



## **Научное заявление по криосфере Парижского призыва в защиту ледников и полюсов Земли**

**8-10 ноября 2023 г.**

### **ВВЕДЕНИЕ**

Криосфера горных и полярных районов имеет огромное значение для энергетического баланса планеты, круговорота воды, климатических обратных связей, биоразнообразия и человеческого общества. Однако в условиях продолжающегося глобального потепления, вызванного деятельностью человека, в мире наблюдается уменьшение ледяных покровов и ледников, повышение уровня моря, таяние вечной мерзлоты и морского льда, сокращение снежного покрова и нагревание полярных океанов. Два миллиарда человек и две трети орошаемых сельскохозяйственных угодий зависят от стока с гор, зачастую поступающего с ледников. К 2050 г. один миллиард человек, проживающих в низколежащих прибрежных зонах, столкнется с последствиями повышения уровня моря, вызванного в значительной степени таянием ледяных покровов Гренландии и Антарктиды.

В последних докладах МГЭИК и последующих научных исследованиях подчеркивается как быстрая, так и медленная, частично необратимая реакция криосферы на глобальное потепление. Отмечаются существенные пробелы в оценках рисков, а также в смягчении последствий и адаптации к ним на глобальном и местном уровнях, в частности, в управлении водными ресурсами. Утрата компонентов криосферы сопровождается возникновением локальных угроз и усугублением экстремальных явлений на региональном и глобальном уровнях. Эти последствия имеют существенное значение для определения социальных издержек, вызванных выбросами углерода, и страховой приемлемости. Крайне важно выявить и по возможности предотвратить самоусиливающиеся процессы с каскадными последствиями, которые невозможно эффективно остановить или обратить вспять.

В связи с этим ученые, занимающиеся вопросами криосферы, призывают обеспечить глобальное управление рисками посредством создания долгосрочных и масштабных международных коалиций для сокращения рисков, связанных с таянием льда. В 2023 г. вокруг Антарктиды наблюдался исключительно низкий уровень морского льда (-17% в июне 2023 г. по сравнению со средними показателями), что привело к нарушению цикла размножения императорских пингвинов. В Арктике по сравнению с серединой XX века увеличилось количество разрушений, вызванных лесными пожарами. В 2021-2022 гг. на

основе данных по 37 эталонным ледникам потеря массы ледников была примерно на 20% выше, чем в среднем за последнее десятилетие, с наибольшими экстремальными показателями в Альпах, высокогорных районах Азии, на западе Северной Америки, в Южной Америке и в некоторых районах Арктики. Новые исследования свидетельствуют о том, что нынешнее потепление на 1,2°C может вызвать утрату части Западно-Антарктического ледяного покрова даже при отсутствии дополнительного потепления по сравнению с текущими температурами. Такие наблюдения свидетельствуют о необходимости принятия безотлагательных мер и создания коалиций для ограничения утраты льда с целью сохранения управляемых пространств на нашей планете.

Приведенные ниже положения о состоянии ледников, морского льда, полярных океанов и вечной мерзлоты обобщают международные научные концепции, обсуждавшиеся в рамках Саммита по вопросам полюсов и ледников – Одна планета, который состоялся 8-9 ноября 2023 г. Ученые призывают к принятию срочных политических и социально-экономических мер, а также к внедрению новых масштабных международных и междисциплинарных подходов для снижения неопределенности и решения неизученных проблем в механизмах обратной связи между криосферой и здоровьем планеты:

#### **о Ледниковые покровы, ледники, круговорот воды и уровень моря**

С потерей ледниковых масс на континентах глобальный уровень моря неизбежно продолжит повышение, темпы которого будут зависеть, в частности, от малоизученных процессов, связанных с таянием льдов Гренландии, и особенно от взаимодействия между Южным океаном и крупными ледяными шельфами, плавающими на поверхности океана. Горные ледники являются основными источниками водоснабжения в районах, расположенных на пути следования водных потоков. С их утратой миллиарды людей столкнутся с риском нехватки значительных водных ресурсов, необходимых для сельского хозяйства в засушливый сезон, что чревато ростом напряженности и конфликтов.

#### **о Океан, морской лед, жизнь и атмосфера**

Являясь крупнейшим в мире поглотителем углерода и тепла, полярные океаны играют жизненно важную роль для биогеохимических циклов Земли, экосистем и жизнеобеспечения миллионов людей. Потеря морского льда серьезно влияет на энергетический баланс между Землей и космическим пространством, снижая термическую регуляцию и усиливая продолжающееся потепление. Кроме того, этот процесс влияет на уникальные полярные экосистемы (в дополнение к другим стрессовым факторам, таким как рыболовство, шум и загрязнение стойкими химическими веществами), создавая серьезную угрозу для существования многих коренных общин Севера и вызывая необратимую утрату биоразнообразия. Флора и фауна горных и полярных районов находится на пределе возможностей, видам становится некуда мигрировать в условиях потепления климата, и в результате им грозит вымирание.

#### о Вечная мерзлота и геориски

В бореальной и арктической вечной мерзлоте содержится примерно в два раза больше углерода, чем в нынешней атмосфере. В условиях увеличения риска лесных пожаров существует низкая степень уверенности в сроках, объеме, тенденциях и распределении потоков парниковых газов CO<sub>2</sub> и CH<sub>4</sub>, вызванных будущим таянием. Таяние вечной мерзлоты в полярных и высокогорных районах представляет собой все более серьезную гео- и биологическую опасность, оказывая негативное влияние на инфраструктуру, людей, объекты наследия и дикую природу.

