



Полярная метеорология

Понимание глобальных воздействий



Всемирная
Метеорологическая
Организация

Погода • Климат • Вода

ВМО - № 1013



Полярная метеорология

Понимание глобальных воздействий

Благодарность за предоставленные фотографии

Выражаем благодарность следующим лицам и организациям за великодушное предоставление своих фотографий и графических материалов в распоряжение ВМО:

обложка, с. 3, 27, 28, 29 и с 31 по 37: Кристиан Морель;
с. 12, 15, 16, 21 и 22: Международный полярный фонд;
с. 4, 6, 8 и 11: Г. Дарго (Международный полярный фонд);
с. 19 и 20: НАСА;
с. 5: Университет Висконсин-Мэдисон;
с. 7: Шотландская ассоциация морских наук;
с. 17: Колумбийский университет;
с. 18: ЮНЕП;
с. 14 (2) и 24: Мэтью Куэту;
с. 25: ЕВМЕТСАТ;
с. 26: ЕКА/АОЕС МЕДИАЛАБ (слева), <http://www.Firstpeople.US> (справа)

ВМО-N° 1013

© 2007, Всемирная Метеорологическая Организация

ISBN 92-63-41013-5

ПРИМЕЧАНИЕ

Употребляемые обозначения и изложение материала в настоящем издании не означают выражения со стороны Секретариата Всемирной Метеорологической Организации какого бы то ни было мнения относительно правового статуса той или иной страны, территории, города или района, или их властей, или относительно делимитации их границ.



СОДЕРЖАНИЕ

Предисловие	2
Введение	3
Полярная метеорология	5
Наблюдения за полярными регионами	5
Метеорологические системы высоких широт	8
Прогнозирование погоды в полярных регионах	11
Роль полярных регионов в глобальной климатической системе	17
Полюса	17
Связи с более низкими широтами	17
Недавние изменения окружающей среды в высоких широтах	22
Как изменятся полярные регионы в будущем?	30
Международный полярный год 2007-2008	37

ПРЕДИСЛОВИЕ

Всемирный метеорологический день (23 марта) отмечается как дата вступления в силу Конвенции, учредившей Организацию в 1950 г.

Исполнительный Совет ВМО принял решение о том, что в знак признания важности проведения Международного полярного года (МПГ) 2007-2008 при совместном спонсорстве ВМО и Международного совета по науке (МСНС) и в качестве внесения вклада в него темой Всемирного метеорологического дня в 2007 г. будет «Полярная метеорология: понимание глобальных воздействий».

За последние десятилетия был достигнут значительный прогресс в нашем понимании роли полярных регионов в глобальной климатической системе. Сокращение количества морского льда, таяние ледовых щитов, разрушение ледников и оттаивание вечной мерзлоты — все эти драматические изменения происходят в полярных регионах из-за повышения средней температуры на планете. Очевидно, что возросшая в результате таяния льда материкового происхождения средняя скорость подъема уровня моря может быть опасна для низменностей и некоторых островов вне зависимости от их географического расположения. Изменения в океанической циркуляции могут повлиять на распределение температур, солесодержание и органические вещества в тропических регионах. Это может значительным образом отразиться на рыбных запасах и тем самым на национальной экономике, источниках существования и нашем привычном рационе питания. По этой причине даже страны, географически удаленные от полюсов, имеют серьезную озабоченность в отношении изменений в окружающей среде полярных регионов и принимают участие в Международном полярном годе (МПГ) 2007-2008.

ВМО посредством национальных метеорологических и гидрологических служб (НМГС) своих стран-членов внесет значительный вклад в МПГ в виде научных исследований и наблюдений в областях полярной метеорологии, океанографии, гляциологии и гидрологии. В конечном итоге, научные и оперативные результаты МПГ принесут пользу всем программам ВМО благодаря созданию комплексных наборов данных и выработке авторитетных научных знаний с целью обеспечения дальнейшего развития систем мониторинга окружающей среды и прогнозирования, включая прогнозирование опасных явлений погоды. Более того, МПГ внесет значительный вклад в оценку изменения климата и воздействий этого процесса, поэтому те сети наблюдений, которые будут созданы или усовершенствованы в течение МПГ, будут поддерживаться в рабочем режиме еще долгие годы. Это станет значительной частью наследия МПГ для всего мира.

В настоящей брошюре подчеркивается важность полярных регионов в целостной системе Земли, в особенности в том, что касается климата. В ней описываются некоторые из крупнейших изменений окружающей среды, произошедшие в Арктике и



М. Жарро, Генеральный секретарь

Антарктике за последние годы, и рассматриваются изменения, которые могут произойти в следующем столетии. Хочу выразить свою признательность автору, г-ну Джону Тернеру, руководителю проекта в Антарктическом управлении Великобритании, а также другим участникам.

Призываю НМГС всех стран-членов ВМО, заинтересованных в полярных исследованиях и наблюдениях, принять активное участие в осуществлении МПГ. Приглашаю также НМГС, международные организации, неправительственные организации и всех, кто интересуется этими уникальными частями земного шара, воспользоваться этой идеальной возможностью для внесения вклада в МПГ, обеспечив тем самым богатый научный результат на всеобщее благо — как сегодня, так и в будущем.

(М. Жарро)
Генеральный секретарь

ВВЕДЕНИЕ

В последние годы наблюдается невиданный уровень интереса к климатическим условиям и состоянию окружающей среды полярных регионов. Открытие озоновой дыры над Антарктикой, рекордно низкий уровень морского льда в Арктике, потеря льда на Гренландском ледяном щите, разрушение ряда находящихся на плаву вокруг Антарктического полуострова шельфовых ледников и высокий уровень аэрозолей, достигающих Арктику, — обо всем этом сообщалось в средствах массовой информации. Более того, основанные на климатических моделях предсказания указывают на то, что на протяжении следующего столетия из-за увеличивающегося количества парниковых газов высокие широты прогреются значительно больше, чем другие регионы. Однако еще предстоит выяснить, являются ли быстрые климатические колебания в полярных регионах за последние несколько столетий и тысячелетий в действительности результатом естественной изменчивости климата. В этой связи важно постараться разделить последствия естественной изменчивости климата и изменения климата, произошедшие в результате деятельности человека.

Несмотря на то, что полярные регионы удалены от основных населенных областей, они играют важную роль в глобальной климатической системе; изменения в высоких широтах могут иметь воздействие на экосистемы и на человеческое общество

посредством таких факторов, как подъем уровня моря и изменения в атмосферных и океанических циркуляциях.

Гренландский и антарктический ледяные щиты содержат соответственно 9 и 90 процентов мирового запаса глетчерного льда. В случае, если бы эти два ледяных щита полностью растаяли, каждый из них стал бы причиной подъема уровня моря на 7 и 70 м соответственно. Хотя столь драматические события не ожидаются даже в ближайшие несколько сотен лет или тысячелетий, тем не менее таяние даже небольшой части этого льда имело бы серьезные последствия для глобального повышения уровня моря и океанической циркуляции.

Для полярных регионов также характерна большая площадь морского льда — в течение года Антарктика фактически увеличивается в размере в два раза, по мере того как океан вокруг этого континента замерзает. Морской лед обеспечивает на поверхности океана эффективную термическую шапку, при формировании которой происходит отделение соли, что важно для глобальной океанической циркуляции.

В этом контексте полярная метеорология рассматривается в широком смысле как в отношении поведения погодных систем, так и в отношении своей роли в системе глобального климата.

Полярные регионы прогрелись в большей степени по сравнению с остальными регионами.

Глобальные последствия включают повышение уровня моря с риском затопления или даже прекращения существования некоторых низменных районов и островов.

Локальные последствия, представляющие глобальный интерес и имеющие глобальное значение, включают угрозу биоразнообразию, т. е. выживанию определенных видов животных и растений. Риск также подвергается традиционный уклад жизни коренных народов Арктики, зависящих от этих животных и растений, т. к. они служат для них источниками питания, материала для одежды и строительства поселений, материала для изготовления орудий охоты и рыболовства и т. д.





ПОЛЯРНАЯ МЕТЕОРОЛОГИЯ

НАБЛЮДЕНИЯ ЗА ПОЛЯРНЫМИ РЕГИОНАМИ

Полярные регионы — это одни из самых наименее наблюдаемых областей на Земле, особенно в том, что касается проведения метеорологических наблюдений в точке. Так, например, в Антарктике, территория которой в два раза больше территории США, имеется только 44 станции, осуществляющие приземные метеорологические наблюдения, и около 14 станций, запускающих радиозонды (приборы, функционирующие в верхних слоях атмосферы, в основном на аэростатах, с целью сбора и передачи метеорологических данных). В более южных частях Арктики расположено большее количество наблюдательных станций в силу большего количества находящихся там населенных пунктов. Однако в районах более высоких широт из-за нехватки островных наблюдательных станций имеются лишь ограниченные данные, полученные в результате проводимых человеком наблюдений.

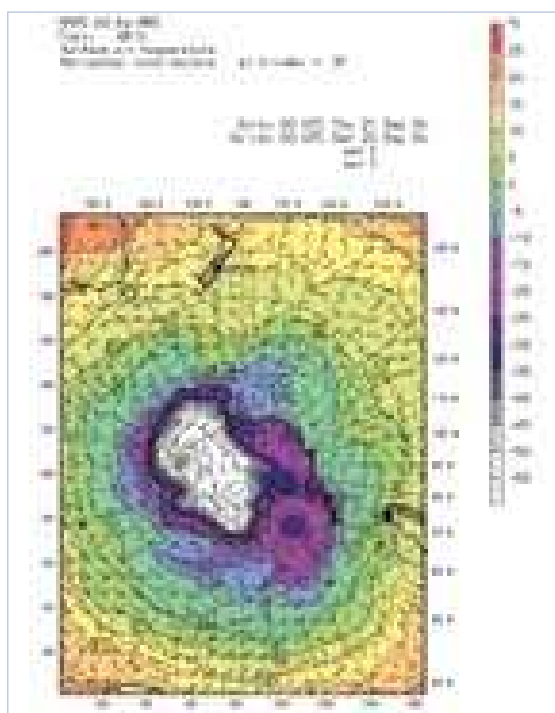
Посредством своей программы «Деятельность ВМО, связанная с Антарктикой» ВМО координирует

метеорологическую деятельность, осуществляемую государствами или группами государств. В рамках Договора об Антарктике ВМО фокусирует внимание на взаимодействии между подобной деятельностью и другими программами ВМО, в особенности Всемирной службой погоды (ВСП), и стремится к выполнению требований, установленных в отношении метеорологических служб, а также мониторинга окружающей среды и исследований климата, в частности, зондирования верхних слоев атмосферы на предмет метеорологических параметров, проводимого Опорной синоптической сетью ВМО в Антарктике. Оно обеспечивает получение вертикальных профилей от поверхности до высот в 25, а иногда и в 35 км (нижние слои стратосферы). Приземные и аэрологические станции на регулярной основе предоставляют кодированные сводки, необходимые для глобального прогнозирования погоды. Сегодня данные наблюдений из полярных регионов посылаются через спутниковые системы связи и в Глобальную систему телесвязи ВМО для передачи в основные прогностические центры. Специализированные данные и продукция для различных пользователей вырабатываются региональными центрами Глобальной системы обработки данных и прогнозирования ВМО.

Несмотря на суровые природные условия Антарктики и проблему материально-технического обеспечения, Опорная синоптическая сеть ВМО в Антарктике хорошо оснащена благодаря усилиям

Мощная ледяная шапка Антарктики и отрезанность этого континента от остальных частей света Южным океаном препятствовали появлению на нем постоянных человеческих поселений до учреждения там научных станций в начале XX века.

Континенты, окружающие Северный Ледовитый океан, обладали в достаточной степени умеренным климатом, для того чтобы служить обителью для коренных народов на протяжении тысячелетий.



48-часовой прогноз, выпущенный с помощью Антарктической системы мезомасштабных прогнозов (АСМП)



Монтаж инфракрасных спутниковых изображений Антарктики и Южного океана по состоянию на 21 августа 2006 г.



Автоматическая метеорологическая станция в Антарктике

Договор об Антарктике был открыт для подписания 1 декабря 1959 г. и вступил в силу 23 июня 1961 г.

Глобальная система наблюдений за климатом спонсируется совместно ВМО, Межправительственной океанографической комиссией ЮНЕСКО, Программой Организации Объединенных Наций по окружающей среде и Международным советом по науке.

национальных метеорологических и гидрологических служб (НМГС) и осуществлению антарктических программ стран, являющихся сторонами Договора об Антарктике. Оценка антарктических метеорологических сводок, поступающих в основные центры Глобальной системы телесвязи ВМО, указывает на то, что процент полученных сводок приближается к глобальному среднему уровню. Большая часть данных наблюдений, полученных с обслуживаемых станций в Арктике и Антарктике, вносит важный вклад в работу приземных и аэрологических сетей, а также базы данных Глобальной системы наблюдений за климатом.

Из-за нехватки данных наблюдений в точке полярные метеорологи всегда широко использовали данные, полученные из автономных систем и с полярно-орбитальных спутников. Начиная с 1960-х годов спутниковые изображения являются важным инструментом для определения местоположения синоптических и мезомасштабных (менее 1 000 км в диаметре) метеорологических систем над океаном и удаленными материковыми областями. Хотя ранние изображения были низкого качества с плохим горизонтальным разрешением и небольшим количеством полутоновых шкал, сегодня многие станции оснащены цифровыми приемниками, способными предоставлять изображения с высоким разрешением на нескольких длинах волн.

