

АНТАРКТИДА И СОВРЕМЕННОЕ ИЗМЕНЕНИЕ КЛИМАТА

В последние годы изменение климата стало одной из главных тем для обсуждения не только в научном сообществе, но и среди обычных людей и политиков. Острота данного вопроса обусловлена глобальным характером климатических изменений и беспрецедентными темпами роста приповерхностной температуры, что имеет многочисленные, в том числе негативные, последствия для природы и общества.

На бытовом уровне под климатом понимаются осредненные за многолетний период погодные условия, характерные для данной местности. В научной среде климатом называют статистический ансамбль состояний, проходимый земной климатической системой (ЗКС) за периоды времени в несколько десятилетий. Напомним, что ЗКС определяется как сложная природная система, включающая в себя взаимодействующие между собой океан, атмосферу, сушу, криосферу и биосферу. ЗКС характеризуется конечным множеством параметров, значения которых в заданный момент времени определяют ее состояние. Статистически достоверные отклонения параметров состояния ЗКС от многолетних значений, сохраняющиеся в течение длительного периода времени (обычно десятилетий), представляют собой изменение климата. Основными факторами изменения климата являются внешние воздействия на ЗКС и внутренние естественные процессы, в том числе до конца не изученные.

Внешние воздействия на ЗКС определяются астрономическими факторами и человеческой деятельностью, которая сопровождается широкомасштабным изменением альbedo подстилающей поверхности за счет сведения лесов, распашки земель, осушения, орошения, застройки территорий, а также эмиссией в атмосферу радиационно-активных газов и аэрозолей. К природным факторам изменения климата можно отнести дрейф континентов, изменение их рельефа и размеров, вулканическую деятельность, смещение полюсов, естественную эмиссию парниковых газов, аperiodические колебания температуры поверхности океана (например, явление Эль-Ниньо — Южное колебание).

По мнению многих ученых, в том числе членов Межправительственной группы экспертов по изменению климата, именно человеческая деятельность является одной из причин современного изменения климата. Однако оценка роли антропогенного фактора в изменении климата остается ключевым вопросом современной науки о климате. Научное сообщество в этом вопросе должно стремиться к объективности. Довольно часто ученые избирательно используют информацию или чрезмерно политизируют изменение климата и окружающей среды. Наивная переоценка фактов, а порой их фальсификация способствуют превращению проблемы глобального изменения климата в догматическую эрзац-религию для широкой общественности.

Климатическая система — единый природный организм. Обратные связи и телесвязи, существующие в ЗКС, обуславливают взаимозависимость климатов регионов, которые отдалены друг от друга на большие расстояния. По этой причине изучение Антарктиды и оценка ее роли в глобальной климатической системе — важная задача климатологии и смежных наук. Антарктида — самый южный покрытый льдом континент, омываемый Южным океаном. Площадь континента — ~14 млн км². Площадь

Европы, для сравнения, составляет 10,5 млн км². Согласно современным представлениям, Антарктида играет весьма значимую роль в ЗКС. Так, высокий контраст между значениями альbedo покрытых льдом территорий и альbedo окружающей их морской поверхности вносит существенный вклад в особенности формирования регионального климата, климата Южного полушария и, более того, климата всей планеты. Холодные и соленые воды Антарктики, погружающиеся глубоко в океан, отвечают в значительной степени за поддержание глобальной океанической термохалинной циркуляции (большой конвейерной ленты), которая переносит тепло от тропиков к полюсам и увеличивает способность океанов поглощать углекислый газ из атмосферы. Совместно с антарктическим циркумполярным течением, которое превосходит по мощности все остальные течения на планете, перемешивание толщи Южного океана имеет ключевое значение для Мирового океана и климата Земли. Эти обстоятельства обуславливают необходимость проведения обширных научных исследований в Антарктике многими странами, включая Россию.

Изучение Антарктиды на регулярной основе началось с середины XX века, когда на континенте разными странами стали создаваться постоянные базы, круглый год выполняющие метеорологические, гляциологические, геологические и астрономические исследования.

