

**Из отчета, принятого Рабочей группой I
Межправительственной группы экспертов по изменению климата, но не
утвержденного в деталях**

Часто задаваемые вопросы

Цитирование ЧЗВ:

Данные часто задаваемые вопросы взяты непосредственно из глав основного доклада и собраны здесь. Ссылаясь на конкретные ЧЗВ, просьба указывать соответствующую главу доклада, из которой взят тот или иной ЧЗВ.

Ссылаясь на группу ЧЗВ, указывайте источник следующим образом:

IPCC, 2007: Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Solomon, S., D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K.B. Averyt, M. Tignor and H.L. Miller (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.

(МГЭИК, 2007, «Изменение климата, 2007 г.: физическая научная основа. Материал Рабочей группы I к Четвертому докладу Межправительственной группы экспертов по изменению климата об оценках» [Соломон, С., Д. Чин, М. Мэннинг, Чен Женлинь, М. Маркис, К.Б. Аверит, М. Тигнор и Х.Л. Миллер (ред.)])

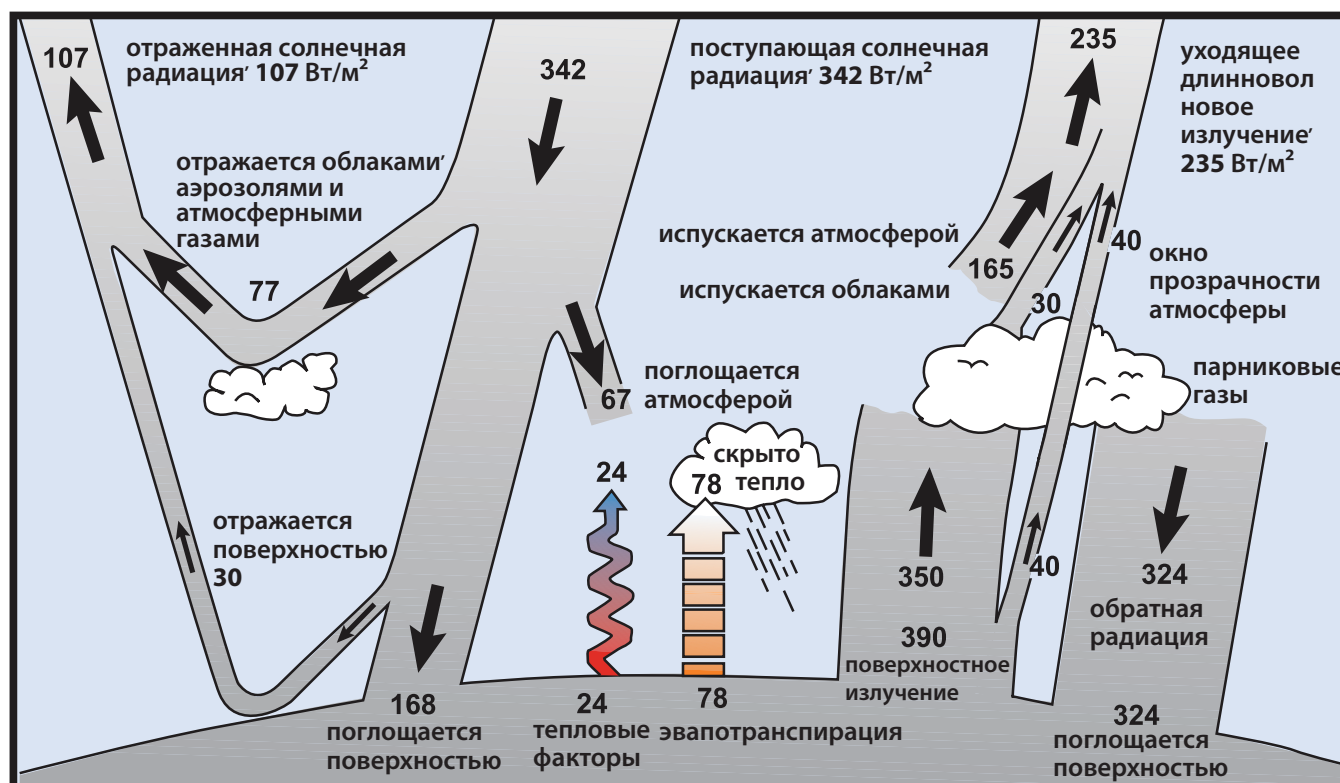
Часто задаваемый вопрос 1.1

Какие факторы определяют климат Земли?

Климатическая система – сложная, интерактивная система, состоящая из атмосферы, земной поверхности, снега и льда, океанов, других водных пространств и живых существ. Атмосферный компонент климатической системы наиболее очевидно характеризует климат; климат часто определяют как «среднюю погоду». Обычно климат описывают такими показателями, как средняя температура, изменчивость температуры, количество осадков и ветер за некоторый период времени, длительностью от нескольких месяцев до миллионов лет (классический период – 30 лет). Климатическая система развивается со временем под влиянием собственной динамики и вследствие изменений во внешних факторах, которые влияют на климат (их называют воздействиями). Внешние воздействия включают явления природы, такие как извержения вулканов и изменения солнечной активности, а также антропогенные изменения в составе атмосферы.