Самые ранние данные по полярным регионам, полученные со спутников, состояли из видимых и инфракрасных изображений. Однако в последние годы был разработан широкий диапазон продукции

на базе активных и пассивных микроволновых приборов, позволяющих определять профили температуры и влажности (через атмосферу в условиях облачности), протяженность и сплоченность морского льда, а также ветры над свободным от льдов океаном.

Нехватка наблюдений в точке из полярных регионов привела к раннему размещению автоматических метеорологических станций (АМС), которые обеспечивают многократные наблюдения и не требуют частого технического обслуживания. Впервые АМС были установлены в Антарктике в середине 1980-х годов и уже доказали свою значимость; в настоящее время с помощью АМС ведется больше наблюдений, чем с обслуживаемых станций. В Антарктике большинство исследовательских станций расположено на побережье, таким образом АМС важны для метеорологического анализа внутренней области континента. В Арктике АМС установлены на суше в районах, окружающих Северный Ледовитый океан в Российской Федерации, Фенноскандинавии, Северной Америке и Гренландии. В Гренландии, где за последние несколько лет температуры значительно повысились, они доказали свою особую значимость.

АМС — это автономная система, которая обычно измеряет приземные метеорологические переменные величины, такие как скорость и направление ветра, температура воздуха и атмосферное давление, а также может измерять дополнительные переменные величины, такие как относительная влажность воздуха или вертикальная разница

температур воздуха. Большинство полярных АМС передают данные вслепую для приема системой Аргос на борту ряда полярно-орбитальных спутников Национального управления США по исследованию океанов и атмосферы (НУОА) или же данные сохраняются в модуле запоминающего устройства для извлечения позднее. В настоящее время в Антарктике около 70 АМС предоставляют информацию в дополнение к данным, получаемым с обслуживаемых станций.

Для получения данных по Северному Ледовитому океану или зоне морских льдов вокруг Антарктики на лед устанавливаются дрейфующие буи. Большой прогресс в разработке и размещении дрейфующих буев был достигнут в рамках Первого глобального эксперимента (ПГЭП) ПИГАП (Программа исследований глобальных атмосферных процессов) в 1978/79 гг., когда в Южном океане были размещены более 300 систем с целью исследований атмосферной предсказуемости и требований для оптимальной системы наблюдений. С тех пор множество различных типов дрейфующих буев было размещено в Арктике в рамках Международной программы по арктическим буям (МПАрБ) и в Южном океане в рамках Международной программы по антарктическим буям (Всемирная программа исследований климата/Научный комитет по антарктическим исследованиям (ВПИК/СКАР)). В настоящее время буи выпускаются рядом коммерческих компаний и исследовательских институтов. Эти буи имеют разный уровень сложности — от недорогих океанских дрейфующих буев без метеорологических датчиков до продвинутых систем, способных осуществлять широкий ряд атмосферных и океанографических измерений.



Дрейфующий буй на плавающем ледяном поле в море Уэдделла, Антарктика

В зависимости от потребностей в данных и от планируемых экспериментов на основную платформу буя могут быть установлены различные приборы. Параметры включают атмосферное давление, скорость и направление ветра, температуру воздуха и влажность на разных уровнях над поверхностью и, в случае размещения буев на плавучих льдинах, приземную температуру снега или льда и толщину льда. На основании данных МПАрБ, было выявлено значительное потепление Арктики в 1980-е и 1990-е годы.

Хотя некоторые приземные синоптические метеорологические карты были подготовлены в начале XX века, они покрывали в основном более густонаселенные регионы и не содержали в достаточной степени точных данных по высоким широтам. В частности, было проведено очень мало наблюдений по океаническим районам Антарктики; анализ данных по Арктике осуществлялся несколько лучше. Однако в 1970-е годы появилась возможность проведения большего количества наблюдений с полярно-орбитальных метеорологических спутников, позволяющих осуществлять более надежные атмосферные исследования в высоких широтах. Особую важность представляли устройства для зондирования атмосферной температуры, установленные на полярно-орбитальных спутниках в середине 1970-х годов. Схожие по сути с запускаемыми радиозондами, они предоставляли профили температуры и влажности от поверхности вплоть до стратосферы с широким охватом, обеспечиваемым спутниковой системой.

За последние несколько лет исторический архив данных наблюдений в точке и спутниковых наблюдений был подвергнут повторной обработке с использованием техники усвоения данных для создания массивов данных так называемого «повторного анализа», которые являются особо важным источником для исследований изменчивости климата приблизительно за три последних десятилетия. Однако области «повторного анализа» для южного полушария до 1974 года, когда стали доступны данные со спутниковых устройств зондирования, недостаточны и не могут быть использованы для исследования изменений атмосферной циркуляции.

Всемирная программа исследований климата спонсируется совместно ВМО, Межправительственной океанографической комиссией ЮНЕСКО и Международным советом по науке.

Метеорологические условия на полюсах различны, так как Северный полюс расположен над Северным Ледовитым океаном, в то время как Южный полюс находится на высоком антарктическом плато.

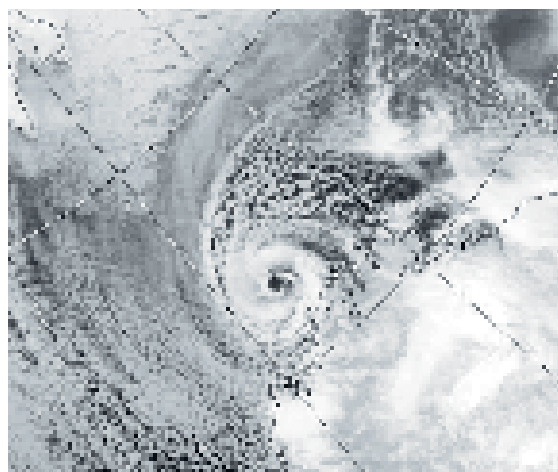
МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ ВЫСОКИХ ШИРОТ

По отношению к основным траекториям штормов в северном и южном полушариях Арктика и Антарктика расположены по сторону полюсов, и на картах приземного давления на среднем уровне моря в этих районах видны климатологические антициклоны. Тем не менее следует проявлять осторожность в расчетах атмосферного давления на среднем уровне моря при использовании измерений, сделанных в возвышенных частях Антарктики и Гренландии. Метеорологические условия на полюсах различны, так как Северный полюс расположен над Северным Ледовитым океаном, в то время как Южный полюс находится на высоком антарктическом плато.

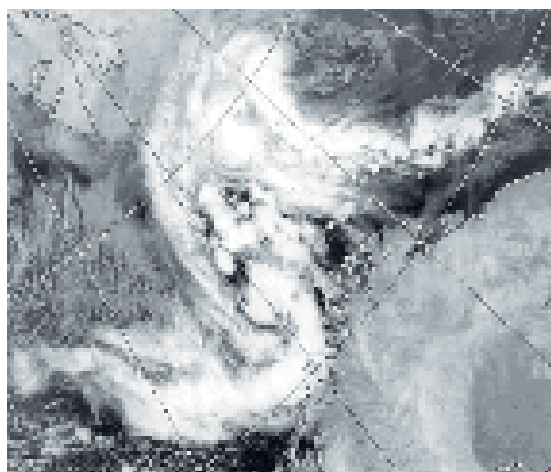
В северном полушарии из-за мощных горных цепей Гималаев и Скалистых гор тропосферный поток является в высокой степени меридиальным,

и многие метеорологические системы достигают высоких широт и порой пересекают Северный Ледовитый океан. С другой стороны, в южном полушарии присутствует незначительное количество крупных и высоких горных массивов, поэтому депрессии здесь перемещаются по более зональной траектории, и их постепенное движение по спирали происходит только по направлению к прибрежным районам Антарктики. Тот факт, что Антарктика состоит из большой высокой массы льда, сосредоточенной около Южного полюса, оказывает большое воздействие на атмосферную циркуляцию в южном полушарии. Депрессии, передвигающиеся к югу из средних широт, имеют тенденцию замедляться или изменять свою траекторию в прибрежных районах Антарктики на восточное направление, по мере того как они наталкиваются на крутые горы. Поэтому над внутренней частью Антарктики присутствует лишь несколько активных депрессий, хотя некоторые депрессии достигают станций «Купол-С», «Южный полюс» или





Активная полярная область низкого давления со спиралевидной облачной структурой



Полярная область низкого давления у северного побережья Норвегии с обширной конвективной облачностью

Раздел физической географии, изучающий горообразование и особенности горного рельефа, называется орографией.

даже «Восток», где средний тропосферный поток еще более меридиальный. Это, похоже, происходит по причине естественной изменчивости климата и может быть выявлено на внутренних станциях по внезапному и быстрому повышению температуры, присутствию облаков и эпизодическим умеренным осадкам, выпадающим на так называемую холодную пустыню.

Прибрежные районы Антарктики между 60 и 70° ю. ш. являются «гнездом» для множества активных депрессий и менее масштабных областей низкого давления. Наличие такого количества штормов означает, что атмосферное давление там низкое, и эта область известна как циркумполярная ложбина. В Арктике, где орографические условия отличны, аналогичного феномена не существует.

Полярные области низкого давления

Самые интенсивные метеорологические системы в Арктике недолговечны (обычно продолжительностью менее 24 часов) и представляют собой мезомасштабные полярные области низкого давления, являющиеся активными депрессиями, которые образуются над определенными свободными от льда морскими районами, находящимися по сторону полюса по отношению к полярному фронту — основной границе между полярными и тропическими воздушными массами. Полярные области низкого давления в Арктике являются в основном зимним сезонным явлением. Большинство активных полярных областей низкого давления имеют горизонтальную шкалу в 400–600 км, хотя

конвективные системы могут иметь внутренние вихри меньшего размера. Полярные области низкого давления являются частью обширной категории возмущений, известных как полярные мезоциклоны, включающей множество мелких вихрей, наблюдаемых на спутниковых изображениях полярных регионов. По своему определению, полярная область низкого давления должна иметь скорость приземного ветра 17 м/с или выше. Полярные области низкого давления приносят самую плохую погоду на арктические прибрежные и островные территории и по данным наблюдений могут иметь скорость ветра до 33 м/с. Они могут представлять большую опасность как для морских операций, так и для нефтегазовых поисково-разведочных и добывающих платформ.

В Антарктике разница между температурами воздуха и моря гораздо меньше, чем в Арктике, и рядом с побережьем континента или на широте циркумполярной ложбины нет глубокой конвекции. Таким образом, формирующиеся полярные области низкого давления обычно можно обнаружить на мелких горизонтальных температурных градиентах, хотя на спутниковых изображениях можно увидеть много небольших полярных мезоциклонов.

Отдельные полярные области низкого давления, безусловно, важны для прогнозирования погоды в обоих полярных регионах, но до сих пор остается невыясненным, важны ли они с точки зрения климатологии. При большой разнице температур воздуха и моря, связанной с полярными областями

Мезомасштабные полярные области низкого давления называли самыми разнообразными именами, включая: арктический ураган, арктическая бомба, арктическая нестабильная область низкого давления, область низкого давления с холодным воздухом, облачная запятая и полярный мезоциклон.

Полярные области низкого давления

Изучение полярных областей низкого давления началось в конце 1960-х годов с появлением спутниковых изображений, однако эти исследования были ограничены из-за нехватки наблюдений в точке, поскольку области низкого давления редко проходили над синоптическими наблюдательными станциями. Ранние исследования на базе моделирования зачастую не приводили к адекватному отображению систем из-за недостаточного горизонтального масштаба и плохой параметризации некоторых ключевых физических процессов, таких как глубокая конвекция. В последнее время был достигнут значительный прогресс в нашем понимании этих систем благодаря проведению кампаний, в ходе которых специально выделенные летательные аппараты осуществляют пролет через области низкого давления, а также благодаря исследованиям с использованием множественных источников спутниковых данных, проведению экспериментов с высокой разрешающей способностью и моделированию ограниченных областей.

В конце 1960-х/начале 1970-х годов не было единого мнения насчет того, формировались ли полярные области низкого давления и углублялись ли таким же образом, как депрессии средних широт на горизонтальных градиентах температуры, или же они, наподобие ураганов, были связаны в основном с мощными кучево-дождевыми облаками. Сегодня мы знаем, что существует спектр отклонений с диапазоном от довольно-таки редких мелкомасштабных депрессий, формирующихся на мелких температурных градиентах, с фронтальной структурой, похожей на небольшой циклон средних широт, до таких

систем, которым присуще большое количество мощных кучево-дождевых облаков.

Полярные области низкого давления были впервые исследованы в районе Норвежского и Баренцева морей, где эти системы влияли на жизнь прибрежных общин Норвегии и являлись причиной некоторых из самых обильных снегопадов над Соединенным Королевством. Однако когда изображения со спутника стали более доступными, полярные области низкого давления были выявлены в других частях Арктики, где существуют большие разницы температур воздуха и моря, в том числе в проливе Дейвиса/море Лабрадор, заливе Аляска и Беринговом море, море Бофорта, к северу от российских берегов, в северно-западной части Тихого океана, Японском море и прилегающих областях.