В свете этого научное сообщество призывает к последовательным скоординированным действиям для предотвращения крайне неблагоприятных и необратимых последствий исчезновения криосферы:

1. Решительно и в срочном порядке сократить глобальные выбросы парниковых газов, постепенно прекратить новые инвестиции в ископаемое топливо и ликвидировать отставание в достижении целей Парижского соглашения.
2. Расширять знания в отношении потенциальных рисков и экстремальных ситуаций, возникающих в результате утраты криосферы. Изучать механизмы обратной связи в криосфере в отношении физических, биологических и социальных кризисных точек, представляющих риск для здоровья людей и планеты. Эта деятельность потребует значительных совместных усилий по мониторингу и анализу происходящих процессов, их количественной оценке и прогнозированию, а также информированию директивных органов. Для этого необходимо обеспечить стабильную долгосрочную поддержку.
3. Учитывать каскадные социально-экономические последствия таяния льда и смягчать их путем более эффективного управления рисками. При этом необходимо принимать во внимание интересы коренных и других общин, населяющих высокогорные и высокоширотные районы. Для решения проблемы остаточного риска, приводящего к убыткам и ущербу, необходимо внедрять механизмы солидарности.
4. Ускорить политические процессы, обеспечивающие защиту криосферных экосистем для снижения давления на экосистемы высоких широт и высокогорий и повышения их устойчивости.
5. Поддерживать комплексные международные научные инициативы и миссии по расширению знаний о криосфере, разработанные научными сообществами.
6. Улучшить воздействие на окружающую среду и обеспечить устойчивость наблюдений за криосферой, развития инфраструктуры и обмена данными для всех сообществ, работающих в полярных и высокогорных условиях.

# Ледниковые покровы, ледники, круговорот воды и уровень моря

## КОНТЕКСТ

В полярных регионах и горных районах расположены крупнейшие ледяные поля Земли, на которые в настоящее время воздействует усиливающееся потепление климата. Полярные регионы, особенно Арктика, нагреваются в четыре раза быстрее по сравнению со среднемировыми показателями, и на сегодняшний день именно они в наибольшей степени способствуют повышению уровня моря. Антарктические ледяные покровы удерживают порядка 58 м потенциального глобального повышения уровня моря (Западно-Антарктический ледяной покров около 6 м, Восточно-Антарктический ледяной покров около 52 м), а Гренландский ледяной покров около 7 м.

Ледяные покровы также представляют собой большой «архив» данных о

реакции льда на прошлые периоды климатических изменений. Пузырьки воздуха, содержащиеся в ледяных ядрах, дают уникальную информацию о колебаниях уровня CO<sub>2</sub> и других парниковых газов за последние 800 000 лет. На основании этих данных было установлено, что уровень CO<sub>2</sub> никогда не поднимался выше 280 частей на миллион на протяжении последних 800 000 лет. С 1800-х гг. уровень углекислого газа вырос на 50% по сравнению с доиндустриальным уровнем и в настоящее время составляет порядка 420 частей на миллион. Эта уникальная информация предоставила нам важные сведения о циклах состояния ледяных покровов в прошлом и особенно о тенденции отступления ледяных покровов в предыдущие периоды потепления.

Спутниковые наблюдения подтверждают, что ледяные щиты Гренландии и Антарктиды активно реагируют на потепление как атмосферы, так и океана. Шельфовые ледники, окаймляющие Антарктиду, подвержены воздействию теплых океанических вод, которые проникают под них из-за усиления ветров, растапливая ледяные шельфы снизу. Потеря ледяных шельфов, которые защищают ледники от окружающего океана, уже привела к нарушению стабильности льда на Антарктическом полуострове и в Западной Антарктиде, и одно это может привести к повышению уровня мирового океана больше чем на 1 м к 2100 году, если потепление климата не прекратится. Аналогичным образом, гренландские ледники, которые заканчиваются в Северном

Ледовитом океане, подвергаются воздействию потепления вод Атлантического океана и начинают таять, что также приводит к повышению уровня моря. В целом, с 1990-х гг. темпы таяния льда в Антарктике и Гренландии увеличились более чем в четыре раза.

Потери ледникового покрова Гренландии и Западной Антарктиды приводят к необратимым и самоусиливающимся изменениям, которые могут продолжаться на протяжении жизни многих поколений, даже если глобальное потепление будет остановлено или обращено вспять. Массивный Восточно-Антарктический ледяной щит, который когда-то считался стабильным на долгие годы вперед, демонстрирует признаки истончения и отступления некоторых ледников. Недавние исследования критических точек касаются дальнейших фундаментальных рисков ускоренной потери их массы.

Таяние обширных ледяных покровов в полярных районах вызывает глобальное повышение уровня моря, которое затронет миллиарды людей, живущих в прибрежных зонах по всей планете. Каждый сантиметр повышения уровня моря приводит к тому, что еще 2-3 миллиона человек ежегодно оказываются в эпицентре наводнений. Обеспечение более точного прогнозирования темпов и масштаба глобального повышения уровня моря имеет решающее значение для оценки рисков и принятия мер по защите людей и их источников жизнеобеспечения, крупных городов и

промышленных цепочек поставок, многие из которых расположены в прибрежных зонах. Для более точного прогнозирования повышения уровня моря требуется лучшее понимание процессов, влияющих на нестабильность ледяного покрова Антарктики; в некоторых моделях прогнозируется повышение уровня моря до 2 метров к 2100 г.