Солнечное излучение питает климатическую систему. Есть три основных пути изменения радиационного баланса Земли: 1) изменение поступающей солнечной радиации (например, вследствие изменений в орбите Земли или в самом Солнце); 2) изменение той доли солнечной радиации, которая отражается (ее называют «альбедо», например, вследствие изменений в облачном покрове, атмосферных частицах или растительности); 3) изменение длинноволнового излучения Земли обратно в космос (например, путем изменения концентраций парниковых газов). Климат, в свою очередь, реагирует на такие изменения как прямо, так и косвенно, посредством самых разнообразных механизмов обратной связи.

Количество энергии, достигающее верхнего слоя атмосферы Земли, в расчете на один квадратный метр поверхности, обращенный к Солнцу, в дневное время составляет около 1370 Вт в секунду, а количество энергии на квадратный метр



ЧЗВ 1.1, рис. 1. Оценка годового и глобального среднего энергетического баланса Земли. В долгосрочном разрезе количество поступающей солнечной радиации, поглощаемой Землей и атмосферой, уравнивается тем, что Земля и атмосфера излучают одно и то же количество уходящего длинноволнового излучения. Около половины поступающей солнечной радиации поглощается поверхностью Земли. Эта энергия передается в атмосферу путем нагревания воздуха, контактирующего с поверхностью (тепловыми факторами), посредством эвапотранспирации и за счет длинноволнового излучения, которое поглощают облака и парниковые газы. Атмосфера, в свою очередь, излучает длинноволновую энергию обратно на Землю, а также в космос. Источник: Kiehl and Trenberth (1997).

в секунду в среднем по всей планете равно четвертой части этой величины (см. рис. 1). Около 30% солнечного света, достигающего верхних слоев атмосферы, отражается обратно в космос. Приблизительно на две трети эта отражательная способность обусловлена облаками и мелкими частицами в атмосфере, известными как «аэрозоли». Светлые цветные участки Земли – в основном снег, лед и пустыни – отражают остальную треть солнечного света. Наиболее существенное изменение обусловленной аэрозолями отражательной способности имеет место, когда в результате извержений больших вулканов высоко в атмосферу выбрасываются различные материалы.

Дождь, как правило, вычищает аэрозоли из атмосферы за одну-две недели, но когда в результате интенсивного извержения вулкана разные вещества выбрасываются выше самых высоких облаков, эти аэрозоли, как правило, влияют на климат в течение одного года или двух лет, и лишь потом выпадают в тропосферу и переносятся на поверхность с осадками. Поэтому сильные извержения вулканов могут вызывать падение средней глобальной температуры поверхности приблизительно на полградуса Цельсия, что может продолжаться месяцами и даже годами. Некоторые искусственные аэрозоли также существенно отражают солнечный свет.

Энергия, которая не отражается обратно в космос, поглощается поверхностью Земли и атмосферой. Это количество составляет около 240 ватт на квадратный метр ($\text{Вт}/\text{м}^2$). Чтобы уравновесить поступающую энергию, Земля сама должна излучать обратно в космос в среднем то же самое количество энергии. Земля делает это путем излучения уходящей длинноволновой радиации. Такое количество энергии человек чувствует от огня; чем теплее объект, тем больше тепловой энергии он излучает. Чтобы излучить $240 \text{ Вт}/\text{м}^2$, земной поверхности пришлось бы иметь температуру около -19°C . Это гораздо холоднее тех условий, которые активно существуют на поверхности Земли (глобальная средняя приземная температура – около 14°C), тогда необходимые -19°C наблюдаются на высоте около 5 км от земной поверхности.

Причина, по которой поверхность Земли настолько теплая, состоит в присутствии парниковых газов, которые действуют как частичный покров для длинноволнового излучения, поступающего с земной поверхности. Это явление известно как естественный парниковый эффект. Самые важные парниковые газы – водяной пар и углекислый газ. Два наиболее распространенных компонента атмосферы – азот и кислород – такого эффекта не имеют. Облака, с другой стороны, оказывают покровный эффект, схожий с действием парниковых газов, однако этот эффект нивелируется их отражательной способностью, так что в среднем облака, как правило, оказывают на климат охлаждающее действие (хотя можно локально почувствовать и нагревающее действие: облачными ночами погода, как правило, остается более теплой, чем ясными ночами, так как облака излучают длинноволновую энергию обратно на земную поверхность).

Деятельность человека усиливает покровный эффект вследствие выбросов парниковых газов. Например, объем выбросов углекислого газа в атмосферу в индустриальную эпоху увеличился приблизительно на 35%, причем, как известно, этот рост вызван деятельностью человека, главным образом, сжиганием ископаемых топлив и вырубкой лесов. Таким образом, человечество радикально изменило химический состав атмосферы Земли, что существенно повлияло на климат.

