далёких 1940-х годах в основном опирались на методы измерения с борта судна, которые ограничивали доступность наблюдений за подповерхностной температурой в глобальном масштабе и на глубине (Abraham *et al.*, 2013). Таким образом, оценки теплосодержания океана в глобальном масштабе часто ограничиваются периодом, начинающимся с 1960 года, а также вертикальным слоем от поверхности до глубины 700 метров. С развёртыванием сети автономных ныряющих буёв Argo, которая достигла планового охвата в 2006 году, стало возможно проводить регулярные измерения изменений в теплосодержании океана до глубины 2000 м (Roemmich *et al.*, 2019) (рисунок 1).

В кратком отчёте о теплосодержании океана, предоставленном организацией Mercator Ocean, Франция, говорится, что увеличение выбросов парниковых газов вызывает положительный радиационный дисбаланс в верхней части атмосферы, называемый энергетическим дисбалансом Земли (ЭДЗ), который способствует глобальному потеплению посредством накопления тепловой энергии в системе Земля (Hansen *et al.*, 2011; Rhein *et al.*, 2013; von Schuckmann *et al.*, 2016). ЭДЗ — это часть воздействия, на которое климатическая система Земли ещё не отреагировала (James Hansen *et al.*, 2005), и является показателем глобального потепления, которое произойдёт, если в дальнейшем воздействие не изменится (Hansen *et al.*, 2017). Теплосодержание океана является мерой такого накопления тепла в системе Земля из-за положительного ЭДЗ, большая часть (~90%) накапливается

1 Межправительственная океанографическая комиссия Секретариата ЮНЕСКО.

2 Центр Хэдли Метеорологического бюро, СК.

3 Некоммерческая организация Mercator Ocean International, Франция.

4 Секретариат ВМО.

в Мировом океане, таким образом это критически важный показатель изменения климата.

Следовательно, потепление океана имеет масштабные последствия для климатической системы Земля. Например, повышение теплосодержания океана обуславливает более чем 30% наблюдаемого повышения среднего глобального уровня моря посредством теплового расширения морской воды (WCRP, 2018). Потепление океана изменяет океанические течения (Yang *et al.*, 2016; Voosen, 2020; Yang *et al.*, 2020; Hoegh-Guldberg *et al.*, 2018) и косвенно изменяет траектории штормов (Hoegh-Guldberg *et al.*, 2018; Trenberth *et al.*, 2018; Yang *et al.*, 2016). Потепление океана имеет широкие последствия и для криосферы Земли, поскольку

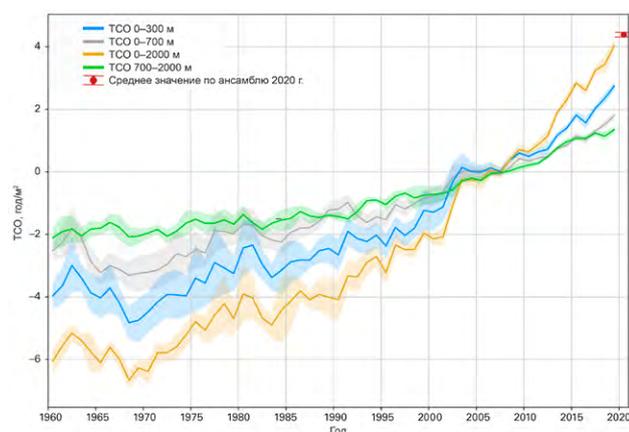


Рисунок 1. Временные ряды средних значений по ансамблю за 1960–2019 годы и среднеквадратическое отклонение по ансамблю (заштриховано) для аномалий глобального теплосодержания океана (ТСО) относительно климатологических данных за 2005–2017 годы для глубин от 0 до 300 м (серый цвет), от 0 до 700 м (синий цвет), от 0 до 2000 м (жёлтый цвет) и от 700 до 2000 м (зелёный цвет). Среднее значение по ансамблю получено в результате согласованных международных усилий, и все виды продукции, использованные для его получения, указаны в объяснении условных обозначений к рисунку 2. Тренды, выявленные на основе временных рядов, приведены в таблице 1. Следует обратить внимание, что полученные значения трендов даны для площади поверхности океана между 60° ю.ш. – 60° с.ш. и ограничены данными батиметрии на глубине 300 м для каждого вида продукции соответственно.

Источник: внесено обновление на основе работы von Schuckmann *et al.*, 2020. В виде красной точки добавлено среднее значение по ансамблю аномалии TCO (0–2000 м) (относительно климатологических данных за 1993–2020 годы), а также её разброс по ансамблю. Результаты получены на основе продукции CMEMS (CORA) и описаны в работах Cheng *et al.*, 2017 и Ishii *et al.*, 2017.

плавающие шельфовые ледники становятся тоньше и ледяные щиты отступают (Serreze and Barry, 2011; Shi *et al.*, 2018; Polyakov *et al.*, 2017; Straneo *et al.*, 2019; Shepherd *et al.*, 2018). Потепление океана увеличивает стратификацию океана (Li *et al.*, 2020) и вместе с закислением океана и деоксигенацией может привести к радикальным изменениям в экосистемах и биоразнообразии, к вымиранию популяций и обесцвечиванию кораллов (Gattuso *et al.*, 2015; Molinos *et al.*, 2016; Ramirez *et al.*, 2017).

### Закисление океана

МОК-ЮНЕСКО при поддержке Глобальной сети наблюдений за закислением океана (ГСНЗО) предоставляет краткий отчёт о закислении океана для ежегодного отчёта ВМО о состоянии глобального климата с 2017 года.

За последнее десятилетие океаны поглотили около 23% годовых антропогенных выбросов CO<sub>2</sub> (Friedlingstein *et al.*, 2020). Поглощённый CO<sub>2</sub> вступает в реакцию с морской водой и изменяет показатель pH океана. Этот процесс известен как закисление океана. Изменения уровня pH связаны с изменениями химического состава карбонатов океана, что может повлиять на способность морских

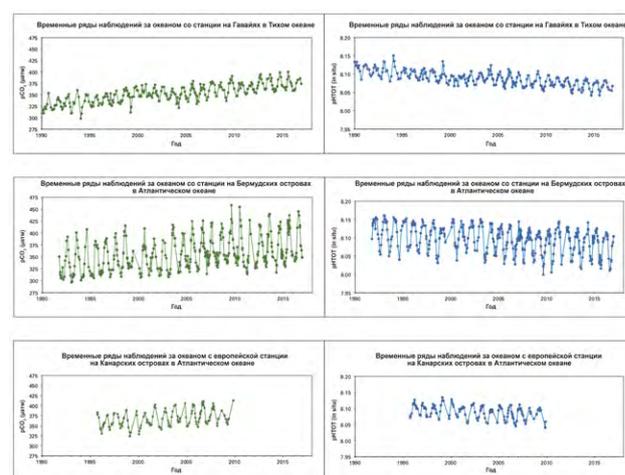


Рисунок 2. Данные наблюдений за pCO<sub>2</sub> и pH с трёх станций долгосрочных наблюдений за океаном. Вверху: Временные ряды наблюдений за океаном со станции на Гавайях (ВРОГ) в Тихом океане; в середине: Временные ряды наблюдений за океаном со станции в районе Бермудских островов (ВРОБ) в Атлантическом океане; внизу: Временные ряды наблюдений за океаном с европейской станции в районе Канарских островов (ВРОК) в Атлантическом океане. Выражается признательность: Ричарду Фили (НУОА-ТЛМОС) и Марин Лебрек (МКЦЗО МАГАТЭ), МОК-ЮНЕСКО, ГСНЗО.

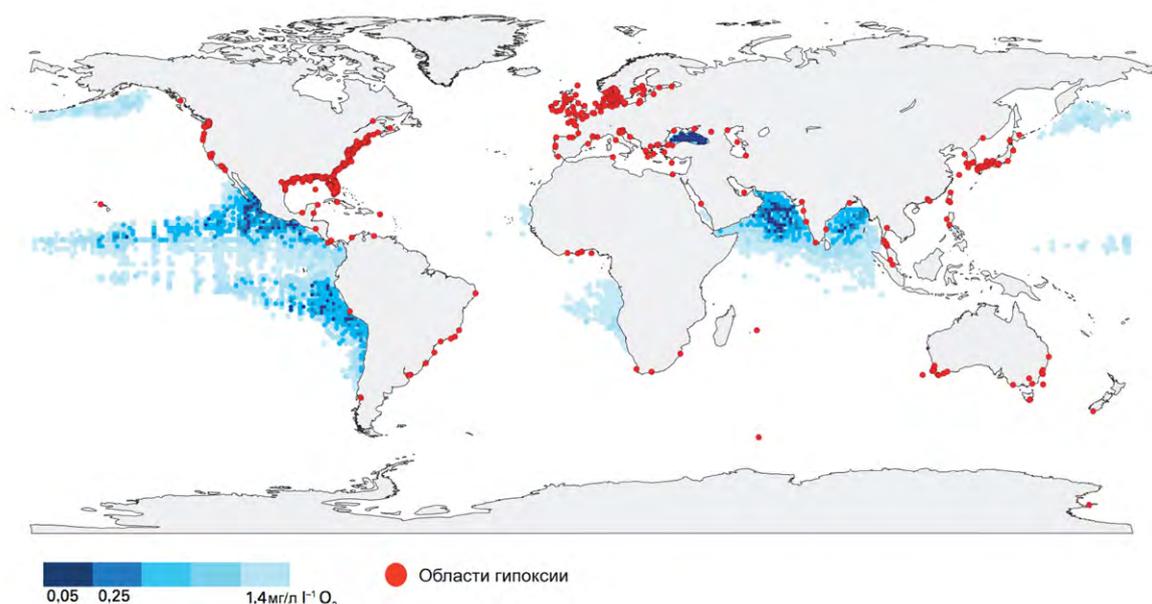


Рисунок 3. Зоны океана с минимальным содержанием кислорода (синий цвет) и прибрежные участки, где наблюдается гипоксия (красный цвет; концентрация растворённого кислорода  $< 2 \text{ мг/л}$ ). Изображённые на карте прибрежные гипоксические участки — это те участки, в которых антропогенные питательные вещества являются основной причиной снижения содержания кислорода (данные из работы Diaz and Rosenberg, 2008 и неопубликованной работы Diaz, рисунок заимствован из работы Isensee et al., 2015; Breitburg et al., 2018; GO2NE, 2018).

организмов, таких как моллюски и рифообразующие кораллы, строить и поддерживать раковины и скелетный материал. Это придаёт особую важность полному описанию изменений в химическом составе карбонатов океана. Наблюдения в открытом океане за последние 30 лет показали чётко прослеживаемую тенденцию к снижению pH (рис. 2). С начала промышленной революции (1750 год) в поверхностных водах океана произошло снижение pH на 0,1 единицы, а с конца 1980-х годов — на 0,017–0,027 единиц pH за десятилетие (4ОД МГЭИК и СДОКК). Однако тенденции в прибрежных районах менее понятны из-за быстро меняющейся прибрежной среды, где множество факторов, таких как изменения температуры, сток пресной воды, приток питательных веществ, биологическая активность и большие колебания океана, влияют на уровни  $\text{CO}_2$ . Для того чтобы охарактеризовать изменчивость закисления океана и определить движущие силы и воздействия, критически важное значение имеет высокое временное и пространственное разрешение наблюдений.

В соответствии с предыдущими отчётами и прогнозами в отчёте о состоянии глобального климата за 2020 год говорится, что закисление океана продолжается и глобальные уровни pH продолжают снижаться. Недавно созданные участки наблюдений

в Новой Зеландии демонстрируют аналогичные тенденции, устраняя при этом важные пробелы в данных мониторинга закисления океана в Южном полушарии. Доступность оперативных данных в настоящее время ограничена, но ожидается, что новая методология для показателя 14.3.1 Целей в области устойчивого развития (ЦУР) («Средняя кислотность (pH) морской среды, измеряемая согласованной группой репрезентативных станций отбора проб») приведёт к расширению наблюдений за закислением океана в глобальном масштабе.

### Деоксигенация открытого океана и прибрежных вод

Глобальная сеть наблюдений за кислородом в океане (GO<sub>2</sub>NE) МОК-ЮНЕСКО координирует подготовку резюме ежегодного отчёта о деоксигенации с акцентом на понимании её многочисленных аспектов и последствий.

Наблюдения и численные модели показывают, что содержание кислорода в современных открытых и прибрежных водах океанов, включая эстуарии и полузамкнутые моря, снижается. Согласно оценкам, с середины прошлого века запасы кислорода в Мировом океане сократились на 1–2 % (то есть

на 2,4–4,8 пмоль, или 77–145 млрд тонн) (Borr *et al.*, 2013; Schmidtko *et al.*, 2017). Известно, что в прибрежной зоне на многих сотнях участков наблюдается концентрация кислорода, которая нарушает биологические процессы или является смертельной для многих организмов. Число регионов с традиционно низкими концентрациями кислорода растёт, и сегодня низкий уровень кислорода наблюдается в новых регионах. Хотя относительная важность различных механизмов, ответственных за снижение глобального содержания кислорода в океане, точно не известна. Ожидается, что глобальное потепление будет способствовать этому снижению непосредственным образом в силу того, что растворимость кислорода снижается в более тёплых водах, и косвенно по причине изменений в динамике океана, которые ослабляют вентиляцию океана, обеспечивающую поступление кислорода в толщу воды. Результаты моделирования, полученные для конца текущего столетия, прогнозируют уменьшение содержания кислорода в открытом океане как при высоком, так и при низком сценарии выбросов (рис. 3).

В прибрежных районах увеличение, начиная с 1950-х годов, объёмов азота и фосфора, переносимых реками, привело к эвтрофикации водоёмов по всему миру. Эвтрофикация, приводящая к росту первичной продукции и разложению вещества первичной продукции, увеличивает потребление кислорода и в сочетании со слабой вентиляцией приводит к возникновению его дефицита в подповерхностных водах. Ожидается, что изменение климата приведёт к дальнейшему усилению деоксигенации в прибрежных районах под влиянием антропогенных сбросов питательных веществ, снижению растворимости кислорода, ослаблению вентиляции за счёт усиления и увеличения продолжительности периодов сезонной стратификации водной толщи, а в некоторых случаях, когда прогнозируется увеличение количества осадков — за счёт наращивания поступления питательных веществ.

С 1960 года число бескислородных областей в зонах океана с минимальным содержанием кислорода увеличилось (Schmidtko *et al.*, 2017), что привело к изменению биогеохимических путей посредством создания условий для процессов, которые потребляют связанный азот и выделяют фосфат, железо, сероводород ( $H_2S$ ) и, возможно, оксид азота ( $N_2O$ ). Относительно ограниченная

доступность основных элементов, таких как азот и фосфор, означает, что такие изменения способны нарушить равновесие химического состава океана. Мы не знаем, как циклы положительной обратной связи (например ремобилизация фосфора и железа из осадочных частиц) могут ускорить нарушение этого равновесия.

Деоксигенация влияет на многие аспекты экосистемных услуг, предоставляемых океаном и прибрежными водами. Например, этот процесс влияет на биоразнообразие и пищевые сети и может сократить возможности для роста, воспроизводства и выживания морских организмов. Обусловленные низким содержанием кислорода изменения в пространственном распределении промысловых видов могут привести к изменению мест и методов рыбного промысла, а также снизить рентабельность рыболовства. Деоксигенация также может осложнить предоставление рациональных рекомендаций по управлению рыболовством.

## Прибрежный голубой углерод

МОК-ЮНЕСКО вместе с Инициативой по голубому углероду (совместно организованной Международным обществом сохранения природы, МОК-ЮНЕСКО и МСОП) поддерживает учёных, специалистов по управлению прибрежными районами и правительства в работе по измерению запасов углерода в прибрежных и морских экосистемах. Совместно они вносят свой вклад в подготовку информации о голубом углероде для включения в годовой отчёт.

В контексте смягчения последствий изменения климата прибрежный голубой углерод, также известный как «голубой углерод прибрежных водно-болотных угодий» (Howard *et al.*, 2017), понимается как углерод, хранящийся в почве мангровых зарослей, приливных солёных болот и полей морских водорослей, живой биомассе над землёй (листья, ветви, стебли), живой биомассе под землёй (корни и корневища) и неживой биомассе (лесная подстилка и валежник). При защите или восстановлении прибрежные экосистемы голубого углерода выступают как поглотители углерода (рис. 4а). Они встречаются на всех континентах, кроме Антарктиды, и занимают около 49 млн гектаров.

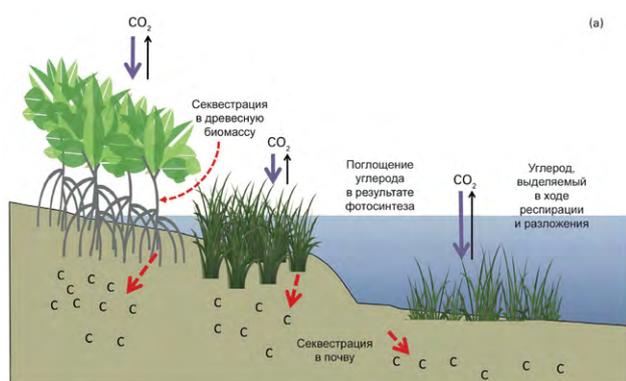


Рисунок 4 (а). В нетронутых прибрежных водно-болотных угодьях (слева направо: мангровые заросли, приливные болота и водоросли) углерод поглощается посредством фотосинтеза (фиолетовые стрелки), а затем в течение длительного периода времени секвестрируется в древесную биомассу и почву (красные пунктирные стрелки) или освобождается (чёрные стрелки).

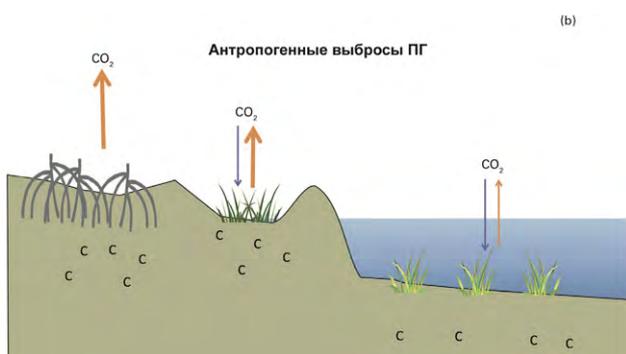


Рисунок 4 (b). Когда почвы подвергшихся деградации прибрежных водно-болотных угодий высыхают, углерод, накопленный в почве, поглощают микроорганизмы, выделяя  $\text{CO}_2$  в качестве продукта метаболизма. Этот процесс ускоряется, когда почва высыхает и кислорода становится больше, что приводит к увеличению эмиссии  $\text{CO}_2$ . Деградация, осушение и преобразование прибрежных содержащих голубой углерод экосистем из-за деятельности человека (то есть вырубки лесов, осушения, приспособления водно-болотных угодий под нужды сельского хозяйства, драгирования) приводят к сокращению объёмов поглощаемого  $\text{CO}_2$  вследствие потери растительности (фиолетовые стрелки) и увеличению выбросов парниковых газов, имеющих глобальное значение (оранжевые стрелки).

В настоящее время для того чтобы значимость содержащих голубой углерод экосистем для смягчения последствий изменения климата нашла отражение в механизмах международной и национальной политики, необходимо соблюсти следующие критерии:

1. Объём углерода, который поглощается и удерживается экосистемой или эмиссия которого предотвращается экосистемой, является

достаточно масштабным для оказания воздействия на климат.

2. Основные запасы и потоки парниковых газов поддаются количественной оценке.
3. Существуют доказательства наличия антропогенных факторов, влияющих на удержание или эмиссию углерода.
4. Управление экосистемой, которое приводит либо к увеличению или поддержанию секвестрации, либо к сокращению эмиссии, представляется возможным и практически осуществимым.
5. Управление экосистемой представляется возможным без нанесения ущерба для общества или окружающей среды.

Однако экосистемные услуги, обеспечиваемые мангровыми зарослями, приливными болотами и водорослями, не ограничиваются хранением и секвестрацией углерода. Они также способствуют улучшению качества прибрежной воды, обеспечивают среду обитания для экономически важных и знаковых видов и защищают побережья от наводнений и штормов. Недавние оценки показали, что мангровые леса обеспечивают экосистемные услуги на сумму не менее 1,6 млрд долларов США в год.

Несмотря на свою важность для здоровья океана и благополучия человека, мангровые заросли, приливные болота и водоросли исчезают со скоростью до 3% в год. При деградации или разрушении эти экосистемы выбрасывают углерод, который они хранили веками, в океан и атмосферу и становятся источниками парниковых газов (рис. 4b).

По оценкам Межправительственной группы экспертов по изменению климата (МГЭИК), прибрежные экосистемы голубого углерода, подвергшиеся деградации — мангровые заросли, приливные болота и морские водоросли — ежегодно выделяют до миллиарда тонн  $\text{CO}_2$ , что эквивалентно 19% выбросов, обусловленных вырубкой тропических лесов по всему миру (IPCC, 2006).

Список литературы доступен  
в онлайн-режиме

# Исследование климата и океана: Всемирная программа исследований климата (ВПИК)

Майкл Спарроу, Секретариат ВМО

Проблемы океана привлекают к себе всё больше внимания в связи с различными организационными и политическими событиями на международном уровне. К их числу относятся:

- Растущая голубая экономика.
- Сендайская рамочная программа по снижению риска бедствий, которая стимулирует развитие обслуживания в отношении многих опасных явлений с учётом их воздействий для поддержки принятия решений.
- Повышение уровня информированности о важности океана для понимания, прогнозирования и реагирования на изменчивость и изменение климата и для устойчивого развития, о чём свидетельствуют такие публикации, как Специальный доклад Межправительственной группы экспертов по изменению климата (МГЭИК) об океане и криосфере в условиях изменяющегося климата.
- Конференции Организации Объединённых Наций по океану, Цели в области устойчивого развития и Десятилетие науки об океане в интересах устойчивого развития (2021–2030 годы). Возможность стимулировать инновации, развивать науку об океане.

Международные исследования океана в значительной степени координируются Международной океанографической комиссией (МОК) ЮНЕСКО, Международным советом по науке (МСН) и ВМО и их партнёрствами. ВМО проявляет значительный интерес к разработке и предоставлению информации об океане для поддержки широкого спектра исследований, применений и обслуживания, предоставляемого её Членами, поэтому Организация

участвует в целом ряде видов деятельности в области океана. Всемирная программа исследований климата, спонсируемая совместно ВМО, МОК-ЮНЕСКО и Международным советом по науке, является ярким примером такой координации и партнёрства в исследовании климата.

Усилия МОК в области науки об океане организованы в рамках ряда направлений. Помимо ВПИК, они координируются посредством небольших проектов и групп по таким темам, как углерод и закисление океана, питательные вещества, эвтрофикация и деоксигенация, наука о климате (ВПИК), изменение климата и воздействия на экосистемы, а также морской пластмассовый мусор. МОК в партнёрстве с ВМО и другими учреждениями ООН возглавила разработку Десятилетия науки об океане в интересах устойчивого развития ООН, у которого есть потенциал для укрепления международных усилий по исследованию океана. [Совместный совет по сотрудничеству между ВМО и МОК \(ССС\)](#) координирует совместную деятельность двух организаций, связанную с океаном.

ССС обеспечивает связь двух своих партнёров в ООН с очень широкими глобальными научными группами, которые обычно напрямую не связаны с межправительственными учреждениями. Например, существует Международный союз геофизики и геодезии, в который входит Международная ассоциация физических наук об океане, которая регулярно проводит международные научные конференции и форумы. Существует также Научный комитет по океанологическим исследованиям (СКОР), который концентрируется на поддержке международного сотрудничества в планировании и проведении океанографических исследований и в решении методологических и концептуальных проблем, препятствующих исследованиям. В ряд своих

исследовательских программ и рабочих групп, в основном нацеленных на разработку методологий наблюдений и использование передового опыта, СКОР включает наращивание потенциала. Недавно подписанное соглашение о сотрудничестве между программой МСН Future Earth и ВПИК обеспечит более тесную связь между их научными проектами, особенно в рамках направления, которое часто называют «Практическая наука».

Деятельность ВМО по исследованию климата и океана координируется посредством ВПИК. Одним из основных проектов ВПИК является проект «Климат и океан: изменчивость, предсказуемость и изменение» (КЛИВАР), который был инициирован в 1995 году. К числу **главных задач** ВПИК относятся региональное повышение уровня моря и последствия для прибрежных районов, а также краткосрочное прогнозирование ([www.wcrp-climate.org/grand-challenges-grand-issues-overview](http://www.wcrp-climate.org/grand-challenges-grand-issues-overview)). ВПИК также осуществляет ряд новых «маячных» **направлений деятельности**, охватывающих различные аспекты климатической системы, при этом океанская составляющая имеет критически важное значение. Одним из примеров является инициатива «*My Climate Risk*», цель которой — разработать новую основу для оценки и разъяснения региональных климатических рисков с целью предоставления климатической информации, полезной на местном уровне и включающей региональные аспекты, касающиеся уровня моря ([www.wcrp-climate.org/wcrp-ip-la](http://www.wcrp-climate.org/wcrp-ip-la)).

### Климат и океан — изменчивость, предсказуемость и изменение

КЛИВАР занимается координацией международных научных исследований в океане. Миссия КЛИВАР заключается в том, чтобы понять динамику, взаимодействие и предсказуемость сопряжённой системы океан-атмосфера. С этой целью он поддерживает наблюдения, анализ и предсказания изменений в климатической системе Земли, позволяя лучше понять изменчивость и динамику, предсказуемость и изменение климата на пользу общества и окружающей среды, в которой мы живём. Он направлен на то, чтобы улучшить:

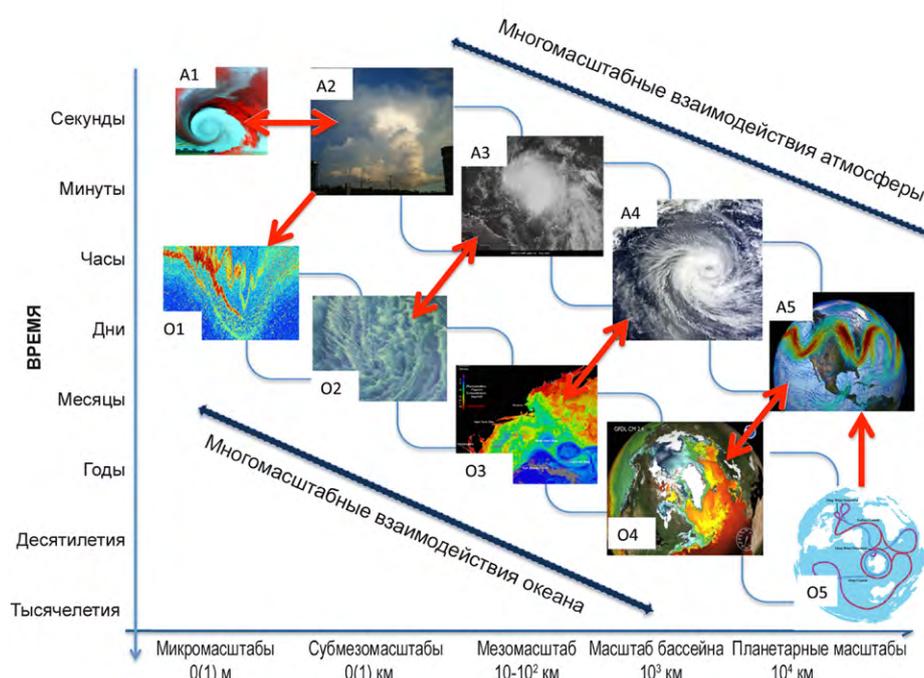
- модели океанических систем;
- системы наблюдения за океаном;
- данные об океане, обобщение и информационные системы;

- передачу знаний и обратную связь с заинтересованными сторонами;
- образование, наращивание потенциала и информационно-пропагандистскую деятельность.

КЛИВАР опирается на успешные результаты Программы исследований глобальной атмосферы и тропической зоны океанов (ТОГА) и Эксперимента по циркуляции Мирового океана (ВОСЕ), которые способствовали значительному прогрессу в научном понимании циркуляции океана и взаимодействия атмосферы и океана.

Исследования КЛИВАР обеспечили фундаментальные знания о факторах, определяющих изменчивость и предсказуемость в сопряжённой климатической системе, уделяя особое внимание океану, как ключевой подсистеме, регулирующей климат Земли. Например, инициативы КЛИВАР сыграли важную роль в разработке систем сезонного прогнозирования Эль-Ниньо/Южного колебания (ЭНЮК) и положили начало подготовке предсказаний на десятилетия. Разработка сопряжённых моделей в рамках КЛИВАР внесла значительный вклад посредством развития возможностей для совместного моделирования климата и проектов взаимного сравнения климатических моделей в понимании реагирования климатической системы на антропогенное увеличение количества радиационно активных газов и изменение в аэрозолях.

Благодаря развитию систем наблюдения за климатом, исследований процессов и сопряжённых климатических моделей КЛИВАР значительно расширил наше понимание процессов, управляющих циркуляцией океана, и его роли в сопряжённой климатической системе. Теперь у нас есть новые уникальные возможности для наблюдений, моделирования и повторного анализа, которые поддерживают научные исследования динамики и изменчивости океана, и это во многом благодаря КЛИВАР. Кроме того, КЛИВАР поддерживает и часто официально одобряет многие новые виды деятельности и проекты, которые развиваются вне его рамок, но демонстрируют чёткое соответствие его целям и задачам. КЛИВАР организует тематические научные семинары, направленные на поддержку общения, обучение взаимодействию и содействию карьерному росту молодых учёных. ВПИК через КЛИВАР вносит серьёзный вклад в знание и понимание климатической системы, которые поддерживают предоставление оперативного климатического обслуживания.



**Направления науки в мире переходных климатических изменений после КС-21: обеспечение региональных и местных прогнозов в поддержку надёжной климатической информации.**

Связь океана и климата

Stammer, D., Bracco, A., Braconnot, P., Brasseur, G. P., Griffies, S. M., & Hawkins, E. (2018). Направления науки в мире переходных климатических изменений после КС-21: обеспечение региональных и местных прогнозов в поддержку надёжной климатической информации. *Earth's Future*, 6, 1498–1507. <https://doi.org/10.1029/2018EF000979>

Наследие КЛИВАР включает ввод в действие и развитие многонациональных и разноплатформенных сетей наблюдений во всех океанских бассейнах, разработку климатических моделей с достаточно объективными компонентами, касающимися океана, и разработку повторного анализа данных об океане. Это способствует объединению данных наблюдений и результатов моделирования посредством усвоения данных. В рамках введённых в эксплуатацию систем наблюдения элементы *in situ* включают глобальные сети поверхностных дрейфующих буёв и ныряющих буёв Арго, океанские буеры, группы заякоренных буёв как в тропических, так и во внетропических районах, отбор проб воды по всей глубине с судов, участвующих в программе систематических гидрографических наблюдений и т. д. С конца 1970-х годов спутниковые наблюдения за океаном стали важной частью глобальной системы наблюдений. КЛИВАР тесно сотрудничает с Глобальной системой наблюдений за климатом (ГСНК) и Глобальной системой наблюдений за океаном (ГСНО), используя «Рамки наблюдения за океаном», которые определяют деятельность по осуществлению комплексной и устойчивой системы наблюдений за океаном.

По мере того, как ВПИК переходит к новому этапу стратегического планирования и реализации, новая

цель КЛИВАР заключается в описании, понимании и моделировании динамики сопряжённой климатической системы с акцентом на взаимодействие океана и атмосферы и выявление процессов, определяющих изменчивость, изменение и предсказуемость климата в субсезонных-сезонных, межгодовых, десятилетних и столетних временных масштабах. В частности, КЛИВАР внесёт критически важный вклад в новую стратегию ВПИК, охватив следующие темы:

- понимание роли океана в изменчивости, изменении и переходной чувствительности климата;
- понимание роли океана в формировании гидрологического цикла и распределении осадков в глобальном и региональном масштабах;
- понимание движущих факторов региональных климатических явлений, обеспечивающих предсказуемость в различных временных масштабах;
- обеспечение скоординированных наблюдений, анализа и прогнозов изменчивости и изменения климатической системы Земли;
- обнаружение, установление причин и количественная оценка изменчивости и изменения климата;

- разработка и оценка возможностей моделирования и прогнозирования климата.

В этой связи КЛИВАР координирует международные исследования в области науки о климате и океане, содействуя сотрудничеству между национальными и многонациональными инициативами и делая, таким образом, возможным глобальные исследования климата, выходящие за рамки региональных и институциональных возможностей любой отдельной страны. КЛИВАР поддерживает наблюдения, анализ, предсказания и проекции изменчивости и изменений в климатической системе Земли, позволяя лучше понять изменчивость и динамику, предсказуемость и изменение климата на пользу общества и окружающей среды, в которой мы живём. Через свои группы экспертов, центры исследований, семинары, летние школы и конференции КЛИВАР продолжает объединять исследователей со всего мира (см., например, Stammer *et al.*, 2018). При этом КЛИВАР развивает сильное, междисциплинарное международное сообщество учёных на всех этапах их карьеры, чтобы координировать усилия, необходимые для измерения, моделирования и понимания динамики сопряжённой системы океан-атмосфера, и выявлять процессы, определяющие изменчивость, изменение и предсказуемость климата.

Подготовка надёжной региональной информации об изменении климата, которая может предоставляться во временных масштабах от сезона до столетий, а также в более крупных временных масштабах на пользу человечества и жизни на Земле, является центральным элементом будущих стратегий науки о климате. КЛИВАР своей работой непосредственно способствует достижению этих целей. Ожидается, что в течение 5–10 лет будет достигнут значительный прогресс в расширении теоретического понимания процессов, в улучшении моделей климата за счёт более качественного представления важных климатических процессов в числовых моделях и в улучшении региональных климатических прогнозов и связанной с ними климатической информации во временных масштабах от сезонного до десятилетнего. Это будет основываться на усилиях, необходимых для улучшения и поддержания Глобальной системы наблюдений за климатом (ГСНК).

КЛИВАР, как и многие другие проекты ВПИК, опирается на национальную поддержку, предоставляемую в виде ежегодных добровольных взносов и, что особенно важно, в виде возможности для размещения Международных бюро по проекту.

КЛИВАР имеет два таких бюро — Международное бюро КЛИВАР по глобальным проектам, расположенное в Первом институте океанографии Министерства природных ресурсов в Циндао, Китай, и Международное бюро КЛИВАР по муссонам, расположенное в Индийском институте тропической метеорологии в Пуне, Индия.

## Региональное изменение уровня моря и воздействие на прибрежные территории

Признавая, что повышение уровня моря в прибрежных районах является одним из самых серьёзных социальных последствий антропогенного изменения климата, ВПИК сформулировала [главную научную задачу по региональному изменению уровня моря и воздействию на прибрежные территории](#).

Современное повышение среднего глобального уровня моря будет продолжаться в течение многих столетий как следствие антропогенного потепления климата, при этом конкретные темпы и окончательная величина повышения будут в значительной степени зависеть от будущих выбросов парниковых газов.

В ближайшие десятилетия региональные изменения и изменчивость уровня моря будут в значительной степени отклоняться от глобальных средних значений. Таким образом, конкретное изменение уровня моря в прибрежных зонах потенциально может быть гораздо более существенным, чем глобальное среднее повышение, и будет зависеть от многих процессов, затрагивающих океан, атмосферу, геосферу и криосферу. Беспокойство общества по поводу повышения уровня моря происходит из потенциального воздействия регионального и прибрежного изменения уровня моря и связанных с ним экстремальных изменений на береговые линии по всему миру, включая потенциальную рецессию береговой линии, потерю прибрежной инфраструктуры, природных ресурсов и биоразнообразия и в худшем случае — перемещение сообществ и миграцию экологических беженцев.

Повышение местного уровня моря и экстремальные явления могут иметь значительные последствия для прибрежных зон. На оседающих побережьях последствия повышения уровня моря уже очевидны в некоторых прибрежных городах и в дельтах. Весьма вероятно, что значительная часть побережий мира будет затронута повышением уровня моря, вызванным климатом. Однако конкретные воздействия



Дорожная карта для обеспечения устойчивых наблюдений за Индийским океаном на 2020–2030 годы <https://doi.org/10.36071/clivar.rp.4.2019>

будут сильно различаться от региона к региону и от побережья к побережью. Их нелегко обобщить, поскольку изменение среднего и экстремального уровней прибрежной воды зависит от сочетания прибрежных и морских процессов, связанных с климатическими, а также и неклиматическими антропогенными факторами. К ним относятся естественное движение суши в результате тектоники, вулканические процессы или уплотнение грунта; проседание земель из-за добычи человеком подземных ресурсов; изменения прибрежной морфологии в результате перемещения наносов, обусловленного естественными и/или антропогенными факторами.

Всеобъемлющая цель главной задачи, касающейся уровня моря, заключалась в следующем:

- обеспечить количественное понимание природных и антропогенных механизмов изменчивости уровня моря на региональном и местном уровнях;
- способствовать развитию систем наблюдений, необходимых для комплексного мониторинга уровня моря;

- способствовать разработке предсказаний и прогнозов уровня моря, которые становятся всё более полезными для управления прибрежными зонами.

За время выполнения главной задачи под руководством шести параллельных, но взаимосвязанных рабочих групп рассматривались следующие важнейшие проблемы:

1. Комплексный подход к историческим оценкам уровня моря (палеонтологическая временная шкала).
2. Количественная оценка вклада наземного льда в повышение уровня моря в ближайшем будущем.
3. Изменчивость и изменение современного регионального уровня моря.
4. Предсказуемость регионального уровня моря.
5. Наука об уровне моря для управления прибрежной зоной.
6. Глобальное изменение уровня моря.

Ключевой принцип деятельности этих групп заключается в том, что ею руководят не только учёные. Четыре сопредседателя этой деятельности представляли сообщество пользователей и учёных, которые работают в тесном сотрудничестве с рядом заинтересованных сторон (политиками, инженерами прибрежных зон и т. д.). На протяжении всего срока выполнения главной задачи, касающейся уровня моря, прослеживалась связь с предоставлением обслуживания, при тесном сотрудничестве соответствующим образом с МОК и Глобальной рамочной основой для климатического обслуживания (ГРОКО). Устанавливаются связи с Десятилетием океана ООН.

Выполнение главной задачи завершится на заключительной конференции, запланированной на июль 2022 года в Сингапуре. Однако работа, выполнявшаяся в рамках главной задачи будет продолжена в рамках как КЛИВАР, так и новых «маячных» направлений деятельности.

## Акцент на полярных океанах

В части погоды и климата, то, что происходит в полярных регионах, имеет значение не только для них. Быстрые изменения в полярных регионах оказывают существенное влияние на погодные и климатические условия по всему миру.

Эти регионы исторически трудны для наблюдения и понимания из-за неблагоприятных условий окружающей среды для проведения наблюдений и из-за сложных взаимодействий между океаном, льдом и атмосферой. Для этих районов также нелегко выполнять моделирование, поскольку, помимо вышеизложенного, необходимо идти на компромиссы в части модельных проекций на полюсах.

Полярные регионы представляют собой важный полигон для разработки и совершенствования бесшовного подхода к изучению системы Земля. Полярный прогностический проект Всемирной программы метеорологических исследований (ВПМИ) ВМО сделал шаг вперёд в переводе сопряжённых методов усвоения данных в практическую плоскость. Наряду с этим сообщества ВПМИ и ВПИК используют полевою кампанию Года полярного прогнозирования (ГПП) для улучшения моделирования. В стадии разработки находится этап консолидации ГПП, в ходе которого могут быть сформулированы ключевые вопросы для рассмотрения в рамках будущих проектов по исследованию системы Земля.

Сам Год полярного прогнозирования основывается на полученном ранее наследии Международного полярного года 2007/2008 (МПГ), спонсором которого являлись ВМО и МСН. МПГ стимулировал более тесное взаимодействие между дисциплинами, участие социальных наук и коренных народов, а также появление нового поколения учёных. Многие из полярных наблюдательных сетей и групп, созданных во время МПГ, продолжают работать. Портал данных МПГ ([yopp.met.no](http://yopp.met.no)) в настоящее время находится в стадии разработки.

Глобальная служба криосферы (ГСК) была создана для обеспечения преемственности в акцентировании внимания на полярных регионах в рамках ВМО. В то же время Целевая группа по полярным наблюдениям из космоса и Ассоциация молодых полярных исследователей обеспечивают координацию ориентированной на криосферу деятельности между космическими учреждениями.

ВПИК осуществляет ряд мероприятий, связанных с полярным океаном, обычно под руководством КЛИВАР и его родственного Основного проекта КлиК (Климат и криосфера) и часто в партнёрстве с другими организациями, работающими в полярных регионах. Например, Экспертная группа КЛИВАР/КлиК/СКАР (Научный комитет по антарктическим исследованиям) по региону Южного океана нацелена на то, чтобы служить форумом для обсуждения и распространения научных достижений в понимании изменчивости и изменения климата в Южном океане, а также, чтобы консультировать КЛИВАР, КлиК и СКАР о прогрессе, достижениях, новых возможностях и препятствиях в исследованиях Южного океана, координируемых на международном уровне. ВПИК через эту Экспертную группу по региону Южного океана представила вместе со СКАР и другими организациями, в том числе из частного сектора, предложение о Программе Регионального десятилетия Южного океана в рамках Десятилетия ООН с целью «улучшить понимание Южного океана и его роли в Мировом океане». Она будет привлекать различные заинтересованные стороны — учёных, политиков, промышленность и неправительственные организации — для содействия в разработке исследовательских приоритетов и мероприятий по Южному океану с учётом экологических, экономических и социальных аспектов. Относительно новая экспертная группа КЛИВАР/КлиК по северным океанам выполняет аналогичную роль в Арктическом регионе.