Накопление  $\text{CO}_2$  в прошлом уже привело к повышению уровня моря на 30-60 см. Уровень моря будет продолжать быстро повышаться, поскольку дальнейшее потепление повлияет на стабильность ледяных покровов в будущем. При повышении среднего глобального уровня моря более частые экстремальные погодные явления будут наносить больший ущерб и приводить к большим убыткам для прибрежных зон и населенных районов, увеличивая эрозию побережья, оползни, затопление грунтовых вод, проникновение соленой воды и загрязнение водоносных горизонтов.

Такие горные районы, как Альпы, Анды, Гималаи и Скалистые горы теряют свой ледяной покров. Эти ледники и выпадающий снег обеспечивают снабжение талой водой в засушливые сезоны, поддерживая жизнедеятельность шестой части населения планеты и поступление четверти ВВП. Две трети орошаемых сельскохозяйственных угодий зависят от поступления стока с этих ледяных массивов. По прогнозам, в ближайшие 30 лет они потеряют от 10 до 40% своего снежного покрова, что соответствует сотням кубических километров водных

ресурсов. К концу столетия горные ледники потеряют от 20 до 60% льда.

Эта ситуация создает глобальную угрозу для обеспечения водой, продовольствием, энергией и средствами к существованию сотен миллионов людей. Однако пока совершенно неясно, какой объем воды обеспечивает горная криосфера и как изменится ее роль. Несмотря на то что этот вопрос считается вопросом первостепенной важности (Призыв к действиям в отношении высокогорных районов, ВМО, 2019 г.), на сегодняшний день еще не существует глобальной инициативы по измерению водных ресурсов в горах.

Покрытые льдом участки в полярных регионах и высокогорных районах сокращаются, обнажая почву, на которой появляются новые виды растений, и темпы их роста увеличиваются, даже в наземных районах Антарктики. Экстремальные погодные явления, более засушливые погодные условия и потепление приводят к смене видов растений, таких как мхи и лишайники. Кроме того, свободные ото льда участки в полярных районах все больше колонизируются морскими птицами и тюленями. На некоторых новых открытых участках в холодных районах прижились и чужеродные виды, хотя для полного понимания изменений, происходящих в наземных системах по мере сокращения ледниковых ландшафтов, требуется гораздо более тщательный мониторинг. Необходимо изучить, исчезают ли ледниковые микробиомы, о которых нам пока мало что известно.

Горные ледники и сезонный снежный покров в их окрестностях являются объектами наследия непревзойденной красоты, популярными зонами туризма и зимних видов спорта, гарантирующими финансовые ресурсы и поддерживающими качество жизни местного населения. Эти объекты уже сталкиваются с последствиями таяния ледников и их отступления на все более высокие уровни.

## ПРИОРИТЕТЫ

1. **Прогнозирование изменения уровня моря.** Основной угрозой, связанной с таянием полярных льдов, является повышение уровня мирового океана и его последствия для населения и инфраструктуры прибрежных районов. Очень важно в срочном порядке уменьшить эти угрозы и улучшить прогнозы повышения уровня моря, как в отношении сроков, так и в отношении масштабов. Для достижения этой цели необходимо поддерживать международные усилия по моделированию как в плане вычислительной инфраструктуры, так и в плане разработки моделей и предоставления необходимых людских ресурсов. Управление последствиями повышения уровня моря и рисками для прибрежных районов требует регулярного обновления информации. Чрезвычайно важно принять меры по решению проблем, связанных с миграцией перемещенного



населения из затопленных низинных регионов.

2. **Взаимодействие льда и океана.** Для улучшения будущих прогнозов сокращения ледового покрова Гренландии и Антарктиды необходимо лучше изучить взаимодействие океана и льда, циркуляцию океанических вод и связанную с ней скорость таяния под ледяными шельфами, а также динамику льда в прибрежной зоне и нестабильность морского ледяного покрова. Для этого требуются более качественные наблюдения с использованием инновационных технологий для мониторинга и измерения изменений на местах, постоянные и расширенные спутниковые наблюдения и усовершенствование физических характеристик, связанных с океаном и льдом цифровых моделей, разработанных с использованием искусственного интеллекта, для предоставления обновленной информации о будущем повышении уровня моря директивным органам и специалистам.
3. **Климат прошлых эпох.** Ледяные покровы, ледники и осадочные породы являются важным источником информации о климатических условиях прошлых эпох. Необходимо в срочном порядке провести дополнительные наблюдения за этими палеоклиматическими источниками данных (кернами льда и осадочных пород), чтобы понять, было ли отступление ледяного покрова в прошлом постепенным процессом или же оно характеризовалось более

резкими и нестабильными явлениями. Подобные исследования необходимы для изучения физических процессов динамики ледяного покрова, взаимодействия атмосферы и ледяного покрова, взаимодействия океана и ледяного покрова и нестабильности ледяного покрова в моделях, используемых для прогнозирования.