Поскольку Земля представляет собой сферу, то в тропиках на данную площадь поверхности приходится больше солнечной энергии, чем в более высоких широтах, где солнечный свет падает на атмосферу под меньшим углом. Энергия переносится из экваториальных областей в более высокие широты посредством атмосферной и океанической циркуляции, в том числе штормовыми системами. Энергия необходима также для испарения воды с морской или земной поверхности, и эта энергия, называемая скрытой теплотой, высвобождается, когда водяной пар конденсируется в облаках (см. рис. 1). Атмосферная циркуляция вызвана, главным образом, высвобождением этой скрытой теплоты. В свою очередь, атмосферная циркуляция вызывает большую часть океанической циркуляции, благодаря действию ветров на поверхностные воды океана, а также вследствие изменений температуры поверхности и солености океана из-за осадков и испарения.

Вследствие вращения Земли атмосферная циркуляция ориентирована больше с востока на запад, чем с севера на юг. Присущие средним широтам западные ветры – это крупномасштабные погодные системы, благодаря действию которых тепло переносится к полюсам. Эти погодные системы – знакомые нам мигрирующие области низкого и высокого давления и связанные с ними холодные и теплые фронты. Из-за температурных контрастов между сушей и океаном и таких преград, как горные хребты и ледниковые щиты, атмосферные волны циркуляционной системы планетарного масштаба, как правило, географически фиксируются континентами и горами, хотя их амплитуда может со временем изменяться. Из-за такой волновой картины особенно холодная зима в Северной Америке может быть связана с особенно теплой зимой в другом месте северного полушария. Изменения в различных аспектах климатической системы, таких как размер ледниковых щитов, тип и распределение растительности, температура атмосферы или океана, будут влиять на крупномасштабные циркуляционные характеристики атмосферы и океанов.

В климатической системе присутствует множество механизмов обратной связи, которые могут либо усиливать («положительная обратная связь»), либо ослаблять («отрицательная обратная связь») эффекты изменения климатического воздействия. Например, по мере потепления климата Земли из-за повышающихся концентраций парниковых газов снег и лед начинают таять. В результате этого таяния обнажаются более темные земные и водные поверхности, которые были скрыты под снегом и льдом, и эти

более темные поверхности поглощают больше тепла Земли, вызывая дальнейшее потепление, что вызывает дальнейшее таяние, и так далее, т.е. имеет место самоусиливающийся цикл. Этот контур обратной связи, известный как «обратная связь между льдом и альбедо», усиливает первоначальное

потепление, вызванное повышением уровней концентрации парниковых газов. Выявление, понимание и точное измерение климатической обратной связи находится в центре большого количества исследований, проводимых учеными, разгадывающими сложные загадки климата Земли.