## Национальные метеорологические и гидрологические службы

Что касается роли исследований климата и океана в удовлетворении потребностей НМГС, научные данные, подготовленные учёными ВПИК, имеют принципиально важное значение в ряде областей, включая:

- поддержку совместной разработки (представителями науки и оперативной деятельности) улучшенных предсказаний во временных масштабах от сезонного до десятилетнего;
- поддержку основополагающих исследований, необходимых для улучшения нашего понимания процессов, играющих активную роль в повышении оправдываемости прогнозов в различных временных масштабах;
- улучшение понимания динамики, взаимодействия и предсказуемости сопряжённой системы океан-атмосфера для ряда временных масштабов, включая режимы изменчивости (такие как ЭНЮК) и резкие изменения в системе (включая экстремальные явления);
- понимание того, как имеющие низкую повторяемость колебания среднего состояния океана влияют на субсезонную изменчивость и субсезонные экстремальные явления, такие, как волны тепла в океане, которые приводят к обесцвечиванию кораллов;
- понимание роли океана в энергетическом балансе планеты.

## Литература

Doblas-Reyes, F. J., García-Serrano, J., Lienert, F., Biescas, A. P., and Rodrigues, L. (2013). Seasonal climate predictability and forecasting: status and prospects. *WIREs Clim. Change* 4, 4245–4268. doi: 10.1002/wcc.217

Friedlingstein, P., et al.: Global Carbon Budget 2020, *Earth Syst. Sci. Data*, 12, 3269–3340, <https://doi.org/10.5194/essd-12-3269-2020>, 2020.

Kirtman, B., Stockdale, T., and Burgman, R. (2013). “The Ocean’s role in modeling and predicting seasonal to-interannual climate variations,” in *Ocean Circulation and Climate: A 21st Century Perspective*, 2nd Edn eds G. Siedler, S. Griffies, J. Gould, and J. Church (Sydney: Academic Press), 625–643. doi: 10.1016/b978-0-12-391851-2.00024-6

Meehl, G. A., Goddard, L., Boer, G., Burgman, R., Branstator, G., Cassou, C., et al. (2014). Decadal climate prediction an update from the trenches. *Bull. Am. Meteorol. Soc.* 95, 243–267. doi: 10.1175/BAMS-D-12-00241.1

Smith, D. M., Scaife, A. A., and Kirtman, B. (2012). What is the current state of scientific knowledge with regard to seasonal and decadal forecasting. *Environ. Res. Lett.* 7:015602. doi: 10.1088/1748-9326/7/1/015602

Stammer, D., Bracco, A., Braconnot, P., Brasseur, G. P., Griffies, S. M., and Hawkins, E., 2018: Science directions in a post COP21 world of transient climate change: Enabling regional to local predictions in support of reliable climate information. *Earths Future*, 6. <https://doi.org/10.1029/2018EF00097>

von Schuckmann, K., et al. 2020. Heat stored in the Earth system: where does the energy go? *Earth Syst. Sci. Data*, 12(3), 2013–2041. <https://doi.org/10.5194/essd-12-2013-2020>

# Осмысление прошлого, чтобы понять будущее: исторические записи изменений в океане

Роб Аллан<sup>1</sup>, Кевин Вуд<sup>2</sup>, Эрик Фриман<sup>3</sup>, Клайв Уилкинсон<sup>4</sup>, Аксель Андерссон<sup>5</sup>, Эндрю Лорри<sup>6</sup>, Филип Брохан<sup>7</sup>, Мартин Стендель<sup>8</sup>, Джон Кеннеди<sup>7</sup>

Для более точного прогнозирования будущих воздействий погоды и климата на земную систему и общество постоянно возрастает потребность в наземных и морских базах данных о погоде за более длительный период и с более высоким разрешением. Создание таких ресурсов базовых климатических данных требует огромных усилий для восстановления и перевода рукописных записей в цифровой формат, а затем для контроля качества, интеграции и предоставления огромных объёмов исторических данных о погоде для нового поколения систем моделирования и ретроспективного анализа (реанализа), работающих на самых мощных в мире компьютерах.

В последнее десятилетие росло признание важности исторических морских метеорологических данных для устранения крупных пробелов в существующем охвате данными. Морские данные, охватывающие 70% поверхности Земли, то есть территорию, покрытую океанами, являются критически важным

(и на протяжении большей части истории единственным) инструментом количественной оценки различных ролей, которые Мировой океан играет в регулировании климата с течением времени, и, следовательно, обеспечивают оптимальные возможности для прогнозирования будущей траектории развития климата и его вероятного влияния на все аспекты жизни. И действительно, насущная необходимость предсказывать будущий климат в сочетании со всё более функциональными моделями и ориентированными на работу с данными системами реанализа трансформировала полезность исторических метеорологических данных в науку о климате.

Основным источником исторических морских данных являются разрозненные сведения о погоде, комментарии и данные наблюдений, занесённые в бортовые журналы и дневники на борту судов, которые веками плавали по местным морям или пересекали Мировой океан. Стандартизированные таблицы с информацией и измерениями морской погоды, полученными без использования приборов, появились в начале шестнадцатого века, тогда как более систематические наблюдения с использованием высококачественных метеорологических приборов начались в середине-конце восемнадцатого века. Первые попытки установить международную координацию и стандартизацию в морской метеорологии были предприняты в ходе Брюссельской морской конференции (1853 год). Именно с этого периода военно-морские и торговые корабли многих стран начали систематически собирать и записывать миллионы наблюдений за погодой и морской поверхностью. Сегодня эти записи служат источником данных, необходимых для работы современных моделей и осуществления реанализа.

- 1 Менеджер Международной инициативы «Модели циркуляции атмосферы Земли» (АКРЕ), Метеорологическое бюро, Центр Хэдли, Соединённое Королевство.
- 2 Вашингтонский университет, Объединённый институт исследований климата, океана и экосистем и Тихоокеанская лаборатория морской среды НУОА, США.
- 3 Мэрилендский университет, Кооперативный институт исследований спутниковой системы Земли и национальные центры информации по окружающей среде НУОА, США.
- 4 АКРЕ ОКЕАНЫ/CSW Associates-Data Services, Соединённое Королевство.
- 5 Метеорологическая служба Германии.
- 6 Национальный институт водных и атмосферных исследований, Новая Зеландия.
- 7 Метеорологическое бюро, Центр Хэдли, Соединённое Королевство.
- 8 Датский метеорологический институт, Дания.

## От КОАДС к ИКОАДС

В области спасения морских данных серьёзные усилия по созданию наиболее полного комплекта данных морских метеорологических наблюдений на поверхности моря были предприняты в 1980-х годах. Результатом этих усилий стал Всеобъемлющий комплект данных по океану и атмосфере (КОАДС), который включал недавно появившиеся репозитории оцифрованных данных морских метеорологических наблюдений, полученных из множества источников, при этом данные в то время обычно производились и хранились на перфокартах. После увеличения международной поддержки и вкладов в развитие комплекта данных на протяжении многих лет проект был переименован в 2002 году в [Международный всеобъемлющий комплект данных по океану и атмосфере \(ИКОАДС\)](#), чтобы лучше отразить важный вклад международных партнёров и специалистов по управлению глобальными данными.

За время своего существования ИКОАДС также добился признания в качестве основного хранилища и точки доступа для исторических морских метеорологических наблюдений, восстановленных в результате как малых, так и больших усилий по оцифровке. Сюда входят исторические метеорологические данные, восстановленные и оцифрованные с помощью CDMP (Программа модернизации базы климатических данных: 2000–2011 годы); CLIWOC (База климатологических данных для Мирового океана — 1750–1850 годы, 2001–2003 годы); RECLAIM ([Восстановление бортовых журналов и международных морских данных: 2004 год ->](#)); Международной инициативы «[Модели циркуляции атмосферы Земли](#)» (АКРЕ, 2007 год->) (Allan *et al.*, 2016) и проектов CoRRaL (Реестры колоний Соединённого Королевства и бортовые журналы Королевского военно-морского флота: 2008–2009 годы).

Самой последней версией ИКОАДС является Версия 3: ИКОАДС Версия 3.0 (охватывающая 1662–2014 годы) (Freeman *et al.*, 2017) с добавлением месячных данных в режиме, близком к реальному времени, с 2015 года по настоящее время. На рисунке 1, взятом из указанной выше публикации, представлено сравнение версий ИКОАДС Версия 2.5 и ИКОАДС Версия 3.0 за период с 1800 по 2014 год, показывающее увеличение количества данных, достигнутое в результате многочисленных работ по восстановлению данных. Значимость этих восстановительных работ показана как по количеству данных, так и по их временному охвату, и они имеют решающее значение для дальнейшего

расширения ИКОАДС и обеспечения публичного доступа к большему количеству данных об океане. Поскольку ИКОАДС стремится в ближайшем будущем модернизировать и расширить свои базы данных для выпуска новой версии комплекта, усилия по спасению и оцифровке исторических данных будут иметь жизненно важное значение для обеспечения новых источников данных для пополнения ИКОАДС.

С момента выпуска ИКОАДС Версия 3.0 были предприняты согласованные усилия по расширению восстановления, преобразования в формат изображения и оцифровки [исторических глобальных морских метеорологических данных](#). Многие были предприняты посредством сочетания текущих и новых проектов по спасению данных с мероприятиями гражданской науки под руководством Метеорологической службы Германии (МСГ), Национального управления по исследованию океанов и атмосферы (НУОА) и Вашингтонского университета, работающего с Национальными архивами США, а также посредством усилий проекта «[Глобальная температура приземного воздуха](#)» (GloSAT), (2019 год ->) или проектов, связанные с международной инициативой АКРЕ и её компонентом АКРЕ Океаны (например, проектов [Службы спасения данных \(DRS\) C3S Программы ЕС «Коперник»](#) и проектов Британского фонда Ньютона АКРЕ-Китай в рамках CSSP-Китай, АКРЕ/C3S DRS/WCSSP Южная

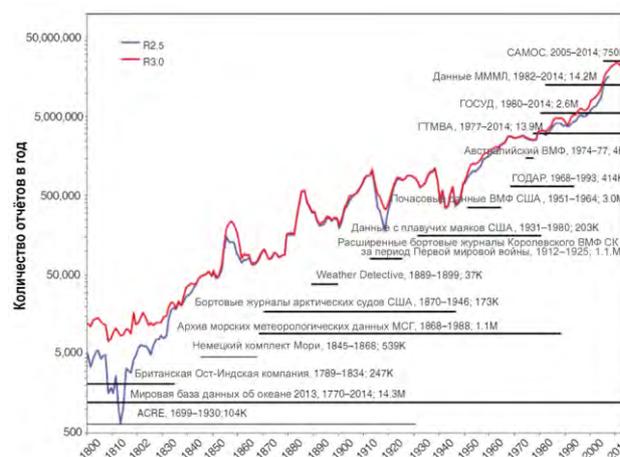


Рисунок 1. Крупные источники исторических оцифрованных морских данных и данных из внешних архивов, добавленные в ИКОАДС Версия 3 за период с 1800 по 2014 год. Горизонтальные чёрные линии показывают временной диапазон исходных источников морских данных. Годовое количество отчетов представлено в виде кривых (логарифмическая шкала на вертикальной оси), кривая синего цвета для предыдущей версии ИКОАДС Версия 2.5 и кривая красного цвета для ИКОАДС Версия 3.0. Охват морскими данными до 1800 года был недостаточным, а после 2007 года продолжает ежегодно расти. Источник: Freeman *et al.* (2017).

Африка, АКРЕ/C3S DRS Аргентина и АКРЕ/C3S DRS Антарктика). Эти инициативы включили новые, взаимосвязанные центры по спасению морских данных с помощью «гражданской науки» в рамках проектов *Old Weather* (2013 год->), *Weather Detective* (2014–2017 годы) и *Southern Weather Discovery* (2018 год->). Датский национальный архив также констатировал наличие комплекта из более чем 7000 архивных коробок с данными о погоде с судов, начиная с 1650 года, которые подходят для цифрового отображения и расшифровки. Все морские данные, оцифрованные в рамках указанных выше инициатив, будут предоставлены в ИКОАДС и новый «Комплект данных глобальных наземных и морских наблюдений» Программы ЕС «Коперник» (GLAMOD) (Thorne *et al.*, 2017).

## АКРЕ Океаны

Большая часть данных, спасённых (преобразованных в формат изображения/отсканированных и каталогизированных) в рамках АКРЕ Океаны, была получена благодаря усилиям всего двух человек, сосредоточивших внимание на трёх разных архивах в Соединённом Королевстве — архиве Метеорологического бюро (МБСК), архиве Гидрографического бюро (ГБСК) и архиве Национальных архивов (НА), а также работавших с рядом других репозиториев по всему миру (Аргентина, Австралия, Чили, Новая Зеландия, Скандинавия, Южная Африка и США). Некоторые из этих исторических морских данных были с тех пор оцифрованы с использованием как традиционных методов ввода, так и инициатив гражданской науки. В 2019 году АКРЕ Океаны отсканировал 2,6 млн и оцифровал 1,5 млн исторических данных морских наблюдений. Приведённая таблица даёт исчерпывающую картину работ по преобразованию в формат изображения/сканированию и оцифровке, выполненных только для регионов Антарктики и Южного океана. Следует отметить, что большая часть спасённых данных была восстановлена в результате работы всего лишь с несколькими архивами, при этом таких архивов выявлено гораздо больше, но данные в этих архивах не преобразованы в формат изображения. В мире существует ряд других архивов, которые потенциально могут содержать такие данные, но работа с ними ещё не проводилась.

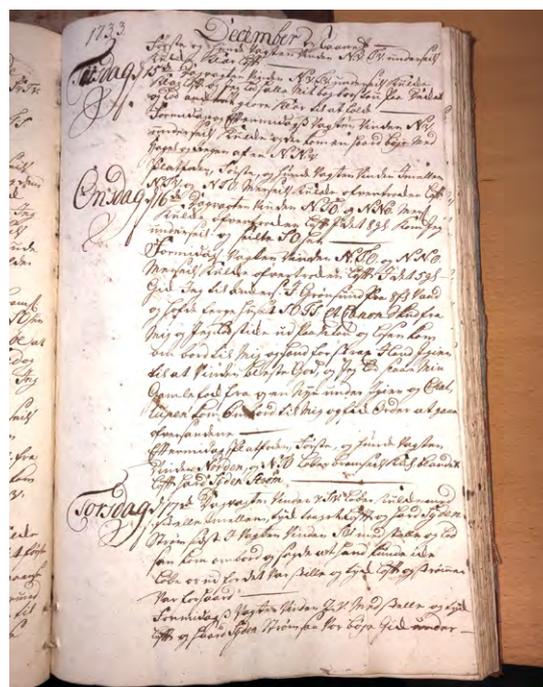
Важно понимать, что исторические морские данные можно найти не только в судовых журналах военно-морских и торговых судов. В морских геодезических и гидрографических документах (например в книгах записей), а также во многих других видах

документации, помимо судовых журналов, содержатся метеорологические и океанографические данные, материалы, связанные с регулированием китобойного промысла и рыболовства, прокладкой морского кабеля, перевозкой почты (почтово-пассажирские суда), яхтами, судами, перевозящими осуждённых и поселенцев. Большую часть этого материала ещё предстоит обработать — преобразовать в формат изображения/отсканировать и/или оцифровать, каталогизировать и заархивировать.

Также стоит упомянуть, что постоянно обнаруживаются новые архивы и новые типы документации — например, АКРЕ Океаны обнаружил в ГБСК рабочие тетради, используемые для сбора данных наблюдений за меридиональным расстоянием с целью определения долготы различных точек, а также данные наблюдений за давлением и температурой воздуха, выполняемых дважды в день. Раньше на эти наблюдения не обращали должного внимания из-за различного рода препятствий.

## Метеорологическая служба Германии

Метеорологическая служба Германии хранит в Морском метеорологическом бюро в Гамбурге архив из нескольких комплектов оригинальных исторических записей погоды с судов со всего мира, а также с немецких прибрежных и зарубежных наземных станций. Архив начал создаваться в Морской обсерватории



На фрегате «Хаммер» («Лобстер»), плывущем из Ньюборга на острове Фунен в Копенгаген, в понедельник, 14 декабря 1733 года, был отмечен слабый западный ветер (3 балла по шкале Бофорта).

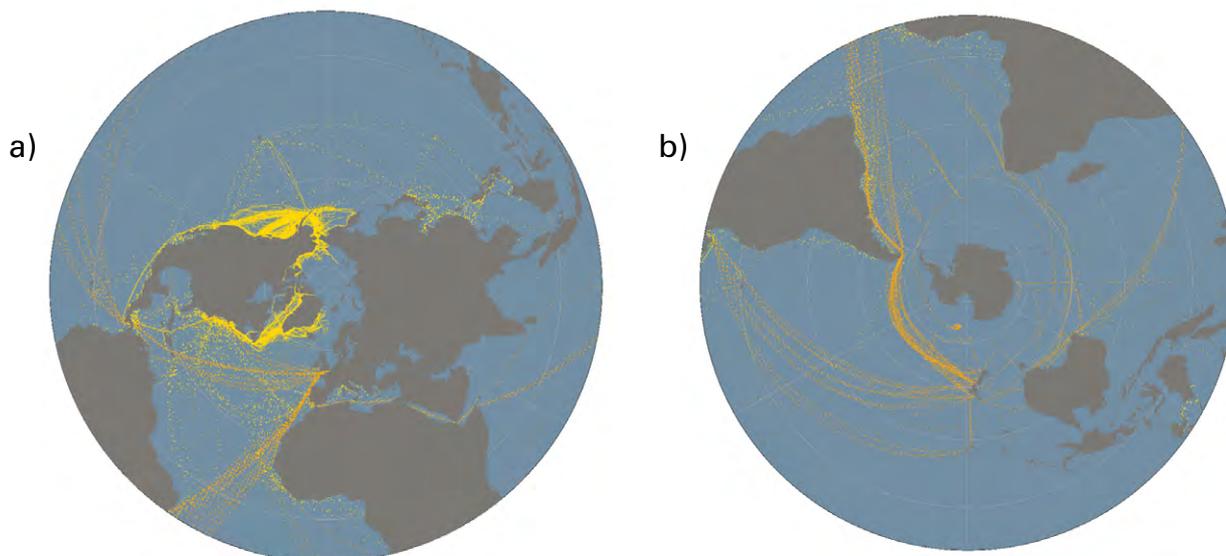


Рисунок 2. Места плавания судов, для которых новые для науки данные морских метеорологических наблюдений и наблюдений за морским льдом были восстановлены из исторических записей: а) Северное полушарие, б) Южное полушарие. Жёлтым цветом показаны данные, восстановленные в рамках проекта гражданской науки *Old Weather* из федеральных источников США, в первую очередь с судов ВМС и береговой охраны. Для мест, выделенных оранжевым цветом, данные извлечены из судовых журналов в рамках проекта гражданской науки *Southern Weather Discovery (SWD)*, осуществляемого Национальным институтом водных и атмосферных исследований Новой Зеландии (NIWA). Приблизительно 1–2% из 130 тысяч изображений с данными морских метеорологических наблюдений, переданных в NIWA, вводились с клавиатуры посредством SWD, осуществление которого ускорится, как ожидается, в ближайшие годы, чтобы улучшить пространственно-временной охват Южного полушария.

Германии, предшественнице МСГ, существовавшей с 1868 по 1945 год в Гамбурге. Располагая фондом, содержащем более 37 000 судовых метеорологических журналов, этот архив является одним из крупнейших в мире архивов подобного рода.

Исторический архив судовых журналов состоит из нескольких комплектов судовых журналов, начиная с 1828 года. Первые наблюдения взяты из обычных навигационных журналов. Все остальные комплекты состоят из типовых метеорологических журналов, введённых Мори (1840–1860 годы). Начиная с 1868 года Морская обсерватория Германии предоставляла немецким торговым судам собственные метеорологические журналы. Данные наблюдений за погодой из этих журналов были использованы для составления карт погоды, ветров и течений. На основе этих климатологических знаний и опыте моряков Морская обсерватория Германии разработала инструкции для торговых судов в обмен на их добровольные наблюдения — система добровольных наблюдений до сих пор существует в рамках [Международной схемы судов добровольных наблюдений \(СДН\)](#).

Общее количество морских наблюдений в историческом архиве Морской лаборатории Германии оценивается как минимум в 23 миллиона наблюдений,

а, вероятно, реально их значительно больше. Усилия по оцифровке бортовых журналов начались в начале 1940-х годов, и в то время миллионы наблюдений были перенесены на перфокарты. С тех пор работа по оцифровке в МСГ продолжалась в несколько этапов. К настоящему времени около 15 миллионов наблюдений были оцифрованы и добавлены в цифровую базу данных.

Для оцифровки содержимого судовых журналов был разработан сложный рабочий процесс, состоящий из нескольких этапов: сбор всех метаданных для конкретного журнала, оптическое сканирование журналов и, наконец, преобразование в электронный вид (ввод с клавиатуры) содержимого. Все оцифрованные данные, полученные в результате каждого этапа, хранятся в системе базы данных. Наконец, данные, прошедшие контроль качества, включаются в морской метеорологический архив МСГ, а также в ИКОАДС.

Усилия по оцифровке, не только в МСГ, продолжают десятилетиями в рамках различных проектов, большинство из которых подробно описаны в этой статье. Поэтому неудивительно, что содержимое различных архивов данных носит фрагментарный характер, например, некоторые журналы были

оцифрованы лишь частично, или записи в базе данных относятся к разным периодам оцифровки. Для других комплектов данных ссылки на соответствующие записи метаданных были потеряны с течением времени. В ходе программ обмена данными некоторые данные были продублированы в нескольких архивах.

Следовательно, ещё одной проблемой, параллельно с интеграцией новых оцифрованных данных, является консолидация и обеспечение однородности существующих архивов данных. Приоритетом для МСГ в этом контексте является присвоение отсутствующих идентификаторов судов каждому наблюдению. Это позволит выявлять пробелы в данных и применять более жёсткий контроль качества ко всем рейсам судов, что приведёт к значительному повышению качества существующих комплектов данных.

Усилия по оцифровке содержимого исторических архивов МСГ продолжаются. Помимо метеорологических судовых журналов, в настоящее время оцифровываются, проходят контроль качества и передаются в международные базы данных несколько архивов наземных станций (более подробная информация о деятельности по спасению данных МСГ доступна [здесь](#)).

Работа по оцифровке МСГ по-прежнему в основном опирается на ручной ввод данных наблюдений. Разновидности старинных немецких почерков и необычные формы записи данных являются постоянной проблемой для систем автоматического распознавания текста. Автоматический ввод данных в будущем может значительно ускорить эту работу. Однако управление метаданными спасённых данных, а также обработка и сканирование старых и ветхих документов по-прежнему требуют большой тщательной работы для создания высококачественных современных комплектов данных, получаемых в результате использования этих ценных источников исторических данных.

## НУОА/Вашингтонский университет/ Национальные архивы США

НУОА и Вашингтонский университет (Объединённый институт исследований климата, океана и экосистем) сотрудничают с Национальными архивами США с 2011 года. За этот период в рамках совместного проекта были получены цифровые изображения с высоким разрешением 4618 томов судовых журналов федеральных судов, датируемых между 1844 и 1955 годами. Все они находятся в

открытом доступе по всему миру по [Каталогу национальных архивов](#). На сегодняшний день с помощью этих ресурсов было получено около 1,5 миллионов новых для науки почасовых метеорологических данных в рамках проекта гражданской науки [Old Weather](#). Как показано на рисунке 2а, более 600 000 наблюдений за погодой и морским льдом в Арктике были дополнительно усовершенствованы за счёт кропотливой реконструкции маршрутов судов до почасового разрешения с использованием «счисления пути» и информации штурмана, содержащейся в журналах (то есть данных о маршруте судна и пройденном пути относительно известного начального положения).

Процесс создания цифровых копий, ввода с клавиатуры и контроля качества метеорологических данных, полученных на основе этих копий, и передачи этих данных в ИКОАДС и Международный банк данных о приземном давлении (ISPD) продолжается. Данные о морском льде, восстановленные с помощью [Old Weather](#), использовались для проверки реконструкции объёма морского льда в Арктике за последнее столетие, основанной на использовании моделей (Schweiger *et al.*, 2019, Wood *et al.*, 2019), также преобразованные метеорологические данные доступны для исследований в области машинного обучения в части распознавания рукописного ввода (HCR).

Об огромном потенциале для спасения данных наглядно свидетельствует размер комплекта в США, который остаётся в основном неиспользованным. Начиная с 1847 года судовые журналы ВМФ США, Службы береговой охраны, Таможенной службы и Службы береговой и геодезической съёмки содержат 24-часовые записи о погоде, включая записи



Пароход Соединённых Штатов «Похатан», попавший в циклон Хаттерас — Из рисунка Г. Т. Дугласа, США — [см. стр. 374.] в *Harper's Weekly*, 12 мая 1877 года.

о 7–10 переменных каждый час, хотя однообразия в отношении информации о переменных не было фактически до окончания Гражданской войны в США (1861–1865 годы). В Национальном архиве насчитывается примерно 22 700 судовых журналов, датированных периодом с 1801 по 1941 год. До 1915 года большинство томов содержали данные наблюдений за один год, а затем — с 1915 по 1941 год, журналы в основном были объединены в тома, содержащие данные ежемесячных наблюдений. По консервативным оценкам, только половина этих журналов содержит все 24-часовые наблюдения, и это означает, что необходимо восстановить 75 500 000 метеорологических записей. Без сомнения, есть ещё десятки миллионов не восстановленных метеорологических записей периода Второй мировой войны и после её окончания.

### Датский метеорологический институт/ Национальный архив Дании

Национальный архив Дании содержит огромные коллекции бортовых журналов. Стало возможным идентифицировать более 7000 архивных ящиков, заполняющих более 700 метров полок журналами и другими морскими данными за период, начиная уже с середины семнадцатого века. На сегодняшний день оцифрована лишь очень небольшая часть этих данных.

В последнее время многие морские страны предоставляют свои данные, но датские данные, помимо солидного возраста, имеют две особенности:

1. Между Данией и другими частями Датского королевства существовало регулярное морское сообщение. Это позволяет нам получить обширную информацию о ветре, погоде, температуре и протяжённости ледового покрова на пути в Гренландию и Исландию и обратно.
2. Эресуннская пошлина являлась налогом, который должно было платить каждое судно, проходящее через пролив Эресунн между Данией и современной Швецией (в то время пролив был датским). В отдельные годы эта пошлина обеспечивала около трети национального бюджета Дании. Поэтому король постановил, что суда не будут проходить без уплаты пошлин, и в нескольких местах вдоль пролива Эресунн и в проливе Большой Бельт были выставлены датские суда, чтобы обеспечить это. Судовые журналы этих судов интересны тем, что записи в этих журналах имеют высокое временное разрешение, и тем, что относятся к XVII веку.

Национальный архив и Датский метеорологический институт разрабатывают проект под названием ROPEWALK (Спасение старых данных усилиями граждан: архивы погоды и климата на основе записей в бортовых журналах) по оцифровке этого огромного количества данных. В максимально возможной степени будут использоваться методы машинного обучения, а затем оставшиеся данные будут оцифрованы волонтерами, как это было в других сопоставимых проектах. Оцифрованные данные пройдут контроль качества и будут предоставлены научному сообществу.

### Национальный институт водных и атмосферных исследований

Национальный институт водных и атмосферных исследований (NIWA) в Новой Зеландии занимается спасением метеорологических данных в качестве вклада в АКРЕ (посредством участия в АКРЕ Тихий океан и АКРЕ Антарктика) с 2009 года. По этому каналу также передаются данные в ISPD. В течение последнего десятилетия внимание NIWA было сосредоточено главным образом на восстановлении высокоширотных метеорологических наблюдений в юго-западной части Тихого океана и в Южном полушарии за период 1800–1950 годов.

NIWA хранит миллионы наблюдений, относящихся к середине 1850-х годов, и в настоящее время прилагаются усилия по созданию цифровых копий и каталога метаданных, чтобы провести верификацию находящихся на хранении физических документов и данных, введённых с клавиатуры и хранящихся в цифровых архивах. В Новой Зеландии было обнаружено ещё несколько ценных исторических метеорологических документов (Lorrey and Chappell, 2016), которые используются для реконструкции синоптических погодных режимов и сравниваются с морскими наблюдениями, спасёнными другими научными организациями.

В последние годы NIWA занимается платформой гражданской науки [Southern Weather Discovery \(SWD\)](https://southweatherdiscovery.org), размещённой на сайте проекта Zooniverse ([southweatherdiscovery.org](https://southweatherdiscovery.org)), и восстановил ~ 250 000 морских метеорологических наблюдений в Южном полушарии, способствует спасению метеорологических данных и завершает эксперименты по вводу реплицированных данных (рис. 2b). Он также активно сотрудничает с Microsoft в проекте «Искусственный интеллект» (AI) в интересах Земли», где сравниваются данные наблюдений, ввод которых осуществлён вручную и автоматически.

## Проблемы и действия

Основные проблемы, с которыми сталкивается сообщество по спасению морских данных, можно разделить на две категории: доступ к историческим записям и преобразование рукописей в цифровой формат.

В первой категории судовые журналы, которые, как правило, содержат наибольшее количество высококачественных морских метеорологических данных, часто имеют возраст 100 или более лет и считаются документами национального значения. Государственные архивы, которые обычно несут ответственность за хранение и сохранность этих подчас ветхих документов, по понятным причинам осторожны в работе с ними. Однако нередко встречаются другие препятствия, такие как взимание платы за доступ (помимо платы за само преобразование в формат изображения), или другие запреты, которые существенно ограничивают использование таких документов в масштабах, необходимых для спасения данных.

Во второй категории преобразование в действенный цифровой формат в свою очередь является острой проблемой. В настоящее время этот этап выполняется с помощью либо ручного ввода, либо двойного слепого метода, либо с использованием гражданской науки (краудсорсинг). Эти подходы весьма полезны, если нацелены на конкретные регионы или периоды времени с недостаточным охватом данными, такие как Северный Ледовитый или Южный океаны, или на решение отдельно взятого изучаемого вопроса. Однако крупномасштабное преобразование огромного количества неиспользуемых морских метеорологических данных, которые реально существуют, потребует эффективного решения на основе искусственного интеллекта/машинного обучения.

Наконец, оцифрованные записи должны быть как можно более полными с подробными метаданными (где это возможно). Это особенно важно при работе с ошибками в данных, которые зависят от знаний о таких параметрах, как солнечное излучение, скорость и направление ветра, влажность и температура воздуха. Для метаданных может быть важна такая информация, как места хранения термометров или обеспечение их защиты от внешних воздействий, расположение экранов, платформы для наблюдений и особенности других приборов. Что касается температуры поверхности моря, то информация об оборудовании для измерений в машинном отделении, или о том, какой тип

ёмкости для отбора проб океана использовался, имеется в редких случаях, к тому же часто бывает недостаточно информации о том, как проводились измерения (Kent and Kennedy, 2021). Также важна документация с описанием методов и т.п., которую иногда можно найти в справочниках морских наблюдателей. В связи с вышесказанным возникает необходимость повторно обработать старые данные, чтобы получить от их использования как можно больше, а также оценить, какие данные являются полными, а какие — нет. Успеху всех этих усилий очень сильно способствовал бы доступ к более устойчивым источникам финансирования.

Действия, которые начинают предприниматься для рассмотрения вышеуказанных потребностей, включают следующее:

- В США НУОА недавно подняло на более высокий уровень развитие гражданской науки и машинного автоматического преобразования данных, предоставив возможности для целевого финансирования малого бизнеса и возможности для использования инкубатора информационных технологий Программы высокопроизводительных вычислений и коммуникаций NOAA.
- Частные благотворительные организации всё активнее участвует в поддержке науки о климате в областях, где финансирование традиционно было затруднительным.
- Объединение усилий Программы ЕС «Коперник», ВМО, АКРЕ, МСГ, Фонда Ньютона СК, НУОА, NIWA и аналогичных инициатив и финансовых потоков, которые всё активнее работают вместе с национальными метеорологическими службами, чтобы восстановить и улучшить инфраструктуру фундаментальных данных для удовлетворения потребностей в высокопроизводительном реанализе и новых приложениях искусственного интеллекта в этой области.

В цифровом формате существует технология, чтобы ассимилировать все морские метеорологические наблюдения, собранные каждым судном каждый день за последние два столетия. То, что стало известно о долгосрочном состоянии и будущем системы Земля в результате такого всеобъемлющего реанализа, может оказаться чрезвычайно важным в будущем.

**Список литературы доступен  
в онлайн-режиме**

# Программы наблюдений за океаном для мониторинга климата и удовлетворения социальных потребностей: роль ГЭНОФК

Сабрина Шпайх, профессор, Высшая нормальная школа; сопредседатель ГЭНОФК и Вейдун Ю, профессор Университета Сунь Ятсена; сопредседатель ГЭНОФК

Океан поглощает, переносит, перераспределяет и хранит тепло таким образом, что действует как регулятор климата. Более трёх миллиардов человек полагаются на океан как на источник средств к существованию. Океан также обеспечивает огромное количество социально-экономических, экологических и культурных благ для всего человечества. Понимание океана является ключом к использованию и поддержанию этих благ и в то же время ключом к сохранению его здоровья.

Но океан огромен. Хотя во многих странах действуют программы мониторинга океана, они часто ограничиваются территорией их соответствующих исключительных экономических зон (ИЭЗ). Крупные экспедиции и экспериментальные кампании в удалённых океанических бассейнах собрали бесценные данные, которые изменили наше понимание не только океана, но и всей Земли; однако они не обеспечили исчерпывающую картину всей поверхности океана. Спутники во многом изменили ситуацию, но только для верхних слоёв океана. В то время как человечество в значительной степени картографировало поверхность Марса с помощью ряда орбитальных космических зондов, в океане картографировано только 20 % дна<sup>1</sup>. Даже после десятилетий океанографических кампаний, экспериментальных платформ и спутников, а также других технологических достижений, таких как революция автономных датчиков, картина не является полной, мы получили выборочные снимки, но не исчерпывающую картину.

1 Картографирование всего морского дна является очень амбициозной целью проекта Фонда «Ниппон» и ГЕБКО (Генеральная батиметрическая карта океанов) «Морское дно-2030».

Разработка системы наблюдений для мониторинга океана по всей его ширине и глубине на устойчивой и непрерывной основе является фундаментальной задачей, которая требует глобального подхода. В 1996 году Группа экспертов по наблюдениям за океаном с акцентом на физических переменных и климате (ГЭНОФК) была сформирована в рамках трёх программ Организации Объединённых Наций — Глобальной системы наблюдений за океаном (ГСНО), Глобальной системы наблюдений за климатом (ГСНК) и Всемирной программы исследований климата (ВПИК) — для решения этой задачи<sup>2</sup>. У этих трёх программ, учреждённых, соответственно, в 1991, 1992 и 1993 годах, одни и те же спонсоры: ВМО, Межправительственная океанографическая комиссия ЮНЕСКО (МОК-ЮНЕСКО) и Международный совет по науке (МСН)<sup>3</sup>.

Перед ГЭНОФК было поставлено три задачи:

1. Содействовать разработке и согласованию международного плана устойчивых глобальных наблюдений за океаном в поддержку целей спонсоров ГЭНОФК.
2. Предложить механизмы оценки и совершенствования согласованного плана.

2 ГЭНОФК заменила Группу экспертов по развитию системы наблюдений за океаном (ГЭРСНО, 1990–1994 годы), которой было поручено разработать систему наблюдения за океаном в интересах климата.

3 У ГСНО и ГСНК есть дополнительный спонсор — Программа Организации Объединённых Наций по окружающей среде (ЮНЕП).

3. Поддерживать связь между всеми организациями, участвующими в глобальных наблюдениях за океаном.

Эти цели со временем эволюционировали, и первоначальный акцент на физических переменных распространился на более широкий круг вопросов. В этой статье будут описаны достижения и прогресс ГЭНОФК за последние 25 лет.

### Конец девяностых годов: осмысление составных частей

Первоначально в центре внимания ГЭНОФК находился открытый океан, в то время как другие группы экспертов ГСНО отвечали за замкнутые и шельфовые моря и прибрежные морские территории. В первые годы своего существования ГЭНОФК подготовила ряд обзоров в связи с появлением новых технологий и возможностей для наблюдений. Двумя отличными примерами являются Глобальная система наблюдения за уровнем моря (ГЛОСС) с учётом новых спутниковых возможностей и Программа попутных судов (ППС). Группа также участвовала в создании Глобального эксперимента по усвоению данных об океане (ГЭУДО, 1997 год), который предъявил новые требования к системе наблюдений за океаном и в разработке концепции очень успешной и всё ещё действующей программы Арго<sup>4</sup>.

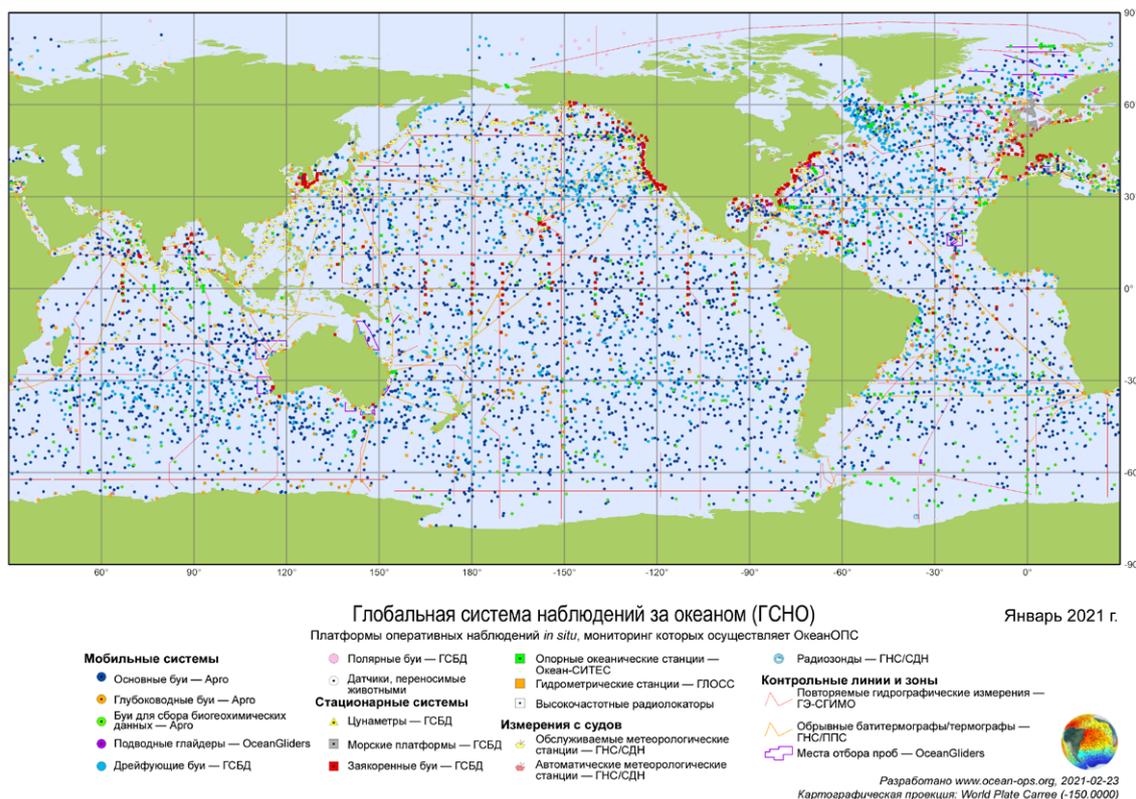
Кульминацией работы ГЭНОФК стала Первая международная конференция по системе наблюдений за океаном в интересах изучения климата, состоявшаяся в Сан-Рафаэле, Франция, в октябре 1999 года («Наблюдения за океаном-99»). Конференция «Наблюдения за океаном-99» заложила основы того, что мы теперь называем устойчивой системой наблюдений за океаном в интересах изучения климата. В результате конференции «Наблюдения за океаном-99» сообщества, занимающиеся наблюдениями за океаном, достигли консенсуса в отношении необходимости согласованных на международном уровне устойчивых усилий по наблюдениям на глобальном уровне за физическими и углеродными переменными с учётом климатических применений.

### 2000–2009 годы: создание сетей

В течение 2000-х годов ГЭНОФК работала с различными партнёрами, чтобы поддержать создание нескольких устойчивых сетей наблюдений на основе рекомендаций конференции «Наблюдения за океаном-99». К ним относятся появление в 1999 году инициативы по созданию временных рядов наблюдений с заякоренных буёв в рамках ОкеанСИТЕС (Система непрерывных междисциплинарных временных рядов наблюдений за океанской окружающей средой) и создание международной схемы расстановки ныряющих буёв Argo (Система оперативной геострофической океанографии) в 2000 году. Участие ГЭНОФК имело критически важное значение для заключения соглашений о данных, включения новых сетей в существующие программы, такие как ППС и глобальная сеть обрывных батитермографов (ОБТ), и обеспечение связи с растущим числом спутниковых программ. В 2001 году ГЭНОФК провела обзор системы заякоренных буёв в тропиках. В течение этого периода ГЭНОФК сотрудничала с ВПИК в рамках проекта «Климат и океан: изменчивость, предсказуемость и изменение» (КЛИВАР) и с другими группами экспертов ВПИК, обеспечивая как развитие устойчивой системы наблюдений за океаном, так и внесение вклада в исследования региональных и бассейновых процессов. С учётом опыта вклада ГЭНОФК в создание ГЭУДО, её косвенное спонсорство имело жизненно важное значение для включения соображений, связанных с изменением климата, в план разработки в 2002 году механизма, который сейчас известен как Группа по данным высокого разрешения о температуре поверхности моря (ГДВРТПМ).