Хотя некоторые полярные области низкого давления были обнаружены в Антарктике, они формируются преимущественно на мелких горизонтальных температурных градиентах, поскольку в высоких южных широтах нет глубокой конвекции. Такая ситуация возникает в силу того, что океаническая циркуляция в южном полушарии носит гораздо более зональный характер, чем к северу от экватора, и теплые массы воды не достигают побережья Антарктики. Большие разницы температур воздуха и моря могут иметься в прибрежных полыньях (свободных ото льда областях внутри паковых льдов) (см. текстовый блок на с. 14), но движение воздуха через эти области довольно непродолжительное, поэтому для формирования полярных областей низкого давления не хватает времени.

низкого давления, в сочетании с высокими скоростями приземного ветра были зарегистрированы приземные тепловые потоки, достигающие $1\,000\text{ Вт/м}^2$, хотя в одном конкретном месте за один сезон таких систем встречается не много. Был поставлен вопрос, могут ли многочисленные мелкие вихри в высоких широтах в совокупности привести к достаточной теплотере с поверхности океана,

чтобы вызвать нисходящую конвекцию, способную повлиять на термогалинную циркуляцию, которая приводится в движение разницей в плотности океанских вод, обусловленной градиентами температуры и солености. На этот вопрос можно ответить лишь с помощью модельных экспериментов, которые проводятся в настоящее время.



ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ПОГОДЫ В ПОЛЯРНЫХ РЕГИОНАХ

Хотя большая часть полярных регионов удалена от основных населенных центров, тем не менее существует потребность в надежных прогнозах погоды по этим регионам. В Арктике подобные прогнозы необходимы для общин коренного населения, а также для поддержки морских операций и работ по разведке и эксплуатации нефтегазовых месторождений. В Антарктике надежные прогнозы необходимы для сложных воздушных и морских логистических операций в поддержку исследовательских программ и растущей индустрии туризма. Прогнозы также необходимы для полевых команд, работающих в отдаленных местностях.

Прогнозы погоды для Арктики и Антарктики составлялись со времени первых экспедиций, хотя в первые годы они были плохого качества в силу малочисленности доступных данных наблюдений и недостаточного понимания функционирования климатических механизмов высоких широт.

Ситуация оставалась более или менее неизменной до Международного геофизического года (МГГ) в 1957–1958 гг., когда в высоких широтах был открыт

ряд исследовательских станций, в особенности в Антарктике, большинство из которых осуществляли регулярные запуски радиозондов. Такие дополнительные данные позволили подготавливать более надежные приземные и аэрологические анализы, хотя над океаническими районами наблюдения были все еще ограниченными.

С начала 1960-х годов для содействия прогнозированию погоды стали использоваться спутниковые изображения. На протяжении многих лет результаты анализов по высоким широтам были скудными, и изображения были единственным способом определения «правды» в отношении атмосферных условий. Изображения использовались для предоставления заблаговременных предупреждений о приближающихся метеорологических системах, фронтах и разрозненных грядах облаков, а также в качестве дополнительной информации о протяженности морского льда.

С конца 1970-х годов стало возможным определять профили температуры и влажности верхнего уровня через атмосферу, используя данные, собранные полярно-орбитальными спутниками. Эти объективные данные позволили ввести в действие системы глобального численного прогноза погоды

Рефлектометр для измерения ветра — это установленный на спутнике прибор, который обеспечивает наблюдения за приземным ветром с помощью спутниковых измерений отражения радиолокационных сигналов от океана.

(ЧПП), способные предоставлять прогнозы на несколько дней вперед. В 1980-е годы точность прогнозов для полярных областей на базе систем ЧПП была гораздо ниже, чем точность прогнозов для тропических и среднеширотных областей, однако в 1990-е годы произошли заметные улучшения благодаря использованию продвинутых методов анализа, более высокой горизонтальной разрешающей способности моделей, а также благодаря дополнительным данным, полученным с установленных на спутниках новых приборов, таких как рефлектометр для измерения ветра.

Сегодня проблема прогнозирования в Антарктике над районами океана и самим континентом сильно отличается. Над океаном модели ЧПП имеют большую точность по сравнению с северным полушарием, поскольку орография южного полушария менее сложная. Однако над континентом, и в особенности в прибрежном регионе, места расположения подвержены местным системам ветров, которые многие глобальные модели не в состоянии зафиксировать. Таким образом, составители прогнозов стремятся использовать подход прогнозирования текущей погоды на основании спутниковых изображений, для того чтобы осуществить прогноз ветров на период до 24 часов вперед. С помощью обладающих

высокой горизонтальной разрешающей способностью моделей численного прогноза погоды для ограниченных районов (таких как Антарктическая система мезомасштабных прогнозов США) начинается выпуск более успешных прогнозов приземных ветров в областях со сложной орографией.

Проблема прогнозирования в Арктике несколько менее сложная, так как большая часть этого региона окружена землей, откуда осуществляются многочисленные метеорологические наблюдения в точке. В сочетании с данными спутниковых зондирующих устройств они позволяют подготавливать высококачественные численные анализы и прогнозы. Относительно низкая орография Арктики также способствует предсказуемости. Основным исключением является внутренняя часть Гренландии, где существуют те же проблемы, что и на антарктическом плато.

Процесс прогнозирования

По сравнению с неполярными регионами прогнозирование погоды в Арктике и Антарктике представляет собой ряд уникальных сложных задач (см. текстовый блок на с. 23). Хотя описанные выше крупные усовершенствования в системах наблюдений и численного прогнозирования погоды значительно



улучшили качество прогнозов, задачи прогнозирования для континентальных и океанических районов, тем не менее, сильно отличаются.

Над океаническими районами большое количество данных, поступающих в настоящее время со спутниковых зондирующих устройств, означает, что качество метеорологических анализов находится на высоком уровне, несмотря на отсутствие данных с радиозондов. Это в свою очередь означает, что поля ЧПП могут быть с уверенностью использованы для прогнозов на два или три дня, а также что обоснованное сообщение об ожидаемых широкомасштабных событиях может быть дано на период до шести дней вперед. Однако на антарктическом континенте и во внутренней части Гренландии нехватка данных наблюдений в точке, проблемы получения данных температурного зондирования со спутника над высокой, покрытой льдом поверхностью и сложные местные ветровые и облачные системы означают, что качество полей ЧПП значительно падает при удалении от побережья.

Последним достижением было оперативное использование по некоторым частям Антарктики обладающих высокой горизонтальной разрешающей способностью моделей ЧПП для ограниченных районов. Несмотря на то, что на настоящий

момент эти модели не содержат никаких дополнительных данных, в их высокой горизонтальной разрешающей способности и более объективном отображении орографии содержится потенциал для предоставления улучшенных краткосрочных прогнозов погоды.

ТОРПЭКС

ТОРПЭКС (Эксперимент по изучению систем наблюдений и вопросов предсказуемости) является частью Всемирной программы метеорологических исследований. Он предоставляет организационную структуру для рассмотрения проблем прогнозирования погоды, в том числе в полярных регионах, решение которых будет ускорено за счет международного сотрудничества между оперативными прогностическими центрами национальных метеорологических и гидрологических служб, научно-исследовательскими учреждениями и пользователями прогностической продукции.

В контексте Международного полярного года 2007-2008 перед ТОРПЭКС поставлены особые научно-исследовательские задачи (см. текстовой блок внизу). Для содействия в достижении этих исследовательских задач будут проведены полевые кампании в течение периода интенсивных наблюдений в рамках МПГ.

Радиозонд — это такой прибор, который используется с помощью метеорологических воздушных шаров для измерения различных атмосферных параметров и передает данные этих измерений на стационарный приемник.

С помощью радиозондов измеряются или рассчитываются следующие параметры:

- Атмосферное давление
- Высота
- Географическое местоположение (широта/долгота)
- Температура
- Относительная влажность
- Скорость и направление ветра

ТОРПЭКС и Международный полярный год 2007-2008

В контексте МПГ перед ТОРПЭКС стоят задачи:

- рассмотреть взаимодействие между полярными и субполярными режимами погоды;
- оценить и улучшить качество продукции оперативных анализов и исследовательских повторных анализов в полярных регионах;
- рассмотреть вопрос об улучшении методов усвоения данных для полярных регионов;
- оценить навыки в прогнозировании полярно-глобальных явлений погоды со значительными последствиями для различных методов ведения наблюдений в более высоких широтах;
- где это применимо, продемонстрировать полезность улучшенного применения продукции ансамблевого прогнозирования погоды для имеющих значительные последствия метеорологических явлений и мероприятий в рамках МПГ;
- выработать рекомендации по разработке Глобальной системы наблюдений в полярных регионах для прогнозирования погоды.

ТОРПЭКС является ключевым компонентом Программы ВМО по уменьшению опасности и смягчению последствий стихийных бедствий. На протяжении ближайших 15 лет он будет способствовать осуществлению цели ВМО по сокращению вдвое количества человеческих жертв из-за стихийных бедствий метеорологического, гидрологического и климатического характера.

Ледники, шельфовые ледники и айсберги

Когда антарктические ледники достигают побережья континента, они начинают плавать на поверхности и превращаются в шельфовые ледники, от которых впоследствии откалываются айсберги. С 1974 г. на Антарктическом полуострове распалось 13 500 км² шельфовых ледников; это явление связано с региональным повышением температуры более чем на 2 °C за последние 50 лет.

Подобные расколы в других областях могут привести к увеличению ледовых потоков и вызвать значительное повышение уровня моря. В результате окончательного крушения ледовой платформы ледника Ларсена Б в феврале 2002 г. еще 3 250 км² морского дна было освобождено от ледяного покрова, который, как было подсчитано, находился там как минимум 5 000 лет.



Исчезновение льда приводит к заселению и бурному росту растительного и животного планктона. Будут проводиться исследования в целях определения изменений в экосистемах, структура которых в значительной степени зависит от наличия льда в этих районах. Ученые-исследователи будут осуществлять мониторинг районов в западной части Антарктического полуострова, где раньше велся рыбный промысел, в целях определения состояния восстановления запасов рыбы.

Большая часть запланированных научных исследований МПГ–ТОРПЭКС смыкается с центром внимания ТОРПЭКС, направленным на глобальные и региональные факторы, влияющие на процессы развития и предсказуемость атмосферных процессов, и поставленной в рамках МПГ задачей, которая заключается в осмыслении полярно-глобальных дальних корреляционных связей на всех уровнях, а также процессов, управляющих таким взаимо-

влиянием. В рамках МПГ–ТОРПЭКС будут решаться задачи в области прогнозирования погоды со значительными последствиями, предсказуемости и вопросы, связанные с возросшим уровнем знаний в сфере соответствующих физических и динамических процессов, имеющих отношение к полярным и субполярным взаимосвязям. Примеры научных исследований включают изучение значения орографии Гренландии для европейской и



Изменения ледовых условий в Арктике сказываются на судоходстве.

африканской циклонических штормовых систем, взаимодействия между тропическими, среднеширотными и полярными процессами, групп волн Россби, вызванных интенсивным циклогенезом в прибрежных зонах Азии, а также вопрос о том, может ли аномальная открытая вода в окрестностях Арктики и Антарктики привести к изменениям в траекториях штормов, их интенсивности и в циркуляциях Ферреля/Уокера.

В рамках МПГ-ТОРПЭКС будут также решаться другие основные задачи ТОРПЭКС с целью внесения вклада в развитие усовершенствованных систем усвоения данных и ансамблевого прогнозирования, а также в проектирование и демонстрацию интерактивных прогностических систем. Эти усилия будут охватывать проведение целенаправленной

кампании в Антарктике, задачей которой будет оценка и усовершенствование методов усвоения данных, что явится вкладом в основную задачу МПГ — определение существующего состояния окружающей среды полярных регионов путем количественной оценки их пространственной и временной изменчивости.

Предусмотренное этими исследованиями усовершенствование процесса усвоения данных, получаемых со спутников над полюсами, станет наследием в деле использования наблюдений для улучшения наших возможностей в области предсказания полярных метеорологических систем, взаимодействия полярных процессов с процессами более низких широт и наших возможностей проведения мониторинга климата полярных районов.

ТОРПЭКС:
ускорение темпов
повышения
точности прогнозов
погоды, имеющей
значительные
последствия,
на срок от одного
дня до двух недель
для блага общества,
экономики и
окружающей среды



Из-за глобального потепления жизнь многих животных, таких как пингвины, в полярных регионах подвергается риску. Всем странам следует приложить усилия для сохранения этих уникальных сообществ на благо грядущих поколений.

РОЛЬ ПОЛЯРНЫХ РЕГИОНОВ В ГЛОБАЛЬНОЙ КЛИМАТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЕ

ПОЛЮСА

Глобальная климатическая система зависит от поступления энергии Солнца, большая часть которой достигает низких широт в определенный момент времени. В течение года экватор получает приблизительно в пять раз больше тепла, чем полюса, в результате чего создается разница температур между экватором и полюсами. Атмосферные и океанические циркуляции реагируют на этот большой горизонтальный температурный градиент путем переноса тепла по направлению к полюсам. В сущности, климатическую систему можно представить в виде двигателя, так как районы низких широт являются источником тепла, а полярные регионы — его поглотителем.