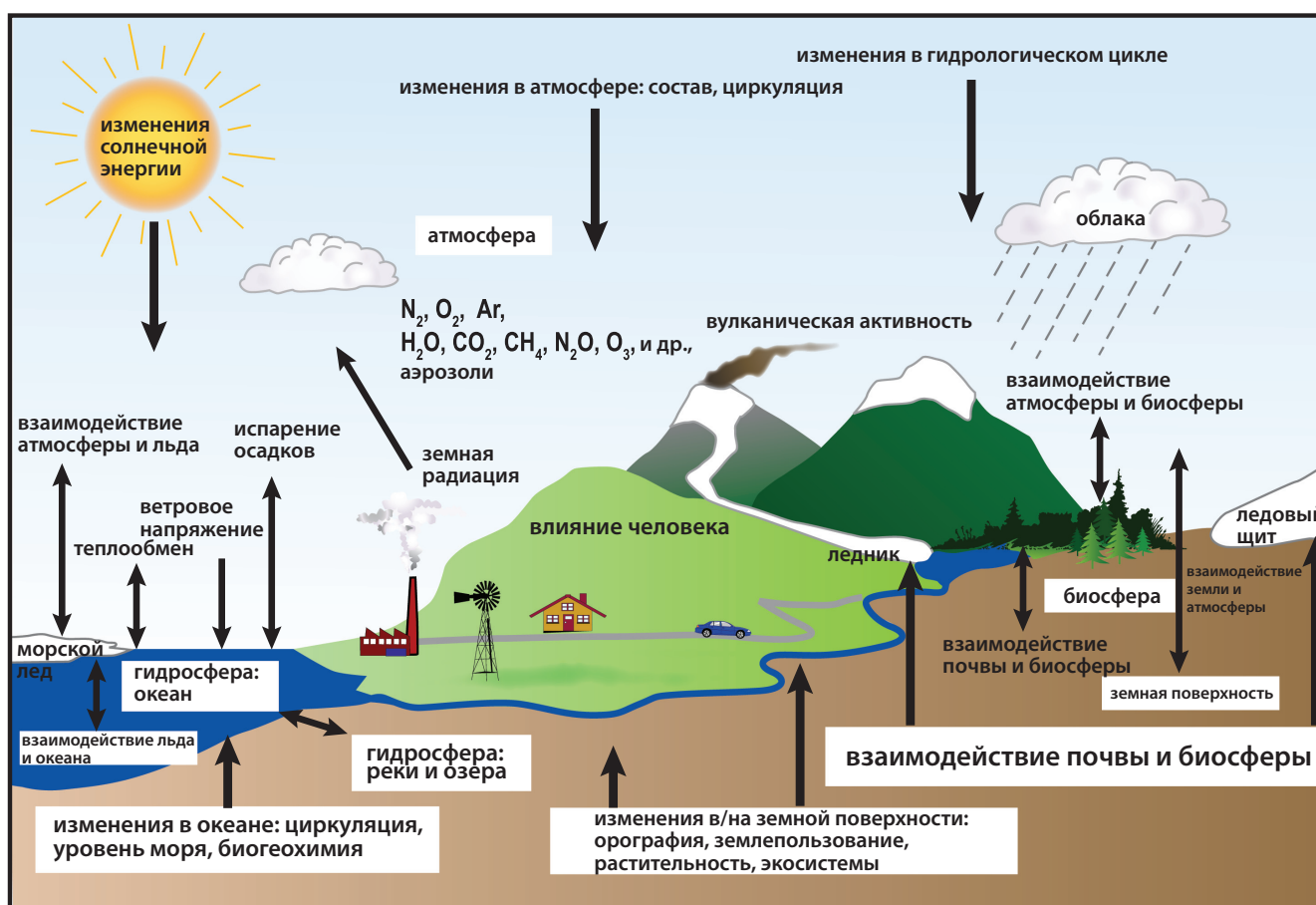
Часто задаваемый вопрос 1.2

Какова связь между изменением климата и погодой?

Климат обычно определяют как среднюю погоду, и изменение климата как таковое и погода переплетены между собой. Наблюдения показывают, что имеют место изменения погоды, и именно статистика изменений погоды во времени позволяет выявить изменение климата. Хотя погода и климат тесно связаны, между ними есть и важные различия. Погоду и климат обычно путают, когда у ученых спрашивают, как им удастся предсказать климат на 50 лет вперед, а погоду на несколько недель вперед предсказать они не могут. Хаотический характер погоды делает невозможным ее прогнозирование больше чем на несколько дней. Прогнозирование изменений климата (т.е. долговременной средней погоды) вследствие изменений в составе атмосферы или иных факторов – совершенно другая и более осуществимая задача. Проведем аналогию: невозможно предсказать возраст, в котором умрет тот или иной человек, однако можно с высокой степенью

уверенности сказать, что средний возраст смерти мужчин в промышленно развитых странах – около 75 лет. Еще одно распространенное заблуждение в отношении этих вопросов – думать, что холодная зима или прохладное место на планете свидетельствует против глобального потепления. Всегда существуют экстремумы тепла и холода, хотя их частота и интенсивность изменяются по мере изменения климата. Если же погоду усреднить по пространству и времени, то из этих данных будет очевидно, что Земля нагревается.

Метеорологи прилагают колоссальные усилия для наблюдения, понимания и предсказания ежедневной эволюции погодных систем. Используя основанные на физике концепции, которые управляют тем, как атмосфера движется, нагревается, охлаждается, как идет дождь или снег, как испаряется вода, метеорологи обычно могут успешно предсказывать погоду на несколько дней вперед. Значительный ограничивающий



ЧЗВ 1.2, рис. 1. Схематическое изображение компонентов климатической системы, их процессов и взаимодействия.

фактор для предсказуемости погоды более чем на несколько дней состоит в присущем атмосфере динамическом свойстве. В 1960-е годы Эдвард Лоренц обнаружил, что очень незначительные различия в начальных условиях могут давать весьма разные результаты прогнозов.

Это – так называемый эффект бабочки: бабочка, машущая крыльями (или какое-либо иное незначительное явление), в одном месте, может, в принципе, изменить последующую погодную ситуацию в каком-то отдаленном месте. В основе этого эффекта лежит теория хаоса, изучающая вопрос о том, как незначительные изменения в определенных переменных могут вызывать очевидную случайность в сложных системах.

Тем не менее, теория хаоса не предполагает полного отсутствия порядка. Например, незначительное изменение условий на раннем этапе истории могут изменить день, в который придет шторм, или точную траекторию его следования, однако средняя температура и количество осадков (т.е. климат) в данном регионе и на данный период времени останутся практически прежними. Поскольку значительная проблема, стоящая перед синоптиками, состоит в том, чтобы знать все условия на начальный момент периода прогноза, может быть полезно думать о климате как о фоновых условиях для погоды. Говоря точнее, климат можно рассматривать как касающийся состояния всей системы Земли, включая атмосферу, сушу, океаны, снег, лед и живые существа (см. рис. 1), служащие глобальными фоновыми условиями, которые определяют синоптическую ситуацию. В качестве примера здесь можно было бы привести явление Эль-Ниньо, которое влияет на погоду в прибрежной части Перу. Эль-Ниньо устанавливает пределы для вероятной эволюции синоптической ситуации, которую могут вызвать случайные эффекты. Явление Ла-Нинья установило бы другие пределы.

Другой пример можно увидеть в знакомом контрасте между летом и зимой. Смена времен года обусловлена изменениями

в географическом распределении энергии, поглощаемой и излучаемой системой Земли. Аналогичным образом, прогнозы

будущего климата формируются основополагающими изменениями в тепловой энергии системы Земли, в частности, возрастающей интенсивностью парникового эффекта, который удерживает тепло вблизи поверхности Земли, в зависимости от объема углекислого газа и других парниковых газов в атмосфере. Прогнозирование изменений климата вследствие изменений объема парниковых газов на 50 лет вперед – совсем другая и гораздо легче решаемая проблема, чем прогнозирование погоды на несколько недель. Иными словами, долгосрочные колебания, вызванные изменениями в составе атмосферы, предсказать гораздо легче, нежели отдельные погодные явления. Пример: мы не можем предсказать результат одного бросания монеты или кости, но можем предсказать статистическое поведение большого количества таких попыток.