Сегодня около 30 стран на 45 круглогодичных научных станциях изучают Антарктиду на постоянной основе. Сотрудники Арктического и антарктического научно-исследовательского института (АНИИ) в рамках Российской антарктической экспедиции круглогодично работают на пяти станциях: Новолазаревская, Беллинсгаузен, Мирный, Прогресс и Восток. В летний период выполняются работы на сезонных полевых базах Молодежная, Дружная-4, Оазис Бангера, Русская и Ленинградская. На протяжении многих лет АНИИ выступал в роли головного института в реализации подпрограммы «Изучение и исследование Антарктики» Федеральной целевой программы «Мировой океан».

Рассмотрим климатообразующие факторы Антарктики. Как известно, континенты и океаны распределены на Земле неравномерно, что обуславливает отличие климатов Северного и Южного полушарий. Доля океана в Северном полушарии составляет 60 %, а в Южном — более 80 %. Около 70 % всей суши приходится на Северное полушарие. Схематически различие Северного и Южного полушарий представлено на рисунке. Главные климатообразующие факторы Антарктики связаны с околполюсным расположением покрытого льдом и окруженного океаном материка, а также с его орографическими особенностями. Антарктида является самым высоким континентом Земли. Средняя высота поверхности континента над уровнем моря составляет более 2000 м, а в центре континента достигает 4000 м. По сравнению с климатом Арктики, климат Антарктиды более суровый. Именно здесь, во внутренних районах Восточной Антарктиды (плато Советское), располагается мировой полюс холода, где температурные минимумы близки к $-90\text{ }^{\circ}\text{C}$, а среднегодовая температура опускается до значений $-57\text{ }^{\circ}\text{C}$. Самая низкая температура на планете — $-93,2\text{ }^{\circ}\text{C}$ — была зафиксирована в августе 2010 года на японской научной станции Dome Fuji, находящейся в Восточной Антарктиде.

Арктика, в отличие от Антарктики, свободно сообщается с Атлантическим океаном, теплые воды которого проникают под арктические льды и отдают колоссальное количество тепла, смягчая климат. Проникновению теплых вод в Антарктику препятствует холодное поверхностное океаническое течение протяженностью до 30 тыс. км при ширине до 2,5 тыс. км в Южном полушарии, огибающее между 40° и 50° ю. ш. с запада на восток земной шар. Это единственное на Земле течение, которое проходит через все меридианы. Антарктика также лишена дополнительного притока тепла, которое получает Арктика вместе с пресной водой рек, впадающих в Северный Ледовитый океан.

Планетарный климат стремительно изменяется. Это изменение отслеживается с помощью объективных интегральных количественных показателей, называемых индикаторами изменения климата (ИИК). Всемирная метеорологическая организация определила семь основных ИИК, к числу которых относятся среднегодовая глобальная приповерхностная температура, теплосодержание океана, концентрация углекислого газа в атмосфере, закисление океана, уровень моря, состояние ледников и ледяных щитов Арктики и Антарктики, площади морских льдов Арктики и Антарктики. Анализ основного и очевидного индикатора — среднегодовой глобальной приповерхностной температуры воздуха T_{sfc} — показывает, что в 2023 году аномалия (отклонение от климатической нормы) T_{sfc} составила $1,54 \pm 0,06$ °C относительно уровня 1850–1900 годов, что превысило $1,5$ °C — нижний предел роста температуры в этом столетии, установленный Парижским соглашением по климату 2015 года. Это — очень тревожный факт.