4. **Водные ресурсы.** Необходимо получить более полное представление о запасах водных ресурсов, обеспечиваемых льдом и снегом в горных районах, что требует проведения более тщательного мониторинга, исследований на местах, спутниковых наблюдений и усовершенствованного моделирования. При этом крайне важно, чтобы эта работа проводилась в сотрудничестве с местным населением, специалистами-практиками и директивными органами для обеспечения того, чтобы будущие изменения состояния водных ресурсов были учтены в стратегиях управления рисками и адаптации.
5. **Опасности.** Очень важно отслеживать и оценивать риски стихийных бедствий, вызванных таянием горных ледников, таких как прорывы ледниковых озер, а также камнепады и оползни.
6. **Экосистемы.** Воздействие таяния льда на экосистемы, как в высокогорье, так и в прибрежных районах и океанах, пока недостаточно изучено. Необходимо проводить мониторинг для оценки того, какие экосистемы образуются и

как они формируются на недавно открывшихся участках, которые нуждаются в специальном управлении и защите от инвазивных видов.

7. **Сотрудничество.** Проведение таких наблюдений в отдаленных и труднодоступных полярных и высокогорных районах является дорогостоящим, энергозатратным, трудоемким и сложным процессом. Наиболее эффективно, результативно и безопасно исследования могут проводиться крупными многопрофильными исследовательскими группами, совместно использующими инфраструктуру и разделяющими расходы.

8. **Действия.** Для решения этих серьезных задач ключевое значение имеют международные действия; их неотложность предполагает привлечение больших групп специалистов, обладающих взаимодополняющими знаниями и опытом и работающих в тесном сотрудничестве над сбором новых данных с совместным использованием крупных инфраструктур. Инициатива Antarctica InSync представляет собой новый проект, который объединит полярное сообщество для планирования и реализации программы синхронных измерений различных аспектов окружающей среды Антарктиды, чтобы понять влияние изменения климата на континент и его океан и предоставить более точные прогнозы в интересах всей планеты. Для Арктики крупномасштабные

программы по изучению взаимодействия суши и океана находятся на стадии планирования. Необходимо оказывать более эффективную поддержку созданию международного потенциала в целях подготовки следующего поколения международных ученых в области криосферы.

# Океан, морской лед, жизнь, и атмосфера

## КОНТЕКСТ

Морской лед является неотъемлемой частью океанов высоких широт и ключевым системным индикатором изменения климата на Земле. Морской лед представляет собой замерзшую морскую воду, он расширяется зимой в каждом полушарии и тает летом. Белая поверхность морского льда отражает солнечную энергию (альбедо), охлаждая планету. Морской лед оказывает значительное влияние на скорость движения океана и воздуха, тепло- и газообмен. При его таянии более темный океан поглощает больше тепла, усиливая цикл таяния морского льда. Морской лед также является средой обитания для целого ряда



живых организмов, от микробов до китов, и большого количества разнообразных птиц, многие из которых являются эндемичными видами. Утрата морского льда, особенно многолетнего и прибрежного морского льда, ставит под угрозу жизнь в полярных районах. Морской лед обеспечивает перенос материалов, создает барьер против потери ледникового покрова и защищает береговую линию от волн и эрозии. Способствуя мобильности человека, он являлся фактором экспансии и развития культуры гоминидов еще до появления *Homo sapiens* и по сей день остается ключевым элементом человеческой культуры и средств к существованию.

Полярные океаны приводят в движение «конвейерную ленту» океана. Южный океан играет особенно важную роль в качестве глобального поглотителя тепла и CO<sub>2</sub>. Когда холодная полярная вода опускается, она приносит кислород и растворенные органические вещества, а также переносит загрязняющие вещества в глубоководные слои океана. Потоки радиационного тепла и пресной воды, образующиеся в результате увеличения количества осадков, стока и таяния морского льда и ледяных покровов, увеличиваются, усиливая тем самым поверхностную стратификацию. Потепление океана имеет серьезные климатические последствия для таяния гренландских морских трансграничных ледников, а также для антарктических ледяных шельфов и ледяных покровов, усиливая тем самым повышение уровня моря и, возможно, циркуляцию океанических вод в более низких широтах. Сложные и малоизученные

процессы включают океанические вихри, тропико-полярные взаимодействия, внутреннее потепление и изменения стратификации, а также будущую способность поглощать CO<sub>2</sub> с помощью физического и биологического углеродного насоса.

На протяжении истории Земли морской лед периодически присутствовал в гораздо более низких широтах. Играя важную роль для эволюции микроорганизмов на Земле, он, возможно, является потенциальной средой существования жизни во внеземных океанических мирах. Роль морского льда как основного биома на Земле и неотъемлемой части функционирования полярных экосистем еще предстоит изучить. Для установления исходных данных о состоянии экосистем, связанных с морским льдом, на счету каждая секунда, учитывая стремительные изменения, затрагивающие полярный морской лед, особенно его самые древние слои. С утратой древних морских льдов в Арктике мы можем потерять наиболее достоверную аналоговую модель условий, преобладавших в прошлые ледниковые периоды и в других океанических мирах.

Что касается продуктивности полярного океана, то отсутствие временных рядов с надлежащим сезонным и региональным разрешением ограничивает наше понимание влияния потепления. Спутниковые наблюдения свидетельствуют в основном об увеличении биомассы фитопланктона в

Северном Ледовитом и Южном океанах за последние 20 лет, поскольку сокращение морского льда усиливает проникновение света. Однако одновременные изменения стратификации, включая увеличение переноса импульса между воздухом и морем, усиливают перемешивание океана, что влияет на поступление питательных веществ, поэтому прогнозы на будущее носят весьма неопределенный характер.