Хотя влиять на климат продолжает много факторов, ученые определили, что доминирующей силой стала деятельность человека, которая является основной причиной потепления, наблюдаемого за последние 50 лет. Антропогенное изменение климата стало результатом, главным образом, изменений объемов парниковых газов в атмосфере, а также изменений содержания мелких частиц (аэрозолей) или, например, изменений в землепользовании. По мере изменения климата вероятность определенных типов метеорологических влений также изменяется. Например, по мере повышения средней температуры Земли некоторые метеорологические явления участились и стали более сильными (например, волны тепла и сильные ливни), тогда как частота и интенсивность других (например, крайне холодных периодов) уменьшилась.

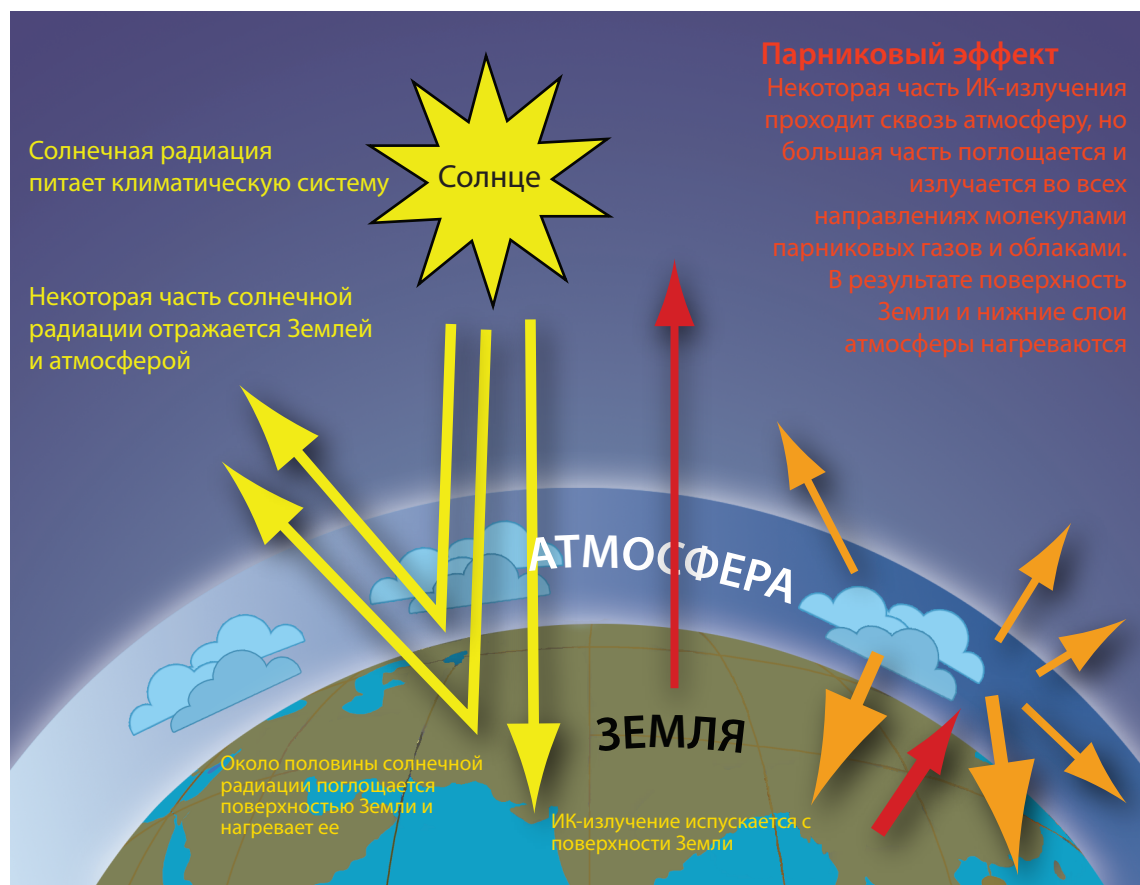
Часто задаваемый вопрос 1.3

Что такое парниковый эффект?