Вторая Международная конференция по системе наблюдений за океаном в интересах изучения климата («Наблюдения за океаном-09») была проведена в Венеции, Италия, в сентябре 2009 года, и ГЭНОФК выступила в качестве одного из её лидеров. Конференция «Наблюдения за океаном-09» признала полезность наблюдений за океаном не только в интересах климата и необходимость не ограничиваться физическими переменными, но и включить биогеохимические и экосистемные переменные в систему наблюдений за океаном. Таким образом, ключевой рекомендацией конференции «Наблюдения за океаном-09» стала рекомендация о необходимости международной интеграции и координации междисциплинарных наблюдений

4 <https://argo.ucsd.edu/>



*Состояние сетей, объединяющих Глобальную систему наблюдений за океаном (ГСНО), мониторинг которой осуществляет Центр ВМО/МОК-ЮНЕСКО для поддержки программ наблюдений *in situ* (ОкеанОПС), а также других сетей, таких как ГЛОСС и Argo*

за океаном. В этой связи проводилось активное взаимодействие с различными океанскими сообществами, участвующими в наблюдениях за океаном, а также с конечными пользователями. Спонсоры конференции «Наблюдения за океаном-09» также поручили Целевой группе отреагировать на эту рекомендацию, что привело к выпуску в 2012 году Рамочной основы наблюдений за океаном (РОНО) (Lindstrom *et al.*, 2012; Tanhua *et al.*, 2019).

### 2010–2019 годы: за пределы физических переменных к удовлетворению социальных потребностей

РОНО применяет системный подход к устойчивым глобальным наблюдениям за океаном. Она использовала важнейшие океанские переменные (ВОКП) в качестве общего приоритета и определила систему на основе потребностей, наблюдений, данных и информации в качестве ключевых компонентов. Примечательно, что она включила наблюдения как в прибрежных водах, так и в открытом океане. Оценка осуществимости, потенциала и воздействия

для каждого из трёх компонентов системы производилась на основе уровней готовности, то есть концепции, опытного проекта и завершённости. РОНО обеспечивает руководящие принципы развития системы наблюдений для обслуживания широкого круга приложений и пользователей. Чтобы поддержать расширение системы наблюдений за океаном, произошло расширение ГСНО за счёт включения трёх групп по определённым дисциплинам: ГЭНОФК стала группой по вопросам физических переменных и климата, Международный координационный проект по океаническому углероду (МКПОУ) обеспечил надзор за биогеохимией океана, и была сформирована новая группа по биологии и экосистемам (БиоЭко). ГЭНОФК продолжает выполнять две функции: группы по океану в рамках ГСНК и группы по физическим переменным в рамках ГСНО. Для удовлетворения потребностей ГСНК необходимо, чтобы ГЭНОФК работала со всеми компонентами ГСНО, координируя вклад по вопросам океана и взаимодействуя с родственными группами ГСНК — по наблюдениям за поверхностью суши в интересах изучения климата (ГЭНПСК) и по атмосферным наблюдениям в интересах изучения климата (ГЭАНК).

## Системы наблюдений за океанскими бассейнами: некоторые успехи

Оглядываясь назад в начало 1980-х годов, можно сказать, что одна из самых успешных историй ГСНО началась с первоначального этапа реализации сети наблюдений тропической зоны океана/атмосферы (ТАО) под руководством Национального управления по исследованию океана и атмосферы (НУОА) США в центральной и восточной частях Тихого океана. Позднее она стала охватывать и западную часть после того, как была размещена сеть буёв TRITON, предоставленная Японским центром морских наук и технологий (ЯМСТЕК). В течение десятилетнего периода — с 1985 по 1994 год — шло развитие сети ТАО-TRITON, охватившей весь тропический район Тихого океана, что явилось огромным вкладом в построение системы наблюдений в масштабах одного океанского бассейна для удовлетворения научных и социальных потребностей, то есть мониторинга, понимания и прогнозирования Эль-Ниньо и его глобальных последствий. Толчком для такой инициативы стало неожиданно в высшей степени интенсивное Эль-Ниньо в 1982/83 году, которое продемонстрировало, что природа всегда намного сложнее, чем кажется. Прогресс, достигнутый в отношении Эль-Ниньо в части наблюдений, теоретических знаний, прогнозов и обслуживания считается одним из наиболее важных достижений науки об океане и климате в XX веке. Проект «Система наблюдений за тропическим районом Тихого океана 2020» (TPOS-2020) направлен на преобразование действующей в течение 30 лет сети ТАО-TRITON в более устойчивую и соответствующую целевому назначению систему наблюдений.

Другая история в бассейне Индийского океана. Там система наблюдений за океаном начала реализовываться в начале XXI века, отставая от своего тихоокеанского соседа. Система наблюдений в Индийском океане (IndOOS) была предложена и обсуждалась на конференции «Наблюдения за океаном-99» в Сан-Рафаэле, Франция. Затем была создана группа экспертов КЛИВАР-ГСНО по Индийскому океану для планирования и разработки IndOOS. Реализация IndOOS проходила ускоренными темпами благодаря международному сотрудничеству и вкладам со стороны Австралии, Китая, Индии, Индонезии, Японии, Южной Африки и США в форме предоставления бесценного судового времени и/или инвестиций в приобретение приборов. В ходе недавнего обзора работы ИндООС в течение 10 лет был подготовлен пересмотренный вариант плана, который будет осуществляться, начиная с 2021 года.

Конференция «Наблюдения за океаном-19» была направлена на дальнейшее обеспечение согласованности науки, технологий и человеческого потенциала в области наблюдений за океаном для удовлетворения растущих и неотложных потребностей общества. Она подчеркнула важность наблюдений за океаном как ключевого источника информации о стихийных бедствиях — от цветения вредоносных водорослей и бактерий, цунами, штормовых нагонов, волн тепла и штормов до других экстремальных погодных явлений — зловония и биоразнообразия экосистем, загрязнения океана и изменения уровня моря. Она выделила необходимость наблюдений для поддержки экосистемно-ориентированного управления, морского прогнозирования и прогнозирования погоды, предсказаний и проекций климата, безопасности

на море и навигации, поддержки принятия решений по адаптации к изменению климата, исследования глубоководных районов океана и картографирования морского дна, а также для многих других областей. Необходимость интегрирования программ наблюдений за океаном и программ научных исследований для удовлетворения социальных потребностей приобретает как никогда важное значение (Viabeck *et al.*, 2018).

### После 2020 года: будущее наблюдений за океаном и усилий по координации

В этой статье мы описали историю и некоторые успехи ГЭНОФК, а также её многочисленные обязанности в рамках ГСНК, ГСНО и ВПИК. Учитывая

возрастающую сложность сочетания платформ наблюдений и сенсорных технологий, а также постоянно растущее число пользователей и их различные, а иногда и противоположные потребности, ГЭНОФК сталкивается с новыми проблемами. Для решения этих проблем ГЭНОФК необходимо рассмотреть следующие вопросы (Sloyan *et al.*, 2019):

- Как мы развиваем систему наблюдений, чтобы удовлетворять потребности более широкого круга применений, начиная от экстремальных явлений (например циклонов, штормов, морских волн тепла и прогнозирования прибрежных наводнений) до мониторинга климата и поддержки экосистемных услуг?
- Какие действия нам необходимо предпринять, чтобы продолжать развивать систему, используя механизмы анализа её эффективности: привлечение пользователей, инновации, расширение участия?
- Как мы проводим на постоянной основе оценку и модернизацию системы наблюдений, чтобы гарантировать, что она работает как интегрированная система?
- Как нам поддержать интерес и импульс, чтобы обеспечить устойчивость наблюдений, когда большая часть финансирования предоставляется на краткосрочные циклы<sup>5</sup>?

В январе стартовало Десятилетие науки об океане в интересах устойчивого развития ООН (2021–2030 годы). Оно предлагает уникальную возможность найти решения для улучшения знаний об океане и изменения его статуса в соответствии с Целями устойчивого развития (ЦУР). В центре внимания Десятилетия находится наука, и было предложено несколько направлений исследований и разработок. Однако теоретических знаний

недостаточно. Необходимо определить, кто и что должен делать, и стимулировать переход от научных знаний к практическим решениям. Пытаясь ответить на вышеперечисленные вопросы, ГЭНОФК будет продолжать поддерживать ГСНО, ГСНК и ВПИК в части взаимодействия с сообществом, занимающимся наблюдениями за океаном, и с другими заинтересованными сторонами с целью их привлечения к участию в качественно новых программах в рамках Десятилетия с тем, чтобы способствовать появлению соответствующей целевому назначению интегрированной системы наблюдений за океаном, удовлетворяющей все потребности общества.

## Литература

Lindstrom, E., Gunn, J., Fischer, A., McCurdy, A., and Glover, L. K. (2012). «A Framework for Ocean Observing,» in Proceedings of the Task Team for an Integrated Framework for Sustained Ocean Observing, UNESCO 2012 (revised in 2017), IOC/INF-1284 rev.2, Venice.

Sloyan, B.M. et al. (2019). Evolving the Physical Global Ocean Observing System for Research and Application Services Through International Coordination. *Front. Mar. Sci.* 6:449. doi: 10.3389/fmars.2019.00.

Tanhua, T. et al., (2019). What We Have Learned From the Framework for Ocean Observing: Evolution of the Global Ocean Observing System. *Front. Mar. Sci.*, 20 August 2019. doi.org/10.3389/fmars.2019.00471.

Visbeck, M. (2018). Ocean science research is key for a sustainable future. *Nat Commun* 9, 690. doi.org/10.1038/s41467-018-03158-3.

5 В отличие от спутниковых наблюдений (которые опираются на государственное финансирование, а также на финансировании за счёт космической отрасли) и морских метеорологических наблюдений (интегрированных в оперативные программы постоянных наблюдений, осуществляемых национальными метеорологическими и гидрологическими службами), наблюдения за океаном *in situ* в основном финансируются за счёт исследовательских проектов ограниченной продолжительности (самый продолжительный срок финансовых обязательств обычно составляет 5 лет), что сопряжено с серьёзными рисками для непрерывности временных рядов.

# Глобальная служба криосферы — информация о морском льде для науки и оперативной деятельности

Петра Хайль<sup>1</sup>, Пенелопа Вагнер<sup>2</sup>, Ник Хьюз<sup>3</sup>, Томас Лаверн<sup>4</sup> и Родика Ниту<sup>5</sup>

Морской лёд является ключевым показателем изменения климата. В то же время изменения в параметрах морского льда влияют на доступ к полярным океанам и окружающим их морям и их ресурсам и являются важным фактором обеспечения безопасности судоходства в высоких широтах. Кроме того, изменения в морском ледяном покрове влияют на циркуляцию океана и погодные условия как на местном уровне, так и в средних и низких широтах.

Глобальная служба криосферы (ГСК) ВМО обеспечивает целенаправленный подход к удовлетворению потребностей Членов и их партнёров в наблюдениях за криосферой как ключевым компонентом системы Земля. Через ГСК можно получить доступ к данным о криосфере и использовать их для удовлетворения информационных потребностей. На основе данных наблюдений *in situ*, спутниковых и самолётных наблюдений, а также расчётов с использованием моделей криосферы, имеющихся в ГСК, можно получить аналитические материалы и показатели с добавленной стоимостью для разработки продукции и обслуживания.

Морской лёд является высокоприоритетным направлением деятельности ГСК, с особым акцентом на обеспечение единообразия наблюдений за морским льдом во всех полярных регионах и на поддержание доступа к хорошо изученным данным о морском льде и спутниковой продукции,

которые обеспечивают критически важный вклад в численное прогнозирование погоды, мониторинг климата и оперативную деятельность. Эта деятельность ГСК по морскому льду координируется с другими видами деятельности технических комиссий ВМО, имеющими отношение к океану. В 2020 году ГСК стала одним из координаторов деятельности Группы экспертов по наблюдениям за океаном с акцентом на физических переменных и климате (ГЭНОФК)<sup>6</sup>, осуществляющей мониторинг важнейших океанических переменных (ВОкП) и важнейших климатических переменных (ВКлП) в интересах изучения морского льда.

Наблюдения за морским льдом являются непростым делом из-за масштабов, удалённого доступа, экстремальных условий для оперативной деятельности и высоких связанных с этим затрат. Деятельность по получению данных и их последующей оценке часто разбросана между исследовательскими, академическими и оперативными учреждениями. Кроме того, не полностью решены различные вопросы, связанные с наблюдениями за морским льдом, стандартизацией и использованием данных. Однако потребность в информации в режиме, близком к реальному времени, с увеличенным пространственным разрешением о концентрации морского льда, его толщине, давлении, стадии развития, наличии айсбергов и других параметрах растёт, что обусловлено необходимостью прогнозирования и принятия решений для поддержки судоходства, поисково-спасательных операций, а также в интересах изучения климата и предоставления экосистемных услуг в полярных регионах.

1 Научный сотрудник, Австралийская антарктическая служба и Университет Тасмании (Австралия).

2 Научный сотрудник, Норвежский метеорологический институт, Норвегия.

3 Руководитель Норвежской ледовой службы, Норвежский метеорологический институт, Норвегия.

4 Научный сотрудник, Норвежский метеорологический институт, Норвегия.

5 Секретариат ВМО.

6 ГЭНОФК спонсируется совместно Глобальной системой наблюдений за климатом (ГСНК) ВМО/МОК-ЮНЕСКО/МСН/ЮНЕП, Глобальной системой наблюдений за океаном (ГШО) МОК-ЮНЕСКО и Всемирной программой исследований климата (ВПИК) ВМО/МОК-ЮНЕСКО/МСН.



Отбор проб морского льда и снега *in situ* вместе с скоординированными океанографическими, атмосферными и биогеохимическими наблюдениями обеспечивает ключевую информацию и места якорной стоянки для получения продукции на основе данных дистанционного зондирования, а также для калибровки и проверки результатов численного моделирования. (Фото: П. Хайль)

ГСК координирует три приоритетных направления деятельности, связанных с морским льдом:

1. Унификация и стандартизация протоколов наблюдений за морским льдом и отчётности.
2. Согласованное определение и распространение требований к наблюдениям по всем сферам оперативных и научных применений.
3. Содействие в описании производной спутниковой продукции по морскому льду и того, как её использование поддерживает конкретные применения.



Расходные дистанционно управляемые приборы на морском льду, внутри его и под ним, как показано на фото, предоставляют важную информацию о состоянии морского льда и его снежного покрова, а также о том, как он развивается и движется, реагируя на воздействие атмосферы и океана. (Фото: П. Хайль)

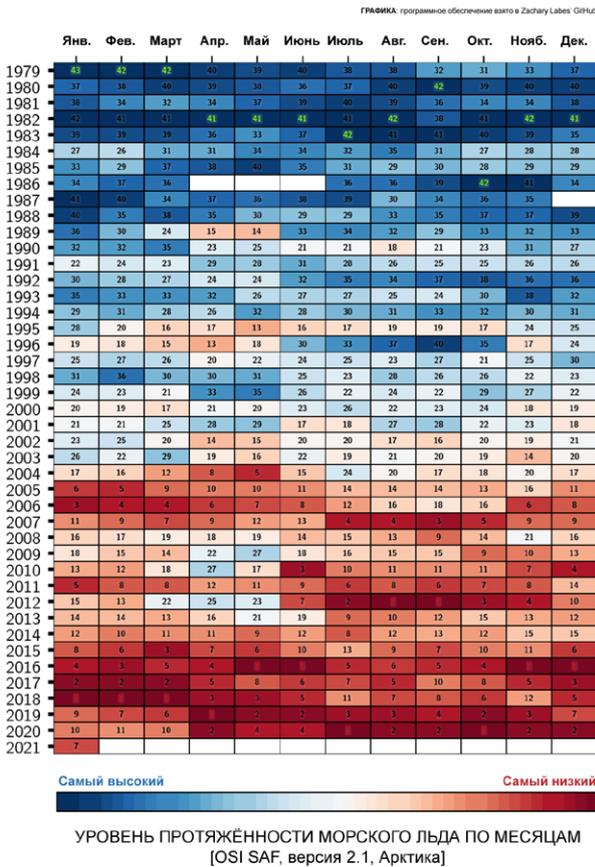
ГСК работает в тесном сотрудничестве с Целевой группой ВМО по полярным наблюдениям из космоса по третьему направлению. Все три направления увязаны с мероприятиями, запланированными в рамках Десятилетия науки об океане в интересах устойчивого развития ООН.

Стандартизированные протоколы наблюдений и отчётности необходимы для преодоления недостатка и раздробленности данных о морском льде как для Арктики, так и для Антарктики, а также для предоставления упорядоченных и хорошо описанных входных данных для разработки и проверки численных моделей и информационной продукции дистанционного зондирования. Это возможно благодаря сотрудничеству с другими программами, которым ГСК оказывает поддержку. К ним относятся программы в рамках Глобальной системы наблюдений за океаном (ГСНО), управляемые службами морского льда, и долгосрочные исследовательские программы, такие как «Процессы морского льда, экосистемы и климат Антарктиды» (АСПЕКТ), IceWatch, Сеть наблюдений за припайным льдом (АФИН), Международная программа по арктическим буям (МПАрБ) и Международная программа по антарктическим буям (МПАБ). АСПЕКТ — это группа экспертов по междисциплинарным исследованиям зоны морского льда Антарктики в рамках программы физических наук Научного комитета по антарктическим исследованиям (СКАР), которая координирует сбор данных с судов в Южном океане, калибровку данных и создание записей наблюдений. На основе

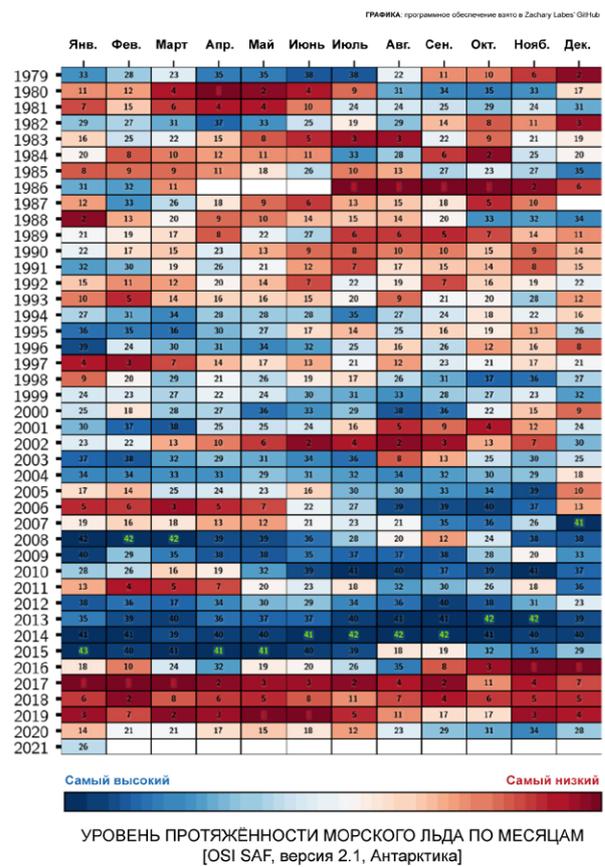


Приборы для измерений *in situ* предоставляют данные с высоким пространственным и временным разрешением по ряду свойств морского льда, которые имеют решающее значение для понимания процессов, обуславливающих эволюцию морского льда и связывающих изменения свойств морского льда с дискретным воздействием. (Фото: Р. Стил)

(a)



(b)



Неуклонное сокращение протяжённости морского льда в Арктике (a) и Антарктике (b) за более чем 40 лет сбора спутниковых данных. На изображении показаны уровни (1: самый низкий, 43: самый высокий) среднемесячной протяжённости морского льда в Арктике и Антарктике соответственно. Строки/столбцы отображают годы/месяцы, а цвета меняются от синего (самый высокий) до красного (самый низкий). (На основе данных EUMETSAT OSI SAF и материалов НИОКР ESA CCI (любезно предоставлено Т. Лавергном (Норвегия)).

использования программного обеспечения для стандартизации наблюдений за морским льдом в Арктике (ACISST) (Arctic Shipborne Sea Ice Standardization Tool (ASSIST)), разработанного в рамках проекта по климату и криосфере (КЛиК) Всемирной программы исследований климата (ВПИК), Норвежский метеорологический институт утвердил IceWatch для упорядочения и архивирования данных наблюдений за морским льдом, полученных в Северном полушарии. Наконец, АФИН — это сеть наблюдений за припайным льдом в Антарктике, занимающаяся получением данных наблюдений за прибрежным океаном, морским льдом и атмосферой.

Консолидация требований к наблюдениям за морским льдом является приоритетным направлением деятельности ГСК в контексте уравнивания потребностей в мониторинге погоды и климата с потребностью в данных в режиме, близком к реальному времени (<24 часов) и с более высоким

пространственным разрешением (сотни метров). В консолидированных требованиях должны быть отражены потребности для таких применений, как оперативный мониторинг морского льда, поисково-спасательные операции, а также для понимания и преодоления драматических последствий изменения климата для полярных экосистем, что также имеет отношение к продовольственной безопасности, в том числе для коренных народов.

Параллельно с этим документально подтверждённые требования к наблюдениям поддерживают развитие систем наблюдений в полярных регионах, где в значительной степени полагаются на спутниковые наблюдения. Цели спутниковых программ и их реализация зависят от участия сообществ пользователей в том, чтобы определить инвестиционные приоритеты, например определить, когда спутники приближаются к ожидаемому окончанию срока службы и их необходимо заменить. Одним из примеров является обращение за поддержкой,

подписанное более чем 600 учёными из более чем 30 стран, чтобы устранить предполагаемый пробел в возможностях для радиолокационной альтиметрии в полярных районах. Этот и другие потенциальные пробелы, если они будут иметь место на практике, создадут значительные разрывы в долгосрочных рядах данных об изменении толщины морского льда (и ледяного покрова) в переломный момент времени, когда непрерывность мониторинга климата имеет важное значение для мониторинга прогресса в рамках Парижского соглашения Рамочной конвенции Организации Объединённых Наций об изменении климата. Это подчёркивает важность роли ВМО в содействии выявлению потребностей пользователей и критических пробелов для обоснования решений о приоритетах спутниковых программ, цели которых варьируются от прогнозирования погоды и состояния океана, мониторинга состояния океана, льда и волнения для безопасности судоходства в полярных регионах до обеспечения непрерывности климатических данных.

Единообразие продукции на основе наблюдений, получаемой в рамках различных спутниковых программ, и их соответствие потребностям пользователей имеют критически важное значение. В связи с этим и на основе консультаций с международным сообществом ГСК инициировала взаимное сравнение спутниковой продукции, касающейся толщины морского льда и высоты снежного покрова на морском льду. Толщина льда позволяет получить комплексную оценку изменений в энергетическом балансе, в то время как снег на морском льду добавляет ключевой изолирующий слой. Если этот слой имеет достаточную толщину, например в Антарктике, то он может способствовать увеличению объёма морского льда за счёт образования снежного льда. Эти параметры имеют критически важное значение для прогнозирования и судоходства навигации в полярных водах, поскольку толщина морского льда ограничивает использование судов определённого ледового класса, а склеивающий эффект снежного покрова снижает эффективность работы ледоколов. Несмотря на то, что для оценки толщины морского льда на основе ряда спутниковых наблюдений доступен широкий спектр методов извлечения данных, оценка толщины снежного покрова морского льда остаётся сложной задачей (IPCC, SROCC, 2019). Ожидается, что взаимное сравнение предоставит рекомендации относительно будущих космических программ для устранения признанных пробелов. ГСК обеспечит научное руководство проектом.

В специальном докладе МГЭИК об океане и криосфере в условиях изменяющегося климата за 2019 год документально закреплена необходимость скоординированного и целостного подхода к наблюдению и исследованию изменений в параметрах морского льда. В докладе отмечены сохраняющиеся «критические пробелы в знаниях о взаимодействиях между атмосферой и конкретными элементами полярного океана и криосферы». Далее сказано, что эти пробелы «... ограничивают понимание текущих и будущих векторов развития полярных регионов и их климатических систем». ГСК имеет хорошие возможности для поддержки и эффективной координации проектов с целью устранения этих пробелов и для содействия проведению последующего анализа данных и публикации данных и результатов.

## Литература

IPCC, 2019: Summary for Policymakers. In: IPCC Special Report on the Ocean and Cryosphere in a Changing Climate [H.-O. Pörtner, D.C. Roberts, V. Masson-Delmotte, P. Zhai, M. Tignor, E. Poloczanska, K. Mintenbeck, A. Alegría, M. Nicolai, A. Okem, J. Petzold, B. Rama, N.M. Weyer (eds.)]. In press.

Newman Louise, Heil Petra, Trebilco Rowan, Katsumata Katsuro, Constable Andrew, van Wijk Esme, Assmann Karen, Beja Joana, Bricher Philippa, Coleman Richard, Costa Daniel, Diggs Steve, Farneti Riccardo, Fawcett Sarah, Gille Sarah T., Hendry Katharine R., Henley Sian, Hofmann Eileen, Maksym Ted, Mazloff Matthew, Meijers Andrew, Meredith Michael M., Moreau Sebastien, Ozsoy Burcu, Robertson Robin, Schloss Irene, Schofield Oscar, Shi Jiuxin, Sikes Elisabeth, Smith Inga J., Swart Sebastiaan, Wahlin Anna, Williams Guy, Williams Michael J. M., Herraiz-Borreguero Laura, Kern Stefan, Lieser Jan, Massom Robert A., Melbourne-Thomas Jessica, Miloslavich Patricia, Spreen Gunnar (2019). Delivering Sustained, Coordinated, and Integrated Observations of the Southern Ocean for Global Impact. *Frontiers in Marine Science*. 6. 10.3389/fmars.2019.00433.

AMAP, 2017. Snow, Water, Ice and Permafrost in the Arctic (SWIPA) 2017. Arctic Monitoring and Assessment Programme (AMAP), Oslo, Norway. xiv + 269 pp. ISBN 978-82-7971-101-8.

# От SKOMMOPC к OкеанOПС: поддержка океанографических и морских метеорологических наблюдений *in situ*

Матье Бельбеоч и Эмануэла Рушано, ВМО-МОК OкеанOПС

Восемьдесят шесть стран участвуют в наблюдениях за океаном, используя около 10 000 платформ наблюдений *in situ* и 170 спутников, которые осуществляют непрерывный мониторинг состояния Мирового океана и атмосферы. Аналитические материалы, прогнозы и продукция, основанные на наблюдениях за океаном, являются основой решений в целом ряде социально-экономических секторов, в особенности в морском транспорте, прибрежных сообществах, изучении климата, сельском хозяйстве и здоровье океана. Потребность общества в информации об океане возрастает. Реагируя на эту потребность, Глобальная система наблюдений за океаном (ГСНО) продолжает совершенствоваться в плане сложности, области применения и охвата. Требуется тесная координация внутри и между сообществами наблюдателей со всего мира для обеспечения отдачи от использования наблюдений и их экономической эффективности путём применения систем управления данными и информационных сервисов.

В 1999 году Всемирный метеорологический конгресс и Ассамблея МОК/ЮНЕСКО приняли одинаковые резолюции об учреждении Совместной технической комиссии ВМО-МОК по океанографии и морской метеорологии (SKOMM). В свою очередь первая сессия SKOMM в 2001 году учредила Центр для поддержки платформ наблюдений, известный как SKOMMOPC.

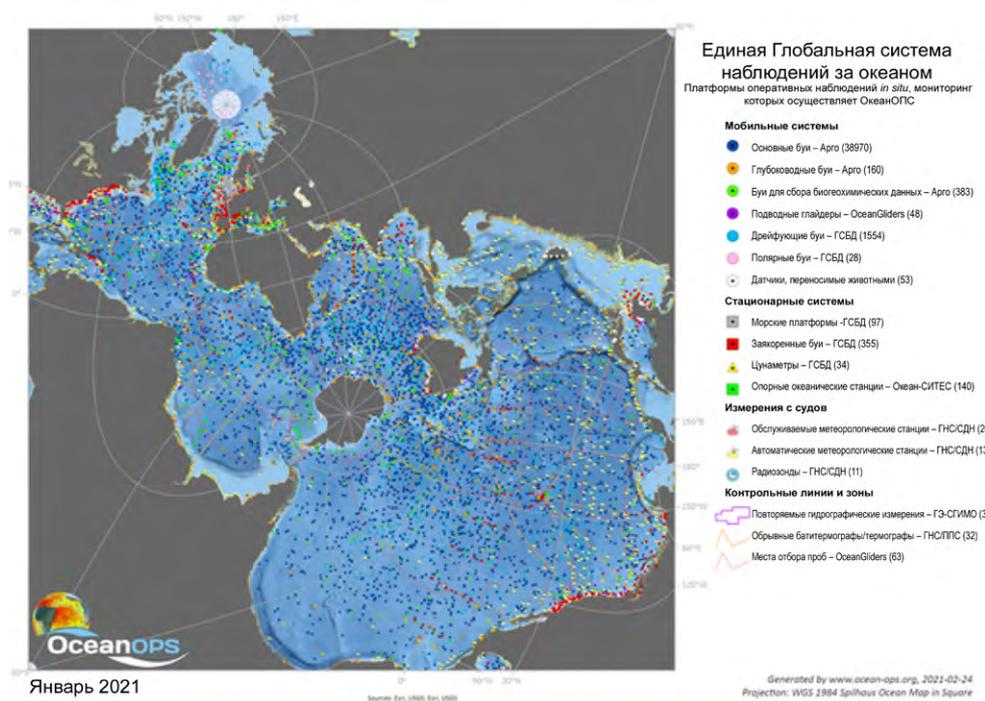
Первоначально SKOMMOPC опирался на средства координации, обеспеченные Группой экспертов по сотрудничеству в области буёв для сбора данных, начиная с 1980-х годов, и Группой по наблюдениям с судов. Позже он также охватил революционную программу ныряющих буёв Argo, ставшую

главным итогом конференции «Наблюдения за океаном-09». Слаженность действий этих трёх глобальных программ морских наблюдений помогает тем, кто отвечает за реализацию национальных компонентов наблюдений, используя комплексный и международный подход.

С 2001 по 2015 год центр SKOMMOPC находился в Тулузе (Франция) и размещался на базе компании CLS, чтобы тесно взаимодействовать с пользователями телекоммуникационной системы Аргос. Там он с выгодой для себя воспользовался как инфраструктурой для оперативной деятельности, так и доступом к большому хранилищу необработанных данных. Первоначально центр работал с двумя техническими координаторами, затем он постепенно увеличивался и смог поддерживать более устойчивые механизмы наблюдений за океаном, включая OкеанСитес, ПГОГИС, OceanGliders, ГЛОСС и некоторые новые сети Группы по координации наблюдений (ГКО) SKOMM/ГСНО, такие как океанские датчики, переносимые животными (АниБОС).

Центр разработал ряд инновационных сервисов для мониторинга работы глобальных сетей в режиме, близком к реальному времени, и для оказания помощи разработчикам в повседневной работе, в том числе и в работе на море. Небольшая группа SKOMMOPC впервые применила веб-технологии и географические информационные системы (ГИС) для мониторинга сетей наблюдений за океаном и предложила полезный инструментальный учётным, руководителям программ и руководству ГСНО/SKOMM.

SKOMMOPC, воспользовавшись удобным случаем зафрахтовал 20-метровое парусное судно Lady



*Единая  
глобальная  
система  
наблюдений  
за океаном*

Amber, чтобы помочь разработчикам программы Argo и Группе экспертов по сотрудничеству в области буёв для сбора данных (ГСБД) заполнить пробелы в глобальных системах наблюдений и продемонстрировать, что недорогие и экологичные решения могут найти своё применение на флоте торговых и исследовательских судов. Зафрахтованное судно преодолело в Южной Атлантике и Индийском океане расстояние, эквивалентное двум кругосветным плаваниям, разместив в океане около сотни приборов. Эта история успеха привела к появлению в СКММОПС должности координатора судов для поддержки Группы по наблюдениям с судов (ГНС) и Программы по глобальным океаническим гидрографическим исследованиям с судов (ПГОГИС), а также для решения всех межсетевых проблем, касающихся судов, в том числе с гражданским обществом, неправительственными организациями (НПО), мореплавателями и устроителями регат.

В 2015 году Центр и сотрудники переехали в Брест (Франция) во Французский научно-исследовательский институт по эксплуатации морских ресурсов (Ифремер), чтобы быть ближе к тем, кто работает в океане по всему миру, и в связи с активной поддержкой региональных властей. Информационная система Центра оставалась в Тулузе в оперативном облаке CLS, а группа из пяти сотрудников находилась в офисе в Бресте. После нескольких лет подготовки, в 2015 году, была проведена полная модернизация исходной информационной системы и веб-приложений. Она интегрировала

панель мониторинга для ГСНО и предоставила инструменты и показатели для конкретных сетей. Всё это было вызвано растущим разнообразием метаданных и получением импульсов с платформ в режиме реального времени.

### Информационно-отчётный бюллетень о работе системы наблюдений за океаном

Ежегодная публикация, начиная с 2017 года, информационно-отчётного бюллетеня о работе системы наблюдений за океаном является одним из основных достижений Группы по координации наблюдений и экспертов сети. Бюллетень сообщает о социальной пользе системы наблюдений и содействует тому, чтобы международное сотрудничество, новые партнёры, Члены ВМО и других организаций приняли участие в решении задачи по созданию интегрированной, устойчивой, инновационной, функционирующей на глобальном уровне системы наблюдений, которая удовлетворяет растущий спрос на обслуживание и научные данные, связанные с океаном. Это также помогает сетям повышать свои стандарты для достижения комплексных целей.

### ОкеанОПС

В 2018 году Группа по координации наблюдений провела внешний обзор СКММОПС, чтобы помочь Центру и соответствующим заинтересованным сторонам более эффективно использовать его

уникальность и сильные стороны и выявить проблемы, возможности и задачи. В обзоре в табличном виде представлены как стратегические, так и оперативные мероприятия, подлежащие рассмотрению, и подчёркнута необходимость в пятилетнем стратегическом плане, который предполагает реагирование на ключевые движущие факторы и вовлечение заинтересованных сторон СКОММОПС. Поэтому в 2019 году СКОММОПС начал собирать мнения и рекомендации заинтересованных сторон для разработки стратегического плана. Реформа системы управления ВМО, которая проходила в то время, привлекла внимание к вопросам в области океана и придала импульс процессу развития СКОММОПС. В 2020 году был опубликован пятилетний стратегический план. Реформа системы управления ВМО упразднила СКОММ и создала Совместный совет по сотрудничеству между ВМО и МОК, при этом СКОММОПС был переименован в ОкеанОПС.

ОкеанОПС поддерживает эффективную работу системы наблюдений для обеспечения передачи и своевременного обмена метаданными высокого качества, а также содействует в обеспечении бесплатного и неограниченного предоставления данных для всех пользователей. В основе стратегии ОкеанОПС лежит ряд ключевых целей, в том числе мониторинг для повышения эффективности работы глобальной системы наблюдений, ведущая роль в стандартизации и интеграции метаданных, поддержка и повышение эффективности оперативной деятельности, создание новых потоков данных и сетей и формирование инфраструктуры ОкеанОПС для будущего.

ОкеанОПС разработает инструменты и показатели для анализа тенденций в отношении сетей и систем наблюдений и отчитается перед заинтересованными сторонами, чтобы способствовать повышению качества работы и экономической эффективности. Основным видом деятельности будет обеспечение однородности метаданных для каждой сети наблюдений в отдельности и для всей системы наблюдений за океаном в совокупности. Это значительно повысит возможности для использования данных и глобального мониторинга. ОкеанОПС будет поддерживать специальные сетевые службы, критически важные для реализации систем наблюдения за океаном, такие как система предупреждений и уведомлений МОК-ЮНЕСКО о буях, приближающихся к водам прибрежных государств. ОкеанОПС также несёт ответственность за присвоение уникальных идентификаторов ВМО всем платформам метеорологических и океанографических наблюдений и за предоставление интегрированных метаданных по

океану в систему ОСКАР ВМО. Реформа системы управления ВМО поместила ОкеанОПС в рамки более широкого подхода к мониторингу системы Земля в целях развития синергизма с усилиями в области криосферы и гидрологии.

ОкеанОПС считает, что есть большой потенциал для развития сотрудничества с третьими сторонами — гражданским обществом и частным сектором — для внесения вклада в ГСНО. Недавняя регата Ванде-Глоб является прекрасным примером: десять шкиперов разместили автономные приборы и во время регаты проводили метеорологические и океанографические наблюдения (см. стр. 55). ОкеанОПС предложил проект для Десятилетия науки об океане в интересах устойчивого развития ООН, чтобы структурировать вклады подобных мероприятий и найти решения для распространения получаемых в результате наборов данных. Осуществляются экспериментальные проекты по развитию механизма для международного обмена неинституциональными данными, в том числе с помощью ИСВ 2.0.

## Задачи на будущее

За последние 20 лет ОкеанОПС предоставлял основное обслуживание, осуществляя мониторинг, координацию и интеграцию данных и метаданных об океане. Основываясь на своём историческом опыте пребывания в центре событий, касающихся систем наблюдений, ОкеанОПС также определил ряд проблем, которые ГСНО придётся решить для создания глобально интегрированной, устойчивой и полностью функциональной системы наблюдений. Некоторые проблемы географические: возможностей для развёртывания автономных приборов в Южном океане мало, и подавляющее большинство стран, выделяющих финансовые средства, находятся на Севере. Другие проблемы носят политический характер: трудно получить доступ к водам прибрежных государств для завершения реализации ГСНО. ГСНО необходимо уменьшить свою разбросанность за счёт интегрированного и размерного проектирования и эффективного управления. Необходимы беспрецедентные усилия в области коммуникации для демонстрации государствам-членам социальной пользы ОкеанОПС, чтобы получить их активную поддержку.

ОкеанОПС представляет собой ключевой элемент ГСНО, необходимый для обеспечения предоставления информации, эффективности, понимания и управления механизмом системы наблюдений. Он будет работать над решением этих проблем совместно с широким сообществом ГСНО.

# Шкиперы регаты Vendee Globe совершают кругосветное плавание и проводят наблюдения за океаном!

Эмануэла Рушано<sup>1</sup>, Матье Бельбеок<sup>1</sup>, Эмма Хеслоп<sup>2</sup> и Альберт Фишер<sup>2</sup>

*Новая эра парусного спорта в интересах науки начинается с поддержки, оказанной Глобальной системе наблюдений за океаном шкиперами Международной ассоциации однокорпусных судов открытого класса (ИМОСА) во время кругосветной регаты Vendee Globe. Это мероприятие проходит в рамках Десятилетия науки об океане в интересах устойчивого развития Организации Объединённых Наций (2021–2030 годы) и под руководством ОкеанОПС.*

Бесстрашным шкиперам Vendee Globe недостаточно было совершить кругосветную регату, справляясь с неисправностями в работе оборудования и штормовой погодой, им требовалось дополнительное испытание. Поэтому они взяли на себя задачу проводить жизненно важные наблюдения за океаном, свидетельствуя о своей вовлечённости в решение проблем океана.

«Vendee Globe — это регата, в которой я хотел бы выиграть, но выполнение нашей дополнительной задачи будет способствовать нахождению решения проблемы изменения климата», — объяснил во время регаты Борис Херрманн, шкипер команды Malizia/ИМОСА. «Мы не можем в достаточной мере подчеркнуть важность океанов, без них на Земле не было бы жизни. Являясь основными участниками нашей климатической системы, они накапливают более 90% избыточного тепла в результате радиационного воздействия и поглощают около четверти антропогенных выбросов CO<sub>2</sub> ежегодно. Именно поэтому мы продолжаем нашу миссию по исследованию океана для защиты этой невероятной природной территории».

Несмотря на дополнительный вес и ответственность за оборудование для наблюдений, взаимодействие между Глобальной системой наблюдений за океаном (ГСНО) и 10 шкиперами ИМОСА, участвовавшими в регате Vendee Globe, оказалось

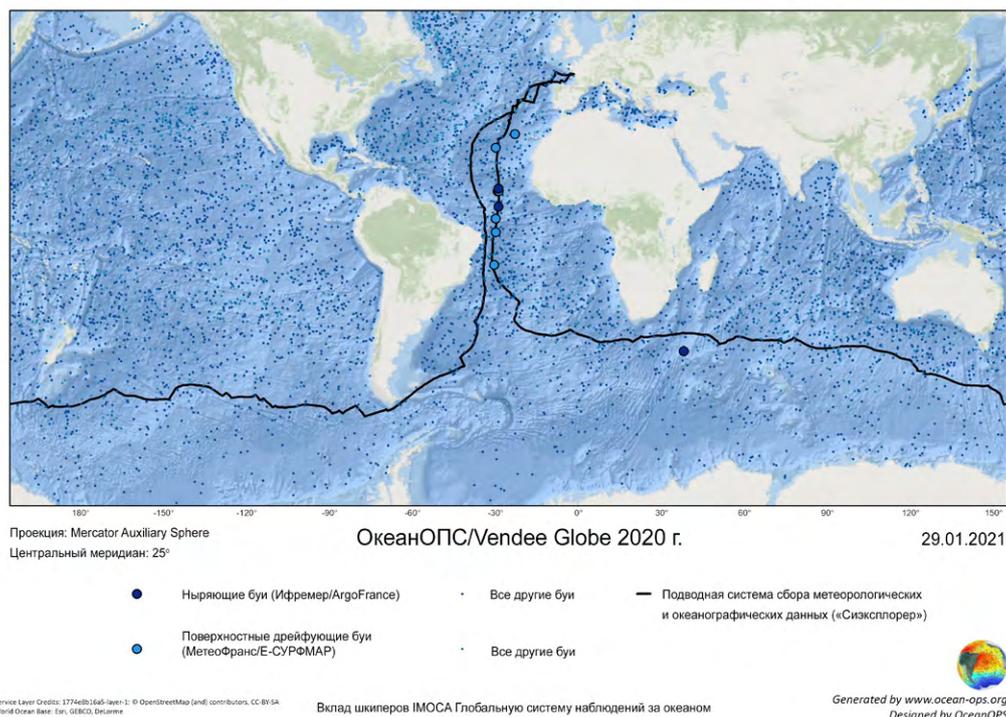
чрезвычайно успешным. Наблюдения были сделаны в некоторых крайне редко посещаемых районах Мирового океана — вот то, что делает регату такой захватывающей, а данные — такими ценными.