Диатомовые водоросли, являющиеся основными компонентами продуктивности в полярных условиях, в результате потепления океана заменяются более мелкими водорослями, изменяя пищевую сеть и потенциально снижая эффективность углеродного насоса. Потеря морского льда ставит под угрозу существование криля, рыбы, морских млекопитающих и морских птиц, поскольку они находят на нем пищу и используют его в качестве зоны для размножения, что приводит к тревожному массовому нарушению репродуктивных процессов в колониях императорских пингвинов и пингвинов Адели. Потеря морского льда также влияет на жизнь микроорганизмов и, следовательно, на всю пищевую сеть. В то время как экспансия новых видов на север в Северный Ледовитый океан из Тихого и Атлантического океанов была задокументирована на всех трофических уровнях, реальные причины (например, изменения в распределении водных масс, течениях, свойствах морской воды или динамике морского льда) остаются неясными, что ограничивает наши возможности

делать какие-либо прогнозы относительно эволюции морских экосистем.

При текущем уровне глобального потепления в  $0,2^{\circ}\text{C}$  потеря морского льда в Арктике, наблюдаемая с 1978 года, составляет 3% за десятилетие в зимнее время и 13% летом. Значительная часть многолетнего морского льда сменилась однолетним, более тонким и подвижным морским льдом. Существует тесная взаимосвязь между изменениями летнего морского льда в Арктике, суммарными выбросами  $\text{CO}_2$  и глобальной температурой поверхности Земли, и в результате на каждую тонну выбросов  $\text{CO}_2$  приходится порядка 3 квадратных метров потери арктического морского льда. В Антарктике с 1979 по 2020 гг. не было выявлено значительной тенденции изменения состояния морского льда (летнего или зимнего), что объясняется большой внутренней изменчивостью и контрастными региональными тенденциями. Однако там уже два года наблюдается исключительно низкий покров морского льда (в июне 2023 г. -17% по сравнению со средним значением).

Влияние человека является основным фактором отступления арктического морского льда. Земля нагревается, поскольку выбросы парниковых газов и их концентрация в атмосфере продолжают расти. 91% этого избыточного тепла накапливается в океане, причем половина из него приходится на Южный океан. 3% приводит к таянию криосферы, 5% – к потеплению суши и 1% – к потеплению

нижних слоев атмосферы. Таким образом, потепление океана будет представлять все большую угрозу для будущего морского льда. На морской лед воздействуют дополнительные усиливающие обратные связи, которые затрагивают альbedo поверхности, водяной пар, облака, осадки в виде снега, потоки воздух-море, в совокупности вызывая полярное усиление. Однако степень, в которой стабилизирующие обратные связи, обусловленные физическими и биологическими процессами, могут ослабить усиление, недостаточно хорошо изучена, что увеличивает неопределенность. Например, было предложено производить климатически активные газы, такие как диметилсульфид, или аэрозольные микробные частицы, образующие лед, которые способствуют формированию облаков в районах, недавно освободившихся ото льда. В частности, в Арктике загрязняющие вещества с большим радиусом распространения, такие как черный углерод, переносимый из интенсивно развивающихся промышленных районов на более низких широтах, действительно способствуют уменьшению альbedo морского льда и, следовательно, его таянию.

За последние 40 лет потепление в Арктике происходило в 4 раза быстрее по сравнению со среднемировым показателем. Согласно сценариям и моделям развития, оцененным в докладе МГЭИК AR6 2021, уже к 2030-2035 гг. существует вероятность наступления первого лета безо льда (<15% ледяного покрова) для Северного

Ледовитого океана и, по крайней мере, один раз до 2050 г., что связано с кумулятивными выбросами  $\text{CO}_2$ , достигающими 1000 гигатонн. Недавние изменения связаны с закономерностями атмосферной циркуляции, с устойчивыми последствиями, обусловленными потеплением океана и, возможно, новым состоянием антарктического морского льда. Поглощение тепла в Южном океане составляет более 50% глобального поглощения тепла океаном.

Пробелы в научных знаниях касаются, прежде всего, взаимодействий между сушей и океаном, льдом и атмосферой, океаном и ледниками, а также морем, льдом и жизнью на планете. В условиях потепления климата, интенсификации круговорота воды и его изменчивости необходимо лучше изучить будущие изменения количества осадков, включая снег, а также изменения динамики атмосферной циркуляции и ветров. Изменения в крупномасштабном распределении водных масс, в частности между Атлантическим и Северным Ледовитым океанами, во взаимосвязи между пресными и холодными поверхностными водами и теплыми и солеными глубинными водами, включая перемешивание океана, а также в цикле и динамике формирования/таяния морского льда (адвекция, торошение, зацепки, талые водоемы) еще больше усугубляют воздействие глобального потепления на полярный лед. Отсутствие долгосрочных временных рядов с адекватным региональным

разделением для получения циркумполярных оценок изменений имеет решающее значение для повышения достоверности прогнозов. Основные потребности заключаются в прогнозировании роли десятилетней динамики и взаимосвязей таких явлений, как Эль Ниньо, Североатлантическая осцилляция, а также стабильности Атлантической меридиональной опрокидывающей циркуляции, Антарктического циркумполярного течения и их связи с морским льдом. Состояние морского льда прямо и косвенно влияет на пищевые сети и биологические взаимодействия – от микроорганизмов до криля, рыб, китов и птиц, а также на бентосные организмы, включая глубоководных обитателей. Сохраняются большие пробелы в знаниях относительно общего разнообразия полярной жизни и ее динамики, ее взаимодействия с химическим составом океана, т.е. образования аэрозолей, растворенных веществ, потоков частиц, а также ее влияния на экономическое развитие, здоровье и благополучие людей.