Солнце питает климат Земли, излучая энергию на очень коротких волнах, преимущественно в видимой или почти видимой (т.е. ультрафиолетовой) области спектра. Приблизительно треть солнечной энергии, достигающей верхних слоев атмосферы Земли, непосредственно отражается обратно в космос. Остальные две трети поглощает земная поверхность и, в меньшей степени, атмосфера. Чтобы уравновесить поглощаемую поступающую энергию, Земля должна в среднем излучать обратно в космос то же количество энергии. Поскольку Земля гораздо холоднее Солнца, она излучает энергию на гораздо более длинных волнах, преимущественно в инфракрасной области спектра (см. рис. 1). Большая часть этого теплового излучения, испускаемого сушей и океаном, поглощается атмосферой, в том числе облаками, и вновь излучается на Землю. Это явление называют парниковым эффектом. Стеклянные стенки парника уменьшают поток воздуха и повышают температуру воздуха внутри парника. Аналогичным образом, но при другом физическом процессе

парниковый эффект на Земле нагревает ее поверхность. Без естественного парникового эффекта средняя температура на поверхности Земли была бы ниже точки замерзания воды. Таким образом, естественный парниковый эффект Земли делает жизнь, какой мы ее знаем, возможной. Вместе с тем, деятельность человека, главным образом сжигание ископаемых видов топлива и сведение лесов, значительно усилила естественный парниковый эффект, вызвав глобальное потепление.

Два самых распространенных в атмосфере газа, азот (составляющий 78% сухой атмосферы) и кислород (21%), почти не вызывают парникового эффекта. Последний является результатом действия молекул, которые более сложны и гораздо менее распространены. Самый важный парниковый газ – водяной пар, а второй по значению – углекислый газ (CO_2). Метан, закись азота, некоторые другие газы, присутствующие в атмосфере в небольших количествах, также способствуют парниковому эффекту. Во влажных экваториальных регионах,



ЧЗВ 1.3, рис. 1. Идеализированная модель естественного парникового эффекта. Пояснения см. в тексте.

где количество водяного пара в воздухе настолько велико, что парниковый эффект очень значителен, небольшое увеличение количества CO_2 или водяного пара оказывает лишь незначительное прямое воздействие на нисходящее инфракрасное излучение. В холодных, сухих полярных регионах, напротив, последствия небольшого увеличения количества CO_2 или водяного пара более значительны. То же касается холодных, сухих верхних слоев атмосферы, где небольшое увеличение содержания водяного пара сильнее влияет на парниковый эффект, чем вблизи поверхности Земли.

На концентрацию парниковых газов в атмосфере влияют несколько компонентов климатической системы, главным образом океаны и живые существа. Один из первых примеров этого – поглощение растениями углекислого газа из атмосферы и преобразование его (и воды) в углеводы посредством фотосинтеза. В индустриальную эпоху деятельность человека способствовала увеличению выбросов парниковых газов в атмосферу, в основном из-за сжигания ископаемых видов топлива и сведения лесов.

Увеличение выбросов парникового газа, такого как CO_2 , в атмосферу усиливает парниковый эффект, нагревая таким образом климат Земли. Степень потепления зависит от разных механизмов обратной связи. Например, по мере потепления атмосферы вследствие повышения концентрации

парниковых газов растет концентрация водяного пара в ней, что еще более усиливает парниковый эффект. Это, в свою очередь, вызывает дальнейшее потепление, что становится причиной нового увеличения концентрации водяного пара, т.е. имеет место самоусиливающийся цикл. Эта обратная связь по водяному пару может быть достаточно сильной для того, чтобы приблизительно удвоить интенсивность парникового эффекта за счет одного только увеличения концентрации CO_2 .

Среди других важных механизмов обратной связи – облака. Облака эффективно поглощают инфракрасное излучение и, следовательно, вызывают значительный парниковый эффект, нагревая таким образом Землю. Они также активно отражают поступающую солнечную радиацию, таким образом охлаждая Землю. Изменение практически любой характеристики облаков, в частности, их типа, размещения, содержания воды, высоты, размера и формы частиц, времени жизни, влияет на степень, в которой облака нагревают или охлаждают Землю. Некоторые изменения усиливают потепление, а некоторые ослабляют его. Проводится много исследований, направленных на то, чтобы лучше понять, как именно облака изменяются в ответ на потепление климата и как эти изменения влияют на климат через различные механизмы обратной связи.

Часто задаваемый вопрос 2.1

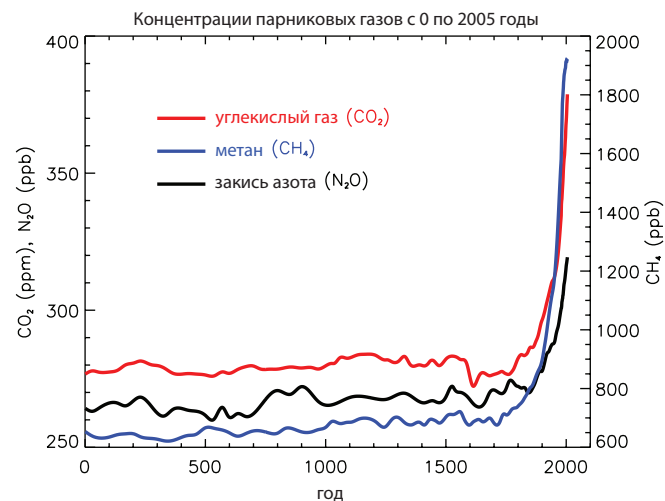
Как деятельность человека влияет на изменение климата и насколько велико ее влияние по сравнению с естественными явлениями?