Как атмосфера, так и океан играют важную роль в переносе тепла к полюсам, причем за счет атмосферы переносится 60 процентов тепла, а оставшиеся 40 — океаном. В атмосфере тепло переносится как депрессиями, так и средним потоком. Депрессии переносят теплый воздух по направлению к полюсам на своих восточных сторонах и холодный воздух по направлению к низким широтам на своих западных флангах. Атмосфера в состоянии реагировать на изменения в темпах прогрева высоких или низких широт относительно быстро, при этом траектории штормов и средний поток изменяются в масштабе в течение периода от нескольких дней до нескольких лет. Океанические изменения происходят на протяжении более длительного периода времени.

Различия в распределении суши в северном и южном полушариях значительным образом влияют на атмосферную и океаническую циркуляции, причем средние океанические и атмосферные потоки на юге носят более зональный характер, чем на севере.

В южном полушарии перенос тепла в атмосфере практически везде превышает вклад океана, в то время как к северу от экватора преобладает перенос тепла в океане в районе от экватора до 17° с. ш. Пик переноса тепла в обоих полушариях приходится приблизительно на 35° от экватора. На этих широтах атмосферный компонент составляет около 78 процентов от общего количества в северном полушарии и 92 процента — в южном.

Еще одним следствием различий условий на суше и в океане в обоих полушариях является тот факт, что

разница температур между экватором и полюсом на юге почти на 40 процентов больше, чем на севере, что ведет к образованию более сильных западных ветров средних широт.

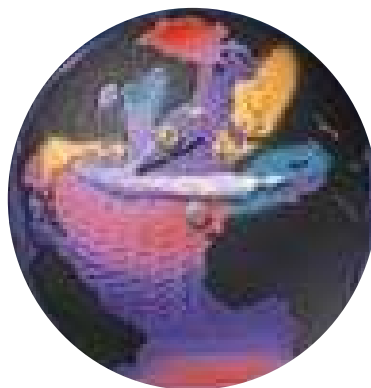
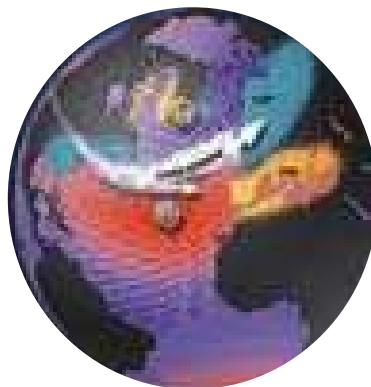
Самый интенсивный перенос тепла в атмосфере по направлению к полюсам происходит зимой, когда в высоких широтах отмечается большая потеря тепла и наблюдается самая большая разница температур между экваториальными и тропическими широтами.

СВЯЗИ С БОЛЕЕ НИЗКИМИ ШИРОТАМИ

Полярные регионы связаны с другими частями климатической системы Земли сложными путями через атмосферный перенос и океаническую циркуляцию. Циркуляция верхних слоев океана может изменяться в течение нескольких месяцев или лет, но для изменения глубин океана и глобальной

Климатическую систему можно представить в виде двигателя, так как районы низких широт являются источником тепла, а полярные регионы — его поглотителем.

Основные моды изменчивости атмосферной циркуляции внетропических и высоких широт — это так называемая кольцевая мода северного полушария, тесно связанная с североатлантическим колебанием, и кольцевая мода южного полушария (также известная как мода высоких широт или антарктическое колебание).



Атмосферные условия в ходе положительной фазы (сверху) и отрицательной фазы (внизу) североатлантического колебания (см. подробности на с. 18–20).

Слово «термогалинный» произошло от греческих слов тепло («терм») и соль («галс»), которые в совокупности используются для определения плотности морской воды.

Термогалинная циркуляция имеет разные названия, например, «океанский конвейер», «глобальный конвейер» или «меридиональная перемешивающая циркуляция».

Термогалинная циркуляция

Термогалинная циркуляция соединяет основные океаны. Она играет чрезвычайно важную роль в связывании регионов, расположенных в высоких широтах, с остальными регионами системы Земли и обеспечивает прямую связь между Арктикой и Антарктикой.

Она приводится в движение разницей в плотности морской воды, которая, в свою очередь, зависит от температуры и солёности. Движимые ветром поверхностные течения (такие как

Гольфстрим) направляются к полюсам из экваториальной части Атлантического океана, при этом происходит их постепенное охлаждение, и в высоких широтах они в конечном счете уходят на глубину (образуя тем самым североатлантические глубинные воды). Такая плотная вода затем впадает в океанические бассейны. Хотя большая часть этой воды поднимается на поверхность в Южном океане, самые старые воды (находившиеся в транзите около 1 600 лет) поднимаются на поверхность в северной части Тихого океана. Таким образом, происходит обширное перемешивание вод в океанических бассейнах, в результате чего между ними уменьшаются различия, и Мировой океан превращается в глобальную систему.

В пути водные массы переносят по всему земному шару как энергию (в форме тепла), так и материю (твердые частицы, растворенные субстанции и газы). Таким образом, состояние циркуляции оказывает значительное воздействие на климат нашей планеты.



термогалинной циркуляции требуются десятилетия или века (см. текстовый блок выше). Таким образом, самые быстрые связи между высокими и низкими широтами обычно осуществляются через атмосферу.

За последние несколько лет был проявлен значительный интерес к модам изменчивости областей высоких широт. Они отражают те средства, с помощью которых происходит взаимодействие между областями высоких и средних широт, и покрывают широкомасштабные изменения в атмосферном давлении и основных траекториях штормов.

Кольцевая мода южного полушария (ЮКМ) и кольцевая мода северного полушария (СКМ) имеют зонально симметричные или кольцевые структуры с синхронными аномалиями с противоположным знаком в высоких и средних широтах. Их можно отличить по многим параметрам, измеряемым в

высоких широтах, таким как приземное давление и температура, геопотенциальная высота и зональный ветер. СКМ и ЮКМ мало изменяются с высотой. Исследования, основанные на наблюдениях и моделировании, показали, что они вносят значительный вклад в изменчивость климата в высоких и средних широтах в широком диапазоне масштабов времени, поскольку существует вероятность того, что ЮКМ является двигателем крупномасштабной циркуляции в Южном океане. ЮКМ и СКМ обычно определяются на разнице давления на среднем уровне моря между 40 и 65°.

Североатлантическое колебание (САК) тесно связано с арктическим колебанием, и его изменчивость оказывает большое влияние на климат Арктики. САК является доминирующей модой зимней изменчивости климата в североатлантическом регионе, и его влияние распространяется на арктический бассейн. САК также является широкомасштабным

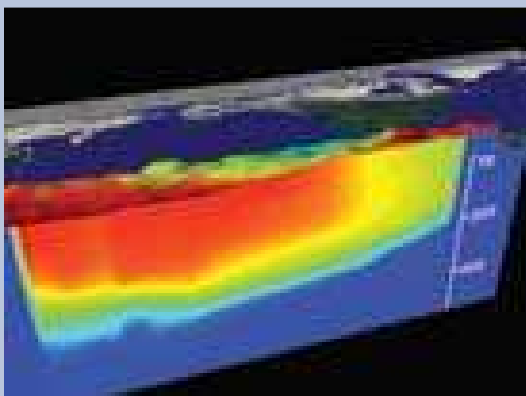
Эль-Ниньо/южное колебание

Эль-Ниньо/южное колебание (ЭНСО) — это значительное перемещение водных масс через тропическую часть Тихого океана, связанное с периодами «теплых», «холодных» и промежуточных условий температуры поверхности моря (ТПМ) в восточной части Тихого океана. Во время «холодных» периодов, которые бывают более часто, в тропической части Тихого океана дуют сильные восточные пассаты и давление на среднем уровне моря распределяется таким образом, что над восточной частью Тихого океана у берегов Южной Америки отмечается высокое давление, а в районе Индонезии — низкое. Это сопровождается повсеместным восходящим (нисходящим) движением над западной (восточной) частью Тихого океана и возвратным потоком с запада на восток в верхних слоях атмосферы. Это явление известно также как циркуляция Уокера.

При таком сценарии обычно выпадает большое количество конвективных осадков над Австралией и Индонезией (где высокие ТПМ), а над восточной частью Тихого океана отмечаются более устойчивые антициклонические условия. Сильные пассаты, дующие с востока на запад, вызывают направленное на запад океаническое течение, известное под названием Южное экваториальное течение, а также на более низких

уровнях возвратное течение, направленное на восток (Экваториальное противотечение). Когда эти «холодные» условия становятся ярко выраженными, то о системе говорят, что она перешла в фазу цикла, называемую Ла-Нинья, и австралийская конвекция может быть охарактеризована наводнениями в таких районах, как Австралия и Индонезия. В восточной части Тихого океана может происходить обширный подъем вод, насыщенных биогенными веществами, что впоследствии может принести пользу рыбному промыслу Южной Америки.

Во время «теплой» фазы цикла ЭНСО, известного под названием Эль-Ниньо, в Тихом океане происходит уменьшение градиента давления у поверхности и ослабление пассатов. Конвекция над западной частью Тихого океана снижается, и в случае экстремального проявления Эль-Ниньо в некоторых частях Австралии может наблюдаться засуха. Основная область тропической конвекции перемещается в восточном направлении к демаркационной линии суточного времени, и в центральной и восточной частях Тихого океана поднимаются ТПМ. Океанические течения теряют силу, а у берегов Южной Америки отмечается заметное снижение подъема, что впоследствии сказывается на рыбном промысле в этом районе.



Визуальное отображение явления
Эль-Ниньо/южное колебание
(июнь 1997 г.)

Дальние корреляционные связи — это статистически важные связи между климатическими режимами различных географических районов, которые могут находиться на большом расстоянии друг от друга.

Эль-Ниньо/южное колебание (ЭНСО) — это крупнейший климатический цикл на Земле, происходящий в десятилетнем и менее чем десятилетнем масштабах времени. ЭНСО оказывает сильное воздействие не только на погоду и океанические условия в тропической части Тихого океана, где оно зарождается, но и на регионы, удаленные на большие расстояния от Тихоокеанского бассейна.

Полярные регионы являются «хранителями» климатических архивов Земли. Они также являются своего рода системой заблаговременного предупреждения о том, что может произойти с планетой в целом...

Климатические изменения в Антарктике, которые сказываются на шельфовых ледниках, формировании морского льда или потоках холодных антарктических воздушных масс, могут оказать воздействие на глобальную океаническую систему.

Полыньи

«Полынья» — это русское слово, означающее «закрытое пространство незамерзшей воды, окруженное льдом». Хотя полыньи могут быть несколько сот километров в ширину, площадь их поверхности намного меньше площади окружающего их морского льда. Некоторые полыньи образуются каждый год в одно и то же время и на том же самом месте, и некоторые животные приспосабливают свой образ жизни под это регулярное явление.

В полыньях кишит животная и растительная жизнь. Только здесь, где нет морского льда, энергия Солнца напрямую достигает воды. Снег и лед обычно отражают большое количество энергии солнечного света, в то время как открытые воды полыней поглощают ее.

Фитопланктон в полыньях использует эту энергию для создания богатых нутриентами «пастбищ» для зоопланктона. Этими маленькими животными питаются киты, а также рыба, являющаяся в свою очередь пищей для тюленей, моржей и белых медведей.



В августе 2006 г. в море Бофорта образовалась и продолжает разрастаться новая полынья. По состоянию на 11 сентября 2006 г. площадь открытой воды выросла приблизительно до 100 000 км².

колебанием в атмосферных массах между субтропической областью высокого давления недалеко от Азорских островов и центром низкого давления рядом с Исландией. Его индекс изменяется из года в год, но также демонстрирует тенденцию оставаться в одной фазе на протяжении интервалов в несколько лет.

Во время положительной фазы САК субтропический центр высокого давления усиливается, в то время как исландская область низкого давления углубляется. Более сильный градиент давления приводит к более частым и глубоким зимним штормам, пересекающим Атлантический океан и достигающим северных частей Европы. Европа получает более теплые и влажные зимы, но теплый воздух также переносится в Норвежское и Баренцево моря, в результате чего количество морского льда становится ниже нормы. С другой стороны, глубокая исландская область низкого давления создает сильный северный поток в море Лабрадор, что

приводит к увеличению количества морского льда вокруг Гренландии выше нормы.

Во время отрицательной фазы САК как субтропическая область высокого давления, так и исландская область низкого давления слабы, что приводит к снижению градиента давления и сокращению количества и силы зимних штормов в Северной Атлантике. В северной части Европы и западном секторе Арктики присутствует холодный воздух, что способствует более активному образованию морского льда. С другой стороны, зимние температуры в Гренландии более умеренны.

Во время событий Эль-Ниньо интенсивная штормовая активность в тропической части Тихого океана приближается к демаркационной линии суточного времени, поскольку глубокая конвекция вызывает дивергенцию в верхней атмосфере. Это приводит к обширным метеорологическим группам волн (волны Россби), перемещающимся по направлению

к полюсам в обоих полушариях и делающим возможным установление дальних корреляционных связей между ЭНСО и климатом районов средних и высоких широт. В северной части Тихого океана отмечается четкий сигнал, свидетельствующий о перемещении теплых событий явления ЭНСО в северном направлении посредством групп волн Россби. Это явление известно также под названием «тихоокеанская североамериканская модель». Крайний северный предел этой группы волн может повлиять на климат Аляски, США.