«Я разместил ныряющий буй, когда покидал Пот-о-Нуар, это один из судоходных маршрутов, по которому суда ходят редко», — рассказал Луис Бертон, шкипер Bureau Vallée 2/ИМОСА. «Буй весил 20 кг, а сведение лишнего веса к минимуму имеет решающее значение для регаты, но оно того стоило. Это был мой выбор. Будущее планеты находится в серьёзной опасности».

Благодаря ОкеанОПС — совместному центру МОК-ЮНЕСКО/ВМО, поддерживающему ГСНО и координирующему и контролирующему устойчивые компоненты *in situ* глобальной системы наблюдений за океаном, — семь метеорологических буёв и три ныряющих буй, находящиеся в ведении, соответственно, Метеорологической службы Франции и программы Argo France, были размещены шкиперами ИМОСА в согласованных местах в Атлантическом океане. Четыре шкипера также имели на борту оборудование для измерения важнейших океанических переменных, таких как солёность на поверхности океана, температура, CO<sub>2</sub>, атмосферное давление, измерения загрязнения моря микрочастицами пластмасс. Данные, собранные во время Vendee Globe, передавались для общего пользования в режиме реального времени в международную базу данных с открытым исходным кодом.

1 ВМО-МОК ОкеанОПС.

2 МОК-ЮНЕСКО/ГСНО.



Яхты, участвующие в кругосветных регатах, часто проходят по отобранным участкам. Во время такого прохождения они могут собирать высококачественные комплекты данных, включая метеорологические (например атмосферное давление, ветер) и океанографические параметры (например солёность,  $pCO_2$ ), которые повышают эффективность применений для прогнозирования в режиме, близком к реальному времени. После контроля качества эти комплекты данных поступают в архивы, такие как Атлас концентраций  $CO_2$  в поверхностном слое океана (SOCAT), для климатических применений. Яхты также размещают автономные приборы, такие как дрейфующие и ныряющие буи, в районах с очень ограниченным судоходством. Здесь: «Сизэксplorер» яхт-клуба Монако в регате Vendee Globe 2020 года.

«Океан — это наша игровая площадка и наша рабочая среда», — отметил Кодзиро Шираиш, шкипер DMG Mori/IMOCA. «На протяжении многих лет я видел, как по-разному океан менялся. В детстве в моём родном городе Камакура океан был загрязнён тяжёлой нефтью. Мы ходили купаться и иногда возвращались с большим количеством тяжёлой нефти на всём теле. Это была настолько серьёзная проблема, что японскому правительству пришлось очень усердно работать, чтобы очистить океан. С тех пор океан в Японии стал очень чистым, но теперь возникла более серьёзная проблема. Проблема, которую мы не можем увидеть напрямую, потому что она очень мала. Эта проблема называется микропластиком. Просто, глядя на воду, мы чувствуем, что вода очень чистая, но на самом деле она может быть загрязнена. Проблема очень серьёзная, и нам нужно найти более эффективные решения, чтобы решить её. Океан — это лёгкие планеты Земля. Нам нужно относиться к нему лучше, чтобы жить лучше».

Алексия Барьер, шкипер 4myplanet/IMOCA, которая разместила буй Argo возле островов Кергелен,

рассказала: «Нас несколько моряков Vendee Globe, у которых есть лодки, оснащённые датчиками, и для сбора океанических данных, которые ежедневно передаются учёным. Учитывая количество дней, которые мы проводим на воде, и удалённые места, через которые мы проходим во время кругосветного плавания, мы обеспечиваем легитимный источник информации».



© Борис Херрманн / «Сизэксplorер» яхт-клуба Монако

## Схема судов добровольного наблюдения\*

Объединённая схема судов добровольного наблюдения (СДН) ВМО/МОК является важным компонентом глобальной системы наблюдений, предоставляющим метеорологические и океанографические наблюдения, необходимые для оперативной метеорологии, обслуживания для обеспечения безопасности на море и целого ряда морских климатологических применений. Данные наблюдений за океаном также имеют важнейшее значение для исследований глобального климата.

Схема СДН регулируется совместной группой ВМО-МОК по наблюдениям с судов (ГНС) и поддерживается портовыми метеорологами (ПМ), которые получают данные для поддержки исследований, прогнозирования климата, численного прогнозирования погоды и обслуживания для обеспечения безопасности на море помимо прочих применений.

Сегодня в рамках флота СДН всего зарегистрировано 4000 судов. В 2020 году судоходство прерывалось из-за ограничений COVID-19, но, несмотря на это, около 2800 идентифицированных станций направили более 2,5 миллионов наблюдений. Платформа ОкеанОПС сообщает, что ежемесячно поступает информация от 1600 оперативных станций.

\* Чжичао Ван, Мартин Крамп и Чампика Галадж (Секретариат ВМО).

Алексия, Борис и Луис также участвуют в образовательных программах, чтобы воспитать детей не равнодушными к проблемам океанов. Перед регатой Эмануэла Рушано, специалист по физической океанографии и координатор по вопросам науки и коммуникаций ОкеанОПС, выступила перед учащимися трёх классов в Бресте и Плузане, Франция, на специальных занятиях по наблюдениям за океаном. Учащиеся ознакомились с буём Арго и узнали, как он помогает учёным изучать глобальное потепление и собирать данные, не доступные для спутников, вплоть до больших глубин океана. После размещения прибора преподаватели и учащиеся будут следить за траекторией движения буя, который они подписали, и получать доступ к ресурсам о собранных данных на портале программы Adopt-a-Float.

Размещение в океане приборов для наблюдения за океаном имеет основополагающее значение для непрерывного измерения океанографических и атмосферных параметров океана. Наблюдения имеют решающее значение для предоставления морского метеорологического и океанского обслуживания в целях обеспечения безопасности жизни и имущества на море, морской торговли и благополучия прибрежных сообществ. Наблюдения также дают представление о глобальной погодной и климатической системе и последствиях продолжительного изменения климата, а также

информацию о возрастающей нагрузке на океан в результате деятельности человека.

«Наблюдения с яхт, участвующих в регатах, особенно выполненные в отдалённых районах океана, будут иметь жизненно важное значение для получения более полных знаний об океане и атмосфере над ним, а также для более эффективного прогнозирования того, как океан может измениться в грядущие годы», — заявил Альберт Фишер, директор Бюро проектов ГСНО в МОК-ЮНЕСКО.

«Вот уже 10 лет, — продолжила Алексия, — я обязуюсь обеспечивать устойчивость и защиту океана, и пытаюсь помочь учёным лучше понять океан. Я поняла, что в связи с длительным периодом моего пребывания в океане в очень отдалённых районах, куда заходят всего несколько судов, я могу быть действительно полезной для изучения и сохранения океана. Океанографические данные, которые я получила во время этой регаты Vendee Globe, оказались очень редкими и ценными для учёных».

«Глобальная система наблюдений за океаном испытывает растущее давление в том, что касается удовлетворения спроса на метеорологическое и океаническое обслуживание и прогностическую продукцию, системы заблаговременных предупреждений о многих опасных явлениях и



@IMOCA, изменения внесены ОкеанОПС

применений в области климата и здоровья», — заявил директор Департамента инфраструктур ВМО Энтони Ри. «Текущая глобальная пандемия COVID-19 затронула несколько систем наблюдения за океаном и видов деятельности по мониторингу океана. Поэтому ВМО выражает свою признательность и передаёт поздравления шкиперам Vendee Globe за их ценный вклад в наблюдения за погодой и океаном».

Мартин Крамп, координатор судов ОкеанОПС отметил шкиперов Vendee Globe за их важный вклад в прогнозирование погоды и понимание состояния океана. Он пояснил: «Эти приборы помогают нам в тех областях, где у нас мало средств для сбора метеорологических и океанографических данных. Данные наблюдений, такие как данные об атмосферном давлении, полученные с дрейфующих буёв и переданные в реальном времени в оперативные центры, помогают улучшить прогнозирование погоды и защитить безопасность людей на море, а высококачественные данные о температуре, полученные с помощью ныряющих буёв, позволят учёным во всём мире значительно улучшить оценки накопления тепла в океане».

Лун Цзян, технический координатор Группы экспертов по сотрудничеству в области буёв для сбора данных в ОкеанОПС, добавил: «Размещение

дрейфующих на поверхности буёв, оснащённых барометрами, имеет критически важное значение для численных прогнозов погоды, поскольку атмосферное давление невозможно измерить напрямую со спутников».



© Мануэль Кузен /Groupe SETIN

В будущем «Мы хотели бы, чтобы наличие приборов для измерений погоды и морской воды было прописано в правилах IMOCA для океанских регат, чтобы каждый шкипер, независимо от того, борется ли он за пьедестал или нет, принимал участие в наблюдении за океаном и его сохранении», — добавил г-н Крамп.

«Как шкипер, я прекрасно осознаю важность защиты окружающей среды, особенно океанов. На мой взгляд, Франция несёт особую ответственность, потому что она управляет вторым по величине морским пространством в мире, включая морские районы её заморских департаментов и территорий. Инициативы ИМОСА по устойчивому развитию позволили взять на себя ответственность за целевые действия и стать настоящим послом программы», — сказал Ману Кузен, шкипер Groupe SETIN/ИМОСА.

Научная инициатива, реализованная во время Vendee Globe, поддерживает ГСНО, включающую в себя тысячи буёв, ныряющих буёв, подводных роботов, датчиков на судах и морских млекопитающих, оснащённых океанографическими датчиками. Все эти приборы уже предоставляют учёным, морским прогнозистам и прогнозистам погоды важные данные об условиях в море для изучения климата, прогнозов погоды и заблаговременных предупреждений, а также мониторинга состояния океана.

Это новое сотрудничество и совместная работа с моряками имеют ключевое значение в том, чтобы помочь учёным заполнить географические пробелы в ГСНО и поддержать безопасность людей и будущее нашей планеты.

«Около 2000 автономных приборов (таких как ныряющие буи и дрейфующие буи) должны ежегодно размещаться для обеспечения работы ГСНО. Сегодня мы в рамках конкретного проекта Десятилетия океана ООН призываем гражданское общество поддержать осуществление ГСНО. Мы хотим раскрыть потенциал граждан, неправительственных организаций, частного сектора, моряков и мореплавателей мирового класса, которые являются одними из наших лучших послов по вопросам океана», — сказал Матье Бельбеок, руководитель ОкеанОПС.

Десятилетие океана ООН предлагает уникальную возможность изменить наше отношение к океану и эффективно поддерживать океанологию и океанографию в целях его защиты и устойчивого развития. Десятилетие — это шанс для всех нас внести активный вклад в создание более устойчивой и полной системы наблюдений за океаном, которая предоставляет своевременные данные и информацию, доступную для всех пользователей, о состоянии океана во всех бассейнах.

Участие шкиперов ИМОСА в этом научном проекте является частью соглашения о партнёрстве, подписанного в январе 2020 года между ЮНЕСКО и ИМОСА для поддержки науки об океане и защиты океана. В течение двух лет обе организации будут выполнять различные совместные проекты, в том числе метеорологические и океанографические наблюдения.

Научный проект Vendee Globe/ИМОСА способствует растущему глобальному осознанию сообществом участников регат необходимости действовать для сохранения океана. Он является результатом работы, которая в течение нескольких лет проводилась ОкеанОПС по объединению усилий с «парусными попутными судами» для сбора метеорологических данных и размещения океанографических приборов в море. Этот проект соответствует аналогичным инициативам моряков, координируемым ОкеанОПС в рамках океанской регаты Volvo Ocean Race (и эта инициатива будет продолжаться осуществляться во время Volvo Ocean Race 2022–2023 годов), кругосветной регаты Barcelona World Race, кругосветной регаты Clipper Race, регат, организованных Джимми Корнеллом, и недавней регаты Arctique-Les Sables D'Olonne, организованной ИМОСА.

«Наши шкиперы получают уникальный опыт. Они плавают в самых отдалённых местах земного шара и первыми становятся свидетелями воздействия человеческой деятельности на океаны. ИМОСА осознаёт насущную необходимость защиты и сохранения наших морей, что делает партнёрство с ОкеанОПС и МОК ЮНЕСКО ещё более ценным. В следующем цикле ИМОСА — 2021–2024 годы — мы хотим пойти дальше и привлечь больше команд к процессу внесения научного вклада», — сказал Антуан Мермод, директор ИМОСА.

«От имени сообщества наблюдателей за океаном я хочу поздравить и поблагодарить всех шкиперов ИМОСА за их приверженность защите океана и их неоценимый вклад в наблюдения за погодой и океаном», — сказал г-н Бельбеок.

Для получения дополнительной информации о том, как принять участие в проекте по наблюдениям в рамках Десятилетия океана ООН, просьба обращаться к Эмануэле Рушиано, [erusciano@ocean-ops.org](mailto:erusciano@ocean-ops.org).

# Защита буёв для нашей безопасности

Чампика Галладж и Сара Граймс, Секретариат ВМО

Буи для сбора океанских данных (заякоренные и дрейфующие) собирают океанографические и метеорологические данные *in situ*, которые имеют критически важное значение для широкого сообщества пользователей из числа заинтересованных сторон в правительстве, академических кругах, военном ведомстве, здравоохранении, службах реагирования на чрезвычайные ситуации, морском транспорте, туризме и рыболовстве. Эти данные используются для многих применений, в том числе для повышения качества и точности прогнозирования суровой и повседневной погоды, улучшения моделей прибрежной циркуляции океана, мониторинга и исследований окружающей среды и экосистем, а также для расширения возможностей предупреждения о цунами. Мониторинг состояния океана может осуществляться только посредством долгосрочных междисциплинарных наблюдений, при этом источником для получения многих из этих наблюдений служат буи для сбора данных,



*Повреждённый буй ТАО с наклонившейся надстройкой. Источник: Б. Бернетт, NDBC, 2009 год (ГСБД-25).*

которые однозначно подходят для этой задачи. Неспособность обеспечить устойчивую работу сети буёв для сбора данных ставит под угрозу здоровье нашего океана и устьев рек.

Вандализм в отношении буёв для сбора данных означает преднамеренное вмешательство, повреждение или кражу платформ наблюдения в результате действий человека. Вандализм в отношении буёв для сбора данных является серьёзной проблемой для многих операторов буёв по всему

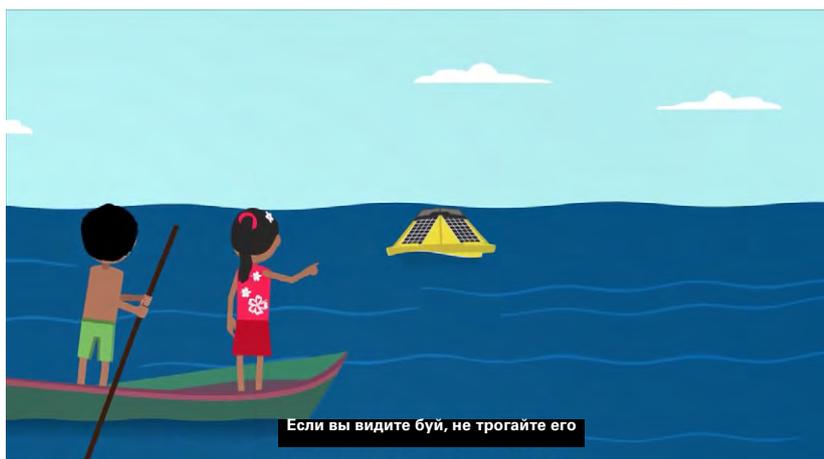
миру. Помимо значительных финансовых последствий для программ и работы буёв вандализм мешает сбору жизненно важных данных с помощью заякоренных и дрейфующих буёв и их передаче, подвергая опасности жизнь людей, имущество и экономику.

Буи данных размещаются в каждом океане, а международное сотрудничество осуществляется через Группу экспертов по сотрудничеству в области буёв для сбора данных (ГСБД), которая работает под руководством ВМО и МОК. ГСБД играет ведущую роль в сокращении и смягчении последствий вандализма в отношении буёв. Для решения проблемы вандализма в отношении буёв используется трёхкомпонентный подход:

- регуляторная политика и правоприменение;
- инженерно-технические модификации систем буёв для повышения эффективности отслеживания обстановки и предотвращения вмешательства третьих лиц;
- разработка и распространение информационно-просветительских материалов о значении буёв для сбора данных об океане и о последствиях вандализма.

Подробный обзор последствий и ответных мер против вандализма в отношении буёв для сбора океанских данных смотри в документе «Вандализм в отношении буёв для сбора океанских данных — частота случаев, последствия и меры реагирования» ([Технический документ ГСБД № 41](#)).

ГСБД опубликовала документ «Информационно-просветительская стратегия по сокращению ущерба, наносимого буям по сбору океанских данных в результате вандализма», чтобы направлять развитие информационно-просветительских и образовательных ресурсов для повышения осведомлённости общественности о чрезвычайной ценности услуг, предоставляемых сетями наблюдений за океаном и системами предупреждения, а также о связанных с этим преимуществах в плане снижения



*Ко Всемирному дню океана 2020 года в рамках информационно-просветительской деятельности выпущен информационный видеоролик об океанских буйах, призывающий не прикасаться к буйам.*

риска бедствий. Это будет способствовать развитию образования и информационно-просветительской работы, особенно среди рыболовов-любителей, а также кустарных и коммерческих рыболовов. Это также расширит поддержку местных заинтересованных сторон и обеспечит активную вовлечённость на региональном и местном уровнях путём развития новых партнёрских отношений для обмена полученным опытом и выработки новых идей для решения проблем вандализма.

Многолетний мониторинг информации о вандализме в отношении буйёв выявил, что основной причиной повреждения буйёв для сбора данных (заякоренных) является рыболовство. Буи действуют как устройства для концентрации рыбы (УКР), которые рыболовные суда используют при ловле рыбы. Это увеличивает частоту прямого контакта между буйами и рыболовными судами. Бывают также редкие случаи повреждения от непреднамеренных действий, таких как непреднамеренное столкновение с буйём. Дрейфующие буи подвергаются вандализму при вытаскивании их из воды и в некоторых случаях — когда их выбрасывает на берег.

Вандализм в отношении буйёв является проблемой с момента создания сетей наблюдений за океаном в конце 1980-х годов. Очевидно, что вандализму подвергаются буи для сбора данных как в океанских, так и в прибрежных сетях. Этот вопрос привлёк международное внимание, поскольку многие платформы с заякоренными буйами — в тропической части Тихого океана, восточном районе тропической части Индийского океана и экваториальной части Атлантического океана — пользуются международной поддержкой и предоставляют данные международному сообществу. Кроме того, эти сети расположены за пределами исключительных экономических зон (ИЭЗ) в открытом море. Это

означает, что ответные меры в связи с вандализмом требуют усилий как на национальном, так и на международном уровнях.

Были предприняты многочисленные усилия на местном, национальном и международном уровнях для просвещения и информирования людей, в частности рыболовного сообщества, о негативных последствиях потери буйёв для сбора данных для исследований, прогнозирования погоды, климата и океана и предупреждения о цунами. Потери в наблюдениях оказывают прямое влияние на потери человеческих жизней и собственности. До сих пор эти усилия не принесли большого успеха, они привлекли внимание к последствиям вандализма в отношении буйёв для сбора данных, но не предотвратили продолжающуюся потерю буйёв. Эта глобальная проблема требует помощи и участия на всех уровнях — региональном, национальном и местном.

ВМО выпустила [мультфильм для информирования населения](#) о вандализме в отношении буйёв ко Всемирному дню океана в 2020 году. Видео информирует население, особенно на прибрежных небольших островах, о ценности буйёв для понимания погоды и климата и даже для предупреждения о цунами, и предельно ясно призывает беречь их. Мультфильм предназначен для широкой аудитории и может быть размещён в социальных сетях для населения, школ и других сообществ. В настоящее время мультфильм доступен на английском, фиджийском, французском языках и языке хинди для общин тихоокеанских островов. ВМО намерена перевести его на другие языки для других регионов мира. Метеорологическая служба Фиджи также предоставила печатные копии и DVD для удалённых островов, где подключение к Интернету ненадёжно или недоступно.

# Прогнозирование океана — моделирование для будущего

Фрейзер Дэвидсон<sup>1</sup>, Эндрю Робертсон<sup>2</sup>, Фредерик Витар<sup>2</sup>, Энтони Ри<sup>3</sup>, Мишель Жан<sup>4</sup>, Андреас Шиллер<sup>5</sup>, Томас Дж. Кафф<sup>6</sup>, Сара Граймс<sup>3</sup>, Юнха Лим<sup>3</sup>, Эстель де Конинг<sup>3</sup>, Пейлян Ши<sup>3</sup>

Океан — это самая большая экосистема Земли. Он играет важную роль в регулировании погоды и климата на планете. Кроме того океан замедляет глобальное потепление за счёт поглощения CO<sub>2</sub> и своей огромной теплоёмкости.

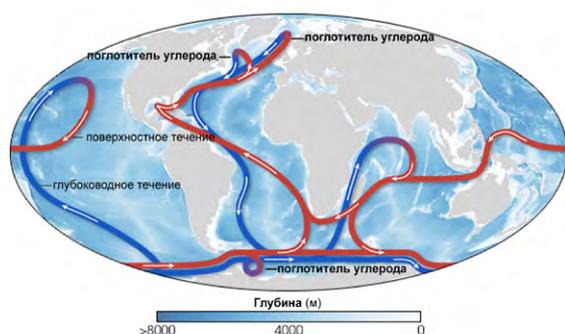


Рисунок 1. Поверхностный слой океана (0–40 м) поглощает атмосферный углерод, который переносится в глубь океана в определённых областях около полюсов (отмеченные как поглотители углерода), где происходит взаимодействие перемешанного и глубинного слоёв океана. (Карта подготовлена Робертом Симмоном, НАСА на основе IPCC 2001 и Rahmstorf 2002).

Организация Объединённых Наций указывает, что 40% населения земного шара — почти 2,4 миллиарда человек — живёт в пределах 100 км от побережья, и оценивает размер прибрежной экономики в 3–6 триллионов долларов США в год<sup>7</sup>. В прибрежных

районах имеется важная инфраструктура, такая как порты, гавани, опреснительные установки, электростанции, заборные устройства хозяйств аквакультуры и т. д. Океан даёт пищу, способствует торговле и играет важную роль во многих культурах коренных народов. Знание его физических характеристик и жизни океанских биологических организмов способствует развитию туризма, рыболовства, морского транспорта, добычи возобновляемых и невозобновляемых источников энергии и многому другому. Сам океан может быть источником минералов и медицинских ингредиентов.

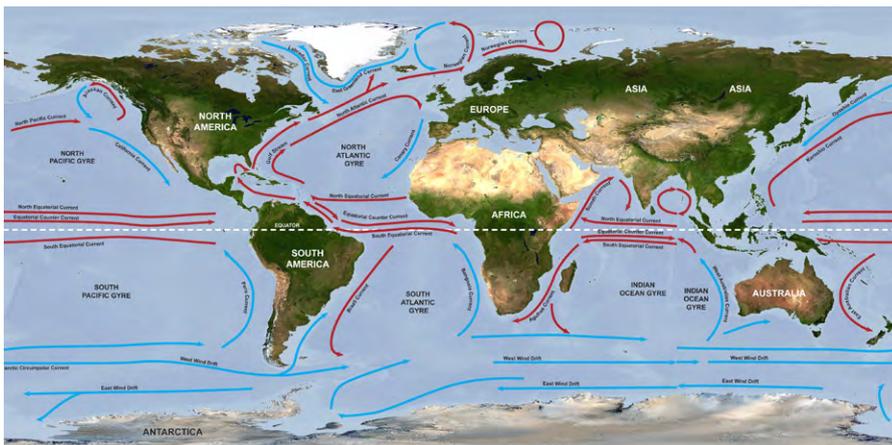
Таким образом, нельзя недооценивать важность морской и прибрежной безопасности и устойчивости океана к внешним воздействиям. Климатическая информация необходима для направления будущего развития прибрежных районов и адаптации существующей инфраструктуры для смягчения воздействия опасной погоды на море и в океане. Заблаговременные предупреждения о стихийных опасных явлениях с учётом воздействий, а также предсказания и проекции климата помогают прибрежным общинам и предприятиям избегать риски и повышать устойчивость к внешним воздействиям.

Сам океан является важнейшим компонентом системы Земля в проекциях изменения климата. Понимание океана имеет фундаментальное значение для понимания планеты и изменений, которые происходят на ней в результате деятельности человека. Сегодня на экосистему океана и его физические характеристики оказывает влияние деятельность человека, и последствия этого ощутят все. Не может быть никаких задержек в дальнейшем углублении знаний и понимании океана, его взаимодействии с атмосферой и воздействии человечества на океан.

## История

Исторически сложилось так, что исследование и освоение океана шло рука об руку с ростом знаний о нём и атмосфере над ним. По инициативе океанографа, метеоролога и астронома Мэтью Мори, в то время лейтенанта военно-морского флота США,

- 1 Сопредседатель научной группы OceanPredict
- 2 Сопредседатель проекта ВПМИ/ВПИК по субсезонно-сезонному прогнозированию
- 3 Секретариат ВМО
- 4 Президент Комиссии по наблюдениям, инфраструктуре и информационным системам (ИНФОМ)
- 5 Подразделение по океанам и атмосфере Государственного объединения научных и прикладных исследований, Австралия
- 6 Директор Управления по наблюдениям, Национальная метеорологическая служба, НУОА, председатель Постоянного комитета ВМО по обслуживанию в области морской метеорологии и океанографии
- 7 <https://www.un.org/sustainabledevelopment/wp-content/uploads/2017/05/Ocean-fact-sheet-package.pdf>



*Поверхностные дрейфовые и обычные течения в океанах (Источник: НУОА)*

в Брюсселе в 1853 году была проведена Первая международная метеорологическая конференция с целью создания единой системы метеорологических наблюдений на море. Конференция проложила путь к созданию 20 лет спустя Международной метеорологической организации, предшественницы ВМО.

Тот же Мэтью Мори был одним из первых, кто опубликовал работы по изучению метеорологии океана в книге под названием «Физическая география моря и его метеорология» (Maury, 1864). Его взгляды на ветры и течения с учётом условий морской среды позволили, помимо прочего, сократить время пересечения Мирового океана, что привело к экономическим выгодам и выгодам с точки зрения безопасности. Действительно, его новаторская работа заложила основу современной морской метеорологии. Сегодня по-прежнему существует острая необходимость в том, чтобы океанологи продолжали поиски, начатые Мори, и делились своими знаниями с теми, кто далеко и рядом, со всеми, кто получает пользу от океана или испытывает его воздействие.

### Оперативная океанография

Оперативную океанографию можно рассматривать как предоставление повседневной океанографической информации, необходимой для принятия решений. Основными компонентами оперативных океанографических систем являются сеть наблюдений, выполняемых с разных платформ, система управления данными, прогностическая система, способная усваивать данные, и система распространения /обеспечения доступности. Эти компоненты являются взаимозависимыми и обуславливают необходимость связи и обмена между ними, а в совокупности они обеспечивают механизм, с помощью которого можно получить чёткое представление о состоянии океана в прошлом, настоящем и будущем. Как и в случае с атмосферой, прогнозирование океана охватывает несколько временных масштабов – от часовых и суточных до месячных и сезонных прогнозов.

Достижения в области наблюдений за океаном и систем прогнозирования за последние 20 лет сделали оперативную океанографическую инфраструктуру критически важной для широкого спектра морской деятельности. Для всех прогнозов, временной масштаб которых варьируется от текущего момента (для поддержки безопасности и принятия тактических решений) до сезонных и более долгосрочных временных рамок (для обоснования планирования и деятельности по обеспечению устойчивости от внешних воздействий), нужна оперативная океанография.

### Различия между океаном и атмосферой

Воздух и вода обладают совершенно разными свойствами, что можно проиллюстрировать на примере атмосферы и океана. Вес верхних 10 м океана эквивалентен весу всей атмосферы над ним. Теплоёмкость верхних 2,5 м океана эквивалентна теплоёмкости всей атмосферы над ним. Кроме того, в верхних 2,5 см океана содержится столько же воды, сколько во всей атмосфере над ними. Хотя и атмосфера, и океан регулируются одними и теми же уравнениями движения, их характеристики циркуляции, масштабы движения и свойства существенно различаются. Взаимодействие между этими двумя областями также является одним из фундаментальных процессов, обуславливающих погоду и климат на Земле.

С точки зрения ВМО, прогнозирование состояния океана и атмосферы неразрывно связано через физические процессы, которые всё чаще принимаются во внимание разработчиками моделей в обеих областях. Во временных масштабах менее нескольких дней взаимодействие между океаном и атмосферой оказывает большое влияние на погоду в определённых местах, например у берегов, где наблюдается апвеллинг, особенно когда апвеллинг связан с внезапными изменениями ледяного покрова. Во временных масштабах, превышающих несколько дней, взаимодействие океана и атмосферы вносит вклад в прогнозирование погоды во

всех местах, и его важность возрастает с увеличением заблаговременности прогноза. В масштабах сезонных прогнозов и предсказания климата связь океана и атмосферы в системах прогнозирования имеет важнейшее значение.

Прогнозирование погоды, например в отношении формирования и интенсивности тропических циклонов, и долгосрочное прогнозирование, например в отношении сезонных осадков, зависят от температуры и текущих наблюдений в океане (Weller *et al.*, 2019).

## Состояние прогнозирования океана

Чтобы понять состояние прогнозирования океана, необходимо сначала получить общее представление о текущем состоянии систем прогнозирования океана и международной сети, которая их объединяет, чтобы оценить перспективы будущего совершенствования науки, лежащей в основе прогнозирования океана, возможности системы прогнозирования и потенциальные возможности для дальнейшей интеграции океанических систем в бесшовные модели системы Земля. Высокий уровень океанографических наблюдений, систем прогнозирования и исследований, основных направлений работы, связанной с прогнозированием океана и усвоением данных, моделирования океана, методов проверки прогнозов и оценки систем наблюдений способствует сегодня успешному развитию новых исследований и прикладных областей.

Ключом к любой системе прогнозирования является доступность наблюдений на поверхности океана и с космических платформ в реальном времени. Здесь весьма очевидными становятся важные различия между атмосферой и океаном. С позиций спутникового дистанционного зондирования океан менее прозрачен и, следовательно, менее поддаётся измерению на глубине, чем атмосфера. Следовательно, спутниковая информация по большей части доступна только для самой поверхности океана. Однако спутниковые альтиметры, которые измеряют высоту поверхности моря, являются сильной стороной океанографического дистанционного зондирования. Высота океана отражает интегрированные по глубине процессы между поверхностью и дном океана, а спутниковая альтиметрия позволяет определять крупномасштабные океанские вихри в реальном времени в системах прогнозирования. Кроме того, альтиметрия позволяет отслеживать долгосрочные изменения глубины океана, такие как подъём уровня моря.

Система наблюдений в тропической части Тихого океана (СНТТО), которая измеряет долгосрочные изменения в теплообмене между океаном

и атмосферой, была создана в 1980-х годах для улучшения научного понимания явления Эль-Ниньо/Южное колебание (ЭНЮК) с целью более точного прогнозирования событий ЭНЮК. С тех пор она предоставляет жизненно важные данные, способствующие, например, улучшению прогнозов ЭНЮК для решений, касающихся сельского хозяйства (Hansen *et al.*, 1998; Chiodi and Harrison, 2017). Системы наблюдения за океаном были разработаны для Атлантического (СНАО) и Индийского океанов (СНИО) по образцу СНТТО. СНТТО также может быть адаптирована для удовлетворения текущих и будущих потребностей в наблюдениях для экспериментальной и оперативной деятельности.

**Усвоение данных** — Схемы усвоения данных различаются в разных группах прогнозирования океана. Основная цель — минимизировать несовпадение результатов модели с данными наблюдений при соблюдении правил физики. Наблюдения, усвоенные в системах прогнозов состояния океана, теперь включают данные альтиметрии, цвет океана, скорость поверхностных течений, морской лёд и данные с новых платформ, таких как океанские буеры. Многие системы сейчас используют мультимодельные подходы или методы ансамблевого моделирования. Ключевым грядущим изменением в усвоении данных станет появление альтиметра для измерения высоты поверхностного слоя и топографии океана (ПСТО), который будет обеспечивать реальное двухмерное изображение топографии поверхности океана с разрешением примерно 2 км, а не измерения вдоль спутниковых трасс, когда эти трассы располагаются с интервалом в 200 км и разделены во времени.

**Краткосрочное предсказание** — Краткосрочные предсказания состояния океана охватывают временные рамки от ближайших нескольких часов до десяти дней или более и часто называются прогнозами. В последние годы в прогнозировании состояния океана был достигнут значительный прогресс (Bell *et al.*, 2015, Davidson *et al.*, 2019). Усовершенствования систем прогнозирования включают повышение разрешения (по горизонтали и вертикали), учёт приливов, дрейфа и толщины морского льда, экосистемные подходы, исправление систематических погрешностей при перемещении и расширение областей использования региональных подходов [например полярные регионы и прогресс в развитии сопряжённого моделирования (сопряжённые модели взаимодействия волн, морского льда и ураганов и др.)].

Краткосрочные и среднесрочные сопряжённые прогнозы лёд–океан–волнение–атмосфера используются для улучшения прогнозов погоды во временном масштабе от трёх дней до двух недель.

Это позволит повысить безопасность оперативной деятельности в море и на побережье за счёт улучшенного прогнозирования экстремальных погодных и климатических явлений, таких как тропические циклоны. Активизация деятельности в высоких широтах также способствует дальнейшему развитию оперативного прогнозирования состояния льда и океана.

**Субсезонное и сезонное прогнозирование** — В отличие от крупномасштабных атмосферных явлений, которые развиваются в суточных временных масштабах, крупномасштабные океанические явления обычно развиваются во временных масштабах — от недели до месяца — и включают морские волны тепла и колебания уровня моря, которые могут вызвать наводнения при ясной погоде и усугубляют риски наводнений в результате тропических и внетропических циклонов.

Субсезонные-сезонные прогнозы с заблаговременностью более двух недель, но менее одного сезона, в настоящее время выпускаются на регулярной основе с использованием сопряжённых моделей океана и атмосферы. При заблаговременности, превышающей две недели, сопряжение атмосферы и океана способствует, например, предсказуемости муссонных колебаний и колебания Мэддена Джулиана (например Woolnough *et al.*, 2007). Кроме того, спутниковые наблюдения показывают, что температура поверхности моря, обусловленная мезомасштабными вихрями в океане в средних широтах, может влиять на атмосферный планетарный пограничный слой, что может сказываться на предсказуемости траекторий зимних циклонов в субсезонных-сезонных временных масштабах (Saravanan and Chang, 2019).

Субсезонный прогноз региональных колебаний температуры поверхности моря и приповерхностных течений также представляет прямой интерес для широкого круга видов деятельности и предприятий, включая управление рыболовством, морскую добычу полезных ископаемых и морские перевозки.

**Прогнозирование прибрежных районов** — На территории вдоль побережий директивные органы, несущие ответственность за прибрежные районы с постоянно растущей численностью населения и уровнем урбанизации, используют возможности оперативной океанографии прибрежных районов. Это связано с тем, что оперативная океанография всё в большей степени может предоставлять точную информацию о таких явлениях, как прибрежные речные шлейфы из наносов и биогенных веществ, и помогать прогнозировать возникновение и эволюцию вредоносного цветения водорослей, а также береговую эрозию.

**Морской лёд** — Морской лёд также считается частью сопряжённой океанской системы. Благодаря своим изоляционным и отражающим свойствам морской лёд регулирует обмен между атмосферой и океаном. В субсезонных-сезонных временных масштабах в системах прогнозирования всё больше учитывается морской лёд либо для улучшения самих морских прогнозов, либо для предоставления специальных прогнозов морского льда. Субсезонный прогноз морского льда также имеет широкое потенциальное применение (например для выбора маршрутов судов), но оно ещё не реализовано в полной мере (Chevallier *et al.*, 2019).



Пример односторонней сводки состояния океана, полученной с помощью систем реанализа данных об океане Морской службы программы «Коперник» Европейского союза (источник: Ежегодный доклад о состоянии океана (von Schuckmann *et al.*, 2019)

**Климатические реанализы и отчёты о состоянии океана** — Параллельно с усилиями климатического сообщества по получению результатов реанализов прошлых климатических условий анализ состояния океана направлен на воссоздание условий океана за последние 30 лет в глобальном и региональном масштабах. Трёхмерные анализы прошлого и настоящего состояния океана в масштабах от глобального до прибрежного разрабатываются на основе той же инфраструктуры моделирования и усвоения данных, которая используется для

прогнозирования состояния океана. Применяется тот же подход, что и в случае реанализов атмосферы, с использованием имеющихся исторических наблюдений для создания физически согласованных кубических моделей данных. Ежегодный отчёт о состоянии океана (von Schuckmann *et al.*, 2019) Морской службы Программы «Коперник» Европейского союза является ярким примером тщательного анализа полученных за год данных, которые целесообразно анализировать в историческом контексте. Сводный график показывает крупномасштабные тренды основных океанских переменных в различных регионах земного шара.

**Передача данных и проверка оправдываемости прогнозов** — Передача и распространение информации среди конечных пользователей улучшились. В настоящее время подходы к распространению результатов систем прогнозирования схожи с подходами, используемыми ВМО при распространении продукции численного прогнозирования погоды. Большинство систем прогнозирования состояния океана в настоящее время также участвуют в деятельности по проверке оправдываемости, мониторингу и валидации, чтобы иметь возможность продемонстрировать ценность своей продукции для пользователей.

### Улучшение прогнозов состояния океана с помощью партнёрств

Десятилетие науки об океане в интересах устойчивого развития Организации Объединённых Наций даёт возможность ещё больше активизировать оперативную океанографию. Десятилетие придаёт импульс международному и национальному океанскому сообществу с тем, чтобы объединиться для расширения сети наблюдений и научных исследований, необходимых для получения всеобъемлющей информации об океане. Ключевая цель Десятилетия — это прогнозируемый океан, когда общество имеет возможности понять текущие и будущие состояния океана.

ВМО и Межправительственная океанографическая комиссия (МОК) ЮНЕСКО давно признали ценность и необходимость в услугах по прогнозированию океана и совместно работали над созданием и пониманием всей цепочки добавления стоимости в области прогнозирования океана. В последние годы Глобальная система наблюдений за океаном (ГСНО)<sup>8</sup> подчеркнула, что при прогнозировании состояния океана акцент должен быть на предоставлении

соответствующего обслуживания в интересах общества. Международное сообщество специалистов по прогнозированию океана сотрудничает через программу OceanPredict, ГСНО, ВМО, МОК, Комитет по спутниковым наблюдениям за Землёй (КЕОС) и инициативу «Голубая планета» Межправительственной группы по наблюдениям за Землёй (ГЕО). Такие партнёрства способствуют обмену идеями и объединяют сообщества специалистов в области изучения океана и атмосферы, а также специалистов по моделированию. Партнёрства на национальном уровне также способствуют предсказанию состояния океана в интересах общества. Примеры правительств Австралии, Канады и США показывают успех сотрудничества между метеорологическими и океанографическими учреждениями.

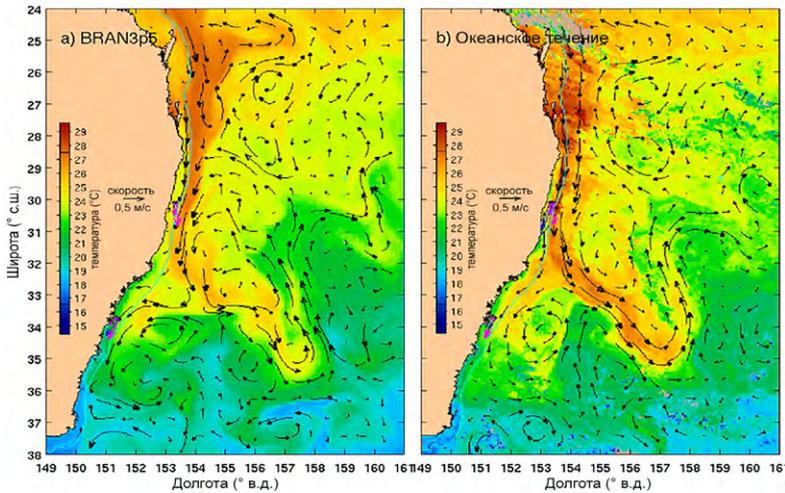
### Австралийское партнёрство в области прогнозирования океана БлюЛинк

БлюЛинк — это партнёрство между Австралийским бюро метеорологии (АБМ), Научно-промышленной исследовательской организацией Содружества (КСИРО) и Министерством обороны Австралии и сотрудничающих с ними партнёрами, включая Интегрированную систему морских наблюдений, Группу оборонной науки и технологий, Национальную вычислительную инфраструктуру и университетский сектор.

Оперативная система прогнозов океана БлюЛинк используется для преобразования физических океанографических наблюдений в последовательный анализ и прогнозы. Эти анализы и прогнозы составляют основу информационного обслуживания относительно морской среды и её экосистемы и могут предоставлять граничные данные для прогнозов погоды. Информационное обслуживание БлюЛинк доступно для морской отрасли (промысловое рыболовство, аквакультура, судоходство, нефть и газ, возобновляемые источники энергии), правительственных учреждений (поиск и спасение, оборона, управление прибрежными районами, охрана окружающей среды), а также для других заинтересованных организаций (отдых, водные виды спорта, кустарное и спортивное рыболовство), которые зависят от своевременной и точной информации о морской среде.

По существу, БлюЛинк состоит из трёх взаимосвязанных компонентных систем в глобальном, региональном и прибрежном (прибрежная зона) масштабах. Ключевая научная цель заключается в предоставлении надёжных оперативных прогнозов состояния океана и реанализов мезомасштабной (глобальная система), субмезомасштабной (региональная система) и прибрежной (система прибрежных зон) циркуляции океана во временных

<sup>8</sup> Функционирует при финансовой поддержке МОК, ВМО, Программы Организации Объединённых Наций по окружающей среде (ЮНЕП) и Международного научного совета (МНС).