Деятельность человека способствует изменению климата, вызывая изменения концентрации в атмосфере парниковых газов, аэрозолей (мелких частиц) и облачности. Наибольший известный вклад вносит сжигание ископаемых видов топлива, при котором в атмосферу выбрасывается углекислый газ. Парниковые газы и аэрозоли влияют на климат путем изменения поступающего солнечного излучения и уходящего инфракрасного (теплого) излучения, которые являются частью энергетического баланса Земли. Изменение избытка этих газов или частиц в атмосфере или их свойств может привести к потеплению или охлаждению климатической системы. С начала индустриальной эпохи (около 1750 г.) общим эффектом деятельности человека для климата стало потепление. Влияние человека на климат на протяжении этой эпохи значительно превышает воздействие в результате известных изменений в естественных процессах, таких как изменения на Солнце и извержения вулканов.

Парниковые газы

Деятельность человека приводит к выбросам четырех основных парниковых газов: углекислого газа (CO_2), метана (CH_4), закиси азота (N_2O) и галоидоуглеводородов (группы газов, в которую входят фтор, хлор и бром). Эти газы накапливаются в атмосфере, вызывая со временем повышение концентрации. В индустриальную эпоху имели место значительные увеличения концентрации всех этих газов (см. рис. 1). Все эти увеличения можно отнести на счет деятельности человека.

- Рост выбросов углекислого газа стал результатом расширения использования ископаемых видов топлива в транспортной отрасли, в отоплении и охлаждении зданий, в производстве цемента и другой продукции. Обезлесение приводит к высвобождению CO_2 и сокращает его поглощение растениями. Углекислый газ также высвобождается в естественных процессах, таких как гниение растительной массы.
- Выбросы метана увеличились в результате деятельности человека, связанной с сельским хозяйством, распределением природного газа и деятельностью свалок. Метан также высвобождается в естественных процессах, которые происходят, например, на водно-болотных угодьях. В атмосфере концентрация метана сейчас не увеличивается, так как за последние два десятилетия темпы роста снизились.
- Выбросы закиси азота также являются следствием деятельности человека, в частности, применения удобрений и сжигания ископаемых видов топлива. N_2O также



ЧЗВ 2.1, рис 1. Концентрации важных долгоживущих парниковых газов в атмосфере за последние 2000 лет. Рост после 1750 года вызван деятельностью человека в индустриальную эпоху. Единицы концентрации – частей на миллион (ppm) или частей на миллиард (ppb); они означают число молекул парникового газа соответственно на миллион или миллиард молекул воздуха в атмосферной пробе. (Здесь сведены и упрощены данные из глав 6 и 2 настоящего доклада.)

высвобождается в ходе естественных процессов в почвах и океанах.

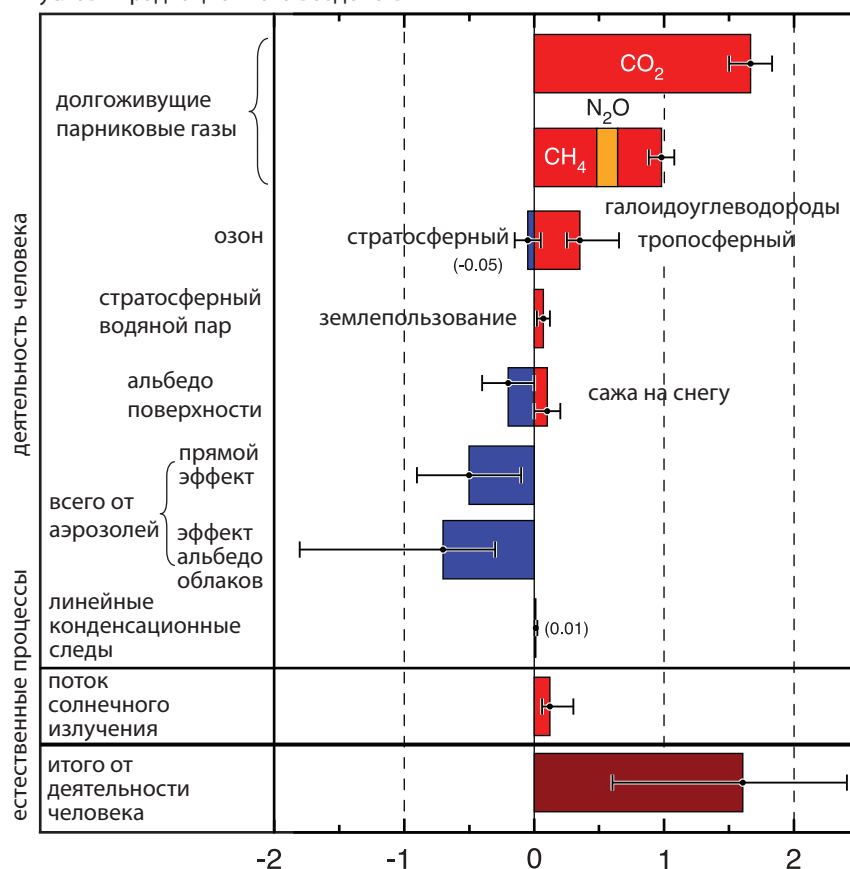
- Концентрация галоидоуглеводородов возросла, в основном, из-за деятельности человека. Незначительный вклад вносят и естественные процессы. Среди основных галоидоуглеводородов – фреоны (например, ХФУ-11 и ХФУ-12), которые широко применялись как охлаждающие вещества и в других промышленных процессах до того, как было установлено, что их присутствие в атмосфере вызывает истощение стратосферного озона. Избыток фреонов сокращается в результате введения международных норм, призванных защитить озоновый слой.
- Озон – это парниковый газ, который непрерывно вырабатывается и уничтожается в атмосфере в ходе химических реакций. В тропосфере количество озона увеличилось вследствие деятельности человека, благодаря выбросам таких газов, как окись углерода, углеводороды и окись азота, в ходе химической реакции которых образуется озон. Как упоминалось выше, галоидоуглеводороды, образующиеся в процессе деятельности человека, разрушают озон в стратосфере и уже привели к образованию озоновой дыры над Антарктидой.
- Самый распространенный и важный парниковый газ в атмосфере – водяной пар. Тем не менее, деятельность человека оказывает лишь незначительное прямое воздействие на содержание водяного пара в атмосфере. Если говорить о косвенном влиянии, то люди могут существенно