Самые ярко выраженные сигналы ЭНСО в высоких южных широтах отмечаются над юго-восточной частью Тихого океана в результате того, что группа волн Россби дает положительные высотные аномалии над морем Амундсена-Беллинсгаузена во время событий Эль-Ниньо, а отрицательные аномалии — во время фазы Ла-Нинья данного цикла. На внетропическом рисунке, однако, иногда можно наблюдать высокую степень изменчивости между событиями в этой области.

Термогалинная циркуляция — это система, связывающая основные океаны (см. текстовый блок

на с. 18). Окружающие Антарктику моря играют особо важную роль, т. к. они вырабатывают антарктические придонные воды — самую плотную водную массу во всех океанах. Антарктические придонные воды формируются за счет глубокой зимней конвекции в Антарктическом прибрежном регионе, в особенности в море Уэдделла и море Росса, но также и совместно с другими шельфовыми ледниками.

Водная масса формируется по мере того, как холодный ветер из Антарктики быстро остужает поверхностные воды, открывая прибрежные полыньи (см. текстовый блок на с. 20) и способствуя нисходящей конвекции. Отделение рассола во время формирования морского льда на поверхности океана также является очень важным процессом, равно как и таяние под шельфовыми ледниками. Антарктические придонные воды вытекают в Мировой океан, и их можно найти на глубине ниже 4 000 м во всех океанических бассейнах.

Они текут в Атлантическом океане в северном направлении, достигая Арктику, где происходит выброс тепла в атмосферу. Таким образом, можно сделать

Доказательством повсеместного таяния морского льда является также недавнее трехкратное увеличение содержания пресной воды в Северном Ледовитом океане.

За последние 25 лет площадь, покрытая морскими льдами в конце лета (в сентябре), сократилась приблизительно на 17 процентов. На региональном уровне это наблюдается в форме отступления кромки льда протяженностью 300–500 км в море Бофорта или в Восточно-Сибирском море, в зависимости от года.



Морской лед важен моржам во время питания, поскольку он является местом для отдыха между нырками и позволяет им ловить рыбу на более широком пространстве.

Тайга: болотистый
хвойный лес
высоких северных
широт

Тундра: просторный,
почти равнинный,
безлесный
арктический регион,
обычно с болотистой
поверхностью
и подстилающей
вечной мерзлотой

Мерзлый грунт
арктической тундры
и тайги содержит
одну треть мировых
запасов углерода,
находящегося
в почве. При
таянии вечной
мерзлоты углерод
и метан поступают
в атмосферу,
что может
способствовать
увеличению
концентраций
парниковых газов.

вывод о том, что те климатические изменения в Антарктике, которые сказываются на шельфовых ледниках, формировании морского льда или потоках холодных антарктических воздушных масс, могут оказывать влияние на глобальную океаническую систему.

Изменения в океанических условиях в Арктике могут также иметь далеко идущие последствия. Так, например, существуют свидетельства того, что аномалии солёности океанской воды в центральной Арктике распространились на Гренландское море, где они могут стать причиной крупных преобразований в стратификации океана.

Значительный прогресс в понимании роли Арктики в глобальной климатической системе был достигнут в 1994–2003 гг. во время проводимого в рамках Всемирной программы исследований климата десятилетия изучения климатической системы Арктики (АКСИС). Арктика (и в значительно меньшей степени субантарктические острова) выполняет также еще одну важную функцию в глобальной климатической системе, выступая в качестве источника и погло-

теля основных парниковых газов, удерживаемых вечной мерзлотой или сезонно промерзающим грунтом. Мерзлый грунт Арктической тундры и тайги содержит метан, озон и двуокись углерода. В сущности, эти области содержат одну треть мировых запасов углерода, находящегося в почве. Когда вечная мерзлота тает, происходит выброс углерода в атмосферу, что может способствовать увеличению концентраций парниковых газов.

НЕДАВНИЕ ИЗМЕНЕНИЯ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ В ВЫСОКИХ ШИРОТАХ

За последние десятилетия произошли крупные изменения в окружающей среде полюсов, поскольку повышение приземных температур воздуха приводит к значительному сокращению протяженности многолетних морских льдов в Арктике, к уменьшению снежного покрова, таянию вечной мерзлоты и уменьшению речного и озерного льда. Тающие ледники в различных частях Арктики вносят вклад в процесс повышения уровня моря во всем мире. В таких областях как Аляска тающие ледники могут



Белый медведь является символом арктического региона. Потепление климата подвергает риску его среду обитания, его запасы питания и, в конечном счете, его выживание, равно как и выживание коренного населения этого региона.

Проблемы в области прогнозирования погоды, присущие полярным регионам

Антарктическое поле ветра — это одна из наиболее ярко выраженных отличительных черт этого континента, поскольку неослабевающие склоновые (катабатические) ветры в некоторых частях прибрежного региона являются самыми устойчивыми по своему направлению ветрами на Земле. Эти ветры наиболее сильны в зимнее время года, когда в результате сильного радиационного охлаждения на плато вырабатывается большой запас холодного воздуха, подпитывающего систему катабатических ветров. Сильные катабатические ветры присутствуют не по всему прибрежному региону, но сконцентрированы в основных ледниковых долинах, в особенности вокруг побережья восточной Антарктиды. Климатология дает хорошие указания в отношении того, где наблюдаются самые сильные катабатические ветры, но прогнозы по прибрежным регионам, подготовленные с использованием технологий численных прогнозов, просто прекрасны.

Катабатические ветры менее присущи Арктике, поскольку горы там ниже. Сильные катабатические ветры, однако, наблюдаются в прибрежных регионах Гренландии, где они могут оказывать воздействие на жизнь местных общин.

В полярных регионах особо важное значение имеет ряд метеорологических элементов. Одним из них является контраст поверхности, т. е. с какой легкостью на покрытой снегом поверхности можно опознать различные подробности рельефа с воздуха или путем наземных наблюдений. Для авиации информация о контрасте поверхности является жизненно важной, поскольку необходимо обеспечить возможность для безопасного осуществления взлетов и посадок. Контраст поверхности зависит в основном от облачности; в безоблачных условиях контраст поверхности обычно отличный благодаря малому содержанию аэрозоля в полярной атмосфере и очень хорошей видимости. Самые большие проблемы возникают с мощными плотными слоями облаков,

зачастую в форме лишенных характерных черт слоистых облаков, высокослоистых облаков или слоисто-дождевых облаков. При таких условиях наблюдателю зачастую может быть не видно небольших бугров или расселин на поверхности даже с расстояния в несколько метров. Таким образом, прогнозирование контраста поверхности в основном сводится к прогнозированию ожидаемого типа и толщины облаков в конкретном местоположении.

Еще одной сопутствующей величиной является ясность горизонта, а именно легкость, с которой можно установить границу между землей и небом. Этот параметр является чрезвычайно важным для осуществления полетов в районе шельфовых ледников и в равнинных частях полярных регионов, таких как внутренняя часть Антарктического плато или центр Гренландии. Как и в случае с контрастом поверхности, ясность горизонта определяется в основном типом и природой присутствующих облаков. Наихудшие условия наблюдаются в случае присутствия толстого слоя слоистых облаков, высокослоистых облаков или слоисто-дождевых облаков. Подобно контрасту поверхности прогнозирование ясности горизонта осуществляется после того, как сделан прогноз ожидаемого облачного покрова. Ключевыми требуемыми элементами являются прогнозирование типа и толщины облаков, плюс информация о местной орографии. В совокупности эти два элемента позволяют осуществлять субъективное прогнозирование ясности горизонта.



Катабатический ветер — это ветер, который дует вниз вдоль топографической наклонной плоскости, такой как холм, гора или ледник.

На протяжении двух последних десятилетий отмечались контрастные тренды в отношении площадей, покрытых морским льдом, а именно, их значительное сокращение в Арктике и небольшое увеличение в Антарктике.

Спутники коренным образом преобразили метеорологическую науку и мониторинг климата и окружающей среды. Они позволяют ученым осуществлять наблюдения и мониторинг протяженности дрейфующего льда, объема ледяных шапок, продуктивности океанических вод и уровней озона в стратосфере.

Некоторые из крупнейших изменений окружающей среды происходят в высоких широтах.

иметь ярко выраженное региональное воздействие, в силу того что их сток пополняет океанические течения и морские экосистемы в заливе Аляски и Беринговом море. В Антарктике изменения менее заметны и менее распространены, чем в Арктике.

Исследования климата высоких широт обнаруживают ряд проблем. Народы, населяющие Арктику, отмечают более теплую и все в большей степени изменчивую погоду, а также изменения в земных и морских экосистемах, что отразилось на их традиционном образе жизни.

История наблюдений там, однако, довольно-таки коротка по сравнению с теми данными, которыми мы располагаем по более населенным частям света. В некоторых районах, окружающих Арктику, наблюдения за климатом ведутся более века, в то время как в Антарктике такие наблюдения ведутся только около 50 лет. Эти наблюдения обеспечивают нам самые точные измерения атмосферных параметров, однако во многих регионах наблюдения в значительной степени раздлены, а количество океанических наблюдений очень ограничено.

Температура

Результаты анализов данных приземных метеорологических наблюдений указывают на то, что за последнее столетие на Земле приземная температура воздуха поднялась приблизительно на 0,6 °С. Однако структура приземных изменений на Земле в век приборов очень сложна и зависит от рассматриваемого периода. Многие исследования указывают на то, что самые крупные изменения окружающей среды происходили в высоких широтах.

Карта линейных трендов годовой приземной температуры по всей Земле за последние 50 лет указывает на три «горячих точки» над Аляской/северной частью Канады, центральной частью Сибири и Антарктическим полуостровом. Во всех этих районах за последние 50 лет наблюдался рост средней годовой температуры более чем на 1,5 °С.

В Арктике пространственная и временная структура изменений температуры достаточно сложна. Временные ряды данных об аномалиях сезонной приземной температуры, полученные с 59 метеорологических станций, указывают на множество





Спутники предоставляют бесценные данные об окружающей среде, в особенности по районам с редкой сетью приземных наблюдений.

теплых и холодных периодов, которые часто отмечались лишь в ограниченных секторах.

Пик одного из самых ярко выраженных теплых периодов пришелся приблизительно на 1940 год. Это стало ясно из зарегистрированных температур и сокращения области морского льда вокруг Исландии. Эксперименты с климатическими моделями, обусловленные увеличивающимся уровнем парниковых газов, были не в состоянии адекватно воспроизвести этот теплый период, поскольку они базировались на предположении о том, что он являлся следствием естественной междесятилетней климатической изменчивости.

Тенденция потепления на Аляске и в северной части Канады в основном ассоциируется с внезапным потеплением приблизительно в середине 1970-х годов. Климат Аляски находится под сильным влиянием климатического центра низкого давления, расположенного над Алеутскими островами. Когда эта область низкого давления глубока, Аляска попадает под влияние теплых южных воздушных масс. Однако когда она слаба, тогда холодные северные воздушные массы становятся обычным явлением и температуры падают. В середине 1970-х годов тихоокеанское десятилетнее колебание (основной климатический цикл Тихоокеанского региона) изменило свою фазу, что привело к углублению Алеутской области низкого давления и более теплым условиям в районе Аляски.

С другой стороны, сибирское потепление, похоже, ассоциируется с переходом североатлантического

колебания/арктического колебания в положительную фазу за последние десятилетия, что привело к увеличению переноса теплого атлантического воздуха через Европу и в центральную часть Азии.

Хотя с 1930-х до 1950-х годов отмечались и другие региональные/временные эпизодические теплые события, теплые температуры стали являться более распространенным явлением в Арктике в 1990-е годы. Данные приземных наблюдений из центральной Арктики за 1979–1995 годы показывают значительные тренды потепления весной и зимой, в то время как летние и осенние тренды незначительны. Тренды потепления приземной температуры воздуха более значительны для внутренних регионов по сравнению с прибрежными/океанскими регионами. В Сибири аномалии потепления имели место приблизительно в 1980 году, и весь регион от Восточной Сибири до Канады стал теплее с 1989 года. Многие арктические станции фиксируют положительные весенние аномалии в период 2002–2005 гг., и западная часть Гренландии стала теплее с 1999 года. В дополнение к изменению средних температур, отмечается значительное уменьшение количества чрезвычайно холодных дней на Аляске.

В Антарктике картина недавних климатических изменений сильно отличается. За пределами Антарктического полуострова было отмечено небольшое количество значительных температурных изменений. После 1950-х годов температуры на Южном полюсе упали, так как с переходом кольцевой моды южного полушария в положительную фазу на континенте усилились западные ветры. Однако на станции «Восток», расположенной в восточной части антарктического плато, не произошло никаких значительных изменений.

Температурные изменения в восточной и западной частях Антарктического полуострова сильно отличаются. Восточное потепление наиболее ярко выражено в летние и осенние периоды. Оно связано с более сильными западными ветрами, являющимися следствием изменений в кольцевой моде южного полушария. В эти периоды, по сравнению с предыдущими десятилетиями, большее количество теплых воздушных масс пересекает полуостров, поднимая температуры на несколько градусов. Поскольку раньше температуры приближались к точке замерзания, это сильно отразилось на окружающей среде, в том числе это способствовало процессу разрушения шельфовых ледников.