Типичный пример а) полей реанализа БлюЛинк и б) полей, полученных в результате наблюдений, для Тасманова моря. Цвет показывает ТПМ, стрелки показывают скорость поверхностных течений. (Это сравнение заимствовано из: [www.marine.csiro.au/ofam1/bran1/br3p5\\_EAC\\_tv12/20120111.html](http://www.marine.csiro.au/ofam1/bran1/br3p5_EAC_tv12/20120111.html).)

масштабах от нескольких дней до недель. Помимо традиционного краткосрочного прогнозирования физических свойств океана (температуры, солёности, высоты поверхности, течений, волн), морская деятельность, такая как управление качеством воды и охрана среды обитания, а также мониторинг климата, всё больше полагаются на оперативные океанографические данные и продукцию.

### Партнёрство США в области моделирования океана для системы Земля

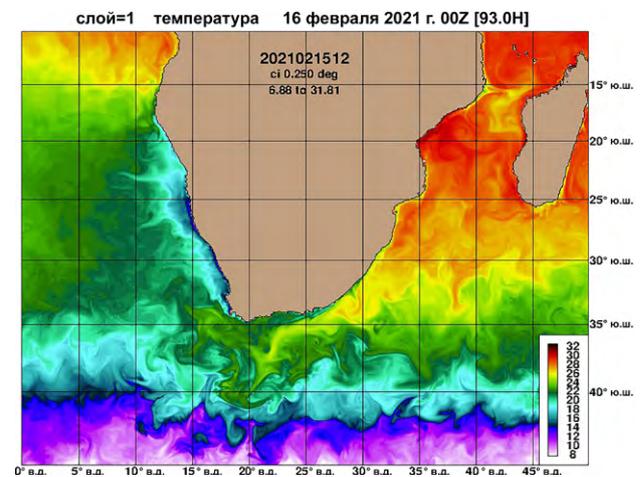
В США Национальное управление по исследованию океанов и атмосферы (НУОА) и Министерство военно-морского флота уже более десяти лет сотрудничают с целью разработки и реализации оперативных прогнозов состояния океана. Выходные данные их моделей обеспечивают основу для различных видов обслуживания по прогнозированию метеорологических условий океана для поддержки безопасности морских работ, включая прогнозирование тропических циклонов, поиск и спасение, реагирование на чрезвычайные морские экологические ситуации, такие как разливы нефти, и работ в маргинальной зоне морского льда.

Военно-морские силы США начали использовать модели глобальной циркуляции океана в 1999 году (Rhodes *et al.*, 2002). Нынешняя версия Глобальной системы прогнозирования океана (ГСПО) ВМФ, введённая в действие в 2020 году, объединяет Гибридную координатную модель океана с Объединённой моделью кодов морского льда (ОМКМЛ). В 2021 году ВМФ будет эксплуатировать ГСПО с разрешением 1/25 градуса вместе с ОМКМЛ и с охватом приливов.

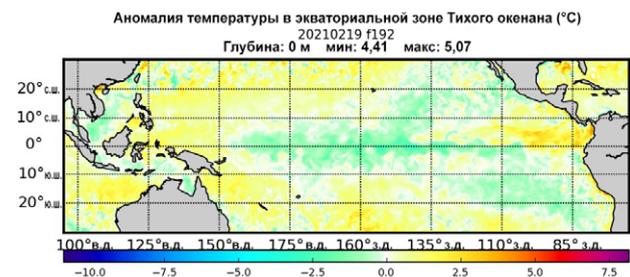
НУОА ввело в эксплуатацию свою глобальную систему прогнозирования океана в реальном времени (ГСПОРВ) в 2011 году. Первоначально

на основе разработки ГСПО ВМФ США НУОА также включило в ГСПОРВ Систему усвоения прибрежных океанических данных ВМФ (СУПОД). ГСПОРВ версии 2.0, введённая в эксплуатацию в декабре 2020 года, включила обновлённую систему усвоения океанических данных НУОА, ГСПОРВ-УД.

В 2017 году в рамках Проекта по улучшению прогнозов ураганов НУОА ввело в эксплуатацию новую сопряжённую модель погоды и океана в



Прогноз температуры поверхности моря по ГСПО, день 7-1/2 (Источник: Лаборатория военно-морских исследований США)



Глобальная аномалия температуры поверхности моря по прогнозу ГСПОРВ, день 8 (Источник: НУОА)

региональном масштабе. Включение ураганов в мультимасштабную негидростатическую сопряжённую модель океана (МНСМО) обеспечивает для прогнозистов методические рекомендации по их интенсивности и траектории движения на срок от 0 до 5 дней для поддержки официальной содержащей предупреждения и прогнозы продукции Национального центра ураганов/Регионального специализированного метеорологического центра (РСМЦ) в Майами. Как и МНСМО, оперативная модель метеорологических исследований и прогнозов ураганов также использует сопряжённые состояния океана, заданные с использованием начальных и граничных условий из ГСПОРВ.

Подобные усилия, являющиеся лишь частью усилий США по оперативному моделированию океана, определяют развитие возможностей для полностью сопряжённого прогнозирования системы Земля. В рамках национальных усилий, закреплённых в законодательных актах, таких как Закон об инновациях в области погодных исследований и прогнозирования от 2017 года, НУОА сотрудничает с организациями национальной метеорологической отрасли — государственными учреждениями, научными кругами и частным сектором — для улучшения своего численного прогнозирования погоды. НУОА осуществляет это через Центр инноваций в области прогнозирования системы Земля (ЦИПСЗ), привлекая отрасль к ускорению научных исследований и внесению вклада в виде результатов моделирования в Единую систему прогнозов (ЕСП). Являясь объединённой системой прогнозирования системы Земля и усвоения соответствующих данных, ЕСП в течение следующих пяти лет позволит осуществить полное сопряжение компонентов системы Земля — океана, атмосферы, суши, морского льда и биосферы — для погодных и климатических применений. ЦИПСЗ будет способствовать этому широкому сотрудничеству посредством разработки облачной среды, репозитория кодов, наблюдений и приборов, а также поддержки и участия сообщества.

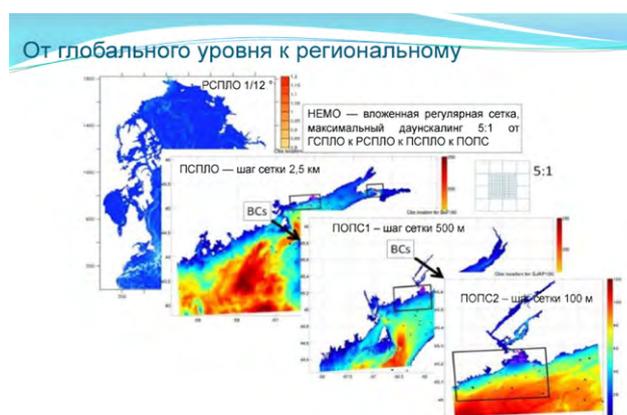
### Канадское партнёрство в области мониторинга атмосферы, океана и льда, сопряжённого прогнозирования и океанического обслуживания

Канадская оперативная сеть сопряжённых систем прогнозирования окружающей среды (КОСССПОС) является результатом сотрудничества трёх федеральных министерств: Министерства рыболовства и океанов (МРО), Министерства окружающей среды и изменения климата Канады и Министерства национальной обороны (МНО). В рамках сети разрабатываются и вводятся в эксплуатацию компьютерные модели, поддерживающие прогресс в области

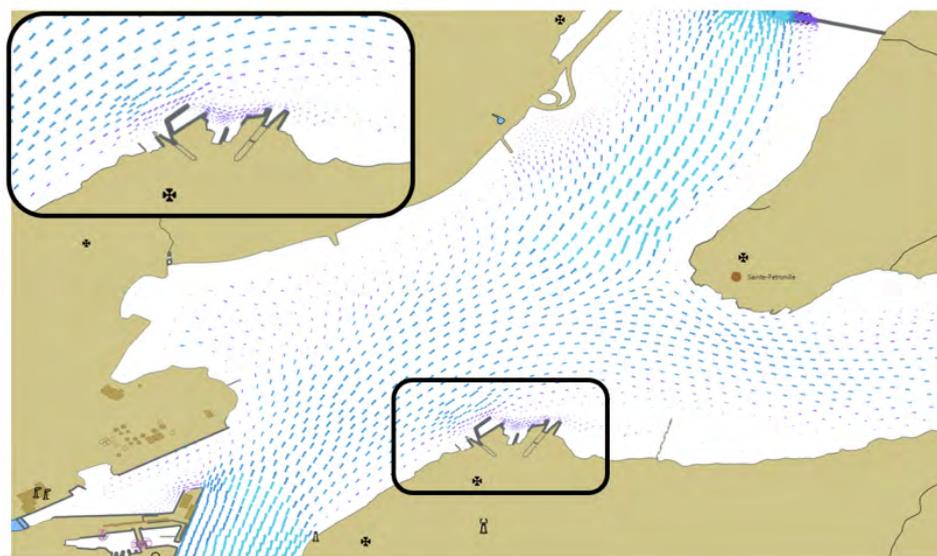
прогнозирования состояния океана и льда. Цель состоит в том, чтобы воспользоваться крупными достижениями в моделировании океана и новыми, работающими в реальном времени глобальными системами океанографических наблюдений для создания продукции, содержащей океанографические прогнозы, и улучшения сезонных и межгодовых прогнозов климата. Эта базовая сеть использует многочисленные возможности сотрудничества с академическими учреждениями, частным сектором и зарубежными учреждениями, такими как компания Mercator Ocean International.

Для содействия сотрудничеству с государственными учреждениями и внешними партнёрами КОСССПОС в 2009 году была введена в действие стратегия, включающая в себя три направления:

1. Сбор и распространение результатов измерений физических свойств морской среды для усвоения в моделях с целью улучшения прогнозов, предоставляемых системами прогнозирования окружающей среды (погода, лёд, волны и океан) в Канаде.
2. Разработка сопряжённых систем прогнозирования окружающей среды для улучшения анализов и прогнозов, предоставляемых системами прогнозирования окружающей среды (погода, лёд, волны и океан) в Канаде.
3. Доступность продукции и обслуживания КОСССПОС для конечных пользователей, включая:
  - а) обеспечение обратной связи с системами мониторинга и прогнозирования с целью их непрерывного совершенствования;



Пример каскадного подхода в отношении систем прогнозирования, используемого для создания продукции и обслуживания с высоким пространственным и временным разрешением, для залива Фанди, Канада. (Paquin et al., 2019)



Пример продукции для приложения «Электронная навигация», созданный системой 2D-прогнозирования эстуариев реки с высоким разрешением, управляемой Канадским центром метеорологии и прогнозирования окружающей среды H2D2 (Matte et al., 2017)

b) создание возможностей для сотрудничества внутри и вне КОСССПОС посредством разработки и предоставления систем обнаружения, визуализации и доступности данных наблюдений и выходных данных модели.

5. Гидродинамическое моделирование на реке Святого Лаврентия от г. Монреаль до г. Квебек.

Текущий комплекс сопряжённых систем прогнозирования атмосферы, океана и льда включает следующие компоненты:

Используемый каскадный подход открывает возможности для продукции и обслуживания в различных пространственных и временных масштабах. В настоящее время ведутся работы по планированию, чтобы обеспечить сопряжение имеющихся систем с системами биогеохимического моделирования. Всеобъемлющая Система систем предоставляет информацию, необходимую для обеспечения возможности электронной навигации.

1. Глобальная система прогнозирования льда в океане (ГСПЛО), работающая с разрешением 1/4 градуса<sup>9</sup>.
2. Региональная система прогнозирования льда в океане (РСПЛО), работающая с разрешением 1/12 градуса в северной части Тихого океана, Северном Ледовитом океане и Северной Атлантике<sup>10 11</sup>.
3. Система прогнозов прибрежного льда в океане (ПСПЛО), работающая с разрешением 1/36 градуса в Северо-Западной Атлантике и северо-восточной части Тихого океана<sup>12</sup>.
4. Система прогнозирования водного цикла Великих озёр (атмосфера, океан, лёд, гидрология), работающая с горизонтальным разрешением 2 км.

### Проект по субсезонному-сезонному прогнозированию (ССП)

Чтобы преодолеть разрыв между среднесрочными прогнозами погоды и сезонными прогнозами, Всемирная программа метеорологических исследований (ВПМИ) ВМО и Всемирная программа исследований климата (ВПИК)<sup>13</sup> развернули проект по субсезонному-сезонному прогнозированию (ССП). Основная цель проекта состоит в том, чтобы улучшить успешность прогнозов и понимание субсезонных-сезонных временных масштабов, а также способствовать усвоению прогнозов ССП оперативными центрами и использованию сообщества разработчиков приложений ([www.s2sprediction.net](http://www.s2sprediction.net)). Первый этап ССП проходил с 2013 по 2017 год, а второй — начался в 2018 году и закончится в 2023 году. Одним из направлений исследований в рамках второго этапа является субсезонная-сезонная предсказуемость и прогнозирование состояния океана и морского льда. ССП работает во взаимодействии с рабочими группами по субсезонному-междесятилетнему

9 G. Smith et al., QJRMS, Volume142, Issue695, January 2016 Part B, Pages 659-671  
 10 JF Lemieux et al., 2016, QJRMS, Volume142, Issue695, January 2016 Part B, Pages 632-643  
 11 Smith, G.C., Liu, Y., Benkiram, M., Chikhar, K., Surcel Colan, D., Testut, C.E., Dupont, F., Lei, J., Roy, F., Lemieux, J.F., and Davidson, F., 2020. The Regional Ice Ocean Prediction System v2: a pan Canadian ocean analysis system. Geoscientific Model development Discussions, pp1-49.  
 12 Документ в стадии подготовки

13 При совместной финансовой поддержке ВМО, МОК и МНС.

прогнозированию (ССМДП), по системам наблюдений и усвоения данных (СНУД) и по предсказуемости, динамике, ансамблевому прогнозированию (ПДАП) для содействия улучшению субсезонных прогнозов посредством более эффективной инициализации состояния океана/морского льда и описания ключевых процессов в океане и морском льде, что обеспечивают предсказуемость в субсезонных временных масштабах.

Основным достижением первого этапа ССП стало создание в 2015 году базы данных ССП, содержащей субсезонные прогнозы в режиме, близком к реальному времени (до 60 дней), и скорректированные прогнозы (которые иногда называют ретроспективными прогнозами) из 11 оперативных центров. Большинство моделей ССП являются сопряжёнными моделями океана/морского льда/атмосферы, а список параметров, имеющих в базе данных ССП, всегда включал температуру поверхности моря и ледовый покров.

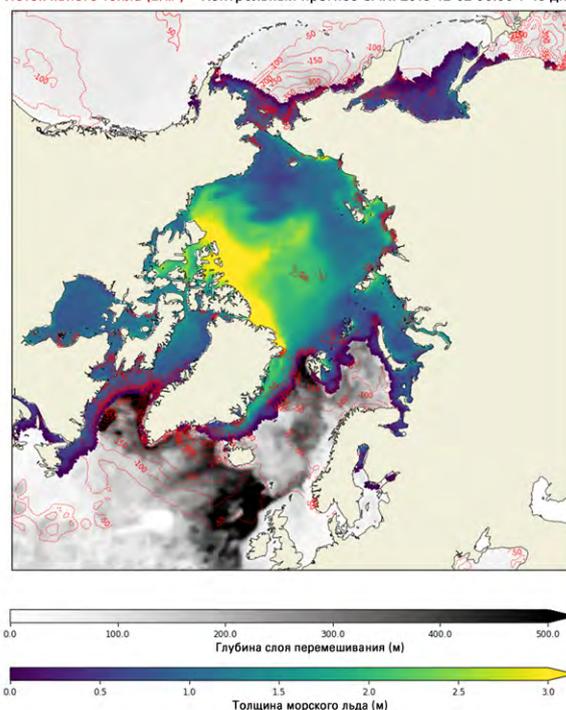
С января 2020 года в базу данных ССП были добавлены девять новых параметров океана и морского льда, включая глубину изотермы 20 °С, толщину слоя перемешивания, солёность и потенциальную температуру в верхнем слое глубиной 300 м, поверхностные течения, солёность, высоту морской поверхности и толщину морского льда. Доступность этого обширного набора переменных параметров океана и морского льда существенно увеличивает возможности базы данных для исследования сопряжённых систем ССП и решения ключевых научных вопросов. В настоящее время новые переменные параметры доступны от четырёх моделей — Европейского центра среднесрочных прогнозов погоды (ЕЦСПП), Министерства окружающей среды и изменения климата Канады, Китайского метеорологического управления (КМУ) и МетеоФранс — на три недели позже прогнозов в реальном времени (с января 2020 года) и соответствующих скорректированных прогнозов, которые производятся в режиме, близком к реальному времени. В наступающем году новые переменные можно будет получить от расширенного набора моделей ССП.

В качестве примера того, что уже делается, в работе (Zampieri *et al.*, 2018) произведена оценка успешности прогнозов нескольких моделей на основе базы данных ССП и выявлено, что некоторые модели демонстрируют значительную успешность в прогнозировании морского ледяного покрова на период до месяца. Этот важный результат предполагает, что современные субсезонные-сезонные прогнозы могут быть потенциально полезны для применения в таких областях, как выбор судоходных маршрутов в арктических регионах. Доступность новых океанских переменных должна послужить стимулом к новым

научным исследованиям в области предсказуемости погоды в океане со значительными воздействиями и последствиями, например волн тепла, которые дадут представление о возможном использовании этих субсезонных прогнозов в таких областях, как рыболовство. На снимке ниже показан пример возможного использования этих данных об океане для подготовки морских метеорологических карт. В этом примере аномалии уровня моря, связанные с климатом, прогнозируются с заблаговременностью от 3 до 4 недель.

Кроме того, благодаря новым параметрам база данных ССП станет в большей степени пригодной для более глубокого понимания взаимодействий воздуха, льда и океана на границе морского льда, как показано ниже. Это также поможет диагностировать эволюцию дрейфа океана с учётом заблаговременности прогнозов ССП.

Поток явного тепла (Вт/м<sup>2</sup>) Контрольный прогноз САП: 2019-12-02 00:00 + 45 дней



Толщина морского льда, глубина слоя перемешивания и потоки явного тепла в океане на основе контрольного прогноза ЕЦСПП с расширенным сроком действия, выпущенного 2 декабря 2019 года и проверенного 16 января 2020 года (срок действия — 45 дней).

Чтобы координировать эту деятельность, в проект по ССП на втором этапе включён подпроект по океану, в рамках которого будет разработан протокол для скоординированных тематических исследований, которые могут быть проведены центрами, выполняющими субсезонное-сезонное прогнозирование конкретных экстремальных явлений в океане и взаимодействий атмосферы и океана, например, ССП возникновения ЭНЮК. Примеры

могут включать исследование предсказуемости впечатляющего явления обесцвечивания кораллов в 2017 году и внутрисезонного взаимодействия атмосферы и океана в момент возникновения явления Эль-Ниньо 2015/2016 годов.

### Организация международного прогнозирования состояния океана

В литературе последних лет<sup>14,15</sup> были документально подтверждены сильные стороны подхода, основанного на цикле создания стоимости (Day, 1999), в рамках передачи технологий, позволяющих переходить от исследований к оперативной деятельности и обслуживанию. В частности, Ruti et al. (2020) предоставляют описание этого цикла в текущем метеорологическом контексте и в качестве ключевого компонента для реализации подхода к комплексному изучению системы Земля. Такая цепочка создания стоимости связывает производство и предоставление этого обслуживания с решениями пользователей, а также с результатами и оценками, вытекающими из этих решений. Отзывы пользователей затем передаются в подразделение по исследованиям и оперативной деятельности с целью дальнейшего улучшения обслуживания. Схожее мышление имеет место и в других дисциплинах.

На приведённой ниже схеме (взято из Schilleretal, 2019) показана морская цепочка создания стоимости. Существуют две ключевые международные инициативы, которые поддерживают деятельность по прогнозированию состояния океана: OceanPredict и ГСНО. Более двух десятилетий программа OceanPredict и её предшественники были сосредоточены на исследованиях и оперативном осуществлении систем прогнозирования



14 WMO, 2015: [Valuing weather and climate: Economic assessment of meteorological and hydrological services](#). WMO-1153, 308 pp.  
 15 Ruti et al., [Advancing Research for Seamless Earth System Prediction](#), Bull. Amer. Met. Soc. 2020, DOI: <https://doi.org/10.1175/BAMS-D-17-0302.1>

океана. ГСНО обеспечивает данные наблюдений за океаном для инициализации и проверки оправдываемости прогнозов состояния океана благодаря сотрудничеству между ВМО и МОК.

### OceanPredict

В конце 1990-х годов был развёрнут международный Глобальный эксперимент по усвоению данных об океане (ГЭУДО), чтобы i) продемонстрировать осуществимость и полезность мониторинга и прогнозирования океана в ежедневном-еженедельном масштабе времени и ii) внести вклад в создание глобальной оперативной океанографической инфраструктуры (Smith, Lefebvre, 1997; Schiller et al., 2018). Опираясь на достигнутый успех, в 2009 году была создана программа ГЭУДО OceanView (Bell et al., 2009) для определения, мониторинга и поддержки деятельности, направленной на координацию и интеграцию исследований, связанных с мультимасштабными и мультидисциплинарными системами анализа и прогнозирования состояния океана.

В 2019 году ГЭУДО OceanView была преобразована в OceanPredict, которая продолжает расширять свою деятельность с дополнительным акцентом на прогнозирование состояния океана в рамках более широкой сети международных инициатив, связанных с оперативной океанографией. В этой связи OceanPredict развивает тесные партнёрские отношения с международными учреждениями, включая ВМО, МОК, ГСНО и Blue Planet ГЕО.

OceanPredict поддерживают 14 стран. Однако принять участие в работе OceanPredict и её целевых групп приглашаются научно-технические работники из любой страны. В симпозиуме OceanPredict19 приняли участие представители 41 страны (Vinaychandran et al., 2020), включая учёных из центров оперативного прогнозирования, государственных учреждений, академических кругов и частных консорциумов/компаний.

Большинство групп OceanPredict неразрывно связаны с центрами численных прогнозов погоды и окружающей среды, такими как НУОА, Министерство окружающей среды и изменения климата Канады, МетеоФранс и Японское метеорологическое агентство, или являются их частью. Фактически семь из девяти мировых метеорологических центров (ММЦ) ВМО являются членами OceanPredict. Кроме того, во всех центрах прогнозирования есть сотрудники из академических кругов, которые поддерживают некоторые из выполняемых исследований. OceanPredict координирует исследования и разработки в области усвоения данных об океане, оценки океанских систем, прогнозирования

морских экосистем, прогнозирования прибрежных зон океанов, сопряжённых систем прогнозирования атмосферы и океана, а также взаимных сравнений и проверки систем прогнозирования океана.

К сотрудничеству по этим темам привлечены академические исследователи, исследователи из учреждений оперативного прогнозирования и группы разработчиков, которые поддерживают разработку, оперативную деятельность и распространение информации в учреждениях прогнозирования. Благодаря международным семинарам, проводимым под руководством специальной научной группы OceanPredict объединяет различные сообщества для развития науки и применений прогнозирования состояния океана. Ведущие эксперты сообщества ВМО выступают в качестве основных докладчиков, а некоторые семинары являются совместными мероприятиями с партнёрами ВМО, такими как ЕЦСПП. Научная группа OceanPredict преследует три основные цели:

- оценка работы системы прогнозирования и её компонентов в сочетании с улучшением компонентов;
- инициативы, направленные на использование систем прогнозирования для получения большей общественной пользы;
- оценка зависимости систем прогнозирования и социальных выгод от компонентов системы наблюдения.

## Перспективы

По мере развития моделей прогноза океана будет становиться всё более важным определение и прогнозирование того, какие типы явлений будут предсказуемы с помощью систем прогнозирования океана и сопряжённых систем прогнозирования атмосферы и океана с достаточной точностью и уровнем доверия.

Одним из аспектов, которые необходимо учитывать, является способность систем и пользователей использовать прогностическую продукцию. Хорошим примером этого является электронная навигация для поддержки безопасности на море, где новые стандарты файлов и методологии позволят судовым встроенным в мосты или переносным навигационным системам в полной мере использовать численные выходные данные систем прогнозирования состояния океана и атмосферы в реальном времени. Это позволит использовать расширенное программное обеспечение для планирования маршрутов судов, а также численные инженерные модели (виртуальные копии) судов, преобразуя информацию с прогнозом

окружающей среды в информацию о воздействии на судно. Важно отметить, что для большинства видов деятельности на море пользователю нужна полная и понятная информация о морской среде и её прогнозы, что может включать такие переменные, как ветер, волны, ледовые условия, температура воздуха, атмосферное давление, уровень моря, температура и солёность воды.

## Связь с метеорологией и ВМО

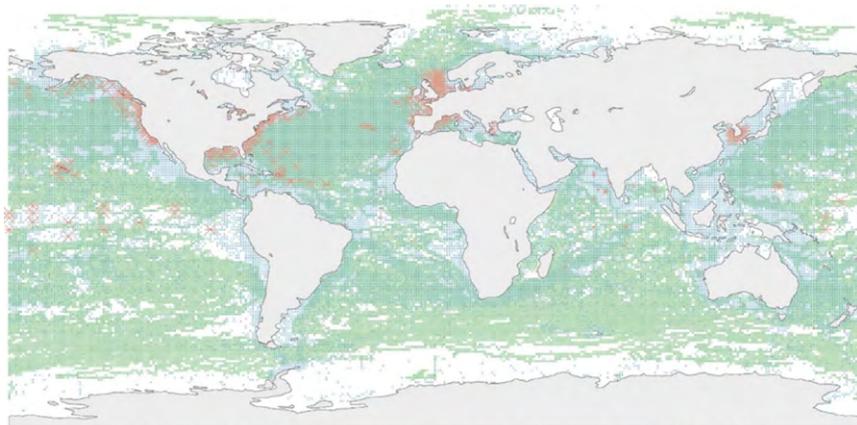
Для продвижения вперёд необходимо укреплять связь между оперативной океанографией и оперативной метеорологией. В частности, полная цепочка добавления стоимости в оперативной океанографии потребует как международных, так и национальных рамок для удовлетворения в полной мере интересов конечных пользователей. Сообщество ВМО уже осуществляет серьёзное взаимодействие с океанографическими группами, о чём свидетельствует растущее использование Информационной системы ВМО (ИСВ) для наблюдений за океаном. В дальнейшем, принимая во внимание, что большинство центров прогнозирования погоды включают прогнозирование состояния океана в свою деятельность, важно будет укрепить взаимосвязь между погодой и океаном, начиная с наблюдений и заканчивая прогнозированием и конечным использованием.

## Эффективное использование систем ВМО в прогнозировании состояния океана в будущем

ВМО располагает хорошо развитыми системами, охватывающими всю цепочку создания стоимости для метеорологического обслуживания, которая развивается для удовлетворения потребностей, обеспечивая при этом возможность появления новых работ и потоков информации по всей цепочке создания стоимости в отношении системы Земля. В этом разделе рассматриваются три из этих систем в отношении цепочки создания стоимости для прогнозирования состояния океана.

## ИГСНВ

**Интегрированная глобальная система наблюдений ВМО (ИГСНВ)** обеспечивает всеобъемлющую основу для интеграции различных источников наблюдений, которые вносят вклад в области применения ВМО. В рамках регулярного обзора потребностей (РОП) ВМО соизмеряются потребности пользователей в наблюдениях с возможностями систем наблюдений, чтобы определить, как должна развиваться структура ИГСНВ. Наряду с изучением воздействий для выявления пробелов в наблюдениях, РОП



Данные наблюдений за морской поверхностью, переданные через ГСТ в 2018 году.  
 Суда (+) Дрейфующие буи (x) Заякоренные буи (x)  
 Размер символа обозначает число дней в 2018 г., когда наблюдалась ячейка 1° x 1°  
 от : 30 дней и менее до X: 335 и более дней

Рисунок 4. Охват данными за счёт трёх основных компонентов Глобальной системы наблюдений (ГСН) (т. е. судов, дрейфующих буёв и заякоренных буёв) на основе информации, полученной метеорологической службой Франции через ГСТ в 2018 году (для подробной информации о символах смотри условные обозначения). (Заимствовано из *Front. Mar. Sci.*, 30 August 2019 | <https://doi.org/10.3389/fmars.2019.00419> )

используется для определения приоритетов в развитии глобальных систем наблюдений и для рекомендации основных мероприятий Членам ВМО и другим важным программам по устранению пробелов.

Структура ИГСНВ ВМО обеспечивает систематический подход, который может позволить группам прогнозирования состояния океана проводить систематические оценки наблюдаемых воздействий в сопоставлении с прогнозами, чтобы оценивать эффективность по всей цепочке создания стоимости для прогнозирования океана. В частности, осуществление процесса регулярного обзора в части прогнозов состояния океана позволит лучше связать всю океанографическую цепочку создания стоимости и гарантировать, что инвестиции в наблюдения за океаном обеспечат оптимальное соотношение цены и качества в части затрат на разработку более эффективного информационного обслуживания по прогнозированию океана.

## ИСВ

**Информационная система ВМО (ИСВ)** объединяет НМГС и регионы для обмена и управления данными и обработки данных. В настоящее время большая часть данных наблюдений за океаном, используемых в системах прогнозирования в режиме, близком к реальному времени, передаётся через Глобальную систему телесвязи (ГСТ) ВМО (см. рисунок выше, где показаны данные наблюдений, переданных через ГСТ в 2018 году).

ГСТ также оказалась эффективным каналом для предупреждений о цунами, поскольку доставляет сообщения с задержкой, которая в большинстве случаев составляет менее двух минут. ВМО развивает ИСВ/ГСТ, чтобы использовать новые технологии для обмена данными, и ИСВ 2.0 предоставит

усовершенствованные средства для подписки на потоки данных и эффективные способы доставки предупреждений.

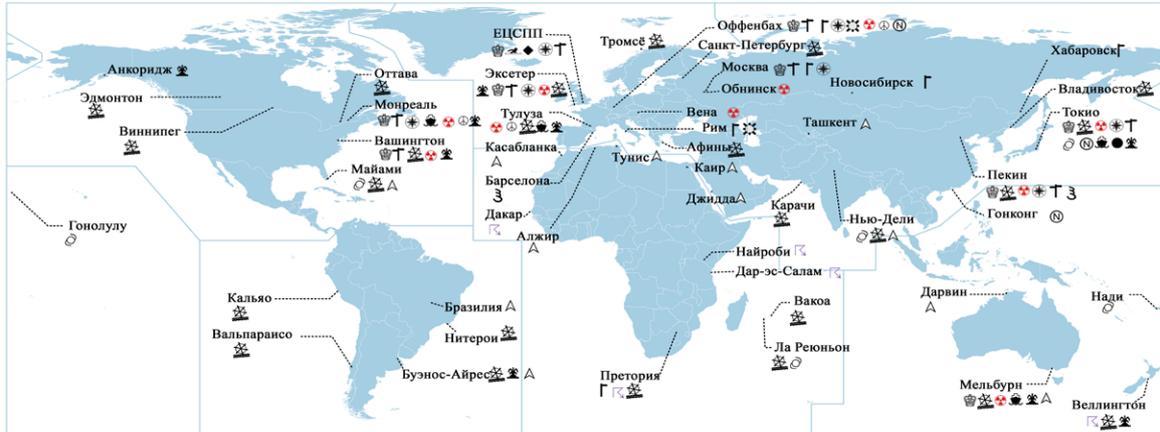
В будущем включение данных об океане в ИСВ принесёт много дивидендов. ИСВ обеспечивает глобальную инфраструктуру для обмена данными и информацией между всеми НМГС и включает давно зарекомендовавшую себя ГСТ для доставки данных наблюдений в реальном времени (и всё чаще тех метаданных, которые необходимы для наилучшего использования данных в реальном времени), необходимых для их оперативных потребностей. Несмотря на то, что ГСТ остаётся общепринятым способом глобального обмена данными между НМГС и удовлетворяет их оперативные потребности и применения, академическое сообщество и общественность, несомненно, нуждаются в более рациональной и консолидированной архитектуре управления данными, которая должна обеспечивать доступ к данным и метаданным в общем формате.

## ГСОДП

**Глобальная система обработки данных и прогнозирования ВМО (ГСОДП)** позволяет всем НМГС использовать достижения в области численного прогнозирования погоды (ЧПП), обеспечивая основу для обмена данными, связанными с оперативной метеорологией, гидрологией, океанографией и климатологией. ГСОДП — это каскадный процесс, который скоординированным образом позволяет передать возможности ЧПП, имеющиеся у глобальных центров (ММЦ) ВМО, для использования региональными центрами (РСМЦ), а затем НМГС. РСМЦ позволяют предоставлять унифицированное обслуживание, в том числе по морским и океанским вопросам. Более 40 РСМЦ несут ответственность за поддержку обслуживания,

### Назначенные центры Глобальной системы обработки данных и прогнозирования ВМО Наукастиг и прогнозирование погоды (с заблаговременностью до 30 дней)

Обновлено 19 августа 2019 г.



**Условные обозначения**

- ☉ Мировые метеорологические центры (ММЦ)\* (9)
  - △ РСМЦ географической специализацией (12)
  - ☉ РСМЦ (NRT\*\*\*) ведущий центр по координации прогнозов волнения (1)
  - ☉ РСМЦ (NRT\*\*\*) ведущий центр по координации проверки оправданности САП (1)
  - ◆ РСМЦ (NRT\*\*\*) ведущий центр по координации проверки оправданности детерминистических ЧПП (1)
  - ☉ РСМЦ по численному прогнозированию океанских волн (4)
  - ☉ РСМЦ по прогнозированию тропических циклонов (6)
  - ☉ РСМЦ по прогнозированию суровой погоды (5)
  - ☉ РСМЦ по морскому метеорологическому обслуживанию (24)
  - ☉ РСМЦ по реагированию на ядерные чрезвычайные ситуации\*\* (10)
  - ☉ РСМЦ по реагированию на неядерные чрезвычайные ситуации\*\* (3)
  - ☉ РСМЦ по прогнозам песчаных и пыльных бурь (2)
  - ☉ РСМЦ по ансамблям численным прогнозам погоды по ограниченному району (2)
  - ☉ РСМЦ по глобальным ансамблям численным прогнозам погоды (7)
  - ☉ РСМЦ по детерминистическим численным прогнозам погоды по ограниченному району (6)
  - ☉ РСМЦ по глобальным детерминистическим численным прогнозам погоды (8)
  - ☉ Назначенные консультативные центры по вулканическому пеплу ИКАО (9)
- \* Мировые метеорологические центры также являются Глобальными центрами подготовки для а) детерминистических численных прогнозов погоды, б) ансамблевых численных прогнозов погоды и в) долгосрочных прогнозов  
 \*\*NRT — не реальное время  
 \*\*\*NRT — реальное время  
**ИСПОЛЬЗОВАННЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ**  
 Изображение и использование границ, географических названий и соответствующих данных, показанных на картах и включённых в перечни, таблицы, документы и базы данных на этом веб-сайте, не гарантирует исключение ошибок и не обязательно подразумевает официальную поддержку и одобрение со стороны ВМО

### Назначенные центры Глобальной системы обработки данных и прогнозирования ВМО Наукастиг и прогнозирование погоды (с заблаговременностью до 30 дней)

Обновлено 4 июля 2019 г.



**Условные обозначения**

- ☉ Мировые метеорологические центры (ММЦ)\* (9)
  - ☉ РСМЦ (NRT\*\*) ведущий центр по координации ADCP\*\*\* (1)
  - ☉ РСМЦ (NRT\*\*) ведущий центр по координации LRFMME\*\*\*\* (2)
  - ☉ РСМЦ (NRT\*\*) ведущий центр по координации проверки оправданности долгосрочных прогнозов (2)
  - ☉ РКЦ — региональные сети климатических центров, узлы прогнозирования и мониторинга регионального климата (11)
  - ☉ RCC прогнозирования и мониторинга регионального климата (9)
  - ☉ ГЦП по ADCP\*\*\* (4)
  - ☉ ГЦП по долгосрочному прогнозированию (13)
- \* Мировые метеорологические центры также являются Глобальными центрами подготовки для а) детерминистических численных прогнозов погоды, б) ансамблевых численных прогнозов погоды и в) долгосрочных прогнозов  
 \*\*NRT — не реальное время  
 \*\*\* ADCP — прогноз климата с заблаговременностью от года до десяти лет  
 \*\*\*\* LRFMME — мультимодельный ансамбль долгосрочных прогнозов  
**ИСПОЛЬЗОВАННЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ**  
 Изображение и использование границ, географических названий и соответствующих данных, показанных на картах и включённых в перечни, таблицы, документы и базы данных на этом веб-сайте, не гарантирует исключение ошибок и не обязательно подразумевает официальную поддержку и одобрение со стороны ВМО

Центры ГСОДП, ответственные за прогнозирование погоды с заблаговременностью до 30 дней (вверху) и за долгосрочное прогнозирование и прогнозирование климата (внизу)

связанного с океаном, включая морскую метеорологию, прогнозирование океанских волн, суровые погодные условия и тропические циклоны.

Как отмечалось ранее, семь из девяти назначенных ММЦ имеют системы прогнозирования состояния океана, включённые в инициативу OceanPredict, которые работают в режимах сопряжённого или несопряжённого прогнозирования в рамках их повседневной работы. Включение систем прогнозирования океана в такую структуру имеет много преимуществ, включая интеграцию научных достижений в прогнозирование состояния океана и применение новых систем наблюдений (например ПСТО) в оперативных системах прогнозирования состояния океана/окружающей среды.

Такое сотрудничество в области погоды и океана уже осуществляется, о чём свидетельствует предстоящее совещание ЕЦСПП и OceanPredict по усвоению данных в мае 2021 года. Это сотрудничество должно развиваться. Ожидается, что в рамках Десятилетия науки об океане в интересах устойчивого развития ООН можно будет создать основу для всей оперативной океанографической цепочки создания стоимости, аналогичной структуре ГСОДП. К концу Десятилетия предусматривается построить полностью интегрированную цепочку создания стоимости для прогнозирования морской среды (оперативная океанография и метеорология), однако остаётся открытым вопрос: как следует построить её океанический компонент? Возможны следующие варианты: сначала построить полную структуру цепочки создания стоимости для океана или встроить океанические компоненты в существующие элементы метеорологической цепочки создания стоимости, сформированные ВМО.

В дальнейшем необходимо укреплять связь между оперативной океанографией и оперативной метеорологией. В частности, полная цепочка создания стоимости в оперативной океанографии потребует как международных, так и национальных структур для удовлетворения в полной мере интересов конечных пользователей. Уже существует значительное взаимодействие с океанографическими группами ВМО, о чём свидетельствует использование ГСТ для наблюдений за океаном. В дальнейшем, несмотря на то, что большинство центров прогнозирования погоды включают прогнозирование состояния океана в свою деятельность, важно будет укрепить взаимосвязь погоды и океана, начиная с наблюдений и заканчивая прогнозированием и конечным использованием продукции и обслуживания.

## Партнёрские связи на будущее

Видение ВМО, как указано в Стратегическом оперативном плане ВМО на 2020–2023 годы, заключается в том, чтобы «увидеть мир, в котором все страны, особенно наиболее уязвимые, будут более устойчивыми к социально-экономическим последствиям экстремальных погодных, климатических, гидрологических и других явлений, связанных с окружающей средой, и поддержать их устойчивое развитие за счёт предоставления наилучшего обслуживания, будь то на суше, на море или в воздухе». Для достижения этого ВМО использует подход на основе системы Земля, который обеспечит доступ и использование результатов численного анализа и прогнозирования системы Земля во всех временных и пространственных масштабах на основе бесшовной ГСОДП ВМО.

Чтобы постоянно улучшать продукцию и обслуживание, все ключевые компоненты системы Земля должны быть интегрированы в бесшовные системы усвоения данных и прогнозирования с оптимизированным использованием ИГСН ВМО, ИСВ версии 2.0 и бесшовной ГСОДП ВМО. В сообществе ВМО реформа ВМО обеспечила основу для интеграции дисциплин, необходимых для достижения этой цели. Она также обеспечивает механизмы для более эффективного партнёрства с соответствующими ключевыми национальными и международными организациями, академическими учреждениями и частным сектором. Одна отдельно взятая организация не может достичь этого самостоятельно, и ресурсы ограничены настолько, что воспроизведение существующей инфраструктуры будет экономически невозможно. Кроме того, затраты на необходимые средства высокопроизводительных вычислений, хранения и телекоммуникации, вероятно, превысят то, что могут себе позволить отдельные страны.

Поэтому очень важны партнёрские связи между государственным, академическим и частным секторами. Использование существующей глобальной, региональной и национальной инфраструктуры позволит всем сообществам получать пользу от использования имеющейся информации в своих системах принятия решений. ВМО и её партнёры твёрдо убеждены в том, что вместе мы решим крупные проблемы, стоящие перед человечеством сегодня, как это подчёркнуто в Целях в области устойчивого развития Организации Объединённых Наций, и будем лучше подготовлены к нахождению решений для проблем, которые появятся в будущем.

Список литературы доступен  
в онлайн-режиме

# Продукция и обслуживание с учётом меняющегося океана

Томас Дж. Кафф<sup>1</sup>, Вэл Суэйл<sup>2</sup>, Сара Граймс<sup>3</sup>, Кристин Бассетт<sup>4</sup>, Йохан Стандер<sup>3</sup>, Ян Лиск<sup>5</sup>, Сирил Оноре<sup>3</sup>, Уилфран Муфума Окиа<sup>3</sup>, Патрик Пэрриш<sup>3</sup> и Чжичао Ван<sup>3</sup>

Прибрежные общины регулярно принимают жизненно важные решения перед лицом экстремальных погодных условий, затопления прибрежных районов и повышения уровня моря. Учёные прогнозируют, что все эти угрозы будут возрастать из-за изменения климата. Мореплаватели полагаются на прогнозы и предупреждения о надвигающихся высоких волнах, сильных ветрах и морском льде и используют информацию о поверхностных течениях и ветрах для повышения эффективности морских перевозок, помогая таким образом снизить загрязнение и выбросы парниковых газов. Прибрежным сообществам требуется метеорологическая и океанографическая информация для подготовки к морским чрезвычайным ситуациям и соответствующего реагирования. Таким образом, очевидно, что краткосрочные прогнозы погоды, метеорологическая и океанографическая продукция и обслуживание, связанные с окружающей средой, а также сезонные, субсезонные и долгосрочные прогнозы климата имеют важное значение для национальной, экологической и экономической безопасности, а также для безопасности жизни и имущества на море и в прибрежных районах. ВМО и национальные метеорологические и гидрологические службы (НМГС) совместно работают над развитием возможностей, технологий и потенциала для предоставления

специализированного обслуживания в каждой из этих областей и для всех заинтересованных сторон.