Современное изменение климата оказывает значительное влияние на состояние антарктической климатической системы, в первую очередь на ледяной щит Антарктики, что имеет далеко идущие глобальные последствия. На данный момент на Земле существуют два ледяных щита: Антарктический и Гренландский. Антарктический ледяной щит имеет объем 26,5 млн м³ льда и содержит более 60 % всей пресной воды на нашей планете. Антарктический ледяной щит очень уязвим к изменению климата. Имеющиеся оценки показывают, что с 1996 по 2021 год Западная Антарктида потеряла 3331 млрд т льда. Это было обусловлено изменением температуры воды в океане и структуры океанических течений. Общего климатического тренда для всей Антарктиды нет. Это большой материк, на нем очень выражена секторность климатических условий и их изменений. С 1957 года по всему континенту наблюдалось среднее повышение температуры около 0,05 °C. При этом Западная Антарктида нагревалась более чем на 0,1 °C за десятилетие, а открытая часть Антарктического полуострова с середины XX века потеплела на 3 °C, тогда как Восточная Антарктида до недавнего времени переживала похолодание. В последние несколько лет в Антарктиде происходит учащение беспрецедентных волн тепла. Так, 6 февраля 2020 года была зафиксирована температура 18,3 °C, самая высокая из когда-либо наблюдавшихся на континенте. В феврале 2022 года очередная волна тепла привела к рекордному таянию поверхностного льда. В марте того же года в Восточной Антарктиде наблюдалась самая сильная за всю историю волна тепла: в некоторых районах температура превысила средние показатели на 30 °C.

Поскольку глобальные температуры и теплосодержание океана продолжают расти, причем с ускорением, воздействие изменения климата на Антарктиду и окру-

жающие ее океаны будет значительным. Посредством обратных связей в ЗКС изменения в Антарктике будут, в свою очередь, влиять на глобальный климат. Существуют большие неопределенности этого влияния, что требует расширения и интенсификации научных исследований шестого континента. Можно отметить следующие приоритетные направления исследований в Антарктике:

1. Южный океан является одним из крупнейших поглотителей углерода на Земле, однако остается неясным, каков может быть вклад этого поглощения в формирование климата.

2. Важно понять, как криосфера Антарктики (морской лед, шельфовые ледники и вечная мерзлота) меняется в ответ на изменения, происходящие в океане и атмосфере.

3. Остается много неясностей в вопросе относительно реакции ледяного щита на изменение климата и того, как это может повлиять на глобальный уровень моря.

4. Важно оценить влияние изменения антарктического климата на живущие там виды, многие из которых уникально приспособлены к антарктической среде.

5. Анализ кернов антарктического льда и записей морских отложений показывает, что антарктический ледниковый щит увеличивался и уменьшался на протяжении геологической истории. За последние 800 000 лет Земля пережила восемь ледниковых циклов. Понимание естественного ритма смены ледниковых и теплых периодов помогает исследователям улучшить представление о том, что происходит с климатом Земли сегодня и что может произойти в будущем.

Основной инструмент теоретического изучения климата и его будущих изменений — численное моделирование. Однако полученные на его основе проекции изменения климата характеризуются высокой степенью неопределенности, что обусловлено рядом причин, обсуждение которых заслуживает специального рассмотрения и по этой причине выходит за рамки данной статьи.

Согласно прогнозам, в XXI веке приповерхностная температура над Антарктическим континентом увеличится по широкому спектру сценариев. Среднее годовое потепление (по ансамблю моделей CMIP6) в конце века относительно 1995–2014 годов составляет $1,3 \pm 0,5$, $2,5 \pm 0,7$, $3,7 \pm 0,9$ и $4,8 \pm 1,2$ °C для сценариев SSP1-2.6, SSP2-4.5, SSP3-7.0 и SSP5-8.5 соответственно. В отличие от Арктики, над континентом нет четкого полярного усиления. Соответствующие увеличения количества осадков составляют 8 ± 5 , 16 ± 6 , 24 ± 9 и 31 ± 12 % относительно климатической нормы. В целом, как уже отмечалось, прогнозы характеризуются высокой степенью неопределенности. При этом для «сильных» и «слабых» сценариев связь между глобальным изменением климата и климатом Антарктиды, особенно в прибрежных областях, не является линейной. Отметим также, что глобальное изменение климата будет сопровождаться дальнейшим потеплением и закислением Южного океана, роль которого в формировании климата не только Южного полушария, но и всей планеты довольно значительна.

Чтобы уменьшить неопределенность получаемых оценок, необходимо продолжать экспериментальные исследования климата Антарктиды, а также теоретические исследования изменения антарктического климата на основе численного моделирования климатической системы Земли с оценкой перспектив таяния ледяного щита Антарктики.

С.А. Солдатенко (ААНИИ)