Ожидается, что за следующее столетие приземные температуры воздуха в полярных регионах повысятся больше, чем в каких-либо других частях Земли. Это будет иметь серьезные последствия для криосферы, океанической и атмосферной циркуляций, поверхности суши, а также для коренных народов Арктики.

Уменьшение количества пакового льда в Арктике привело к сокращению количества тюленей, являющихся основной пищей белых медведей.

Безусловно, их потеря напрямую не повлияет на уровень моря, так как они уже находятся на поверхности океана, но их распад может привести к ускорению ледниковых потоков в восточной части полуострова.

Температуры в западной части Антарктического полуострова поднялись больше, чем где-либо в южном полушарии. Данные наблюдений в точке свидетельствуют о повышении там за последние 50 лет среднегодовых температур на 3 °С и температур зимнего сезона на 5 °С. В этой области существует тесная связь между зимними сезонными температурами и протяженностью морского льда у побережья, так как в те годы, когда образовывалось большое количество льда, температуры понижались, а в те годы, когда образовывалось небольшое количество льда, температуры повышались. Крупный тренд потепления в этом районе указывает на большее количество морского льда в 1950-е и 1960-е годы, хотя до сих пор этому не дано объяснение. Более высокие температуры также сопровождались большим количеством выпавших осадков, при этом самое значительное увеличение количества сообщений о дождевых осадках происходит в летнее время.

Морской лед

До 1970 г. наши познания о протяженности и сплоченности морского льда базировались в основном на наблюдениях с кораблей и самолетов, и некоторая информация поступала также с береговых станций. Большинство таких данных касается Арктики, где была доказана возможность проведения анализа льда евразийской части Арктики с 1930 г. Существуют также некоторые норвежские ледовые карты для Северной Атлантики, которые отображают ситуацию с 1500-х годов, однако данные, на которых они базируются, чрезвычайно скудны по начальным годам. Опираясь в значительной степени на этот



источник, в рамках проекта АКСИС ВПИК удалось разработать климатологию кромки морского льда Северного Ледовитого океана за период с 1553 г.

Надежные данные с высоким горизонтальным разрешением о протяженности и сплоченности морского льда в полярных регионах стали доступны с 1978 г., когда на полярном орбитальном спутнике Нимбус-7 был впервые установлен многоканальный сканирующий микроволновый радиометр. На основании таких данных было выявлено, что за период с 1978 по 1996 гг. арктический лед уменьшался на 2,8 процента за десятилетие, или на 34 300 км² в год. Такие сокращения происходили в течение каждого из сезонов, а также в течение года в целом, причем наибольшие потери льда наблюдались весной, а наименьшие — осенью. Самые большие потери льда происходили в Карском и Баренцевом морях, где сокращение происходило на 10,5 процентов за десятилетие. В меньшем объеме потеря льда происходила в Охотском и Японском морях (самые большие показатели отмечались в зимнее время), а также в Северном Ледовитом океане. В Гренландском море, Гудзоновом заливе и Канадском архипелаге потеря льда была еще менее значительной.



Полярный ледяной покров, вид со спутника

Начиная с середины 1990-х годов в течение нескольких лет отмечалась рекордно маленькая протяженность льда в летнее время года. По информации, предоставленной Национальным центром данных США по снегу и льду, отмечается сентябрьское сокращение более чем на 8 процентов за десятилетие в период с 1979 по 2005 г. На основании частотности возникновения такой ситуации, когда протяженность льда приближалась к рекордно низким показателям, можно прийти к заключению, что в арктических водах, по всей вероятности,

происходит набирающая темпы долгосрочная тенденция к сокращению. Кроме того, считается, что недавний минимум льда был ниже минимумов арктического льда 1930-х и 1940-х годов.

Зима 2004/2005 гг. была особенной, поскольку восстановление морского льда за этот сезон было наименьшим за всю историю ведения спутниковых наблюдений. Когда в зимнее время температура снижалась, лед формировался, но, за исключением мая 2005 г., каждый месяц начиная с декабря 2004 г. отмечалась рекордно маленькая протяженность льда за соответствующий месяц. В сентябре 2005 г. был установлен новый рекордный минимум протяженности арктического морского льда, перекрывший предыдущие рекордные минимумы, установленные в 2002 г. Средний показатель пятидневных измерений протяженности морского льда упал 21 сентября 2005 г. до 5,32 млн. км², что является самой маленькой протяженностью за всю историю ведения наблюдений со спутника начиная с 1978 г. Каждый год в течение периода с 2002 по 2005 гг. протяженность льда была на 20 процентов меньше, чем средние показатели за период 1978–2000 гг., причем потеря морского льда составила приблизительно 1,3 млн. км².

О протяженности и сплоченности антарктического морского льда стало возможно с уверенностью

судить только начиная с 1970-х годов, когда стали вестись надежные пассивные микроволновые наблюдения со спутника. Эти данные показывают, что за период с 1979 по 1998 гг. антарктический морской лед увеличивался в целом на 11 180 км² в год, или на 0,98 процентов за десятилетие. На региональном уровне тренды протяженности были позитивными в секторах моря Уэдделла, Тихого океана и моря Росса, слегка негативными в секторе Индийского океана и сильно негативными в морях Беллинсгаузена и Амундсена. Это соответствует текущему потеплению на западной стороне Антарктического полуострова, что тесно связано с океаническими условиями морей Амундсена и Беллинсгаузена. Во всех секторах увеличение количества морского льда отмечалось во все времена года, причем наибольшее увеличение происходило осенью. От региона к региону тренды отличаются в зависимости от сезона.

По толщине морского льда имеются лишь ограниченные данные, но на основании данных с трансекта протяженностью 1 000 км, полученных в ходе двух летних рейсов в 1958 и 1970 гг., можно предположить, что осадка льда уменьшилась на 0,2 м в трансполярном дрейфовом течении и в евразийском бассейне, а в канадском бассейне — на 0,7 м. Существует также подтверждение того, что морской лед стал тоньше на 0,8 м за период с 1976 по 1987 гг. между проливом Фрама и полюсом и на

В Антарктике нет постоянных человеческих поселений, и там никогда не проживали коренные народы. Там могут выжить лишь отдельные виды растений и животных, включая пингвинов, морских котиков, мхи, лишайники и водоросли.

Арктика — это в основном просторный, покрытый льдом океан, окруженный безлесным и промерзшим грунтом. Он кишит жизнью, включая организмы, живущие во льду, рыб и морских млекопитающих, птиц, наземных животных и человеческие общины.



Повышение температур сказывается на популяциях пингвинов: в некоторых районах отмечается ее рост, а в других — сокращение, в особенности в тех районах, где исчезает их источник питания — криль.

На нефтепроводах, пролегающих в районах вечной мерзлоты, появлялись трещины, что приводило к значительному загрязнению окружающей среды и наносило ей ущерб.

2,2 м к северу от Гренландии. Благодаря измерениям осадки морского льда гидролокаторами верхнего обзора с подводных лодок мы имеем такие данные начиная с 1950-х годов. На их основании были получены первые убедительные доказательства крупномасштабного утончения льда по всему арктическому бассейну. Эти данные продемонстрировали, что с 1958 по 1976 и с 1993 по 1997 гг. средняя осадка льда к концу сезона таяния сократилась в большинстве глубоководных частей Северного Ледовитого океана с 3,1 м в течение раннего периода до 1,8 м в 1990-х годах, т. е. приблизительно на 1,3 м, или на 40 процентов.

Вечная мерзлота

Потеря вечной мерзлоты в Арктике уже в значительной степени сказывается на окружающей среде из-за серьезного ущерба, который может быть нанесен тем сооружениям, прочность фундамента которых зависит от вечной мерзлоты. Строительство по территории Аляски трансарктического трубопровода протяженностью около 1 287 км являлось чрезвычайно дорогостоящим мероприятием, но расходы на ликвидацию поломок и прочие ремонтные работы на этом трубопроводе по причине таяния вечной мерзлоты могут также стать существенными. Риск срыва эксплуатации этого трубопровода в краткосрочной перспективе считается незначительным, однако существует вероятность роста эксплуатационных затрат, вызванных повышением нестабильности почвы. Есть основания ожидать увеличение такого потенциально опасного оползания почвы в ближайшие десятилетия.

Ледяные щиты и уровень моря

С помощью высотометров, используемых с начала 1990-х годов на полярно-орбитальных спутниках, можно определить высоту основных ледяных щитов и таким образом изучить вопрос о балансе массы, а именно, растут ли или сокращаются ледяные щиты. Баланс массы ледяного щита зависит от ряда факторов, включая объем выпадающего на него снега, количество снега, сдуваемого в океан, потерю массы из-за откалывания айсбергов, изостатическую компенсацию.

С 1992 по 2002 гг. на Гренландском ледяном щите отмечался смешанный процесс утолщения и утончения. На высотах выше 1 200 м происходило утолщение на 4 см в год и формирование льда в объеме 53 гигатонн (Гт) в год. На высотах ниже этого уровня



происходило утончение на 21 см в год и уменьшение объема на 42 Гт в год. Это привело к незначительному увеличению общей массы на 11 Гт в год, что является эквивалентом снижения уровня моря на $-0,03$ мм в год.

Западно-антарктический ледяной щит теряет массу со скоростью -47 Гт в год, в то время как в восточной Антарктике отмечается незначительный прирост массы ледяного щита на $+16$ Гт в год. Совокупное чистое изменение составляет -31 Гт в год, или повышение уровня моря на $+0,08$ мм в год.

Это особенно интересно, поскольку большая часть западно-антарктического ледяного щита находится ниже уровня моря. Полная его потеря привела бы к повышению уровня моря на 5 м. В этой связи возникает очевидная обеспокоенность в отношении распада даже небольшой его части. На основании данных, полученных со спутника, недавно было обнаружено утончение части ледяного щита в районе ледника Пайн-Айленд. Это крупнейший ледник в западной части Антарктики. Его толщина составляет до 2 500 м, а его основание лежит на глубине более 1 500 м ниже уровня моря. За восемь лет с 1992 г. ледник отступил в сторону материка более чем на 5 км, что привело к потере 31 км^3 льда. Потеря льда в ледниковых бассейнах Пайн-Айленд и Туэйтс, по всей вероятности, является динамической реакцией льда на долгосрочное изменение климата и, возможно, также на смещение в прошлом прилегающих к ним шельфовых ледников. Если утончение ледников будет продолжать идти такими же темпами, то можно полагать, что весь ледник Пайн-Айленд растворится в океане в течение нескольких сотен лет. Необходимо поставить важную исследовательскую задачу по установлению

причин настоящего сокращения этого ледника и выявлению того, не вызвано ли подобное сокращение антропогенной деятельностью, не начнется ли по причине глобального потепления ускорение процесса утончения других ледников и не приведет ли это к оттоку большого количества льда изнутри ледяного щита с соответствующими последствиями для уровня моря.

С 1992 г. глобальный средний уровень моря повышался со скоростью $3,2 \pm 0,4$ мм в год по сравнению с $1,7 \pm 0,3$ мм в год в прошлом веке. Это быстрее, чем за последние 5 000 лет, когда этот процесс шел со скоростью 1 мм в год. Повышение уровня моря — это результат термического расширения океана, увеличения притока рек в океан, изменений в выпадении/испарении осадков и потери льда на ледяных щитах. Точные причины настоящего повышения уровня моря неизвестны и являются одной из основных областей для исследований.

Озоновая дыра над Антарктикой

Озон является чрезвычайно важным газом в стратосфере, поскольку он поглощает ультрафиолетовый (УФ) солнечный свет, тем самым защищая людей и другие элементы биосферы. Общее содержание озона было впервые измерено наземными приборами сквозь толщу атмосферы над Антарктикой во время МГГ (1957-1958 гг.). На основании этих измерений было установлено, что типичные значения для общего содержания озона находились приблизительно на уровне 300 единиц Добсона (ед. Д.), что соответствует приземному слою озона толщиной 3 мм.

Сезонный цикл озона в Антарктике связан с образованием и прекращением зимнего околорасположенного вихря, являющегося сильной циркуляцией вокруг высоких южных широт. Исторически показатели озона внутри вихря находились на уровне около 300 ед. Д. в начале зимы и приблизительно на таком же уровне в конце зимы. В течение зимы озон начинает накапливаться в околорасположенном поясе сразу за пределами вихря, что происходит в силу переноса озона из регионов его формирования в тропиках. Начиная с середины 1970-х годов наблюдается прогрессирующе меняющийся режим — озоновая дыра над Антарктикой. К концу зимы показатели содержания озона стали приблизительно на 10 процентов ниже, чем они были в 1970-е годы, а затем они начинают снижаться приблизительно на 1 процент в день и достигают к концу сентября около

100 ед. Д. Затем показатели начинают постепенно восстанавливаться по мере прогрева стратосферы. Поскольку весенний прогрев стратосферы зачастую задерживается до конца ноября или даже до декабря, то озоновая дыра может сохраняться в течение нескольких месяцев.