Морские интересы во всём мире зависят от своевременных, точных и актуальных океанографических и морских метеорологических анализов, прогнозов и обслуживания, адаптированных к потребностям принятия решений отдельными лицами и сообществами. Для такого обслуживания требуются объединённые в глобальном масштабе и распределённые усилия при тесном сотрудничестве между океанографическим, морским метеорологическим сообществами и сообществом, занимающимся науками о Земле. Использование спутников, выходные данные моделей океана и численных моделей прогнозирования погоды и климата, системы прогнозирования, а также экспертные знания и опыт на всех уровнях вплоть до местного имеют важнейшее значение в цепочке создания стоимости для морского обслуживания. Также важно всестороннее понимание потребностей пользователей и заинтересованных сторон — судоходства и других видов морской деятельности, туризма и прибрежных сообществ — и того, как они связаны с предоставляемой разнообразной морской продукцией и обслуживанием.

Для решения многих проблем, связанных с изменением климата, и смягчения воздействия человеческой деятельности на систему Земля метеорологические, океанские и климатические сообщества должны скоординировать свои усилия. Тесное сотрудничество внутри этих сообществ позволяет осуществлять инновации и быстро находить решения многих проблем, с которыми сегодня сталкиваются прибрежные сообщества и морские экосистемы.

## Обслуживание в прибрежных районах и снижение риска бедствий

Прибрежные опасные явления, в том числе связанные с погодой, такие как сильные штормы, экстремальные

- 1 Председатель Постоянного комитета ВМО по морскому метеорологическому и океанографическому обслуживанию и директор Управления наблюдений Национальной метеорологической службы (США) Национального управления по исследованиям океана и атмосферы (НУОА).
- 2 Почётный сотрудник Министерства по окружающей среде и изменению климата Канады.
- 3 Секретариат ВМО.
- 4 Стипендиат морской программы имени Джона Кнауасса, Управление наблюдений, НУОА.
- 5 Президент Комиссии ВМО по обслуживанию и применению в областях погоды, климата, воды и соответствующих областях окружающей среды, руководитель партнёрства по борьбе с опасными явлениями, Метеорологическое бюро (Соединённое Королевство).



Судно «Экспедишн», пролив Эррера, Антарктида. По мере того, как изменение климата создаёт больше возможностей для туризма в высоких широтах, возрастает угроза возникновения чрезвычайных экологических ситуаций на море (Источник: В. Граймс, 16 ноября 2018 года).

волны, зыбь, штормовой нагон, повышенный сток рек, и явления геофизического характера, такие как цунами, наносят значительный ущерб людям и окружающей среде, унося тысячи жизней и вызывая перемещение сотен тысяч людей каждый год. Около одного миллиарда человек во всём мире живут на низко расположенных территориях, которые находятся на высоте менее 10 м над уровнем прилива, а около четверти из них живут на территориях, расположенных на высоте менее 1 м над уровнем прилива (Kulp and Strauss, 2019). Невозможно переоценить необходимость в своевременных и надёжных системах заблаговременных предупреждений о многих опасных явлениях (СЗПМОЯ), которые позволили бы этим людям перемещаться в безопасное место по мере приближения опасности.

Особенно опасны для прибрежных сообществ тропические циклоны (см. статью на стр. 95 «*Вихревой мир — Тропические циклоны и океан*»). Однако именно наводнение, а не ветер является основной причиной человеческих жертв, когда происходят эти экстремальные явления. Сочетание быстро растущего штормового нагона и пресноводного наводнения в результате проливных дождей может вызвать сильное затопление прибрежных районов. Три из четырёх случаев затопления прибрежных районов с самым высоким уровнем смертности за последние 50 лет были вызваны штормовыми нагонами. Самым примечательным является случай, когда предположительно погибло от 300 000 до 500 000 человек из-за тропического циклона Бхола в Бангладеш в 1970 году (Cervený *et al.*, 2017). Хотя затопление прибрежных районов часто связано с тропическими циклонами, оно также может происходить из-за внетропических циклонов, в том числе

## Обслуживание в океанографических и метеорологических сообществах

Важно отметить различное восприятие понятия «обслуживание» в метеорологическом и океанографическом сообществах. Океанографы склонны рассматривать «обслуживание» как предоставление информации и выходных данных модели для поддержки ряда ориентированных на конкретного пользователя приложений и систем, независимо от того, оказывается при этом оперативная поддержка или нет. В результате океанографическое сообщество быстро осваивает новые научные достижения и инновации.

Метеорологическое сообщество рассматривает «обслуживание» как понятие, которое также включает оперативно поддерживаемую доставку определяемого пользователем вида продукции или информационной услуги. Таким образом, метеорологическое обслуживание более структурировано и в большей степени соответствует принципам управления качеством, развитию которых ВМО способствует на протяжении многих лет.

в покрытых льдом водах, которые могут нанести серьёзный ущерб прибрежной инфраструктуре.

ВМО вводит в эксплуатацию прибрежные СЗПМОЯ в общинах, подверженных риску. Показательный проект по прогнозированию наводнений в прибрежной зоне (ПППНПЗ), развёрнутый в 2009 году (Swail *et al.*, 2019), объединил метеорологические и

океанографические наблюдения, такие как уровень моря, океанские волны, ветер, давление и осадки, с гидрологической информацией, такой как уровень и расход воды в реке. В 2019 году на Восемнадцатом Всемирном метеорологическом конгрессе было принято решение продолжить эту работу в рамках Инициативы по прогнозированию наводнений в прибрежной зоне (ИПНПЗ), при этом отдельная просьба со стороны Членов касалась включения цунами. ИПНПЗ, наряду с другими инициативами, такими как Структура слежения за штормовыми нагонами ВМО и скоординированная Глобальная система заблаговременных предупреждений о цунами Межправительственной океанографической комиссии (МОК) ЮНЕСКО, поможет странам создать более широкий потенциал для обеспечения заблаговременных предупреждений о наводнениях в прибрежных районах, внося свой вклад в комплексную СЗПМОЯ в поддержку национальных стратегий и мероприятий по снижению риска бедствий и управлению ими. В последние годы ВМО поддерживает эту деятельность через партнёрство с Международной сетью для СЗПМОЯ (МС СЗПМОЯ) и совместную координацию Глобальной конференции по СЗПМОЯ (см. статью «Наука об океане для обслуживания малых островных развивающихся государств» на стр. 101 и статью «Системы заблаговременных предупреждений о многих опасных явлениях: инициатива по прогнозированию наводнений в прибрежной зоне» на стр. 105).

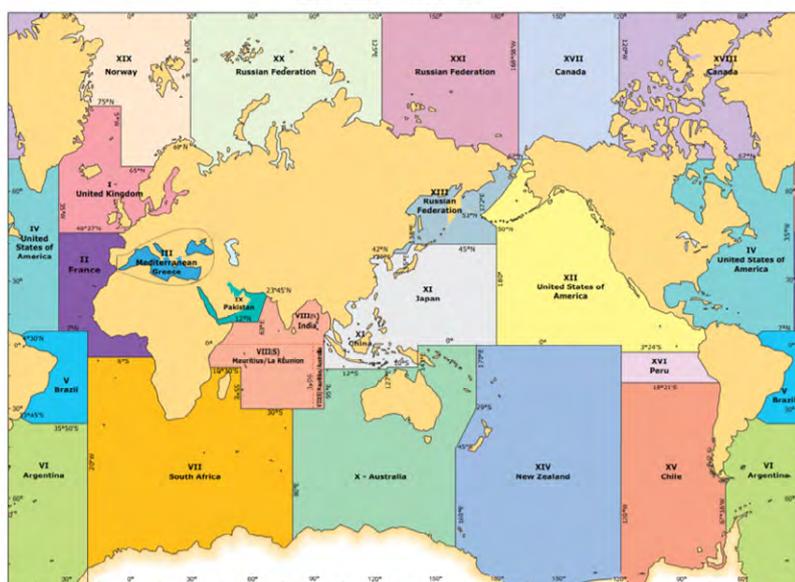
## Обслуживание для обеспечения безопасности на море

Мировая экономика зависит от безопасного и эффективного движения товаров и пассажиров

## Международные инициативы, функционирующие при поддержке морского и океанографического обслуживания

Морское и океанографическое обслуживание, предоставляемое Членами ВМО, способствует, среди прочего, функционированию следующих международных инициатив:

- Международная конвенция ООН по охране человеческой жизни на море (СОЛАС) Международной морской организации (ИМО); Международная конвенция по предотвращению загрязнения вод с судов (МАРПОЛ); Международный кодекс для судов, эксплуатирующихся в полярных водах (Полярный кодекс);
- Рамочная конвенция ООН об изменении климата (РКИК ООН), включая Парижское соглашение об изменении климата;
- Сендайская рамочная программа по снижению риска бедствий (СРБ);
- Программа действий по ускоренному развитию малых островных развивающихся государств (МОСРГ) («Путь САМОА»);
- Цели в области устойчивого развития ООН (ЦУР);
- Десятилетие науки об океане в интересах устойчивого развития ООН.



Карта МЕТЗОН  
(Источник: ВМО № 558)



Нефть видна на поверхности Мексиканского залива недалеко от места разлива нефти, последовавшего после аварии на нефтяной платформе *Deepwater Horizon* 12 мая 2010 года (Источник: НУОА).

между портами и от коммерческой деятельности, которая осуществляется в открытом океане и вблизи береговых линий. Чтобы безопасно путешествовать по морю, необходима информация о природных опасных явлениях. Обслуживание по обеспечению безопасности на море относится к деятельности, предпринимаемой для повышения безопасности морских перевозок и других видов деятельности на море и у побережья, независимо от того, связаны ли опасные явления с судоходством или погодой.

Международная морская организация (ИМО) — это учреждение, которое обеспечивает поддержку Международной конвенции ООН по охране человеческой жизни на море (СОЛАС), и на этой основе ИМО и СОЛАС несут ответственность за обеспечение минимальных стандартов безопасности жизни и судов на море. Полномочия ВМО в отношении СОЛАС заключаются в обеспечении того, чтобы Члены ежедневно предоставляли соответствующую метеорологическую и океанографическую информацию относительно безопасности на море для принятия решений морскими судами. ВМО поддерживает НГМС в их роли в качестве авторитетных организаций по предоставлению информации и обслуживанию в области морской метеорологии.

ВМО также поддерживает Глобальную морскую систему связи при бедствии и для обеспечения безопасности (ГМДСС) ИМО через Всемирную службу метеорологической и океанографической информации и предупреждений (ВСМОИП), которая координирует состояние океана, посредством его разделения на 21 определённую зону, называемую

МЕТЗОНА. НМГС предоставляют связанную с погодой информацию для обеспечения безопасности на море (ИОБМ) через ВСМОИП в форме морских предупреждений и прогнозов, передавая их через систему морских радиопередач ВМО. Координаторы МЕТЗОН назначаются правительствами стран, отвечающих за эти МЕТЗОНЫ, для координации предоставления ИОБМ по каждой зоне. Они работают в тесном сотрудничестве со своими коллегами-координаторами НАВАРЕА, которые предоставляют навигационную ИОБМ через Всемирную службу навигационных предупреждений (ВСНП) Международной гидрографической организации (МГО). Это партнёрство между ВМО, МГО и ИМО, а также взаимодействие между координаторами МЕТЗОН и НАВАРЕА и с соответствующими национальными организациями чрезвычайно важны для обеспечения безопасности жизни и имущества на море.

## Полярные регионы

Прохождение судов вблизи морского льда создаёт уникальные навигационные проблемы. ВМО работает над координацией стандартов, терминологии, форматов обмена и другого инструктивного материала, касающегося продукции и обслуживания в области морского льда и айсбергов. Это поддерживает навигацию, прибрежную и морскую деятельность в условиях морского льда и айсбергов путём мониторинга морского ледового покрова в обоих полушариях. В партнёрстве с Международной рабочей группой по картированию морского льда (МРГКЛ) эксперты



*Вредоносное цветение водорослей 11 июля 2019 года, озеро Эри, Великие озёра Северной Америки. (Источник: НУОА)*

ВМО предоставляют технические консультации национальным центрам прогнозирования ледового покрова в Арктике и Антарктике. Через свою сеть экспертов ВМО также поддерживает усилия национальных ледовых служб по предоставлению продукции и обслуживания в соответствии с недавно принятым Полярным кодексом ИМО (2017 год).

ВМО участвует в Форуме по обмену передовым опытом в области судоходства в рамках Программы по защите арктической морской среды (ПАМЕ), координируемой Арктическим советом, в котором ВМО является наблюдателем. Форум поддерживает эффективное и практическое выполнение Полярного кодекса ИМО (2017 года), публикуя информацию, актуальную для всех, кто участвует в безопасном и экологически сбалансированном арктическом судоходстве. Страница ВМО по полярному судоходству, созданная в 2020 году и напрямую связанная с полярным порталом ПАМЕ, действует как единая точка входа для доступа общественности к практической полярной информации, касающейся судоходства и организаций, работающих в полярных районах. Раз в два года в Арктическом, принятом на основе консенсуса, заявлении ВМО об ориентировочном сезонном прогнозе климата и в региональном климатическом обзоре, подготовленном в рамках форумов по арктическому климату, судоходные сообщества

также получают информацию о предполагаемой ледовой ситуации в полярные летние и зимние сезоны (см. статью «Скольжение по тонкому льду: вызовы меняющейся Арктики» на с. 86).

### **Реагирование на чрезвычайные ситуации на море**

По мере расширения морской деятельности и морских работ возрастает потребность в оперативном обслуживании, в рамках которого предоставляются прогнозы и картирование опасностей/рисков, связанных с чрезвычайными ситуациями на море, таких как разливы нефти и химикатов. ВМО признаёт необходимость поддержки стран в поисково-спасательных операциях (ПСО) и в реагировании на чрезвычайные экологические ситуации на море (РЧЭСМ). В рамках ПСО ведётся наблюдение за угрозами для жизни и имущества на море, в то время как РЧЭСМ крайне важно для отслеживания и ограничения пути распространения загрязнителей окружающей среды, таких как разливы нефти и химических веществ в море. Специализированные центры по управлению чрезвычайными ситуациями на море расширяют технические возможности, обмениваются диагностическими и прогностическими данными и обеспечивают координацию обслуживания и информации для удовлетворения требований, определённых Международным агентством по атомной энергии

(МАГАТЭ) и ИМО. Усилия ВМО в этой области реализуются через Глобальную систему обработки данных и прогнозирования (ГСОДП), позволяющую понижать масштаб прогнозов с глобального до регионального, национального и местного уровня. Дополнительная ценность местных знаний и опыта на заключительном этапе ГСОДП способствует принятию ключевых решений в области ПСО и РЧЭСМ. (см. статью «*Организация очистных работ и ликвидация последствий разлива нефти в Индийском океане*» на стр. 109).

## Морское климатическое обслуживание

Морское климатическое обслуживание поддерживает широкий спектр деятельности в океане, в частности проектирование и эксплуатацию морских и прибрежных объектов, таких как буровые платформы и атомные станции, а также морские перевозки, рыболовство и регламентирующую деятельность в интересах прибрежных государств для обеспечения безопасности жизни и окружающей среды. Это обслуживание также необходимо для определения уровней риска и уязвимости в качестве основы прогнозирования с учётом воздействий. Климатическое обслуживание обеспечивает исходную базу для обнаружения и установления причин изменения климата для большинства морских переменных, включая волны, уровень моря, температуру поверхности моря, солёность, морской лёд и айсберги.

Волны, вызванные ветром, играют важную роль в динамике прибрежного уровня моря и изменении береговой линии. Будущие изменения климата глубоководных волн (высота, частота и направление), вероятно, затронут около 50 % береговых линий мира и могут привести к значительным изменениям в прибрежных океанических процессах и опасных явлениях (Morim *et al.*, 2019). Эти вопросы решаются в рамках поддерживаемого ВМО [Скоординированного проекта по волновому климату океана \(СПВКО\)](#), сфера деятельности которого расширяется за счёт включения глобальной климатологии штормовых нагонов.

Поскольку прибрежные и морские сообщества продолжают сталкиваться с беспрецедентными проблемами вследствие глобальных изменений окружающей среды, возрастает потребность в более глубоком понимании местных, региональных и глобальных изменений природных явлений. Необходимы дальнейшие исследования того, как изменение климата повлияет на интенсивность и частоту явление Эль-Ниньо/Южное колебание

(ЭНЮК), возникновение морских волн тепла, особенно в тропических и полярных регионах, интенсивность и частоту вредоносного цветения водорослей (ВЦВ), а также волны и штормовые нагоны в полярных регионах, которые раньше были прикрыты ледяным покровом. ВМО работает над улучшением предоставления морского климатического обслуживания, которое помогает прибрежным и морским сообществам лучше подготовиться к субсезонным и сезонным явлениям, а также разработать продукцию и обслуживание, включающее долгосрочные прогнозы для устранения возникающих угроз.

Точные прогнозы климата имеют первостепенное значение для продовольственной безопасности, особенно для рыболовства. Международная координация сбора и обработки морских и океанских данных, а также подготовка и предоставление пользователям морской и океанской климатической продукции и обслуживания являются приоритетом для ВМО. Оперативное океанографическое обслуживание обеспечивает реанализ океана, который обеспечит доступность глобальных комплектов данных для систем поддержки принятия решений по управлению рыболовством, особенно в отношении воздействия погоды и изменения климата на рыбные ресурсы. В 2012 году ВМО и МОК ЮНЕСКО признали необходимость предоставления климатического обслуживания для океанического рыболовства и индустрии аквакультуры, для разработки продукции и обслуживания, включающего субсезонные, сезонные и долгосрочные прогнозы, что также может привести к расширенным наблюдениям и передаче данных промысловыми судами. Связь между метеорологическими службами, океанографическими учреждениями и региональными органами управления рыболовством важна для установления требований к морской метеорологической и климатической информации. ВМО продолжит эту работу в сотрудничестве с совместно спонсируемой (МОК/ВМО/ЮНЕП/МНС) Глобальной системой наблюдений за океаном (ГСНО), которая координирует наблюдения, моделирование и анализ морских и океанских переменных для поддержки исследований, оценок и оперативного океанографического обслуживания по всему миру.

Кроме того, ВМО поддерживает климатическое обслуживание рыболовства через региональные климатические центры (РКЦ), например в западной части Южной Америки, где ЭНЮК оказывает большое влияние на популяции рыб (см. статью «*Мониторинг ЭНЮК и организация океанографического и климатического обслуживания — роль*



Учебный мультфильм о прибрежном наводнении, помогающий информировать население о том, что надо и что не надо делать при получении заблаговременного предупреждения о наводнении (Источник: ВМО, 2019)

МНИЦЭН» на стр. 88). РКЦ работают в различных географических районах, где изменчивость и изменение климата явно выражены и где прогнозы имеют решающее значение для поддержки сезонного планирования в местных сообществах. Специально для арктических районов, где океан является критически важным фактором сезонных изменений, была создана сеть арктических региональных климатических центров, а связанный с ней Форум по ориентировочным прогнозам климата в Арктике проводится дважды в год, собирая вместе поставщиков и пользователей климатической информацией в Арктическом регионе для согласования предстоящих осенних и весенних сезонных ориентировочных прогнозов, включающих чёткие прогнозы протяжённости морского льда. Всё это вносит вклад в Информационную систему климатического обслуживания, которая является оперативным стержнем Глобальной рамочной основы для климатического обслуживания.

### Развитие потенциала и морские компетенции

ВМО уделяет большое внимание наращиванию потенциала морского обслуживания в прибрежных государствах посредством эффективных программ развития и обучения, а также в сотрудничестве с такими партнёрами, как ИМО, МГО и МОК. Организация также повышает осведомлённость общественности и готовность к опасностям в

прибрежных сообществах. Примером этого является видео ВМО 2019 года о затоплении прибрежных зон островов Тихого океана, которое включает обучение как по наводнениям, связанным с погодой, так и по цунами, а также по готовности к действиям, которые необходимо предпринять.

С конца 1990-х годов по 2015 год ВМО предлагала сотрудникам НМГС учебные семинары по прогнозированию штормовых нагонов и волнений. *Руководство по анализу и прогнозированию волнения* (ВМО-№ 702) и *Guide to Storm Surge Forecasting* (Руководство по прогнозированию штормовых нагонов) (ВМО-№ 1076) послужили основой для этих семинаров.

ВМО ежегодно участвует в совещаниях в рамках более широкой Совместной группы ВМО–ИМО–МОК–МГО–МАМС<sup>6</sup>–ИМПА<sup>7</sup> по развитию потенциала для обсуждения совместных действий и потребностей в области обучения, повышения осведомлённости и развития потенциала, обеспечивая при этом открытое сотрудничество между партнёрами. Помимо обеспечения осведомлённости общественности посредством инноваций в технологии и стремления улучшить метеорологическое обслуживание населения, ВМО расширяет возможности метеорологического обслуживания

6 Международная ассоциация морских средств навигации и маячных служб.

7 Международная ассоциация морских лоцманов.

для предоставления более качественных заблаговременных предупреждений и прогнозов и понимания потребностей своих клиентов в прогнозировании с учётом воздействий.

Когда речь идёт о предоставлении морского обслуживания, во всех регионах мира отмечается существование значительных пробелов. Для решения этой проблемы ВМО разработала уникальный курс, чтобы помочь метеорологическим службам самостоятельно оценить свои морские возможности. Испаноязычный персонал НМГС в Южной Америке был первым, кто принял участие в онлайн-сессии с апреля по июнь 2020 года (три месяца), которая проходила при поддержке Метеорологического агентства Испании (АЕМЕТ) и завершилась в июне 2020 года. Г-жа Алисия Сехас, координатор МЕТ-ЗОНЫ Аргентины, отметила, что курс ВМО «был полезен в плане сосредоточения внимания на нескольких аспектах предоставления обслуживания, главный из которых заключается в том, чтобы охватить всех пользователей, потому что мы никогда не будем предоставлять качественные услуги, не зная потребностей наших пользователей». В течение следующих четырёх лет курс будет использоваться по всему миру. Этот курс также частично внесёт свой вклад в Рамочную основу компетенций в области морской метеорологии, одобренную для применения Членами ВМО.

### Дальнейшие перспективы

По мере того, как мы получаем более чёткое представление о потребностях и проблемах, с которыми сталкиваются пользователи и заинтересованные стороны в прибрежных районах и морском сообществе, ВМО будет продолжать работать с партнёрами над укреплением потенциала Членов для предоставления оперативных прогнозов погоды, океана и климата, одновременно поддерживая безопасное, продуктивное и здоровое состояние океана. В нескольких отчётах, самый последний из которых отчёт ВМО «Состояние климатического обслуживания в 2020 году», подчёркивается необходимость укрепления потенциала Членов для предоставления авторитетных заблаговременных предупреждений для морских и наземных районов. Комплексные системы заблаговременных предупреждений о многих опасных явлениях являются ключевым компонентом адаптации к изменению климата и обоснованных мероприятий по снижению риска бедствий и управлению ими. Структура Глобальной системы оповещения о многих опасных явлениях (ГМАС) ВМО, которая в настоящее время находится в стадии разработки,

окажет более качественную поддержку принятию решений морскими и прибрежными сообществами относительно готовности и реагирования, способствуя при этом развитию потенциала.

### Литература

Наставление по морскому метеорологическому обслуживанию (ВМО-№ 558), издание 2018 г. — карта обновлена в 2021 г. для веб-сайта ГМССБ

Руководство по анализу и прогнозированию волнения (ВМО-№ 702), издание 2018 г.

Cervený *et al*, 2017: WMO Assessment of Weather and Climate Mortality Extremes: Lightning, Tropical Cyclones, Tornadoes, and Hail, *Climate Weather and Society. Weather, Climate, and Society*, 9, 487-497, doi:10.1175/WCAS-D-16-0120.1.

IHO No. 53, Joint IHO/IMO/WMO Manual on Maritime Safety Information

IMO International Code for Ships Operating in Polar Waters (entered into force, 2017)

IMO International SOLAS Convention (1974), as amended

Kulp, S.A., and B. H. Strauss New elevation data triple estimates of global vulnerability to sea-level rise and coastal flooding. *Nat Commun* 10, 4844 (2019). <https://doi.org/10.1038/s41467-019-12808-z>

Morim *et al*, 2019: Robustness and uncertainties in global multivariate wind-wave climate projections. *Nature Climate Change*, 9, 711-718, doi: 10.1038/s41558-019-0542-5.

Swail *et al* (2019) [Early Warnings of Coastal Inundation, WMO Bulletin Vol 68 \(2\)](#)

[WMO \(2019\) Coastal Inundation - Public Awareness for the Pacific Islands Video \(Youtube\)](#)

WMO (2020) State of the Climate Services Report

WMO-No. 1076 Guide to Storm Surge Forecasting (2011 edition)

# Экстремальная морская погода: повышение безопасности жизни на море

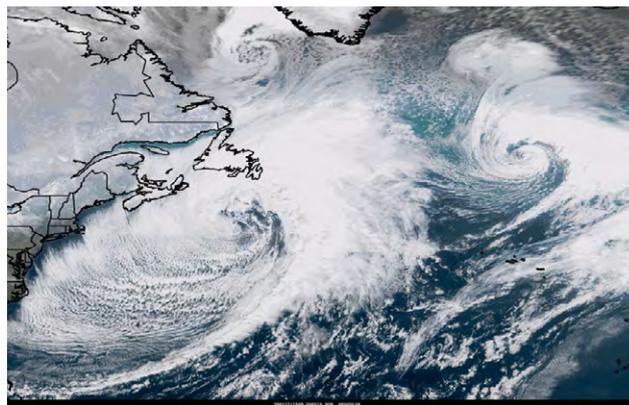
Джозеф Сенкевич<sup>1</sup> и Томас Дж. Кафф<sup>2</sup>

Происшествия, случившиеся в последние годы, высветили опасность экстремальных погодных явлений на море, подчеркнув необходимость принятия мер для более эффективной защиты жизни и имущества на борту судов. Ветры ураганной силы, и феноменальные волны в частности, создают опасность для морских судов независимо от их размера. Суда, работающие на высоких широтах, также сталкиваются с угрозой брызгового обледенения в придачу к более известным опасностям, создаваемым айсбергами и морским льдом. Несмотря на доступность спутниковых изображений с высоким разрешением, всё более совершенные модели численного прогнозирования погоды и более высокий уровень прогностического обслуживания, в двадцать первом веке суда по-прежнему пропадают в море.

Особенно примечательной была гибель судна «Эль-Фаро» возле Багамских островов во время урагана Хоакин в 2015 году, на борту которого находились 33 человека. Последующее расследование выявило проблемы с принятием решений на борту судна, особенно в отношении правильного использования прогнозов ураганов и важности своевременной информации при быстро меняющейся погоде. В 2019 году буксир Bourbon Rhode погиб в результате урагана Лоренцо в Атлантическом океане, потеряв 11 человек из 14 членов экипажа. В 2020 году тайфун Майсак стал причиной гибели судна «Галф Лайвсток 1» в Восточно-Китайском море, в результате чего выжили только два из 43 членов экипажа; погибло около 6000 голов крупного рогатого скота.

Внетропические циклоны в море могут быть такими же опасными, как и сильные ветры и волны, порождаемые ураганами. Они пересекают средние и высокие широты и часто имеют больший размер и быстрее движутся, чем тропические циклоны, что приводит к быстрому изменению ситуации

в море. В северной части Тихого и Атлантического океанов ветры ураганной силы, связанные с внетропическими циклонами, возникают чаще, чем ураганы. В феврале 2016 года круизный лайнер Anthem of the Seas на пути из Нью-Йорка в Порт-Канаверал, штат Флорида, подвергся воздействию экстремального ветра, значительно превышающего 100 узлов, и волн высотой до 15 метров во время стремительно усиливающегося зимнего шторма у юго-восточного побережья США. Не в состоянии преодолеть быстро меняющуюся ситуацию, судно попало в шторм, частично потеряв тягу двигателя и по возвращении в порт потребовало ремонта.



Геоцветные снимки трёх интенсивных внетропических циклонов в северной части Атлантического океана, полученные со спутника GOES-16 17 января 2020 года. Самый западный циклон, к югу от Ньюфаундленда, вызвал ураганный ветер на обширной территории. Циклоны к западу от Гренландии и в восточной части Атлантического океана вызвали штормовые ветры. (Источник: НУОА).

Совсем недавно, в марте 2019 года, круизный лайнер Viking Sky потерял тяговую мощность в бурном море у скалистого норвежского побережья и в течение какого-то времени тянул за собой оба якоря. К счастью, якоря удерживались около берега, что позволило эвакуировать около 460 пассажиров с помощью вертолёта до буксировки судна в порт. Первоначальные результаты обследования показали, что дизель-генераторы остановились из-за прекращения всасывания смазочного масла, отчасти вследствие бортовой и килевой качки при сильном волнении.

1 Национальная метеорологическая служба (НМС) НУОА, Центр прогнозирования океана.

2 Национальная метеорологическая служба НУОА; Управление наблюдений; председатель Постоянного комитета ВМО по морскому метеорологическому и океанографическому обслуживанию (ПК-ММО); член Совместного совета по сотрудничеству между ВМО и МОК (ССС).

В декабре 2020 года в Южно-Китайском море произошло несколько случаев гибели судов. Ближе к концу декабря 2020 года рыболовное судно *Yong Yu Sing # 18*, работающее в открытых водах северной части Тихого океана, пропало примерно в 530 морских милях к северо-востоку от острова Мидуэй во время очень сильного шторма с ветром ураганной силы. Хотя судно пережило шторм и было обнаружено, команда из 10 человек, по-видимому, покинула корабль; никто не был найден.

В конце 2020 года заметно увеличилось число потерь и повреждений контейнеров, особенно в северной части Тихого океана. Примечательно, что судно ONE Arus, следовавшее из Яньтяня (Китай) в Лонг-Бич (США) в конце ноября, находилось значительно южнее шторма ураганной силы, но всё же не избежало феноменальных потерь и повреждения контейнеров. Свыше 1800 контейнеров было снесено в море, другие были повреждены, что намного превышает все ранее документально оформленные потери контейнеров без потери самого судна.



Повреждение контейнеровоза ONE Arus 8 декабря 2020 года (Источник: Twitter /@ nobuya0827)

Хотя многие потери на море можно отнести на счёт экстремальных ветров и волн, обледенение надстроек и мачт судов, работающих на высоких широтах, может дестабилизировать суда и привести их к опрокидыванию. Ледяные брызги и последующее обледенение, возможно, сыграли существенную роль в затоплении как *Scandies Rose* у берегов Аляски в конце декабря 2019 года, в результате чего пять человек погибло, так и российского траулера «Онега» в Баренцевом море в декабре 2020 года, в результате которого погибли семнадцать человек.

Экстремальные морские погодные условия продолжают способствовать гибели грузов, судов и экипажей. Однако исследования выявляют ряд причинных

факторов, помимо погоды. В рамках Конвенции по охране человеческой жизни на море (СОЛАС) ВМО и ИМО совместно работали, чтобы уменьшить уязвимость морского сообщества в случае опасной или экстремальной морской погоды. Несмотря на это, в море продолжают иметь место недопустимые человеческие жертвы и потери имущества. Ввиду этого, и признавая растущий спрос на морское обслуживание, которое обеспечивает прогнозы с учётом воздействий для более эффективного принятия решений, в октябре 2019 года ВМО и ИМО совместно провели [первый международный симпозиум на тему «Экстремальная морская погода: на пути к безопасности человеческой жизни на море и устойчивой голубой экономике»](#) в штаб-квартире ИМО в Лондоне. В мероприятии приняли участие более 200 человек из более чем 40 стран, представляющих частный и государственный сектор, включая министров и послов. Представители ВМО, ИМО, МОК, поставщиков морского метеорологического обслуживания и различных секторов морской индустрии рассмотрели, как улучшить цепочку создания стоимости от сбора данных морских метеорологических и океанографических наблюдений до прогнозирования и предоставления морских прогнозов и обслуживания пользователям и заинтересованным сторонам.

Работая вместе, ВМО и ИМО стремятся получить широкий спектр социальных выгод, включая:

- сокращение числа человеческих жертв и потерь имущества на море и вдоль побережья;
- повышение эксплуатационной эффективности и снижение выбросов за счёт оптимального маршрута следования судов;
- мониторинг и прогнозирование окружающей среды для помощи в управлении прибрежными районами;
- более эффективные меры реагирования на экологические чрезвычайные ситуации.

Следующий международный симпозиум ВМО/ИМО будет организован в Индонезии, хотелось бы надеяться, что в 2022 году.

# Скольжение по тонкому льду: вызовы меняющейся Арктики

Томас Дж. Кафф<sup>1</sup>, Келд Квистгаард<sup>2</sup>, Джон Паркер<sup>3</sup> и Кристин Бассетт<sup>4</sup>

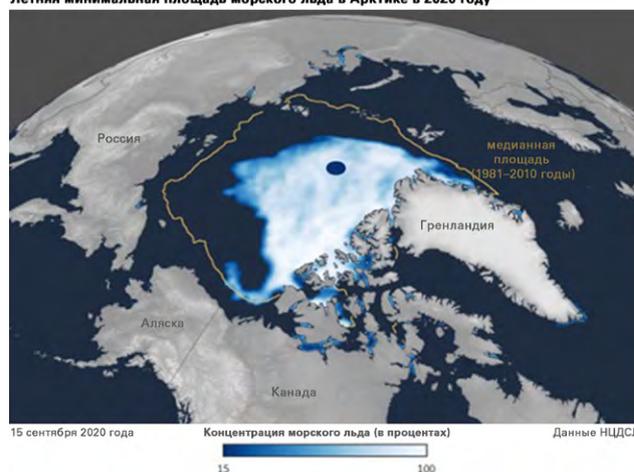
Читатели Бюллетеня хорошо осведомлены об изменении климата и его влиянии на повседневную жизнь, однако они могут не знать, что в ближайшем будущем именно высокочувствительные полярные регионы могут подвергнуться наибольшему воздействию. Особенно это касается Арктики. Постепенное потепление Северного Ледовитого океана и окружающих его морей является прямым результатом значительного потепления суши на высоких широтах, особенно во время евразийского летнего сезона. Это потепление привело к непрерывному уменьшению толщины морского льда, образовавшегося на протяжении веков. Хотя зимой весь бассейн замерзает, уменьшение площади морского льда в летний сезон приводит к относительно большой площади более тонкого зимнего льда в Арктике. Этот относительно тонкий «однолетний лёд» быстро тает, позволяя Северному Ледовитому океану поглощать больше солнечного тепла. Это в свою очередь постепенно истончает более толстый «многолетний лёд», который в течение нескольких летних сезонов в конце концов тает и продолжает разрушать летний паковый лёд.

Хотя условия несколько меняются от года к году, минимальная площадь арктического морского льда в Арктике, которая обычно наблюдается каждый год в середине сентября, в целом уменьшилась с момента начала спутниковых наблюдений в конце 1970-х годов. Согласно Национальному центру данных по снегу и льду США, последние 14 летних сезонов — с 2007 по 2020 год — это 14 лет с самой маленькой минимальной площадью льда. Минимальная площадь морского льда в Арктике в 2020 году была второй по величине за всю историю наблюдений.

Уменьшение площади морского льда в Арктике в летний период оказывает глубокое влияние на регион. Несмотря на то, что существует некоторая

межгодовая изменчивость площади ледового покрова, в целом наблюдаемая тенденция к общему сокращению летнего морского льда увеличивает продолжительность безопасного сезона судоходства в Северном Ледовитом океане. Прохождение судов через Арктику в летний сезон может существенно сэкономить средства и снизить потребление топлива для перевозки грузов между Северной Европой и Азией, хотя значительные различия от года к году в географическом охвате создают неопределённость относительно дат начала и продолжительности каждого навигационного периода. Однако рост объёмов судоходства также увеличивает вероятность морских происшествий и связанные с этим потенциальные возможности для неблагоприятных экологических воздействий в культурно и экологически уязвимой Арктике. Следовательно, морские власти региона должны продолжать расширять свои возможности для реагирования на чрезвычайные ситуации, связанные с морской средой.

Летняя минимальная площадь морского льда в Арктике в 2020 году



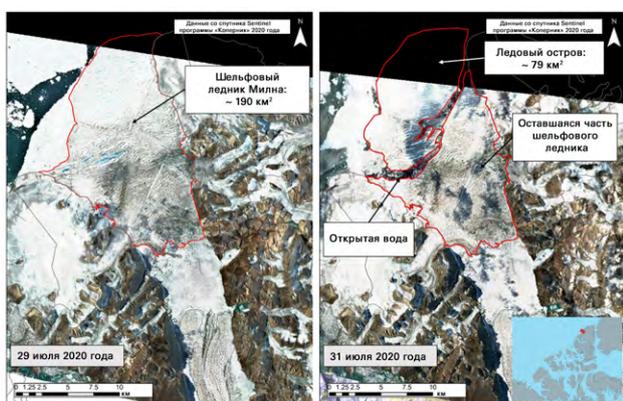
Концентрация морского льда в Арктике (%), 15 сентября 2020 года (Источник: Национальный центр данных по снегу и льду США)

- 1 Национальная служба погоды НУОА; Управление наблюдений; председатель Постоянного комитета ВМО по морскому метеорологическому и океанографическому обслуживанию (ПК-ММО); член Совместного совета по сотрудничеству между ВМО и МОК (ССС).
- 2 Датский метеорологический институт (ДМИ) и член ПК-ММО.
- 3 Министерство по окружающей среде и изменению климата, Канада, и заместитель председателя ПК-ММО.
- 4 Стипендиат морской программы имени Джона Кнауасса, Управление наблюдений, НУОА.

Уменьшение площади морского льда летом также увеличило угрозу штормовых нагонов в регионе. Благодаря большому количеству открытой воды и более короткому сезону с ледяным покровом большая часть арктического побережья подвержена негативным воздействиям сильных ветров и волн. Воздействие на береговую линию в некоторых районах было невероятным. Геологическая служба США зафиксировала документально скорость

эрозии на северном побережье Аляски, достигающую 18 метров в год. Вдоль западного побережья Аляски городам всё больше угрожает наводнение.

Ещё одним свидетельством изменения ландшафта в Арктике стало стремительное разрушение шельфового ледника Милна на острове Элсмир, Канада, в июле 2020 года. Он считался последним из шельфовых ледников Канады. В результате его разрушения образовались большие ледяные острова, которые теперь дрейфуют в Северном Ледовитом океане, и почти вдвое сократилась площадь шельфового ледника. Это было связано с температурами выше нормы, устойчивыми ветрами с берега и открытой водой перед шельфовым ледником.



Сообщение в Твиттере канадской ледовой службы Министерства по окружающей среде и изменению климата относительно обрушения шельфового ледника Милна (2 августа 2020 года)

Изменение площади и толщины морского льда представляет новую социальную и экономическую угрозу для прибрежных сообществ в Арктике. Сокращение многолетнего льда делает большую часть Арктики уязвимой для морских волн тепла в связи с ростом их частоты, продолжительности и интенсивности. Время и продолжительность этих явлений имеют весьма ощутимые последствия для сроков доставки биогенных веществ и первичной продуктивности, а также для успешной репродуктивности биологических видов, имеющих важное значение для культуры, экономики и экологии. Последствия включают изменения в сообществах и миграцию ключевых морских биологических видов, таких как веслоногие раки, криль, минтай и лосось; закрытие многочисленных коммерчески важных промыслов; более раннее появление морских видов на более высоких широтах. Кроме того, эти явления привели к дальнейшему распространению на север усиливающегося вредоносного цветения водорослей (ВЦВ) и к бедственному положению морских млекопитающих и морских птиц.

Анализ морского льда и обслуживание предоставляются мореплавателям и другим пользователям

по всему миру через ряд национальных и региональных служб. Ледовые службы стран Балтийского моря (Дания, Эстония, Финляндия, Германия, Латвия, Литва, Нидерланды, Норвегия, Польша, Россия и Швеция), Европейские ледовые службы (Дания, Финляндия, Исландия, Норвегия и Швеция), Ледовая служба Северной Америки (Канада, США) и Служба мониторинга морской среды программы «Коперник» (КСММС) ЕС являются лишь несколькими примерами. Оперативная деятельность служб по морскому льду и айсбергам координируется на глобальном уровне через Международную рабочую группу по картированию морского льда (МРГКЛ), независимую организацию, представляющую 15 действующих национальных ледовых служб мира в обоих полушариях.

Во время первого Международного симпозиума ВМО-ИМО по экстремальной морской погоде (2019 год) участники определили несколько ключевых рекомендаций для поддержки безопасной полярной навигации, в том числе:

- более эффективный мониторинг изменения климата для предоставления долгосрочного обслуживания;
- включение ледовых карт в судовую Электронную картографическую навигационную информационную систему (ЭКНИС) и их стандартизацию;
- установление стандартов для ледовых прогнозистов и аналитиков;
- усовершенствование моделей айсбергов для прогнозирования их дрейфа и деградации;
- повышение качества подготовки кадров для устранения разрыва между поставщиками и пользователями метеорологической и океанографической информацией.



Морской лёд, окружающий южную оконечность Гренландии, мыс Фаруэлл (Источник: К. Квистгаард, 10 апреля 2010 года).