## ВОЗДЕЙСТВИЕ И РИСКИ

→ Полярные океаны подвергаются воздействию изменения климата со значительными последствиями, и к 2050 г. их состояние существенно изменится.

→ Последствия сокращения полярного морского льда могут ощущаться во всем мире, сказываясь в том числе и на погодных условиях.

→ Таяние морского льда, потепление и закисление океана сокращают доступную среду обитания для многочисленных полярных морских видов, включая многие виды моллюсков, рыбы и морских млекопитающих, открывая при этом доступ для инвазивных бореальных видов. Воздействие существующих (например, рыболовство) и новых неблагоприятных факторов, таких как загрязнение пластиком и стойкими химическими веществами, а также шум может усугубить негативные последствия для полярных морских видов.

→ Сокращение морского льда ведет к расширению возможностей, но также и к увеличению рисков, связанных с развитием и интенсификацией судоходства, рыболовства, туризма, освоения ресурсов и других отраслей промышленности, а также к обострению геополитической напряженности.

→ Таяние морского льда и экстремальные явления, возникающие в результате потепления климата, влияют на образ жизни и средства к существованию арктических общин. Более интенсивные климатические изменения все больше представляют угрозу для многих аспектов их жизни (культура, наследие, самобытность, здоровье, включая психическое здоровье, и безопасность), особенно применительно к коренным народам.

## ПРИОРИТЕТЫ В УПРАВЛЕНИИ

1. Ученые призывают принять новые международные обязательства в

области сокращения выбросов парниковых газов, чтобы ограничить глобальное потепление как можно ближе к 1,5°C и достичь чистого нулевого уровня выбросов CO<sub>2</sub> в максимально короткие сроки и с наименьшими кумулятивными выбросами. Эта важная цель позволит избежать дальнейшего значительного сокращения морского ледяного покрова и смягчить экстремальные погодные явления в глобальном масштабе, предотвращая тем самым увеличение потерь и убытков, а также затрат на меры по адаптации и связанные с адаптацией ограничения.

2. Для достижения целей Парижского соглашения и Куньминско-Монреальской рамочной программы необходимо развивать международное сотрудничество в целях защиты полярных океанов (например, как это предусмотрено в Хельсинкской декларации по изменению климата, принятой на консультативном совещании по Договору об Антарктике, 2023 г.).
3. Для снижения давления на полярную среду, вызванного интенсификацией и расширением деятельности человека, ключевой мерой является создание морских и наземных охраняемых территорий, для которых необходимо принятие новых международных обязательств, подкрепленных научными данными. Для планирования и поддержания функционирования этих территорий важно развивать сотрудничество и

содействовать самоопределению коренных общин.

4. Устранение пробелов в образовании и грамотности, информации и прогнозировании в области криосферы является важным фактором для нашего общества. Необходимо содействовать более глубокому пониманию процессов, разработке инструментов моделирования и проведению передовых исследований, том числе в отношении последствий для среды обитания, обеспеченности водными ресурсами и продовольствием, безопасности людей, существования уникальных экосистем и биоразнообразия, обеспечения справедливости, а также для экономики, включая страховую приемлемость.
5. Перспективы состояния криосферы должны быть включены в оценки стоимости выбросов углерода, стоимости адаптации, пределов адаптации, а также в планирование фондов для покрытия убытков и ущерба.
6. Развитие местной инфраструктуры для повышения устойчивости к изменению климата и утрате морского льда с учетом, в частности, самоопределения коренных народов.

## НАУЧНЫЕ ПРИОРИТЕТЫ

1. Оказание долгосрочной поддержки в проведении международных программ по изучению морского льда, океана, биосферы и атмосферных

в Арктике и Антарктике, включая инфраструктуру (например, международные программы по использованию буев для морского льда и буев Арго, флот полярных исследовательских судов, исследовательские самолеты и станции), а также крупные международные миссии (например, в рамках полярной станции Тара, инициативы Antarctica InSync и Международного полярного года), входящих в состав международных сетей наблюдений и инициатив и координируемых с ними.

2. Активное укрепление сотрудничества между космическими, океаническими и полярными агентствами для запуска полярных орбитальных спутников, последовательного распространения данных наблюдения Земли для полярных регионов, разработки новых миссий, новых продуктов и алгоритмов, а также проведения специальных полевых экспедиций для проверки данных аэрофотосъемки на местности. Улучшение доступности данных FAIR.
3. Региональное сотрудничество, многоуровневые сети по сохранению биоразнообразия и морской среды (мониторинг и управление), расширение научно обоснованных ресурсов для укрепления моделей жизнестойкого и устойчивого развития.
4. Нарастание исследовательского потенциала с использованием новых передовых научных знаний для изучения биоразнообразия морского льда.
5. Финансирование развития потенциала, создаваемого местными общинами и в сотрудничестве с ними, для удовлетворения как местных, так и глобальных научных потребностей, и максимального расширения регионального сотрудничества и деятельности в целях повышения устойчивости круглогодичных полярных исследований.
6. Трансформация полярной инфраструктуры для разработки решений по снижению выбросов углерода и экологического следа при проведении исследований, а также для передачи данных в режиме реального времени.
7. Доступные и ориентированные на конкретный контекст информационные продукты и инструменты для изучения морского льда, региональное прогнозирование и прогнозы, позволяющие оказать поддержку в принятии решений.
8. Комплексная интерактивная модель полярных морей с использованием данных (цифровой двойник), включая модули управления рисками (адекватные и соответствующие меры реагирования на чрезвычайные ситуации и адаптация к ним) и руководство стратегиями наблюдения.