Озоновая дыра над Антарктикой образовалась из-за выбросов, преимущественно в северном полушарии, хлорфторуглеродов (ХФУ) и галонов. Эти газы широко использовались в рефрижераторных морозильных установках, для производства промышленных растворителей и для борьбы с пожарами. Если положения Монреальского протокола 1987 г. по веществам, разрушающим озоновый слой, будут подкрепляться и соблюдаться, то, в соответствии с докладом ЮНЕП/ВМО "Scientific Assessment of Ozone Depletion: 2006" («Научная оценка истощения озона: 2006 г.»), озоновый слой над средними широтами должен восстановиться приблизительно к середине настоящего столетия. Над Антарктикой восстановление займет приблизительно на 15 лет дольше. В настоящее время ситуация, похоже, стабилизировалась с некоторыми отклонениями от года к году в зависимости от атмосферных условий.

Пока сохраняется озоновая дыра над Антарктикой, на поверхности континента будут сохраняться повышенные уровни ультрафиолетового излучения, что может создавать угрозу для человека и биоты. Пониженное содержание озона может также оказать воздействие и на более низкие широты. Полярный вихрь может часто удлиниться

Четыре миллиона коренных жителей проживает на восьми миллионах квадратных километров пригодной для проживания арктической суши.

Многие исследования иллюстрируют уязвимость Гренландского ледяного щита в мире повышающихся температур воздуха.

Если уровень моря будет продолжать повышаться настоящими темпами или еще быстрее, то это создаст большую проблему для низко расположенных областей по всему миру.



Озоновый слой защищает жизнь на Земле, блокируя вредные ультрафиолетовые лучи Солнца. «Озоновая дыра» — это сильное разрушение озонового слоя высоко над Антарктикой.

Монреальский протокол 1987 г. к Венской конвенции об охране озонового слоя (1985 г.) запрещает разрушающие озоновый слой химические вещества, однако из-за длительного жизненного цикла этих химических веществ озоновый слой не восстановится еще в течение нескольких десятилетий.

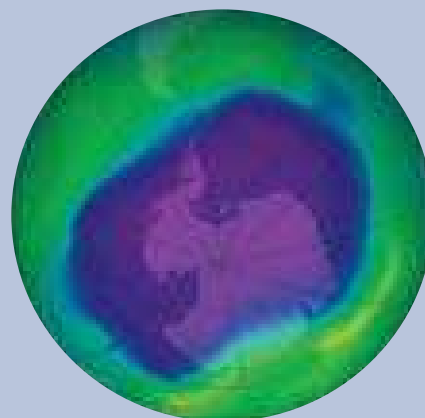
Ежегодные оценки состояния озонового слоя над Арктикой и Антарктикой основываются на данных, полученных Глобальной службой атмосферы ВМО. В течение сезона антарктической озоновой дыры — с конца августа по ноябрь — ВМО каждые две недели выпускает бюллетени о состоянии озонового слоя. Дополнительную информацию можно найти на сайте: <http://www.wmo.int/web/arep/ozone.html>.

Озоновая дыра над Антарктикой в 2006 г.

С 21 по 30 сентября 2006 г. средняя площадь озоновой дыры над Антарктикой была самой большой за всю историю ведения наблюдений, и был побит рекорд как по ее площади, так и по ее глубине. Немногим более недели спустя после того, как озоновая дыра удерживала свой новый рекорд по самой большой средней площади, приборы, установленные на спутниках и аэростатах, зафиксировали самую низкую концентрацию озона за всю историю наблюдений над Антарктикой, что означало, что озоновая дыра стала глубже, чем когда-либо.

Новый рекорд, установленный в 2006 г., был зафиксирован, кроме того, по самой большой средней площади в течение периода в 11 дней, что означает, что озоновая дыра оставалась самой большой в течение более продолжительного периода времени, чем когда-либо.

Хотя созданные человеком соединения пробируют озоновую дыру путем выброса хлоро- и бромсодержащих газов в атмосферу, масштабы озоновой дыры изменяются из года в год в зависимости от температуры антарктической стратосферы. Температуры ниже среднего уровня приводят к увеличению и углублению озоновых дыр, в то время как более теплые температуры приводят к их уменьшению. В 2006 г. температуры упали гораздо ниже среднего уровня и приблизились к рекордным минимумам, или даже перекрыли их. Такие необычайно низкие температуры привели к увеличению размера озоновой дыры.



Озоновая дыра над Антарктикой по состоянию на 24 сентября 2006 г. Синим и фиолетовым цветом отмечены низкие уровни содержания озона, а зеленым, желтым и красным — более высокие.

Над Арктикой было также отмечено истощение озонового слоя, хотя и в меньшей степени, поскольку температуры в нижних слоях стратосферы над Арктикой обычно сохраняются более высокими, чем над Антарктикой. Тем не менее, истощение озона над Арктикой вызывает озабоченность из-за людских поселений в этом регионе, а также из-за возникновения риска для рыбы и животного мира, являющихся традиционным источником питания для проживающих там людей.

и доходить до южных частей Южной Америки и Австралии, что будет приводить к повышению там приземного уровня УФ. Многие газеты в этих регионах публикуют отчеты и прогнозы относительно уровней УФ, для того чтобы повысить осведомленность общественности в отношении необходимости предпринятия мер предосторожности и использования солнцезащитного крема.

КАК ИЗМЕНЯТСЯ ПОЛЯРНЫЕ РЕГИОНЫ В БУДУЩЕМ?

Возможные последствия для остальных частей земного шара

Основные инструменты, которыми мы располагаем для предсказания того, как будет развиваться климат Земли, — это совмещенные климатические



модели для атмосферы и океана. Однако существующие климатические модели не очень хорошо работают в полярных регионах, когда делаются попытки представить климат XX века. Так, например, они не смогли спрогнозировать те атмосферные условия, которые привели в последние несколько лет к разительному расколу антарктических шельфовых ледников. Кроме того, различные модели имеют в своих прогнозах большую степень изменчивости. Необходимо предпринять исследовательскую деятельность для улучшения результатов такого моделирования.

Атмосферная циркуляция

Прогнозы, полученные с помощью моделей, указывают на то, что с увеличением выброса парниковых газов кольцевая мода южного полушария и кольцевая мода северного полушария могут находиться в положительной фазе на протяжении более длительного периода времени. Это приведет к более низкому атмосферному давлению над Арктикой и Антарктикой и более высокому давлению в средних широтах. При более высоком градиенте давления между средними широтами и полюсами будет наблюдаться увеличение силы западных ветров средних широт.

Температура

По оценкам Межправительственной группы экспертов по изменению климата (МГЭИК), изложенным в

ее Третьем докладе об оценках (2001 г.), за период с 1990 по 2100 гг. средние глобальные приземные температуры повысятся на 1,4–5,8 °С. Такой диапазон оценочных значений был получен на основании результатов 35 сценариев выбросов парниковых газов и ряда климатических моделей.

На основании результатов прогонов моделей для Четвертого доклада об оценках МГЭИК было сделано предположение, что с увеличением выброса парниковых газов на 1 процент в год среднегодовые приземные температуры в зоне морского льда Антарктики будут увеличиваться в XXI веке на 0,2–0,3 °С за десятилетие. Также произойдет соответствующее уменьшение протяженности морского льда. На значительных частях высоких внутренних районов Антарктики будет отмечаться повышение приземных температур более чем на 0,3 °С за десятилетие. Это приведет к ослаблению кatabатических ветров, в особенности в летнее время года.

В том, что касается Арктики, в центре внимания исследовательской деятельности стоял проект «Оценка влияния на арктический климат», над которым работали сотни ученых, занимающихся исследовательской деятельностью. На основании усредненных результатов, полученных с пяти климатических моделей, которые также использовались для МГЭИК, были подготовлены температурные прогнозы на следующий век. Все модели предсказывают стабильный рост среднегодовой температуры с повышением температур в среднем на 4 °С к 2100 г.

По оценкам МГЭИК за период с 1990 по 2100 гг. средние глобальные приземные температуры повысятся на 1,4–5,8 °С.

Согласно проведенным оценкам, к 2100 году уровень моря может повыситься на 0,09–0,88 м.

Альбедо — отношение уходящей солнечной радиации, отраженной элементом, к интенсивности солнечной радиации, падающей на него.

Арктический совет — это объединение, включающее восемь стран-членов, которые имеют свои территории в Арктике; в него входят: Канада, Дания (Гренландия, Фарерские острова), Финляндия, Исландия, Норвегия, Российская Федерация, Швеция и США.

В центре внимания Арктического совета находятся вопросы окружающей среды и устойчивого развития.

<http://www.arctic-council.org/>

Модели показывают, что самое значительное повышение температуры будет происходить осенью и зимой, после того как большая часть арктического морского льда либо полностью растает, либо станет тоньше. Обратная связь альбедо, связанного с отступающим морским льдом, доминирует в сигнале о потеплении климата в высоких широтах.

С ростом температур будет происходить смещение арктических климатических зон к северу одновременно с расширением бореальных лесов и границ древесной растительности в сторону полюса. Это приведет к изменению арктических ландшафтов, поскольку северная кромка бореальных лесов будет вклиниваться в те районы, которые в настоящее время покрыты тундрой. Существует опасение, что в таких регионах, как Аляска, может произойти потеря влаги, необходимой для роста лесов, может увеличиться гибель деревьев из-за нашествия насекомых, может повыситься риск возникновения крупных пожаров, и могут произойти радикальные перемены в возобновлении некоторых деревьев, таких как белая ель.

В Антарктике многим млекопитающим и многим видам растений требуются особые климатические условия, в которых они могут благополучно существовать, причем особое значение в этой связи имеют температура и количество жидких осадков, хотя уровень УФ-Б излучения также является важным фактором. За последние годы с появлением озоновой дыры над Антарктикой количество получаемого весной УФ-Б излучения значительно возросло, что впоследствии отразилось на биоте. Повышение температур приведет к продлению сезона активности, ускорит темпы развития и снизит продолжительность жизненного цикла. Кроме того, это приведет к снижению устойчивости к стрессу, изменению в распределении видов и колонизации экзотических видов. Повышение доступности воды приведет к продлению периода активности, расширению местного распределения видов и откроет новые районы для колонизации. Вместе с тем, повышение УФ-Б излучения может отразиться на распределении ресурсов, повредить клеточные структуры и изменить цепь питания.





Морской лед

Поскольку температуры поверхности моря повышаются, то ожидается, что за ближайшее столетие протяженность как арктического, так и антарктического морского льда уменьшится. Считается, что этот процесс будет усилен механизмами обратной связи в Арктике, и некоторые климатические модели прогнозируют полное исчезновение морского льда в летнее время года ко второй половине XXI века.

Отступление морского льда будет способствовать формированию более сильных штормовых нагонов на более крупных областях открытой воды, усиливая тем самым процесс эрозии из-за повышенной активности волн. Будет также происходить седиментация, и возникнет риск наводнений в прибрежных районах.

Хотя потеря арктического морского льда может иметь серьезные последствия для океанической циркуляции, этот процесс может также оказаться некоторым образом выгодным для судоходства вокруг северных районов Российской Федерации и Канады. Более продолжительный свободный от льда летний сезон может принести большую выгоду для транспортной и нефтегазопромысловой деятельности на море, что может существенным образом повлиять на мировую торговлю.

Потеря морского льда вокруг Антарктики грозит крупномасштабным изменением морских экосистем, в том числе под угрозу могут быть поставлены

популяции морских млекопитающих, таких как пингины и тюлени. Из шести видов антарктических тюленей четыре размножаются на поверхности морского льда в весеннее время года, и этот процесс может быть нарушен из-за значительного сокращения протяженности морского льда. В настоящее время морской лед является укрытием для личинок обширной популяции криля, который является продуктом питания для огромного количества морских птиц, тюленей и китов. Значительное уменьшение протяженности морского льда приведет к сокращению популяции криля, что впоследствии отразится на более высоких хищниках.

Вечная мерзлота

Вечная мерзлота высокочувствительна к долгосрочному атмосферному потеплению, поэтому по всей Арктике будет происходить прогрессирующее оттаивание многолетнемерзлого и сезонномерзлого грунта. По оценкам МГЭИК, по некоторым сценариям выброса парниковых газов 90 процентов верхнего слоя арктической вечной мерзлоты может растаять.

Потеря вечной мерзлоты повлечет за собой гибель деревьев и потерю бореальных лесов, а также выпуск талой воды и расширение талых озер, лугов и заболоченных земель. Это приведет к изменениям в среде обитания и в экосистемах; так, например, для карибу и сухопутных птиц и млекопитающих среда обитания сократится, в то время как для водоплавающих птиц и млекопитающих она расширится.

Потеря вечной мерзлоты приведет также к увеличению эрозии и нестабильности почвы, особенно на побережьях и вдоль берегов рек. Это может привести к закупориванию потоков рек, необходимых для нереста лососевых. Могут также участиться случаи оползней и образования таликов (слой талого в течение круглого года грунта, в прошлом являвшегося вечной мерзлотой), а также может произойти углубление горизонта грунтовых вод. Для населенных пунктов одним из основных последствий этого процесса будет нанесение ущерба зданиям, дорогам и другой инфраструктуре.

Таяние арктической вечной мерзлоты имеет серьезные последствия для углеродного цикла и уровней парниковых газов в атмосфере. В прошлом вечная мерзлота являлась поглотителем углерода, замкнутого в промерзшей земле. Однако в случае таяния вечной мерзлоты и, следовательно, прогрева почвы

К коренным народам Арктики относятся: алеуты, атабасканцы, гвичины, инуиты и саами.