# Мониторинг ЭНЮК и организация океанографического и климатического обслуживания — роль МНИЦЭН

Фелипе Коста ду Карму и Хуан Хосе Ньето, Международный научно-исследовательский центр по Эль-Ниньо (МНИЦЭН) Региональный климатический центр для западной части Южной Америки (РКЦ-ЗЮА)

Интенсивное Эль-Ниньо 1997/1998 года оказало серьёзное воздействие на многие страны мира, в том числе в западном регионе Южной Америки. В прибрежных районах Перу и Эквадора увеличение количества осадков привело к сильным наводнениям и значительным экономическим потерям, в основном в рыболовном и сельскохозяйственном секторах (CAF, 2000). После этого события Генеральная Ассамблея Организации Объединённых Наций предложила создать Международный научно-исследовательский центр по Эль-Ниньо (МНИЦЭН), чтобы объединить усилия с ВМО, [Управлением Организации Объединённых Наций по снижению риска бедствий \(СРБ ООН\)](#) и [правительством Эквадора](#), позднее к нему присоединилось правительство Испании через [Государственное метеорологическое агентство Испании \(АЕМЕТ\)](#). Затем перед открытием МНИЦЭН в Гуаякиле, Эквадор, в 2003 году был проведён ряд миссий и региональных совещаний по оценке.

В 2015 году МНИЦЭН стал назначенным Региональным климатическим центром (РКЦ) ВМО для западной части Южной Америки (РКЦ-ЗЮА) по запросу национальных метеорологических и гидрологических служб (НМГС) Боливии, Чили, Колумбии, Эквадора, Перу и Венесуэлы. Это назначение открыло возможности для улучшения региональной климатической и океанической продукции и обслуживания при одновременном укреплении региональной платформы и горизонтального сотрудничества между учреждениями региона.

МНИЦЭН начал проводить ежегодные региональные форумы по ориентировочным прогнозам климата (РКОФ) для западной части Южной Америки. Прогноз выпускается каждой НМГС РКЦ-ЗЮА, компилируется МНИЦЭН и распространяется среди широкого круга пользователей из многих секторов.

## Мониторинг Эль-Ниньо/Южного колебания (ЭНЮК) и его последствия

Явление Эль-Ниньо 2015/2016 года было объявлено одним из трёх самых сильных, зарегистрированных с 1950 года, наравне с явлениями Эль-Ниньо 1982/1983 и 1997/1998 годов (WMO,

2016) (Изображение 2). Последствия ощущались по всему миру — не менее 60 миллионов человек пострадали от связанных с Эль-Ниньо засух, наводнений, сильной жары и холода. В результате этого вынужденная миграция населения вследствие лишения средств к существованию и повреждения базовой инфраструктуры была отнесена на счёт Эль-Ниньо (FAO, 2016; OCHA, 2016; UNDRR, 2016).

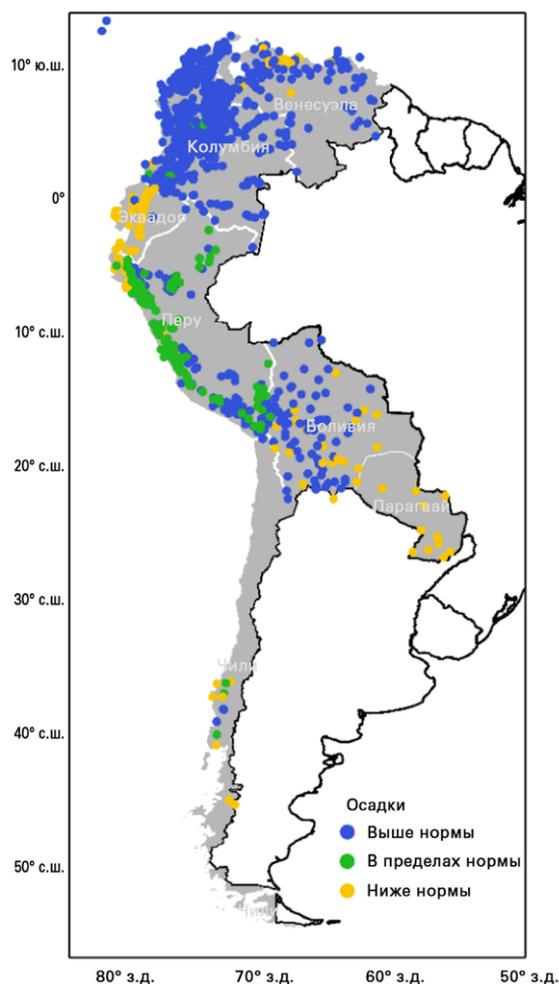


Наводнение в Эквадоре, вызванное сильными осадками во время Эль-Ниньо 2015/2016 года (Источник: *Diario El Telégrafo*)

МНИЦЭН проводит оперативный анализ условий ЭНЮК. Его ежемесячные бюллетени содержат подробную информацию о мониторинге и эволюции наиболее важных океанических и атмосферных переменных, необходимых для объявления заблаговременного предупреждения. Бюллетени, в которых собрана и обобщена информация, выпускаются Глобальными центрами подготовки прогнозов (ГЦПП), направляются подписчикам по электронной почте и через социальные сети.

## Научная ценность и польза океанографического и климатического обслуживания

Мониторинг и прогнозирование климата и состояния океана, а также развития ситуации с ЭНЮК — это начало процесса; информация должна передаваться убедительно и своевременно с использованием языка, доступного для конечных пользователей. Также необходимо организовать обслуживание, адаптированное к



Прогноз сезонных осадков на декабрь 2020 года – февраль 2021 года, подготовленный национальными метеорологическими и гидрологическими службами стран западной части Южной Америки (Боливия, Чили, Колумбия, Эквадор, Перу и Венесуэла) и Парагвая. Эта информация отправляется в МНИЦЭН каждый месяц для выпуска регионального бюллетеня.

потребностям пользователей. Океанографическое и климатическое обслуживание особенно важно для рыболовства и сельского хозяйства в западной части Южной Америки, где продовольственная безопасность и национальные экономики в значительной степени зависят от этих секторов.

МНИЦЭН участвовал в различных проектах и инициативах по оценке влияния параметров океана и атмосферы на продуктивность сельского хозяйства. Самый последний проект был направлен на то, чтобы понять связь океана и климата с производительностью какао-деревьев в Эквадоре. Он включал анализ того, как явления Эль-Ниньо/Ла-Нинья повлияли на показатели прошлых урожаев. Такие исследования улучшат

систему заблаговременных предупреждений и использование климатической и океанографической информации в сельскохозяйственном планировании и принятии решений.

### Пробелы и дальнейшие шаги

Наука развивается семимильными шагами, особенно в области климата и океанографии. Развитие спутников позволило получить объём данных и информации, который невозможно было представить в предыдущие десятилетия. Однако необходимо укрепить межучрежденческий обмен и координацию, чтобы интегрировать информацию о климате и океане в государственное планирование и планирование сектора развития. Для этого очень важно иметь информацию, которая отвечает потребностям конечного пользователя и представлена с использованием терминологии и языка, понятных конечному пользователю.

### Литература

CAF, 2000: *Las lecciones de El Niño Ecuador. Memorias del fenómeno El Niño 1997–1998, retos y propuestas para la región Andina*, Corporación Andina de Fomento [CAF], дата обращения 6 января 2021 г.

FAO, 2016: *El Niño and La Niña: Preparedness and Response*, Food and Agriculture Organization [FAO], дата обращения 6 января 2021 г.

Martínez, R., Zambrano, E., Nieto, J. J., Hernández, J. & Costa, F., 2017: *Evolución, vulnerabilidad e impactos económicos y sociales de El Niño 2015-2016 en América Latina*, Investigaciones Geográficas, (68), 65-78

WMO, 2016: *Exceptionally strong El Niño has passed its peak, but impacts continue*, 18 February 2016, World Meteorological Organization [WMO], дата обращения 6 января 2021 г.

OCHA, 2016: *El Niño: Overview of impact, projected humanitarian need and response*, 16 August 2016, United Nations Office for the Coordination of Humanitarian Affairs [OCHA], дата обращения 6 января 2021 г.

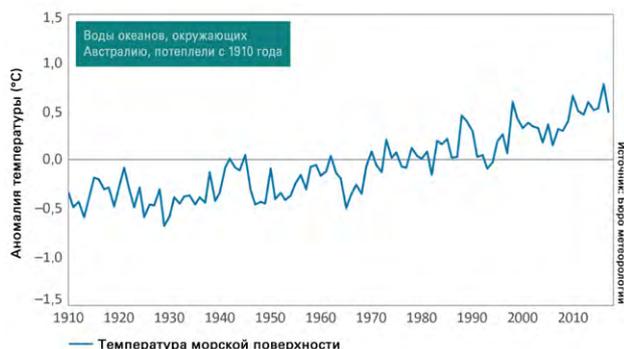
UNDRR, 2016: *The human cost of the hottest year on record*, 11 February 2016, United Nations Office for Disaster Risk Reduction [UNDRR], дата обращения 6 января 2021 г.

# Прогнозирование экстремальных температур океана во временных масштабах, удобных для управления морскими ресурсами

Клэр Спилман<sup>1</sup> и Алистер Хобдей<sup>2</sup>

Океанские температурные экстремумы, такие как морские волны тепла, могут оказать серьёзное влияние на здоровье морской экосистемы и продуктивность рыболовства и аквакультуры.

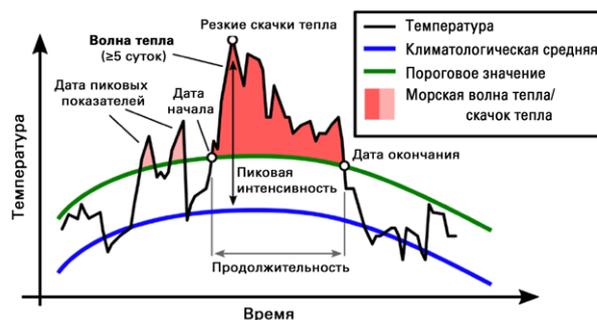
Океаны вокруг Австралии существенно потеплели с 1910 года по сравнению со средними температурами океана за 1961–1990 годы. Потепление особенно заметно в водах на юго-востоке и юго-западе — в Тихом и Индийском океанах. Климатические проекции показывают, что эта тенденция к потеплению сохранится в ближайшие десятилетия вместе с увеличением частоты, продолжительности и интенсивности морских волн тепла. Что это будет значить для морской среды обитания?



Годовые аномалии температуры поверхности моря в австралийском регионе, относительно принятого периода усреднения 1961–1990 годов. Состояние климата: [www.bom.gov.au/state-of-the-climate/oceans.shtml](http://www.bom.gov.au/state-of-the-climate/oceans.shtml)

Морские волны тепла обычно определяются как период продолжительностью пять или более дней, в течение которого температура океана превышает 90-й перцентиль, то есть входит в верхние 10% зарегистрированных значений для этого региона в это время года. Эти серьёзные океанические явления стали более частыми, продолжительными и интенсивными за последние 100 лет, причём по всему миру сообщается о их воздействии на

морские виды и среды обитания. Такие экстремумы дают представление о состоянии океана, которое в будущем может стать обычным.



Определение морской волны тепла согласно Hobday et al., 2016 (Источник: [www.marineheatwaves.org/all-about-mhws.html](http://www.marineheatwaves.org/all-about-mhws.html))

## Прогнозы для морских отраслей и специалистов по управлению морскими и прибрежными районами

Более тёплые океаны могут оказывать значительное воздействие на морские экосистемы, например, способствовать массовому обесцвечиванию кораллов, повышению риска болезней для кораллов и рыб, а также изменению темпов роста, распространения и маршрутов миграции рыб. Экстремальные явления, такие как морские волны тепла, в сочетании с базовыми уровнями потепления могут серьёзно повлиять на морские экосистемы и рыбную промышленность в ближайшие десятилетия.

Каким образом специалисты по управлению морскими и прибрежными районами могут лучше справиться с этими явлениями экстремального тепла в океане и их последствиями?

Заблаговременное предупреждение о надвигающейся морской волне тепла может заранее обеспечить возможность для реализации стратегий управления, направленных на минимизацию воздействия. Австралийское бюро метеорологии (АБМ) выпускает оперативные сезонные прогнозы

1 Бюро метеорологии, Австралия.

2 Научно-промышленная исследовательская организация Содружества (КСИРО), Австралия.

температуры поверхности моря (ТПМ) и теплового стресса с заблаговременностью до шести месяцев для австралийских вод ([www.bom.gov.au/oceanography/oceantemp/sst-outlook-map.shtml](http://www.bom.gov.au/oceanography/oceantemp/sst-outlook-map.shtml)). АБМ в сотрудничестве с Научно-промышленной исследовательской организацией Содружества (КСИРО) Австралии работало вместе со многими морскими отраслями и агентствами по всей стране над разработкой полезной прогностической продукции, чтобы помочь заинтересованным сторонам в управлении климатическими рисками.

Сезонные прогнозы температуры океана на несколько месяцев вперёд могут помочь в принятии оперативных решений и оказать информационную поддержку для ответов на такие вопросы, как:

- В каком месте морского парка мы будем проводить обследования этим летом?
- Переместятся ли наши рыбные запасы ещё южнее в этом году?
- Нужен ли нам дополнительный персонал для управления деятельностью рыбного хозяйства этим летом?
- Должны ли мы снять урожай с хозяйств аквакультуры, чтобы избежать сильной жары?

Полезность прогноза зависит от графика принятия управленческих решений и критического периода окружающей среды, влияющего на решения, а также от точности прогноза на тот момент. АБМ и КСИРО более 10 лет работали вместе с морскими заинтересованными сторонами над улучшением предоставления и использования прогнозов. Они разработали инструменты сезонного прогнозирования в Австралии, которые используются специалистами по управлению коралловыми рифами, рыбаками и органами управления рыболовством, а также хозяйствами аквакультуры.

### Прогнозирование риска обесцвечивания кораллов

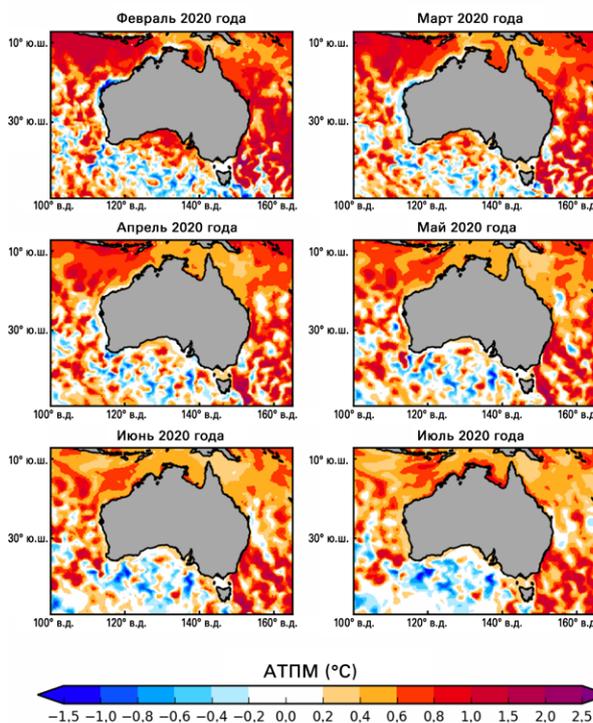
Управление морского парка Большого Барьерного рифа использует инструменты сезонного

прогноза температуры океана АБМ с 2009 года для поддержки управления рифом. Сезонные прогнозы температуры океана показывают, насколько теплее или холоднее, чем обычно, будет поверхностный слой океана вокруг рифа в ближайшие шесть месяцев. Прогнозы суммарного



Обследование обесцвеченных кораллов на Большом Барьерном рифе. (Фото: П. Маршалл, Управление морского парка Большого Барьерного рифа Содружества)

**Австралия**  
Ориентировочный прогноз аномалий температуры поверхности моря



© Бюро метеорологии      Прогноз модели: 30/01/2020      Модель: FCESS-S1  
Опубликовано: 01/02/20      Базовый период: 1990–2012 гг.

Сезонный ориентировочный прогноз аномалий температуры поверхности моря (отклонение от нормы) для вод Австралии на февраль–июль 2020 года, опубликованный 1 февраля 2020 года.

теплового стресса также предсказывают, как долго температуры будут превышать нормальные летние температуры. Высокая температура океана является основной причиной массового обесцвечивания кораллов, стрессовой реакцией кораллов, посредством которой они избавляются от своих крошечных симбиотических водорослей (зооксантеллов), обнажая белый скелет. В 1998, 2002, 2016, 2017 и 2020 годах на рифе происходило массовое обесцвечивание кораллов.

Большой Барьерный риф больше Италии, и управление им является масштабной административной задачей. Специалисты по управлению рифами используют прогностическую информацию для определения риска массового обесцвечивания, которое произойдёт предстоящим летом. Затем они смогут выделить определённые районы рифа и перераспределить ресурсы для мониторинга обесцвечивания. Важно понимать, как явления обесцвечивания развиваются с течением времени, и заблаговременное предупреждение об условиях, способствующих обесцвечиванию, позволяет проводить исследования до, во время и после явления, чтобы оценить полное воздействие на состояние рифов. Прогнозы также используются для информирования правительства, туристических операторов и широкой общественности.

## Прогнозирование морских волн тепла

Растёт интерес к предсказанию экстремальных явлений в океане, таких как морские волны тепла. В рамках нового [исследовательского проекта АБМ/КСИРО](#) исследуется сезонный прогноз морских волн тепла на несколько месяцев вперёд. Это уникальное исследование позволит разработать новые виды сезонной продукции, связанной с прогнозами морских тепловых волн в водах Австралии.

Эти прогнозы будут предоставлять информацию о местонахождении, силе, продолжительности и вероятности будущих морских волн тепла, а также все важные факторы, которые следует принять во внимание для упреждающего оперативного реагирования и устранения последствий этих экстремальных явлений.

## Заглядывая в будущее

Повышение температуры океана из-за изменения климата, вероятно, увеличит как частоту, так и силу воздействия тепла на морские ресурсы в будущем. Умелое предсказание этих экстремальных явлений в океане может помочь правительствам, отраслям и сообществам реагировать и адаптироваться к растущему воздействию морских волн тепла в условиях изменяющегося климата.

# От нас к нам – расширение морского метеорологического и прибрежного обслуживания в Индонезии и за её пределами

Двикорита Карнавати<sup>1</sup>, Гусванто, Нелли Флорида Риамы, Эко Прасетьо, Анни Арумсари Фитриани, Андри Рамдхани, Байу Эдо Пратама и Сучи Деви Ануграх<sup>2</sup>

В Индонезии более 17 000 островов и одна из самых длинных береговых линий в мире. Она в значительной степени зависит от морских отраслей промышленности, морепродуктов и морских перевозок для обеспечения устойчивой экономики и источников средств к существованию. Безопасность людей на море и вдоль его береговой линии имеет первостепенное значение для Агентства по метеорологии, климатологии и геофизике (АМКГ) Республики Индонезия.

Индонезия является эпицентром мультимасштабных взаимодействий в атмосфере и океане, которые оказывают глубокое влияние на состояние Тихого и Индийского океанов, а также на теплообмен между воздухом и морем, модулируя изменчивость климата в широком диапазоне временных масштабов.

## Морские метеорологические наблюдения и обслуживание

В период с 2020 по 2025 год в рамках проекта АМКГ по укреплению морских метеорологических систем (ММС) будут расширены и модернизированы океанские и метеорологические наблюдения путём добавления как стационарных (прибрежный буй, морская АМС, ВЧ радиолокатор), так и мобильных (судовая АМС, надводный дрейфующий буй, поплавковые буи и буер) станций. Данные этих наблюдений будут усваиваться в сопряжённой модели атмосферы и океана с высоким разрешением.

Система прогнозирования состояния океана АМКГ (СПСО) обеспечивает 10-дневный прогноз ветра, волн, зыби, течений, температуры, солёности, уровня моря, траектории и прибрежных затоплений для безопасности морской деятельности в Индонезии. Такое обслуживание поддерживает устойчивое развитие в различных секторах, включая судоходство, рыболовство, добычу полезных

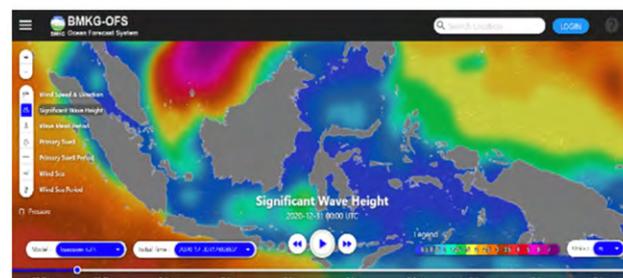
ископаемых, энергетику, туризм, промышленность, поисково-спасательные операции, ресурсы малых островных территорий и исследования.



*Полевая метеорологическая школа для рыбаков АМКГ тесно сотрудничает с традиционными секторами рыболовства и аквакультуры в целях улучшения их понимания и использования информации о погоде и климате (рыболовный порт Лемпазинг, Бандар-Лампунг, 11 марта 2021 года)*

Кроме того, АМКГ учредила Полевую метеорологическую школу для рыбаков, чтобы тесно сотрудничать с традиционными секторами рыболовства и аквакультуры в целях улучшения их понимания и использования информации о погоде и климате. Для охвата широкой аудитории, включая социальные сети, используются различные методы коммуникации.

Помимо этого АМКГ готовит морскую информацию с учётом воздействий для сектора морских перевозок (см. [maritim.bmkg.go.id/inawis](http://maritim.bmkg.go.id/inawis)) и для модели траекторий в целях поддержки поисково-спасательных операций (ПСО) и служб по чрезвычайным экологическим ситуациям для отслеживания и смягчения последствий распространения разлива нефти.



*АМКГ — Система прогнозирования состояния океана*

- 1 Агентство метеорологии, климатологии и геофизики (АМКГ) Республики Индонезия, Постоянный представитель при ВМО.
- 2 Агентство метеорологии, климатологии и геофизики (АМКГ) Республики Индонезия.

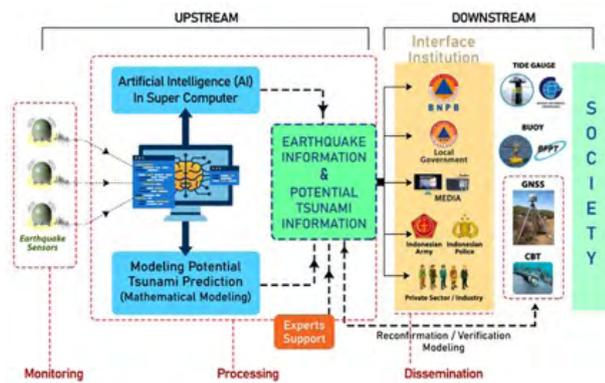
АМКГ делится своими разработками в области морского метеорологического обслуживания с малыми островными развивающимися государствами в Региональной ассоциации V ВМО (юго-западная часть Тихого океана) (РА V). Например, СПСО вводится в действие на Соломоновых Островах с 2017 года при поддержке Экономической и социальной комиссии ООН для Азии и Тихого океана (ЭСКАТО ООН) и под руководством ВМО. Кроме того, Региональный учебный центр ВМО, размещающийся в АМКГ, провёл базовое виртуальное обучение по прогнозам с учётом воздействий, в том числе для морского метеорологического обслуживания, для 34 участников из РА V.



АМКГ и поисково-спасательные работы (ПСО)

### Управление прибрежными опасными явлениями

Индонезийская система прогнозирования наводнений в прибрежной зоне (ИСПНПЗ) разрабатывается как часть СПСО для предоставления обслуживания по заблаговременному предупреждению



Сквозная система заблаговременных предупреждений о цунами (ИСЗПЦ)

наводнений в прибрежной зоне с использованием моделирования наводнений в прибрежной зоне. Опытные проекты системы были реализованы в Джакарте и Семаранге.

Расположение Индонезии на стыке четырёх активных тектонических плит делает её уязвимой для землетрясений и цунами. АМКГ играет центральную роль в работе Индонезийской системы заблаговременных предупреждений о цунами (ИСЗПЦ) и в предоставлении обслуживания, связанного с цунами, для 28 стран, расположенных вдоль побережья Индийского океана.

Для повышения эффективности мониторинга и заблаговременных предупреждений о цунами 411 датчиков интегрированы в систему Интернета вещей (IoT) и искусственного интеллекта (AI), которая поддерживает 18 000 сценариев цунами. Кабельный измеритель цунами, буи и радиолокатор цунами вскоре расширят способность сети обнаруживать близкие и нетектонические цунами. Социальные сети и мобильные приложения расширяют сферу охвата предупреждений и сигналов тревоги АМКГ обо всех подобных событиях.

Посредством обучения в полевой школе землетрясений АМКГ повышает устойчивость сообществ в уязвимых прибрежных районах. Программа способствует интегрированию местных знаний в рамки подхода, основанного на природном предупреждении о близких цунами, и обучает участников немедленной эвакуации в безопасную зону, когда они ощущают сотрясение земли в течение более длительного времени, чем нужно, чтобы досчитать до десяти.

АМКГ также является активным членом Межправительственной океанографической комиссии (МОК) ЮНЕСКО, в особенности как организация, выполняющая функцию поставщика обслуживания по цунами для региона Индийского океана, а также как организация, разместившая на своей территории Информационный центр по цунами в Индийском океане.

# Вихревой мир — тропические циклоны и океан

Анн-Клэр Фонтан<sup>1</sup>, Таюэн Пэн<sup>1</sup>, Сяо Чжоу<sup>1</sup>, Сара Граймс<sup>1</sup>, Эстель де Кониинг<sup>1</sup>, Чжо Ван<sup>2</sup>, Нанетт Ломарда<sup>1</sup>, Чампика Галладж<sup>1</sup>, Сирил Оноре<sup>1</sup>, Юрг Лютербахер<sup>1</sup>, Энтони Ри<sup>1</sup>, Йохан Стандер<sup>1</sup>

*За последние 50 лет 1945 бедствий были отнесены на счёт тропических циклонов, в результате которых погибло 779 324 человека и был нанесён экономический ущерб в размере 1,4 триллиона долларов США — в среднем 43 смертельных случая и 78 миллионов долларов США ущерба каждый день. Если говорить о бедствиях, связанных с погодой, климатом и водой, то на тропические циклоны приходится 17% бедствий, 38% смертей и 38% экономических потерь. — Атлас смертности и экономических потерь в результате погодных, климатических и гидрологических экстремальных явлений (1970–2019 годов) ВМО, который будет опубликован в 2021 году.*

Тропический циклон! Тайфун! Ураган! Какое бы слово ни использовалось — в зависимости от вашего региона — картина будет одинаковой: сильные ветры, которые могут разрушить прибрежные сообщества, и проливные ливни, которые могут вызвать оползни и быстроразвивающиеся наводнения. Воздействие в море и при выходе на берег является разрушительным, поскольку сочетание волн, штормовых нагонов и дождевых осадков может привести к катастрофическому затоплению прибрежной зоны, которое вызовет большие человеческие жертвы и серьёзный материальный ущерб.



*Ураган Йота с максимальной интенсивностью приближается к Никарагуа 16 ноября 2020 года, 15:00 ВСВ (Источник: GOES-16 (НУОА)).*

Гибель и разрушения, вызванные тропическими циклонами, привели к глобальным призывам к действиям в рамках Организации Объединённых Наций в 1970-х годах, которые заложили основу для создания Программы ВМО по тропическим циклонам (ПТЦ) 40 лет назад. Её цель заключалась в том, чтобы помочь создать скоординированные на региональном и национальном уровнях системы заблаговременных предупреждений, чтобы сократить людские

<sup>1</sup> Секретариат ВМО.

<sup>2</sup> Университет Иллинойса; председатель Рабочей группы по научным исследованиям в области тропической метеорологии.



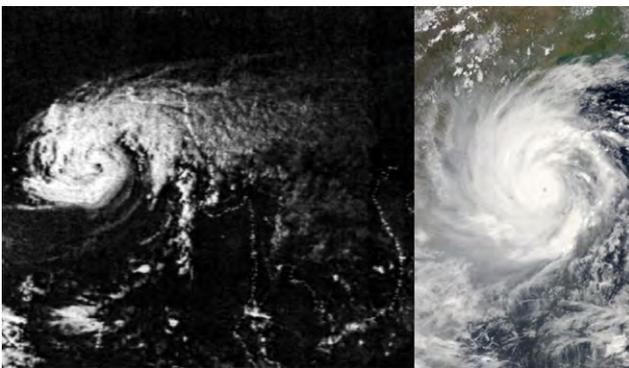
*Ущерб и разрушения, вызванные штормовым нагоном после того, как супертайфун Хайян обрушился на центральную часть Филиппин 10 ноября 2013 года. (Источник: Марсель Крозе/МОТ)*

потери и ущерб от этих экстремальных погодных явлений. В настоящее время сотрудничество с национальными, региональными и глобальными заинтересованными сторонами остаётся ключом к успешной деятельности, которая помогает снизить потери, связанные с тропическими циклонами.

## Наблюдения за тропическими циклонами в океане

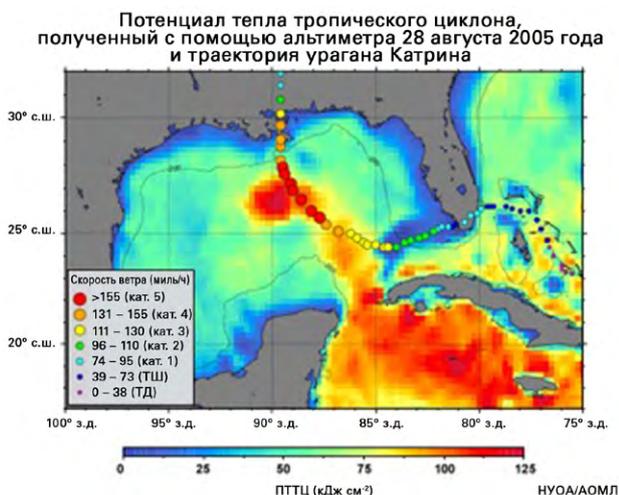
Тропический циклон — это общий термин для обозначения вращающейся организованной системы облаков и гроз, которая возникает над тропическими или субтропическими водами и распадается и рассеивается по мере движения над более прохладными водами или сушей. Формирование (циклогенез) и интенсификация сильно зависят от температуры океана, превышающей 26 °С в пределах верхних 60 метров. Таким образом, наблюдения за океаном — спутниковые и *in situ* — имеют важное значение для заблаговременного прогнозирования тропических циклонов и предупреждений о них.

Международное сотрудничество привело к глобальному мониторингу тропических циклонов в реальном времени с помощью геостационарных спутников, использующих быстрое сканирование. От первого метеорологического спутника на полярной орбите в 1960 году до действующих геостационарных спутников в 2021 году развитие спутниковых возможностей внесло огромные изменения в мониторинг и анализ тропических циклонов над океаном. Сегодня благодаря международному обмену данными с наземных, воздушных и космических платформ, а также усовершенствованию моделирования и достижениям в области вычислений пятнадцатидневный прогноз траектории движения циклонов столь же точен, как и двухдневный прогноз в 1960-х годах.



(Слева) Циклон над Бенгальским заливом 11 ноября 1970 года (Источник: НУОА); (Справа) Суперциклонический шторм Амфан над Бенгальским заливом 18 мая 2020 года. (Источник: НАСА)

Спутники на полярной орбите позволяют проводить наблюдения, например за размером акватории, охваченной ураганными и штормовыми ветрами на море, температурой и особенностями морской поверхности, а с недавних пор использовать полученную со спутников батиметрию прибрежных



Потенциал тепла тропического циклона, полученный с помощью альтиметра 28 августа 2005 года и траектория урагана Катрина (Источник: КОМЕТ, Микроволновое дистанционное зондирование, 2-е издание)

зон — данные о глубине и контурах подводного ландшафта. Данные батиметрии прибрежных зон повышают точность оценки штормовых нагонов.

Сеть морских наблюдений *in situ* позволяет лучше понять взаимодействие между воздухом и морем, поскольку оно имеет большое значение для прогнозирования тропических циклонов. Сеть судов добровольных наблюдений (СДН) ВМО/МОК-ЮНЕСКО используют обрывные батитермографы (ОБТ), поплавковые и дрейфующие буи Арго для измерения температуры океана. Кроме того, СДН, заякоренные и дрейфующие буи могут также обеспечивать измерения ветра, волнения, температуры поверхности моря и атмосферного давления. Атмосферное давление на уровне моря также является важнейшим наблюдением, поскольку оно напрямую связано с интенсивностью циклона.

### Координация обслуживания в виде прогнозов и предупреждений

ВМО играет важную роль в поддержке стран для улучшения предоставляемого ими обслуживания в виде прогнозов и предупреждений о тропических циклонах через хорошо скоординированные региональные и национальные центры. ПТЦ включает пять региональных органов с соответствующими региональными специализированными метеорологическими центрами по тропическим циклонам (РСМЦ ТЦ<sup>3</sup>) и национальными метеорологическими и гидрологическими службами (НМГС).

Сегодня РСМЦ возглавляют разработку прогностической продукции и обслуживания для отраслей и конкретных территорий в поддержку мер реагирования на национальном уровне для более надёжного снижения риска бедствий, чем раньше. Они разрабатываются для прогнозирования тропических циклонов, морской метеорологии, прогнозирования океанских волн и прогнозирования суровой погоды. РСМЦ ТЦ предоставляют руководящие указания по прогнозированию траектории тропических циклонов и их интенсивности, а также информацию о других связанных с морской средой опасных явлениях для национальных компетентных служб прогнозов и предупреждений. Последние разработки включают продукцию, отображающую потенциальные возможности для затопления конкретных мест в связи со штормовыми нагонами. С 2008 года все РСМЦ ТЦ ввели в действие модели и технические возможности прогнозирования штормовых нагонов через Систему слежения за штормовыми нагонами ВМО.

3 РСМЦ ТЦ осуществляет прогнозирование тропических циклонов, включая другие опасные явления на море.



Первый Международный семинар ВМО по тропическим циклонам, состоявшийся 25 ноября – 5 декабря 1985 года в Бангкоке, Таиланд (Источник: Метеорологический департамент Таиланда)



Карта потенциального наводнения, вызванного штормовыми нагонами (Источник: РСМЦ ТЦ Майями, НУОА)

Прогностическая информация по океанам в отношении опасностей, связанных с тропическими циклонами, предоставляется тем, кто имеет морские интересы, через Глобальную морскую систему связи при бедствии и для обеспечения безопасности (ГМССБ).

### Развитие потенциала

ВМО координирует обучение НМГС по всем опасным явлениям, связанным с тропическими циклонами, включая региональные семинары по прогнозированию штормовых нагонов и волнения. У прогнозистов тропических циклонов также есть свой собственный веб-сайт ([strictweather.wmo.int/TCFW/](http://strictweather.wmo.int/TCFW/)) и *Global Guide to Tropical Cyclone Forecasting* (Глобальное руководство по прогнозированию тропических циклонов) (WMO-№ 1194), в котором собраны самые современные научные данные и технологии, а также передовой опыт их использования.

### Научно-исследовательская работа ВМО

Научно-исследовательская работа ВМО включает серию международных семинаров по тропическим

циклонам, которые раз в четыре года проводятся Рабочей группой ВМО по исследованиям в области тропической метеорологии. Это позволяет объединить синоптиков и исследователей, в том числе экспертов по штормовым нагонам. Кроме того, Всемирная программа метеорологических исследований ВМО координирует полевые эксперименты, чтобы лучше понять интенсивность, структуру, движение и процессы выпадения осадков при тропических циклонах. Эксперты также работают над оценкой влияния изменения климата на тропические циклоны. В краткосрочном временном масштабе связанные с океаном темы для исследований включают внезапные изменения траектории и интенсивности тропических циклонов в открытом море, чрезвычайно сильные ливни за пределами периферии тропического циклона, прогнозирование штормовых нагонов и наводнения в прибрежной зоне в период выхода циклона на сушу. В субсезонных и более долгосрочных временных масштабах состояние океана служит важным источником прогнозируемости, при этом исследования сосредоточены на том, чтобы лучше понимать и предсказывать активность тропических циклонов.

### Перспективы на будущее

ВМО признаёт необходимость в улучшении прогнозов тропических циклонов, а также необходимость работы с партнёрами, чтобы лучше подготовить людей к рискам. Сотни миллионов людей во всём мире страдают, а ущерб ежегодно исчисляется миллиардами долларов. ВМО активизирует переход от исследований к оперативной деятельности, мониторинг океана и обмен данными для предоставления обслуживания в области прогнозирования и предупреждения о тропических циклонах с учётом воздействий. Более глубокие знания и методы, а также участие партнёров, представляющих социальные науки, помогут эффективно преобразовывать заблаговременные предупреждения в заблаговременные действия, которые спасут жизни.

# Система заблаговременных предупреждений о многих опасных явлениях (СЗПМОЯ) — инструмент для эффективного прогнозирования состояния океана и обслуживания

Агнес Киджази<sup>1</sup>, Уилберт Муруке<sup>2</sup>, Мохамед Нгвали<sup>3</sup>, Уилберфорс Кикваси<sup>4</sup> и Мэтью Ндаки<sup>5</sup>

Африка с её длинной и открытой береговой линией протяжённостью более 30 000 км уязвима для стихийных бедствий, исходящих от Атлантического океана на западе, Средиземного моря на севере, Красного моря и Индийского океана на востоке. Риски включают тропические циклоны, затопление прибрежных районов (в том числе в результате цунами), сильные ветры и повышение уровня моря из-за изменения климата. Объединённая Республика Танзания находится в юго-западной части Индийского океана (ЮЗИО), в регионе, уязвимом для тропических циклонов.



Тропический циклон *Кеннет* приближается к Мозамбику с максимальной интенсивностью 25 апреля 2019 года (НАСА)

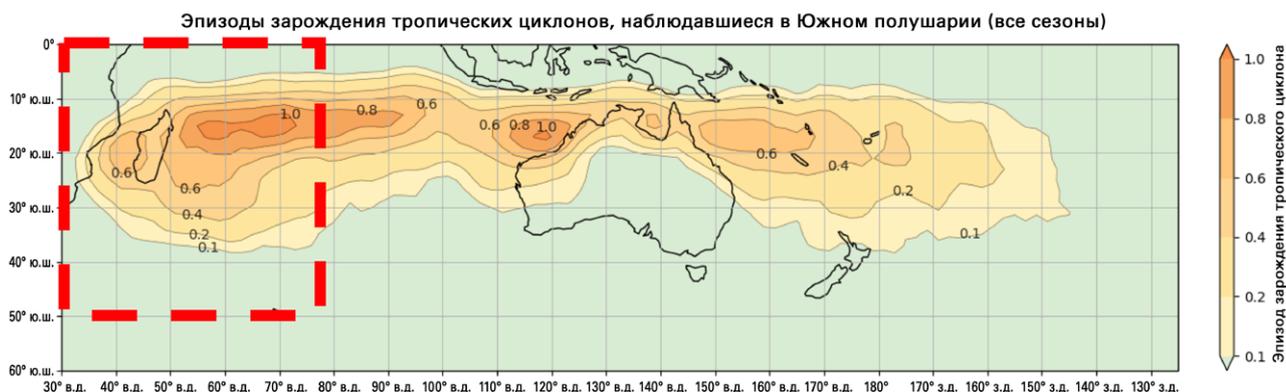
Метеорологическое управление Танзании (ТМА) имеет Систему заблаговременных предупреждений о многих опасных явлениях (СЗПМОЯ) со стандартными оперативными процедурами (СОП), которые активируются, когда на суше или на море выпускается предупреждение о погоде. Когда опасность обнаруживается на море или угрожает побережью, СОП предполагает привлечение всех ключевых участников Национальной системы заблаговременных предупреждений (НСЗП), в которую входят Управление по борьбе со стихийными бедствиями (УБСБ) в канцелярии премьер-министра в качестве общего координатора по управлению стихийными бедствиями в стране, ТМА, СМИ и сообщества заинтересованных сторон, то есть пользователей океана.

ТМА отвечает за выпуск предупреждений о погоде как на суше, так и на море. Информация передаётся всем заинтересованным сторонам по различным каналам, включая веб-сайт ТМА, газеты, телевидение, радио и социальные сети. Когда опасность ведёт к бедствию, ТМА передаёт предупреждение в УБСБ. Решения УБСБ зависят от предоставленной информации СЗПМОЯ. Цель состоит в том, чтобы способствовать эффективной коммуникации и своевременным действиям.

## Тропический циклон *Кеннет*

Развитие тропического циклона *Кеннет* к северу от Мадагаскара отслеживалось с помощью спутника и системы численного прогнозирования погоды (ЧПП) ТМА с 20 апреля 2019 года. 21 апреля ТМА опубликовало для населения информацию с заблаговременным предупреждением о развитии депрессии. ТМА получало обновлённые оповещения об опасности от Регионального специализированного метеорологического центра по тропическим циклонам (РСМЦ ТЦ) МетеоФранс Реюньон. Когда усиливающийся циклон начал двигаться к побережью Танзании и Мозамбика, ТМА передало информацию СЗПМОЯ в Национальное управление по борьбе со стихийными бедствиями (УБСБ).

- 1 Генеральный директор Танзанийского метеорологического агентства (ТМА), постоянный представитель Объединённой Республики Танзания при ВМО и третий вице-президент ВМО.
- 2 Менеджер по международному сотрудничеству, ТМА.
- 3 Директор, ТМА-Занзибар.
- 4 Руководитель отдела морского метеорологического обслуживания, ТМА.
- 5 Метеоролог, ТМА.



Область формирования тропических циклонов над ЮЗИО в Южном полушарии (заимствовано у Австралийского бюро метеорологии) ([bmo.gov.au/climate/map](http://bmo.gov.au/climate/map)).