# Вечная мерзлота и геориски

## КОНТЕКСТ

Примерно одна пятая часть поверхности суши Северного полушария покрыта вечной мерзлотой. Она простирается на значительной части Аляски, Канады, России и Цинхай-Тибетского нагорья, а также встречается в северной Скандинавии, Антарктиде и высокогорных районах по всему миру. Наиболее густонаселенные и освоенные ландшафты с вечной мерзлотой находятся в Альпах. Многие зоны вечной мерзлоты содержат ценные минеральные ресурсы, к освоению которых стремятся люди. Проектирование и строительство большинства объектов инфраструктуры в районах вечной мерзлоты основано на том, что грунт остается замерзшим.

В полярных районах климатические изменения происходят в несколько раз интенсивнее, чем на остальной части земного шара. Такие изменения проявляются в температуре и становятся заметными с точки зрения объема осадков. Темпы изменения климата соответствуют или превышают самые высокие показатели, прогнозировавшиеся 20 лет назад. Вечная мерзлота – это, по сути, климат

земли, поэтому температура вечной мерзлоты повышается во всех полярных и высокогорных районах, а приповерхностная вечная мерзлота оттаивает.

В последнее десятилетие возросли геологические и биологические риски, связанные с таянием грунта, такие как береговая эрозия, оползни, разливы нефти, выбросы захороненных промышленных отходов и природных загрязняющих веществ, таких как ртуть, древние вирусы, а также выбросы метана и CO<sub>2</sub> из органических веществ, которые в настоящее время удерживаются в вечной мерзлоте. Такие региональные выбросы углерода приобретают масштабы, имеющие глобальные последствия. Таяние льдов ускорило после пожаров в лесах, которые покрывают около половины территории вечной мерзлоты и которые ежегодно уничтожают все более значительные площади по сравнению с прошлыми периодами. Для коренных народов Севера непосредственное значение имеют физические угрозы объектам наследия и популяциям диких животных, поскольку биом вечной мерзлоты содержит ограниченное биоразнообразие, что делает экосистемы уязвимыми в случае их разрушения. Для жителей высокогорных районов серьезной проблемой является потеря водоснабжения по мере оттаивания вечной мерзлоты и проникновения поверхностных вод в грунт.

Научные и инженерные исследования вечной мерзлоты представляют собой сложную задачу, отчасти из-за высокой

стоимости работы в удаленных районах. В прошлом люди, проживающие в районах вечной мерзлоты, играли относительно незначительную роль в научных исследованиях. Для того чтобы политика и политические решения, принимаемые в Арктике, в полной мере учитывали научный прогресс, необходимо лучше сбалансировать эту роль на всех этапах разработки программ. Население, частные и государственные учреждения, расположенные в районах вечной мерзлоты, сталкиваются с ухудшением состояния построенной инфраструктуры и доступа к земельным ресурсам, возникающими рисками и непредсказуемыми темпами изменения окружающей среды, а также с необходимостью смягчения последствий и адаптации с учетом местных условий, способствующих экономическому развитию.

## ПРИОРИТЕТЫ

1. Необходимо признать неизбежность значительных изменений в среде вечной мерзлоты и ее способности поддерживать инфраструктуру в ее нынешнем виде. Следует в срочном порядке принять меры по адаптации проектирования и строительства инфраструктуры к оттаивающим грунтам. Для снижения риска нанесения ущерба людям и инфраструктуре, особенно в высокогорных районах, необходимо обеспечить мониторинг состояния вечной мерзлоты, обмен данными и регулярное обновление отчетов.
2. Вопрос о сроках и темпах прогнозируемых выбросов CO<sub>2</sub> и метана из оттаивающей вечной мерзлоты требует приоритетного внимания со стороны научного сообщества. Необходимо усовершенствовать динамическое моделирование выбросов из вечной мерзлоты с учетом различных потенциальных будущих климатических траекторий, в том числе роли микробиологической активности. Следует найти геополитические решения, способствующие проведению всесторонних научных оценок этой экзистенциальной проблемы для всех районов вечной мерзлоты.
3. В исследованиях необходимо уделять больше внимания социально-экономическим аспектам предполагаемых потерь и убытков от таяния криосферы и связанных с ним экологических изменений, а также адаптации, особенно финансовым последствиям таяния вечной мерзлоты для государственных учреждений, страховых компаний и частного сектора. Аналогичным образом, необходимо уделять особое внимание аспектам окружающей среды, влияющим на здоровье людей и дикой природы, от которой они зависят, в частности, распределению и плотности видов, имеющих ключевое значение для экологической и продовольственной безопасности.
4. Важное значение при проведении исследований и обсуждении вопросов адаптации к последствиям изменения климата и управления ими имеет более активное участие

коренных народов и другого населения криосферных регионов. Для обеспечения такого участия необходимо улучшить просвещение и профессиональную подготовку.