Лидеры коренных народов призвали Арктический совет разработать программу по проблемам последствий изменения климата и адаптации к ним, которая включала бы ориентированные на потребности местного населения опытные проекты по адаптации с уделением особого внимания таким вопросам, как образование, информационно-просветительская деятельность и связи с общественностью, а также наращивание потенциала.

Салехард (Российская Федерация) — единственный город в мире, расположенный на линии Северного полярного круга.

В октябре 2006 г. Ассоциация коренных малочисленных народов Севера, Сибири и Дальнего Востока, Российская Федерация, представила Арктическому совету информацию о том, что техногенная нагрузка и загрязнение окружающей среды представляют угрозу для пастбищных угодий северных оленей, охотничьего и рыболовного промысла, а также для мест расположения святынь.

будут ускоряться процессы разложения и выброса в атмосферу парниковых газов, таких как двуокись углерода и метан.

В настоящее время усилиями в рамках программы «Климат и криосфера» (Клик) ВПИК, а также Международной ассоциации мерзлотоведения и Глобального проекта по углероду Партнерства по наукам о системе Земли проводится исследование, направленное на осуществление более точной оценки скоплений углерода в вечной мерзлоте, а также потенциальных последствий его выброса в атмосферу в случае потепления климата.

Океаны

Прогнозирование того, как будет развиваться в ближайшем столетии океаническая циркуляция — задача чрезвычайно сложная. В силу того, что по сравнению с атмосферой забор проб из океана значительным образом отстает, у нас по-прежнему сохраняется слабое понимание отмечавшейся в последнее время изменчивости океана. Однако некоторые разумные прогнозы все же могут быть сделаны. В Антарктике, где кольцевая мода южного полушария находится в большей степени в положительной фазе, а западные ветры усиливаются, можно ожидать усиление антарктического циркумполярного течения.

Антарктический прибрежный регион является одним из основных районов выработки придонных вод за счет опускания холодной плотной воды на континентальных шельфах. Эти плотные холодные воды переносят большое количество кислорода на океанские глубины, тем самым охлаждая глубоководное пространство океана и осуществляя его вентиляцию. Поскольку существует вероятность того, что в ближайшее столетие будет формироваться

меньшее количество морского льда, то вполне вероятно, что это приведет к выработке меньшего количества придонных вод, в связи с чем возникает озабоченность о возможном прогреве океанских глубин.

В Арктике потеря морского льда, увеличение речных стоков, выпадение осадков, таяние Гренландского ледяного щита и сопутствующее опреснение воды в верхнем слое океана будут также означать уменьшение объемов выработки североатлантических глубинных вод, питающих антарктический регион через глобальный термогалинный конвейер. Таким образом, процессы, происходящие в Арктике и в Антарктике, будут дополнять друг друга в снижении интенсивности термогалинной циркуляции, что в свою очередь может ослабить Гольфстрим и североатлантическое течение. В потенциале это может серьезно сказаться на климате северной части Европы и, возможно, даже приведет к понижению приземных температур на несколько градусов.

Ледяные щиты и уровень моря

Ожидается, что с ростом приземных температур в ближайшем столетии ледники, ледниковые шапки и снежный покров будут сокращаться. Степень, в которой это будет происходить, и как быстро этот процесс будет идти в разных регионах, еще предстоит подсчитать, и этот вопрос является предметом обсуждений. Маловероятно, что основной антарктический ледяной щит претерпит какую-либо серьезную дезинтеграцию в ближайшие несколько веков, однако в некоторых частях Антарктики за последние несколько лет были отмечены стремительные гляциологические изменения, что является показателем чувствительности к климатическим факторам. Большая часть основного антарктического щита является слишком холодной для широкомасштабного таяния поверхности, и ожидается, что, благодаря активизации снегопадов в ближайшее столетие, запасы льда этого щита пополнятся, что в свою очередь приведет к понижению глобального уровня моря приблизительно на 10 см. Однако в качестве реакции на дальнейшее уменьшение размера шельфовых ледников, обусловленное потеплением океана, или на поверхностное таяние у кромок может произойти ускорение процесса оттока льда из внутренней части континента, окруженной в настоящее время «дамбами» из береговых шельфовых ледников. Последствия этого процесса могут свести на нет или даже перевесить эффект от активизации снегопадов на этом континенте.





Последние годы часто сообщалось о том, что потеря шельфовых ледников вокруг Антарктического полуострова вызвана деятельностью человека. Несомненно, есть доказательства того, что потепление в летнее время на восточной стороне полуострова является, как минимум отчасти, результатом связанных с «глобальным потеплением» изменений атмосферной циркуляции. Если уровни парниковых газов будут продолжать расти, то вполне вероятно, что мы станем свидетелями дальнейшей потери шельфовых ледников в этом регионе. Шельфовые ледники, безусловно, уже находятся на поверхности океана, и их потеря не отразится на подъеме уровня моря. В настоящее время не ясно, произойдет ли ускорение впадающих в шельфовые ледники ледяных потоков после исчезновения шельфовых ледников или нет. Это привело бы к более быстрому дренажу льда из внутренней части Антарктики. Существуют факты, указывающие на то, что за последние 50 лет на этом полуострове у приблизительно 87 процентов ледников проявились признаки отступления. Существует вероятность того, что с продолжением глобального потепления эта тенденция сохранится.

В ближайшем столетии ожидаются крупные изменения на Гренландском ледяном щите. Более высокие температуры воздуха, скорее всего, вызовут более обильные снегопады в высоких внутренних районах,

что приведет к увеличению высоты поверхности суши. На более низких уровнях, на окантовке Гренландии, более теплые условия приведут к таянию льда и будут способствовать ускорению стока. Кроме того, возможно, также увеличится отел айсбергов. Ожидается, что на кромке ледяного щита потеря массы из-за ледникового стока будет более значительной, чем прибавление массы за счет более объемного выпадения осадков. Эксперты также прогнозируют полную потерю льда, что приведет к изменению уровня моря от $-0,02$ до $0,09$ м. Это сопоставимо с вкладом Антарктики в повышение уровня моря, который по расчетным данным составляет от $-0,17$ до $+0,02$ м.

По мере того как будут повышаться приземные температуры воздуха по всему миру, термическое расширение океанов приведет к повышению уровня моря по расчетным данным на $0,11$ – $0,43$ м. Этот процесс будет приумножен или усугублен за счет притоков с ледяных шапок, о чем говорилось выше. Тающие ледники также внесут свой вклад в этот процесс, по расчетным данным, в объеме $0,01$ – $0,23$ м. В целом, по оценкам МГЭИК, к 2100 году уровень моря может повыситься на $0,09$ – $0,88$ м.

Если уровень моря будет продолжать повышаться настоящими темпами или еще быстрее, то это создаст большую проблему для низко расположенных областей по всему миру.

Народы, населяющие Арктику, сообщают о более теплой и все более изменчивой погоде, а также об изменениях в земных и морских экосистемах, что отразилось на их традиционном образе жизни.



МЕЖДУНАРОДНЫЙ ПОЛЯРНЫЙ ГОД 2007-2008



Последние десятилетия по полярным регионам проводилась активная исследовательская деятельность, однако в наших знаниях по-прежнему сохраняются большие пробелы в таких областях, как функционирование полярного климата и его взаимодействие с экосистемами, полярной окружающей средой и обществом. Поэтому нам необходимо получить лучшее представление об условиях на полюсах, а также о том, как полюса взаимодействуют с атмосферой, океанами и земельными массивами, и какое влияние полюса на них оказывают. Эти цели будут достигнуты в ходе проведения Международного полярного года (МПГ), 2007-2008 гг., являющегося крупной международной целевой исследовательской программой, инициаторами которой выступили Международный совет по науке (МСНС) и Всемирная Метеорологическая Организация.

Основополагающая концепция МПГ 2007-2008 заключается в придании интенсивного импульса координируемой на международном уровне междисциплинарной научно-исследовательской

деятельности и наблюдениям в полярных регионах Земли. Географически центр внимания будет сконцентрирован преимущественно на высоких широтах, но, тем не менее, будут также поощряться исследования, имеющие отношение к изучению полярных процессов или явлений в любых частях Земли. В целях обеспечения возможности для исследователей работать в обоих полярных регионах летом и зимой, если им это потребуется, Полярный год продлится на самом деле два года — с марта 2007 г. по март 2009 г.

Первый Международный полярный год проходил в 1882/1883 гг. С тех пор в высоких широтах проводился целый ряд крупных международных научных инициатив, включая второй Международный полярный год (1932/1933 гг.), все они внесли значительный вклад в улучшение нашего понимания глобальных процессов в этих важных областях. Эти инициативы включали в себя интенсивные периоды сбора данных, междисциплинарные исследования и создание архивов, отображающих состояние полярных регионов. Последней крупной инициативой явился Международный геофизический год (МГГ), проводившийся в 1957/1958 гг. в доспутниковую эпоху, в котором приняли участие 80 000 ученых из 67 стран. В ходе МГГ проводилась беспрецедентная деятельность по исследованию этих регионов, в результате чего были сделаны неожиданные открытия во многих областях исследований. Именно в этот период были учреждены многие из существующих по сей день арктических исследовательских станций. МГГ дал толчок к составлению в 1959 г. Договора об Антарктике и его ратификации в 1961 г.

Сегодня технологические достижения, такие как полярно-орбитальные спутники, автоматические метеорологические станции и автономные аппараты, открывают огромные возможности для дальнейшего расширения нашего понимания полярных систем. Предстоящий МПГ 2007-2008 также открывает возможности для вовлечения нового поколения молодых ученых, занимающихся изучением системы Земли, и поднятия престижа исследований в полярных регионах в глазах общественности.

МПГ 2007-2008 привлек большой интерес со стороны ученых, занимающихся различными дисциплинами в разных странах. В ответ на призыв Совместного комитета МСНС/ВМО по МПГ ученые уже спланировали и предложили более 200 сложных международных междисциплинарных проектов, затрагивающих

Во время проведения Международного полярного года 2007-2008 будет сделан акцент на первоочередной важности полярных регионов, являющихся неотъемлемыми и чувствительными компонентами системы Земли.

В рамках МПГ будут также рассматриваться вопросы, связанные с изучением исторических рядов данных о погоде и климате, воздействиями на здоровье человека и устойчивое развитие общества; а также проблемы уязвимости человека и экосистем к экстремальным явлениям погоды и стихийным бедствиям.



Несмотря на свою удаленность и суровость, полярные регионы служат барометрами глобального потепления, а вода, накопленная в громадной массе полярного льда, имеет важное значение для всей планеты. Международный полярный год 2007-2008 разворачивается в благоприятное время и оставит для грядущих поколений жизненно необходимое наследие научных знаний.

(Мишель Жарро, Генеральный секретарь ВМО)

«Научное сообщество готово ... собрать как можно больше данных о воздействии глобального потепления на полярные районы и в возможно короткие сроки — изменения в этих регионах значительным образом повлияют на благосостояние остальных регионов нашей планеты».

(Дэвид Карлсон, директор Международного бюро по программе МПГ (МБП)).

Участие Африки в Международном полярном году (МПГ) 2007-2008

Региональный практический семинар по участию Африки в МПГ 2007-2008 и в Международном гелиофизическом году проходил в Кейптауне, Южная Африка, в октябре 2006 г. при поддержке Регионального бюро МСНС и Южноафриканского национального фонда для поддержки исследований. Представитель Международного бюро по программе МПГ выступил с докладом о международных возможностях, открывающихся в рамках МПГ.

Аудитория состояла в основном из южноафриканских ученых и представителей совета по научным исследованиям, но также включала в себя представителей нескольких других африканских стран, в том числе Кении, Нигерии, Малави, Объединенной Республики Танзания и Замбии. Был проявлен заметный энтузиазм в отношении МПГ, и одним из результатов работы этого практического семинара стало намерение учредить веб-сайт МПГ, который отражал бы интересы африканских государств.

(Информационный бюллетень МБП МПГ, ноябрь 2006 г., выпуск № 2)

широкий диапазон физических, биологических и социальных аспектов исследований в полярных регионах.

Национальные метеорологические и гидрологические службы тех стран, которые небезразличны к проблемам Арктики и Антарктики, принимают активное участие в подготовке и проведении МПГ. Исследования климатических изменений, прогнозирование погоды и учреждение улучшенных систем наблюдений являются одними из приоритетных задач. Ожидается, что в МПГ примет участие более 50 000 человек из более чем 60 стран мира. Кроме того, МПГ позволит создать уникальное наследие в виде открытий, данных,

систем наблюдений и международного сотрудничества среди геофизических, биологических и социальных наук.

Такой широкий и комплексный научный подход обусловлен насущностью и сложностью изменений в полярных регионах. Сотрудничество и объединение усилий будут стимулировать новые подходы к предоставлению доступа к данным и обмену данными, новые учебные курсы, а также новые формы и форумы для научных дискуссий. В своей совокупной научной и информационно-пропагандистской деятельности МПГ явится большим шагом вперед на пути к тому, чтобы сделать науку популярной и доступной широкой общественности.

За дополнительной информацией просьба обращаться по адресу:

World Meteorological Organization

7 bis, avenue de la Paix – P.O. Box 2300 – CH 1211 Geneva 2 – Switzerland

Тел.: +41 (0) 22 730 83 14 – Факс: +41 (0) 22 730 80 27

Э-почта: sra@wmo.int – Веб-сайт: www.wmo.int