Д-р Агнес Киджази, генеральный директор, Метеорологическое управление Танзании (ТМА) и третий вице-президент ВМО с полковником Джимми Матамве, директором Управления по борьбе со стихийными бедствиями (УБСБ) — канцелярии премьер-министра (КПМ), и г-ном Башири Таратибу, помощником директора УБСБ совместно объявляют об отмене предупреждения для населения 26 апреля 2019 года.

25 апреля *Кеннет* достиг своего пика с давлением в центре 934 гектопаскаля (гПа) и скоростью ветра 230 км/ч с порывами до 305 км/ч, став самым сильным и разрушительным тропическим циклоном, когда-либо обрушившемся на этот регион. В тот день он вышел на берег на северо-востоке Мозамбика и оказал влияние на погодные системы в Танзании, особенно на южном побережье. После этого циклон рассеялся.

По мере того, как циклон усиливался и приближался к побережью, ТМА продолжало предоставлять предупреждения, проводя частые пресс-конференции

в соответствии с СОП, в то время как УБСБ координировало действия служб реагирования на стихийные бедствия, предоставляя им места для эвакуации и другие возможности. 26 апреля генеральный директор ТМА и директор Национального управления по борьбе со стихийными бедствиями совместно объявили на пресс-конференции об отмене чрезвычайного положения.

СЗПМОЯ и СОП оказались эффективными в прогнозировании, мониторинге, передаче информации и координации реагирования на тропический циклон. Каждый сыграл свою роль, включая СМИ, которые постоянно доводили до населения обновлённую информацию от ТМА. Таким образом, общины были своевременно эвакуированы в безопасные места.



Сильный тропический циклон *Кеннет* обрушился на северо-восток Мозамбика.

## Вызовы

Прогнозирование состояния океана и соответствующее обслуживание в Африке, и особенно в Танзании, сталкиваются с несколькими серьёзными проблемами:

- недостаточность инфраструктуры для наблюдений и мониторинга (например, автоматических метеостанций вдоль берега и водных буёв);
- ограниченный человеческий потенциал в области морских наблюдений и прогнозирования;
- ограниченные вычислительные мощности и технологии обработки, пакетирования и распространения данных;
- ограниченная осведомлённость общин.

## Заключение и рекомендации

СОП СЗПМОЯ — это эффективный инструмент для обеспечения связи прогнозов состояния океана

и соответствующего обслуживания с пользователями и службами экстренного реагирования. Однако они наиболее эффективны, когда адаптированы к потребностям отдельных заинтересованных сторон, чтобы гарантировать, что каждая из них предпримет соответствующие действия в случае риска. Необходимо разработать мероприятия для включения в конкретные СОП, предназначенные для различных заинтересованных сторон.

Наращивание институционального потенциала имеет первостепенное значение в африканских НМГС для обеспечения эффективного заблаговременного предупреждения о морских опасных явлениях, которые, по прогнозам учёных, будут усиливаться в связи с изменением климата.

Необходимо расширять международное сотрудничество для обеспечения устойчивости и поддержки потенциала НМГС с целью обеспечения заблаговременного предупреждения о многих опасных явлениях для эффективного управления бедствиями, связанными с морской средой, от наводнения прибрежных районов, вызванного циклонами, до цунами.

# Наука об океане для обслуживания в малых островных развивающихся государствах

Арлин Лэйнг<sup>1</sup>, Офа Фаануну<sup>2</sup> и Дэвид Фаррелл<sup>3</sup>

Десятилетие науки об океане в интересах устойчивого развития Организации Объединённых Наций, 2021–2030 годы, обещает выгоды для всех стран, но особенно для малых островных развивающихся государств (МОСРГ) Карибского и Тихоокеанского регионов, развитие которых связано с возможностью использования своих морских ресурсов. Размеры и ресурсы исключительных экономических зон (ИЭЗ) малых островных развивающихся государств значительно превышают их соответствующие территории суши. Однако МОСРГ не используют в полной мере преимущества этих ресурсов из-за недостаточного знания характеристик морской среды, имеющихся возможностей и опасных явлений. Среди последних первостепенное значение имеют мощные тропические циклоны, повышение уровня моря, прибрежные наводнения и эрозия, а в последние годы — появление водорослей в Карибском бассейне. Всё это усугубляется изменчивостью и изменением климата и ставит под угрозу экономику МОСРГ.

## Карибский бассейн

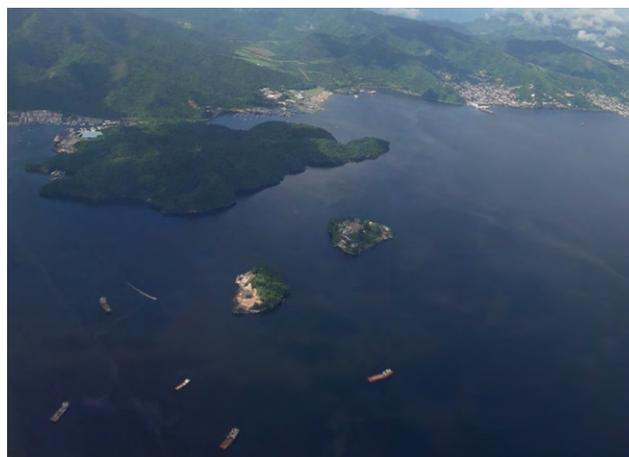
Сектор туризма является определяющей движущей силой развития экономики большинства малых островных развивающихся государств Карибского бассейна. Цепочка создания ценности «наука в интересах устойчивого развития» должна приносить ощутимые выгоды морской отрасли и связанным с ней экономическим секторам, таким как туризм, на благо стран Карибского бассейна.

Для успешного использования науки в целях создания ценности необходимы:

- точные и своевременные наблюдения;
- исследования, которые улучшают понимание и расширяют возможности для прогнозирования, а также помогают в разработке более качественного обслуживания;

- 1 Постоянный представитель Британских Карибских территорий при ВМО.
- 2 Президент Региональной ассоциации ВМО V (юго-западная часть Тихого океана), постоянный представитель Тонги при ВМО, директор службы метеорологии и берегового наблюдения за морем, Метеорологическая служба Тонги.
- 3 Советник по гидрологии постоянного представителя Британских Карибских территорий при ВМО.

- развитие потенциала и обучения в области морской метеорологии и предоставление обслуживания;
- региональное сотрудничество между метеорологическими, океаническими и прибрежными экологическими агентствами;
- понимание потребностей пользователей, источники средств к существованию которых зависят от безопасного, чистого, хорошо прогнозируемого и устойчивого океана.



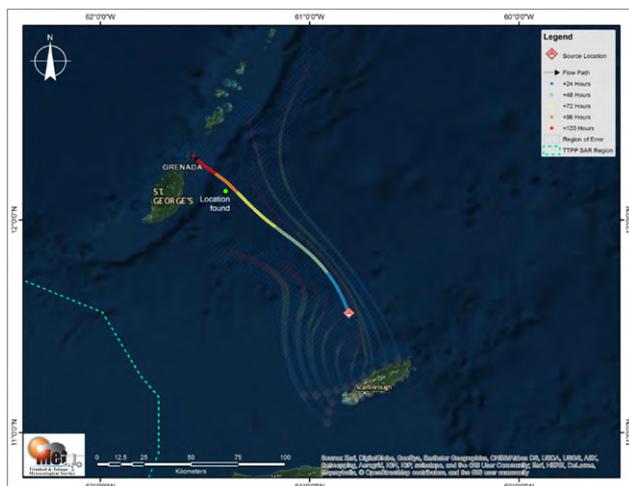
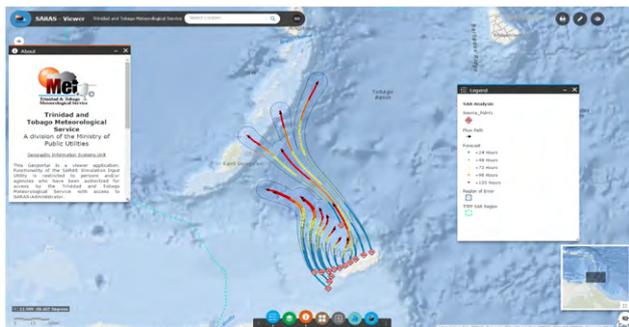
Западное побережье Тринидада и залив Пария с нефте- и газозаводами (Источник: Арлин Лэйнг, 22 августа 2018 года.)

Помимо поисково-спасательных операций, обслуживание, предоставляемое национальными метеорологическими и гидрологическими службами (НМГС), также ценно для нефтегазовой отрасли. Это было недавно наглядно продемонстрировано чуть было не потерпевшим крушение судном, перевозившим примерно 1,3 миллиона баррелей сырой нефти в заливе Пария (водоём между Тринидадом и Венесуэлой, изображение 1). О судьбе груза и местных и региональных социально-экономических последствиях аварии говорилось на всех уровнях правительства в Карибском сообществе (КАРИКОМ) и при этом подчёркивалась жизненно важная роль морского прогностического обслуживания.

Для достижения цели создания безопасного, чистого и хорошо прогнозируемого океана НМГС карибских государств и территорий получают поддержку Карибской метеорологической организации (КМО), которая работает с ВМО над повышением уровня компетенций в области морской метеорологии

и предоставления обслуживания. Карибский институт метеорологии и гидрологии (КИМГ) возглавил деятельность по обучению и оказанию технической помощи и приступил к созданию Центра поддержки морских прогнозов, который будет поддерживать:

- развитие потенциала для предоставления улучшенных региональных и национальных морских прогнозов;
- региональные и международные партнёрства для поддержки морских наблюдений и науки в целях более эффективного управления морскими ресурсами и морскими системами заблаговременных предупреждений;
- региональное и международное научное сотрудничество для развития морских научных исследований и исследовательского потенциала во всём регионе.



Пример работы Системы анализа поисково-спасательных операций (САПСО) Метеорологической службы Тринидада и Тобаго, которая предсказала сценарии дрейфа (вверху) для определения района поиска рыболовного судна с одним рыбаком 4–7 сентября 2016 года. Модель прогноза была основана на ретроспективных моделях численного прогноза погоды, архивных спутниковых изображениях и данных доплеровского радиолокатора и корректировалась каждые 12 часов с использованием реанализа океанских течений; (внизу) успешный сценарий, показывающий найденное место. (Источник: Метеорологическая служба Тринидада и Тобаго).

КИМГ был ключевым участником **полевой кампании EUREC4A 2020 года**, которая поддерживала обширный сбор морских данных к востоку от цепи островов Карибского моря, простирающейся от Барбадоса до Суринама. Ожидается, что эта кампания приведёт к значительному прогрессу в понимании морской среды. Центр поддержки морских прогнозов будет интегрировать 7-дневные прогнозы значительных высот волн, ежедневно выпускаемые на основе региональной модели волнения Wavewatch-3 КИМГ, со своей развивающейся региональной гибридной координатной моделью океана (РГМО) и платформой наблюдений. В 2019 году при спонсорской поддержке Африканской, Карибской и Тихоокеанской группы государств (АКТ) и Европейского союза (ЕС) с помощью Карибского банка развития (КБР) КИМГ провёл трёхнедельный региональный семинар по морскому прогнозированию для более чем 20 человек: сотрудников КИМГ, НМГС и других заинтересованных сторон. После участия в семинаре несколько НМГС начали реализовывать свои собственные прогностические модели для повышения качества морских прогнозов.

Что касается предоставления морского обслуживания, то подразделение штаб-квартиры КМО согласовывает свои действия с региональным советником по морским вопросам ИМО, Ассоциацией карибских государств и другими заинтересованными сторонами в регионе, чтобы установить связь с заказчиками морского обслуживания в Карибском бассейне и лучше понять их потребности. Эта деятельность помогла ВМО в разработке учебных программ по обслуживанию, ориентированному на пользователей. Укрепление НМГС в малых островных развивающихся государствах за счёт совершенствования цепочки создания стоимости от науки к обслуживанию повышает эффективность принятия решений и результативность деятельности заинтересованных сторон в различных морских и прибрежных секторах.



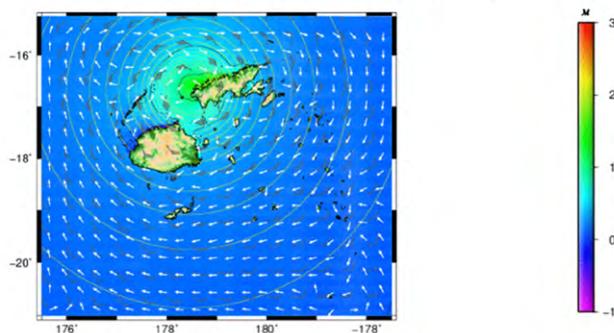
Цепочка создания стоимости морского обслуживания для малых островных развивающихся государств.

## Острова Тихого океана

22 тихоокеанских малых островных развивающихся государства, которые часто называют островными государствами большого океана, разбросаны по самому большому океану планеты и имеют огромные океанские ИЭЗ. Их выживание зависит от морской экономики. Информация об океане является основой для принятия продуманных решений в таких секторах, как рыболовство, туризм, транспорт и базовые службы безопасности на побережье и на море. Это особенно верно во время экстремальных погодных и климатических явлений, которые часто связаны с океаном, например, прибрежные опасные явления, высокие волны, штормы, включая тропические циклоны, и повышение уровня моря. Изменение климата усугубило эти угрозы и создало дополнительную угрозу повышения уровня моря. Кроме того, угроза опасностей геологического характера, таких как цунами, представляет собой большой риск. Метеорологическое обслуживание играет ключевую роль в обеспечении заблаговременных предупреждений на море и вдоль побережья для этих островных стран. Эта важная роль была признана в 2015 году Тихоокеанским метеорологическим советом (ТМС), когда была создана специальная группа экспертов по морскому и океанографическому обслуживанию тихоокеанских островов (ГЭ-МООТО). Группа предлагает ТМС технические консультации по вопросам морского и океанографического обслуживания региона.

Следуя рекомендациям 5-го Тихоокеанского метеорологического совета (ТМС-5) в Самоа в 2019 году, в эксплуатацию вводятся инновационные инструменты для улучшения прогнозов состояния океана с высоким разрешением (например наводнений, вызванных накатом волн) по всему Тихому океану. Эти инструменты дополняют системы, которые в настоящее время действуют или разрабатываются

Действительное время: 07:00 ВСВ 17 декабря 2020 года



Продукция модели штормовых нагонов, касающаяся тропического циклона Яса в декабре 2020 года, которая позволила Метеорологической службе Фиджи предоставлять предупреждения прибрежным общинам островов Фиджи. (Источник: Метеорологическая служба Фиджи)

на Фиджи, в Кирибати, Республике Маршалловы Острова, Самоа, Тонге и Тувалу. Кроме того, в рамках Показательного подпроекта по прогнозированию наводнений в прибрежной зоне на Фиджи, который был завершён в 2019 году, была успешно введена в эксплуатацию система прогнозирования прибрежных наводнений в Метеорологической службе Фиджи при финансовой поддержке Корейской метеорологической администрации (КМА). Подобные проекты по прогнозированию прибрежных наводнений реализуются в Кирибати и Тувалу, финансируемые в рамках Инициативы «Климатические риски и система заблаговременных предупреждений (КРСЗП)». Комитет по тропическим циклонам Региональной ассоциации V ВМО также учредил специальную группу экспертов в поддержку развития системы заблаговременных предупреждений о прибрежных наводнениях и штормовых нагонах по всему региону.



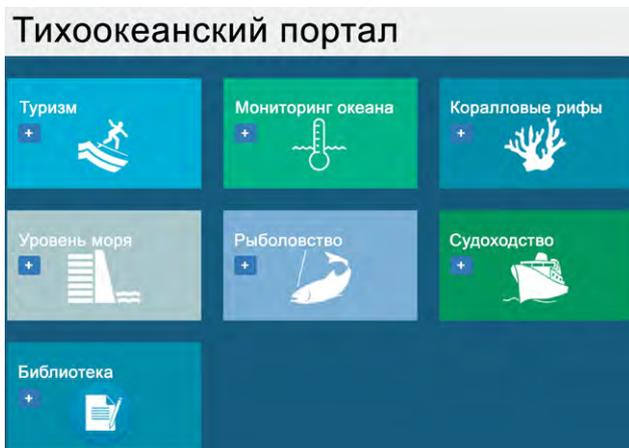
Лодки с малым подвесным мотором (МПП), которые ежедневно используются для переезда между островами Тонга. Небольшие лодки с МПП — это обычный вид транспорта в Тихом океане. (Источник: О. Фаануну, 2019 г.)

Параллельно тихоокеанские НМГС активно участвуют в международных дискуссиях, таких как Глобальная конференция по заблаговременным предупреждениям о многих опасных явлениях (ЗПМОЯ), организованная ВМО вместе с другими международными партнёрами, такими как Управление ООН по снижению риска бедствий (УСРБ ООН) и ЮНЕСКО. В этой связи острова Тихого океана участвуют в Международной сети систем заблаговременных предупреждений о многих опасных явлениях (МС СЗПМОЯ) и в разработке Глобальной системы оповещения о многих опасных явлениях (ГМАС). Предпринимаются усилия по укреплению на островах Тихого океана, как прибрежных СЗПМОЯ, так и прогнозирования с учётом воздействий.

Влияние изменчивости климата и изменения приливов остро ощущается на островах Тихого океана.

Чтобы помочь островам подготовиться к этим вызовам, адаптироваться к ним и смягчить их последствия, Австралийское метеорологическое бюро учредило Программу поддержки климата и океанов в тихоокеанском регионе (КОСППас). Консультации на островах помогают Программе создавать инструменты, которые могут прогнозировать и сообщать о климате, приливах и океане. Примеры включают ежемесячные ориентировочные прогнозы океана и различные прогнозы и информацию о температуре поверхности моря, уровне моря, картировании хлорофилла, волнении, высоких волнах прилива и обесцвечивании кораллов, чтобы лучше понять последствия для рыболовства в прибрежных зонах, предприятий и общин. В настоящее время это обслуживание предоставляют семь НМГС в регионе, и к концу 2021 года к ним присоединится восьмая. Сезонные ориентировочные прогнозы климата ПКТО полезны для общин, которые могут пострадать от таких явлений изменчивости климата, как Эль-Ниньо/Южное колебание (ЭНЮК). ПКТО также поддерживает долгосрочный и устойчивый мониторинг приливов и отливов, что помогает создавать долгосрочные ряды данных об уровне моря на островах.

Для дальнейшего повышения устойчивости и укрепления систем заблаговременных предупреждений в Тихоокеанском регионе предпринимаются скоординированные региональные усилия по созданию сети волновых буёв для заблаговременного обнаружения и предупреждения о наводнениях, которая будет опираться на сложившееся региональное сотрудничество между странами. Самые современные исходные данные собирались и собираются в рамках серии проектов и ряда исследований, которые осуществляются в настоящее время и будут способствовать расширению знаний о рисках, связанных с опасными явлениями в океане.



Портал по Тихому океану был разработан в рамках проекта ПКТО для поддержки НМГС в разработке океанической продукции для своих секторов.

Группа экспертов ВМО-МОК по сотрудничеству в области буёв для сбора данных ГСБД планирует следующий этап семинара по доступу к океаническим данным и их применению на Тихоокеанских островах в 2021 году. Курс ВМО по морскому обслуживанию, запланированный в настоящее время на 2020–2021 годы, дополнит усилия по развитию потенциала, что позволит НМГС самостоятельно оценить свои возможности и поделиться опытом с другими НМГС. Результаты будут использованы для разработки специальной программы обучения, чтобы удовлетворить потребности, заявленные участвующими НМГС. Курс также будет поддерживать обучение, обеспечивающее компетенции в области морской метеорологии.

Заблаговременное предупреждение о цунами также имеет критически важное значение на островах Тихого океана, где многие метеорологические службы тесно сотрудничают с национальными агентствами по борьбе со стихийными бедствиями, чтобы координировать заблаговременные предупреждения. В рамках проекта, финансируемого правительством Японии через ЯАМС (Японское агентство международного сотрудничества), создаётся общенациональная система заблаговременных предупреждений о цунами в Тонге, при этом устанавливается 88 сирен оповещения о цунами и более 500 общинных радиостанций. С той же целью в рамках Программы по обеспечению устойчивости к внешним воздействиям в Тихом океане, финансируемой Всемирным банком, модернизируется морская радиостанция Тонги.

Секретариат Тихоокеанского сообщества (СТС) и Секретариат Тихоокеанской региональной программы в области окружающей среды (СПРЕП) оказывают поддержку региональным усилиям в области морской метеорологии и океанографии. Они играют активную роль в развитии океанографического потенциала НМГС и оказании поддержки НМГС в целях улучшения координации с морским сектором, включая руководство аспирантами с 2019 года. СТС входит в состав Руководящего комитета Глобальной системы наблюдений за океаном (ГСНО) и участвует в деятельности Группы по координации наблюдений за океаном, координируемой совместно ВМО и МОК.

НМГС региона тихоокеанских островов рады принять участие в Десятилетии наук об океане в интересах устойчивого развития ООН и воспользоваться возможностями, которые оно предлагает, для укрепления сотрудничества с другими учреждениями и партнёрами по всему региону. НМГС получают пользу от деятельности по координации усилий, прилагаемых для выявления пробелов в данных научных знаниях об океане, которые имеют первостепенное значение для океанографического, метеорологического и климатического обслуживания.

# Системы заблаговременных предупреждений о многих опасных явлениях: Инициатива по прогнозированию наводнений в прибрежной зоне

Вэл Суэйл, почётный сотрудник, Министерство по окружающей среде и изменению климата Канады

Показательный проект по прогнозированию наводнений в прибрежной зоне (ППНПЗ) и его подпроекты направлены на повышение безопасности при наводнениях сообществ, подверженных риску, что является основным приоритетом ВМО. ППНПЗ был уникальным в плане содействия проектированию и разработке комплексной системы оповещений и предупреждений о наводнениях в прибрежной зоне, вызванных множественными причинами

Четыре отдельных и не связанных между собой подпроекта ППНПЗ были предприняты в Бангладеш, Карибском бассейне, Фиджи и Индонезии (см. Бюллетень ВМО-68(2) «Заблаговременные предупреждения о наводнениях в прибрежной зоне»). У каждого подпроекта был свой набор механизмов воздействия, что в сочетании с разной степенью развития потенциала и структурой управления чрезвычайными ситуациями внутри страны делало их уникальными. Их успешная реализация показала, что комплексное прогнозирование наводнений в прибрежной зоне и предупреждения о них могут быть улучшены и скоординированы национальными метеорологическими и гидрологическими службами (НМГС). В следующих параграфах мы описываем общие соображения, необходимые для создания системы прогнозирования наводнений в прибрежной зоне (ПНПЗ) и заблаговременного предупреждения о них с некоторыми наглядными примерами, взятыми из последнего завершённого проекта на Фиджи<sup>1</sup>.

Что прогнозировать? Фиджи подвергается воздействию тропических штормов, которые приносят проливные дожди и речные паводки наряду с сильными штормовыми нагонами и высокими волнами, а также разрушительные наводнения из-за длинных волн зыби, вызванных внетропическими штормами в Южном океане у побережья Новой Зеландии. Если принять во внимание другие факторы, такие как аномалия высоты прилива и морской поверхности и окаймляющий риф вдоль южного побережья, то получится, что проблемы прогноза с использованием системы прогнозирования наводнений в прибрежной

зоне на Фиджи очень сложны и требуют инновационных подходов к моделированию и продукции с учётом воздействий. Ситуация ещё больше осложняется в связи с потребностью в своевременных прогнозах и предупреждениях, с учётом, как правило, более ограниченных возможностей малых островных развивающихся государств (МОСРГ).

Батиметрическая и топографическая информация крайне редко имеет требуемую точность, особенно в малых островных развивающихся государствах и наименее развитых странах (НРС). Необходимая метеорологическая и океанографическая информация — волны, уровень моря, уровни рек и речной сток — также обычно недостаточно точна. В рамках проекта на Фиджи за счёт подробных исследований была усовершенствована батиметрическая и топографическая информация о коралловом побережье, которая имеет жизненно важное значение для картирования прибрежных наводнений (обратите внимание, что в подпроекте в Карибском бассейне улучшение топографии было достигнуто за счёт использования спутника TANDEM-X, который предоставил данные, эквивалентные исследованиям по золотому стандарту, которые проводятся с использованием ЛИДАРа). Измерения волн с буёв, установленных на Коралловом побережье в рамках ППНПЗ, обеспечивают заблаговременное предупреждение о разрушительных волнах, идущих с юга; они также предоставляют важную информацию для проверки систем прогнозов. Новые измерения уровня воды также предоставляют ценную информацию о прибрежных наводнениях. К сожалению, эти буи часто бывают повреждены случайно или в результате вандализма. Новый видеоролик ВМО (доступен [здесь](#)) был подготовлен для повышения осведомлённости местных общин; в нём подчёркивается ценность этой инфраструктуры для исследования океана, которая имеет критически важное значение для их собственной безопасности и источников средств к существованию.

Прогнозы и предупреждения бесполезны, если они не достигают «последней мили», то есть широких слоёв населения. Помимо радио- и телепередач, на Фиджи для распространения предупреждений широко используются Интернет и социальные сети.

<sup>1</sup> Этот проект стал возможным благодаря спонсорскому финансированию со стороны Корейской метеорологической администрации (КМА).

Социальные сети широко использовались для предупреждений о тропическом циклоне *Гарольд*; по данным метеорологической службы Фиджи (МСФ), общий охват в Фейсбуке достиг 172864 человек. В Твиттере было 6404 просмотра, также были выпущены предупреждения в Инстаграм.

Развитие потенциала для оперативной деятельности МСФ охватило все компоненты системы прогнозирования и управления жизненным циклом новых систем измерения волн, уровней океана и рек. Конечные институциональные пользователи, такие как специалисты по ликвидации последствий бедствий, также прошли обучение по использованию новой прогностической продукции. Кроме того, для содействия в решении проблемы информированности населения о наводнениях в прибрежной зоне ВМО подготовила видео (доступно здесь) об опасностях и действиях, которые необходимо предпринять, спешно покидая места своего жительства в случае подъёма уровня воды.

В апреле 2020 года мощный тропический циклон *Гарольд* проложил себе путь к нескольким островам Тихого океана. По мере его приближения МСФ



*Коралловое побережье Фиджи — одна из самых известных туристических зон, где расположены пляжные курорты. Туристические пляжи подвержены прибрежному затоплению из-за длинных волн зыби, приходящих с Южного океана. На верхнем изображении показано затопление 2011 года, а на втором изображении показан тот же зонтик (что и на первом изображении), повреждённый в результате затопления (Источник: SPC)*

выпустила первые в своей истории предупреждения о волнах и штормовых нагонах во время циклона, что стало возможным благодаря новой системе прогнозирования прибрежных наводнений в рамках подпроекта ПППНПЗ на Фиджи. Г-н Мисаэли Фунаки, директор МСФ, сообщил, что «новая система прогнозирования прибрежных наводнений позволила точно регистрировать величину волн и штормовых нагонов, а также дать обоснованные рекомендации для работы численной модели штормовых нагонов и волн. Это привело к выпуску своевременных прогнозов и легло в основу успешных предупреждений о необходимости эвакуации уязвимых общин во время тропического циклона *Гарольд* (было эвакуировано более 2000 человек), что позволило свести к минимуму число человеческих жертв в результате такого разрушительного и опасного для жизни шторма». По оценке Национального управления Фиджи по борьбе со стихийными бедствиями, пострадало около 3400 жилых домов, а ущерб составил свыше 10 миллионов долларов Фиджи.

## Цунами

Цунами представляют собой опасную угрозу для прибрежной зоны. Несмотря на то, что бывают они нечасто, но могут вызвать катастрофические последствия для прибрежных общин за считанные минуты или часы. Цунами не входят в круг полномочий ВМО, однако многие Члены ВМО возложили ответственность за выпуск предупреждений о цунами на свои НМГС. Таким образом, в этой области ВМО тесно сотрудничает с МОК, которая курирует работу специализированной глобальной системы предупреждения о цунами и смягчения их последствий. ВМО обеспечивает распространение предупреждений о цунами через Глобальную систему телесвязи (ГСТ), а также передачу данных с некоторых мареографов через метеорологические спутники.

Несмотря на то, что цунами имеют другой механизм воздействия и другие модели прогнозирования, существуют общие требования, такие же, как и для прогнозирования прибрежных наводнений, включая необходимость в улучшении батиметрии и топографии, а также в своевременном распространении прогнозов в круглосуточном режиме за считанные минуты или часы. Многие страны с уязвимыми прибрежными общинами также имеют действующие системы предупреждения о цунами. Однако есть возможность оптимизировать успешные международные усилия по борьбе с цунами в сотрудничестве с СЗП-ПНПЗ; это особенно касается предупреждения общин и «последней мили».

# Прогнозирование и обслуживание для южной части Атлантического океана

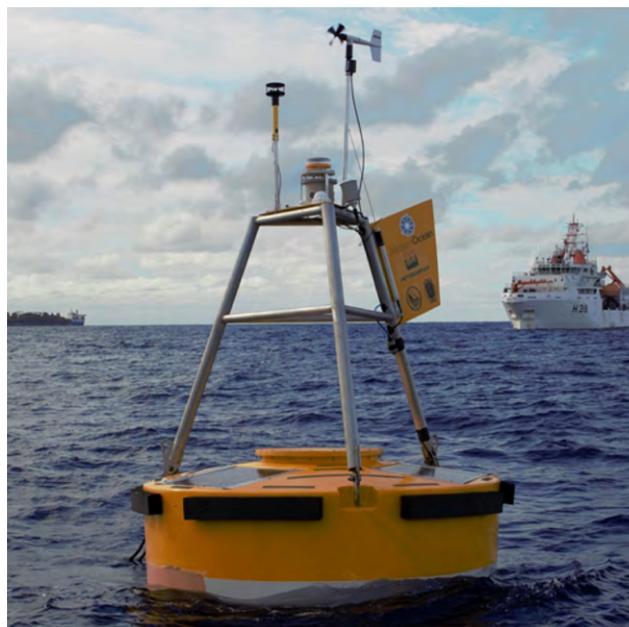
Даниэль Пейшото де Карвалью, командующий ВМС Бразилии

Предупреждения и прогнозы погоды на море являются средством спасения жизни моряков и населения, живущего около моря. Это особенно верно в отношении Бразилии, где половина населения проживает в пределах 200 километров (км) от береговой линии, а одна треть населения — в прибрежных городах. Кроме того, в океанических бассейнах Сантос и Кампос на юго-востоке Бразилии находится 92 % второго по величине национального резерва нефти в Южной Америке. В бассейнах — 54 нефтяные вышки и плавучие установки для добычи, хранения и отгрузки, которые похожи на суда. Таким образом, Атлантический океан играет жизненно важную роль в повседневной жизни и экономике Бразилии. Морская метеорологическая служба (ММС) должна быть всегда готова к погодным условиям.

ММС выпускает официальные предупреждения о погоде и прогнозы погоды для побережья и открытого моря на морской территории площадью 12 047 648 км<sup>2</sup>. Если бы это была страна, она была бы второй по территории в мире. Метеорологические и океанографические наблюдения имеют критически важное значение для прогнозирования в такой обширной зоне ответственности. Анализ погоды начинается со сравнения выпущенных прогнозов с текущей погодой. Модели численного прогнозирования погоды усваивают такие наблюдения, чтобы привнести природные данные в свои расчёты. Следовательно, синоптики не могут откалибровать результаты в областях, слабо охваченных наблюдениями.

На восточном побережье Южной Америки центры низкого давления очень часто развиваются от северной части Аргентины до южной части Бразилии и связаны с холодными фронтами, которые выталкивают внетропические циклоны в сторону от берега. Однако более серьёзную опасность представляют менее частые тропические и субтропические штормы. Они развиваются в среднем один или два раза в год и могут застать население врасплох. Заблаговременное предупреждение

о таких случаях поступает с метеорологических буёв ММС и с судов добровольного наблюдения, которые обеспечивают данные морских наблюдений *in situ* в дополнение к спутниковым данным.



Научно-исследовательское судно ВМС Бразилии «Vital de Oliveira» разместило два буя для сбора метеорологических и океанографических данных в нефтеносном бассейне Сантос в начале декабря 2020 года (Источник: ENS Queiroz Machado)

27 марта 2004 года тропический циклон *Катарина* возник у побережья штата Санта-Катарина на юге Бразилии и вышел на сушу между Пассо-де-Торрес и Балнеарио-Гайвота. Это был первый в истории Бразилии тропический циклон. Он унёс жизни 11 человек, 20 городов были объявлены зонами стихийного бедствия, а ущерб составил около 40 миллионов долларов США (Carvalho, 2018). В 2011 году ММС опубликовала официальный перечень названий циклонов. С тех пор в этот перечень попали десять субтропических циклонов (самым последним в декабре 2020 года был субтропический шторм *Окира*) и один тропический шторм *Иба* в марте 2019 года.

Однако оперативное прогнозирование — это только часть дела. Метеорологические и

океанографические наблюдения также имеют фундаментальное значение для поддержки научных исследований. Бразильские исследователи реализуют такие проекты при поддержке университетов и частного сектора, и также вносят свой вклад в Глобальную систему наблюдений за океаном (ГСНО). В работе Исполнительного комитета (ИК) ГСНО Бразилии участвуют представители различных областей государственного управления — транспорта, сельского хозяйства, рыболовства, окружающей среды, науки, технологий и обороны — и в его ведении находятся 10 исследовательских судов ВМС. Бразилия предлагает уникальную модель интеграции, поскольку ИК ГСНО Бразилия и ММС находятся в ведении Гидрографического центра ВМС (ГЦВМС). ГЦВМС также выпускает официальные морские карты и навигационные предупреждения. Такая интеграция на национальном уровне создаёт возможности на всех уровнях, поскольку обеспечивается согласованность в отношении понимания потребностей заинтересованных сторон и знание всех доступных ресурсов и активов, от судов, расписаний движения судов, свободных мест, приборов и оборудования до профессиональных специализаций. Этот глобальный взгляд имеет первостепенное значение для поиска решений и развития взаимовыгодных отношений между различными заинтересованными сторонами.

Интеграция океанического обслуживания в рамках ГЦВМС предлагает дальнейшие шаги для регионального сотрудничества. Метеорологические и океанографические наблюдения в одной отдельно взятой стране недостаточны для оперативного прогнозирования и научных исследований. Для улучшения регионального сотрудничества необходимы два основных действия:

1. Все Члены должны быть в курсе всех текущих национальных проектов по сбору данных. Хорошим началом было бы пополнение веб-сайтов информацией о действующих проектах с подробным описанием стандартных процедур сбора данных и с предоставлением регулярных и надёжных результатов.
2. По уникальному защищённому адресу в Интернете можно было бы размещать информацию о

технических характеристиках всех имеющихся судов и их расписаниях, приборах, оборудовании, наличии свободных мест и маршрутах. Специально уполномоченный национальный орган мог бы быть наделён правом собирать и передавать эту информацию.

Основная цель состоит в том, чтобы Члены лучше узнали друг друга. Страны обычно осведомлены о национальных возможностях и проблемах, но часто не надеются, что их соседи помогут им и устранят пробелы. Этого, несомненно, можно было бы достичь с помощью координации на региональном уровне. Сейчас подходящий момент, поскольку мир с нетерпением ждёт Десятилетия науки об океане в интересах устойчивого развития ООН, которое начнётся в январе 2021 года.

## Литература

Zacharias, D. C., and Fornaro, A. (2020), *Brazilian offshore oil exploration areas: an overview of hydrocarbon pollution* (дата обращения 23 декабря 2020 г.)

Carvalho, D. P. de (2018), *Meteorologia Antártica e a Segurança do Brasil. Revista Marítima Brasileira*, 138, pp. 133–145 (дата обращения 23 декабря 2020 г.)

# Организация работ по ликвидации разлива нефти и спасению в Индийском океане

Пьер Даниэль, МетеоФранс и Ренганаден Вирасами, Метеорологическая служба Маврикия

Аварии случаются. И как только они случаются, время имеет решающее значение, когда речь идёт о спасении людей, собирании повреждённых товаров и имущества и последующей очистке. Это особенно верно в море, где могут быть опасные и меняющиеся условия. Прогнозы и предсказания морской погоды, имеющие важнейшее значение для таких усилий, могут выполняться целым рядом национальных, региональных и международных организаций. Так было 25 июля 2020 года, когда сухогруз «Вакасио» сел на мель на коралловом рифе недалеко от Пуэнт-д'Эсни на юге Маврикия в Индийском океане.



Крушение судна «Вакасио» на юге Маврикия 21 августа 2020 года (© Cedre)

Судно с примерно 20 членами экипажа перевозило 3800 тонн жидкого топлива (низкосернистое судовое топливо), 200 тонн судового дизельного топлива и 90 тонн смазочного материала, но на момент крушения не было обнаружено никаких утечек. Тем не менее угроза была неминуема, и в действие был введён протокол реагирования на чрезвычайные ситуации. Метеорологическая служба сыграла критически важную роль.

Метеорологическая служба Маврикия (МСМ) в течение нескольких минут после сообщения о крушении предоставила всем компетентным органам информацию о состоянии моря во время

крушения и трёхдневные прогнозы погоды для района крушения, которые включали параметры ветра и волн. Власти Маврикия привели в действие национальный план борьбы с загрязнением и предупредили соседние страны, включая Францию (остров Реюньон). Первый расчёт дрейфа нефти, выполненный с помощью модели дрейфа MOTU Метеорологической службы Франции, показал, что утечка может очень быстро достичь побережья Маврикия, однако риски для острова Реюньон казались не очень высокими. МСМ продолжала два раза в день докладывать соответствующими органами власти о положении дел, предоставляя трёхдневные прогнозы состояния моря, ветра и волнения. Осуществлялся тщательный мониторинг наблюдений за волнением с помощью волномерного буя в районе Голубой бухты (2 км от места аварии), и данные регулярно передавались всем заинтересованным сторонам.

Затем, через несколько дней после крушения, береговая охрана Маврикия обнаружила небольшие утечки нефти в лагуне и установила вокруг «Вакасио» превентивные ограждения против загрязнения морской среды. Несмотря на значительные ресурсы, снять судно с мели не удалось.



Мангровые заросли, пострадавшие от загрязнения в Анс-Фовелле, Маврикий (© Cedre)

## Решающая роль прогнозирования морской погоды и состояния океана

6 августа ситуация ухудшилась: судно дало течь, и на поверхности моря наблюдалось нефтяное пятно. МСМ увеличила частоту передачи пятидневных прогнозов погоды на море, ветра и волнения до трёх раз в день. Пятидневные прогнозы основывались главным образом на данных модели Wavewatch III Национального управления по исследованию океанов и атмосферы США (НУОА) и данных наблюдений за волнением и ветром на море в реальном времени со станции МСМ в Голубой бухте для разработки точных прогнозов местных условий на море. Директор МСМ проводил ежедневные брифинги о морской погоде для Национального кризисного комитета (НКК), а также два раза в неделю брифинги для Национального комитета по управлению в кризисных ситуациях под председательством премьер-министра. Все решения по ликвидации разлива нефти и последствий аварии принимались на основе морских прогнозов.



*Первое место хранения отходов, собранных после разлива топлива, которые хранились в бочках (© Cedre)*

Командующий морской зоной южной части Индийского океана обратился за помощью к Метеорологической службе Франции и предупредил Комитет по дрейфу, возглавляемый ЦДИЭ<sup>1</sup>, с участием экспертов из МетеоФранс, Гидрографической и океанографической службы военно-морского флота Франции (СГОМ) и Французского

научно-исследовательского института по освоению моря (ИФРЕМЕР)<sup>2</sup>. МетеоФранс сделала прогнозы дрейфа, чтобы определить степень загрязнения лагуны для оценки рисков для побережья острова Реюньон. За пределами лагуны использовались прогнозы океанских течений Морской службы программы «Коперник».

Большая часть жидкого топлива была откачана на месте крушения 12 августа, и началась очистка побережья с участием многих местных добровольцев.

15 августа «Вакасио» раскололся надвое во время попытки буксировки. После этого прогнозы дрейфа включали дрейф обломков судна. 17 августа передняя часть судна была отбуксирована в море, и власти Маврикия решали, где её затопить. Метеорологическая служба Франции сделала прогнозы дрейфа для нескольких географических мест, чтобы определить, какие из них могут представлять опасность загрязнения для острова Реюньон. После этого анализа место затопления было смещено к северу.

Носовая часть затонула 24 августа. Корма всё ещё на месте. Загрязнение не повлияло на побережье острова Реюньон. Уровень загрязнения Маврикия оценивается от 600 до 1000 тонн. МСМ продолжает ежедневно выпускать ориентировочные 5-дневные прогнозы для НКК и НКУКС. Все метеорологические и морские данные, касающиеся этого события, архивируются для дальнейшего анализа и изучения.

<sup>1</sup> Центр документации, исследований и экспериментов в области аварийного загрязнения водной среды

<sup>2</sup> Institut français de recherche pour l'exploitation de la mer



**2021** Десятилетие науки об океане  
**2030** в интересах устойчивого развития  
Организации Объединённых Наций

*Этот специальный выпуск Бюллетеня ВМО, посвящённый океану, официально зарегистрирован в качестве вклада в Десятилетие науки об океане в интересах устойчивого развития Организации Объединённых Наций.*

ВМО выражает признательность следующим лицам за их помощь в редактировании этого специального выпуска Бюллетеня ВМО, посвящённого океану:

- Яну Лиску, президенту Комиссии ВМО по обслуживанию и применениям в областях погоды, климата, воды и соответствующих областях окружающей среды и руководителю подразделения по работе с партнёрами в области опасных явлений Метеорологического бюро Соединённого Королевства
- Томасу Дж. Кафу, председателю Постоянного комитета ВМО по морскому метеорологическому и океанографическому обслуживанию и директору подразделения по наблюдениям Национальной метеорологической службы Национального управления по исследованию океанов и атмосферы США
- Валу Свейлу, почётному работнику Министерства по окружающей среде и изменению климата Канады
- Джонатану Линну, руководителю подразделения по коммуникациям и взаимодействию со средствами массовой информации Межправительственной группы экспертов по изменению климата

## 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