5. Выбросы от лесных пожаров и других разрушительных явлений, включая береговую эрозию, в настоящее время носят постоянный характер и ставят под угрозу усилия общества по достижению чистого нулевого выброса углерода. Ускоренное оттаивание вечной мерзлоты в результате этих явлений способствует увеличению выбросов углерода из вечной мерзлоты на протяжении десятилетий. Необходимо провести специальные исследования выбросов метана и CO<sub>2</sub> на выгоревших и прибрежных территориях, включая участки, доступ к которым возможен только с помощью дистанционного зондирования.
6. Необходимо признать как высокую стоимость полевых исследований в отдаленных районах, так и их существенную роль в подтверждении теоретических выводов и результатов наблюдений с помощью дистанционного зондирования. Некоторые затраты могут быть снижены за счет более

активного участия учреждений и организаций, расположенных в районах вечной мерзлоты.

7. Наконец, необходимо обеспечить стабильную поддержку международных усилий по архивированию, управлению и открытому доступу к данным, касающимся изменения состояния вечной мерзлоты, включая обширные данные дистанционного зондирования.

Научное заявление было подготовлено следующими специалистами при поддержке участников Саммита по вопросам полюсов и ледников – Одна планета:

### **Научный консультативный совет**

**Антъе Боэтьюс**, сопредседатель, специалист по полярным и глубоководным районам, директор Института Альфреда Вегенера, Центр полярных и морских исследований им.Гельмгольца. Руководила многочисленными международными полярными экспедициями, посвященным главным образом вопросам влияния изменения климата на экосистемы. В настоящее время консультирует политических деятелей и представителей гражданского общества в качестве члена Национальной академии Германии.

**Жером Шаппеллаз**, сопредседатель, гляциолог, геохимик и палеоклиматолог. Профессор Швейцарского федерального технологического института в Лозанне (EPFL), директор по исследованиям в Национальном центре научных исследований (CNRS), бывший директор Французского полярного института им.Поль-Эмиля Виктора (IPEV) и председатель фонда «Память льда».

**Лисс Мари Андреассен**, преподаватель и научный сотрудник в области гляциологии в Норвежском управлении водных ресурсов и энергетики (NVE) и председатель Международной ассоциации криосферных наук (IACS).

**Николь Бибоу**, председатель Европейского полярного совета и руководитель отдела международного сотрудничества Института Альфреда Вегенера, Центр полярных и морских исследований им.Гельмгольца в Германии. Также является координатором проекта EU-PolarNet 2 и Консорциума арктических исследовательских ледоколов (ARICE), финансируемого Европейским союзом.

**Стивен Чаун**, профессор биологических наук в университете Монаша (Австралия), бывший председатель международного Научного комитета по антарктическим исследованиям (SCAR).

**Гвенн Флауэрс**, профессор факультета наук о Земле университета Саймона Фрейзера (Канада) и председатель Международного гляциологического общества (IGS).

**Йедонг Ким**, геофизик, председатель Научного комитета по антарктическим исследованиям (SCAR), бывший директор Корейского института полярных исследований (KOPRI) и председатель Корейского национального комитета по полярным исследованиям.

**Валери Массон-Дельмонтт**, палеоклиматолог и директор по исследованиям Лаборатории наук о климате и окружающей среде (LSCE) Французской комиссии по атомной и альтернативным источникам энергии (CEA). Также является бывшим заместителем председателя Рабочей группы 1 по подготовке шестого оценочного доклада МГЭИК (AR6).

**Тамбан Мелот**, специалист по вопросам криосферы, палеоклиматологии и гималайской гляциологии. Директор Национального центра полярных и океанических исследований (NCPOR) в Индии.

**Дженнифер Мерсер**, специалист по наукам о Земле, председатель Форума операторов в сфере арктических исследований (FARO, руководитель секции по арктическим наукам в Национальном научном фонде США).

**Дахэ Цинь**, специалист в области криосферы, климатологии и географии, член Китайской академии наук, председатель Исполнительного комитета Азиатского географического общества и бывший сопредседатель Рабочей группы 1 по подготовке 4-го и 5-го оценочных докладов МГЭИК (AR4&5).

**Джефферсон Симоес**, профессор гляциологии и полярной географии в Федеральном университете Рио-Гранде-ду-Сул (UFGRS) и директор Бразильского национального института криосферных наук. Также является заместителем председателя Научного комитета по антарктическим исследованиям (SCAR).

### **Модераторы сессии**

Помимо Антье Бозтиус, Джефферсона Симоеса и Николь Бибоу, которые также выступали в качестве модераторов научных сессий:

**Джейн Фрэнсис**, палеоклиматолог и палеоботаник, директор Британской антарктической службы, Великобритания

**Марсель Бабен**, океанограф, директор по исследованиям Национального центра научных исследований (CNRS), директор Международной исследовательской лаборатории Такувик (CNRS/университет Лавалья), Канада

**Кристофер Берн**, специалист по вечной мерзлоте, профессор Карлтонского университета, председатель Международной ассоциации вечной мерзлоты, Канада

**Клэр Трит**, специалист по вечной мерзлоте, руководитель исследовательской группы в Институте Альфреда Вегенера, Центр полярных и морских исследований им.Гельмгольца, Германия.