воздействовать на количество водяного пара путем изменения климата. Например, более теплая атмосфера содержит больше водяного пара. Деятельность человека также влияет на водяной пар посредством выбросов CH_4 , так как CH_4 подвергается в стратосфере химическому разрушению, выделяя незначительное количество водяного пара.

- Аэрозоли – это присутствующие в атмосфере мелкие частицы, размер, концентрация и химический состав которых очень сильно различаются. Некоторые аэрозоли испускаются прямо в атмосферу, а некоторые образуются из испускаемых соединений. Аэрозоли содержат как естественные соединения, так и соединения, выброшенные в атмосферу в ходе деятельности человека. Сжигание ископаемых видов топлива и биомассы увеличило концентрацию аэрозолей, содержащих соединения серы, органические соединения и углеродную сажу (копоть).

Аэрозоли – это присутствующие в атмосфере мелкие частицы, размер, концентрация и химический состав которых очень сильно различаются. Некоторые аэрозоли испускаются прямо в атмосферу, а некоторые образуются из испускаемых соединений. Аэрозоли содержат как естественные соединения, так и соединения, выброшенные в атмосферу в ходе деятельности человека. Сжигание ископаемых видов топлива и

Радиационное воздействие климата, 1750–2005 гг.
условия радиационного воздействия



ЧЗВ 2.1, рис. 2. Сводка всех основных компонентов радиационного воздействия изменения климата. Все эти радиационные воздействия являются результатом одного или нескольких факторов, которые влияют на климат и связаны с деятельностью человека либо с естественными процессами, которые упоминаются в тексте. Значения представляют воздействия по состоянию на 2005 год по сравнению с началом индустриальной эпохи (около 1750 г.). Деятельность человека вызывает значительные изменения концентрации долгоживущих газов, озона, водяного пара, альbedo поверхности, аэрозолей и конденсационных следов. За период с 1750 по 2005 год единственным сколько-нибудь значительным естественным воздействием был поток солнечного излучения. Положительные воздействия приводят к потеплению климата, а отрицательные – к похолоданию. Тонкая черная линия на каждом цветном столбике обозначает диапазон погрешности для соответствующего значения. (Рисунок адаптирован из рис. 2.20.)

ЧЗВ 2.1, Вставка 1: Что такое радиационное воздействие?

Что такое радиационное воздействие? Влияние фактора, который может вызвать изменение климата, например, парникового газа, часто оценивают с точки зрения его радиационного воздействия. Радиационное воздействие – это мера того, как энергетический баланс системы Земля-атмосфера меняется, когда изменяются факторы, влияющие на климат. Слово «радиационное» используется потому, что эти факторы изменяют баланс между поступающей солнечной радиацией и уходящим инфракрасным излучением в атмосфере Земли. Этот радиационный баланс управляет температурой поверхности Земли. Термин «воздействие» используется для того, чтобы показать, что радиационный баланс Земли сдвигается в сторону от своего нормального состояния.

Радиационное воздействие обычно количественно измеряется как «скорость изменения энергии на единицу площади Земли, измеренная в верхних слоях атмосферы» и выражается в единицах «ватт на квадратный метр» (см. рис. 2). Если радиационное воздействие фактора или группы факторов оценивается как положительное, энергия системы Земля-атмосфера в конечном итоге возрастает, приводя к потеплению системы. Если же радиационное воздействие отрицательное, то, наоборот, энергия уменьшится, что приведет к охлаждению системы. Важные задачи для климатологов – выявить все факторы, влияющие на климат, и механизмы, которыми они оказывают воздействие, количественно измерить радиационное воздействие каждого фактора и оценить суммарное радиационное воздействие группы факторов.

биомассы увеличили концентрацию аэрозолей, содержащих соединения серы, органические соединения и углеродную сажу (копоть).

Радиационное воздействие факторов, на которые влияет деятельность человека

Вклад радиационного воздействия некоторых факторов, на которые влияет деятельность человека, показан на рис. 2. Значения отражают общее воздействие относительно начала индустриальной эпохи (около 1750 г.). Воздействие увеличения содержания всех парниковых газов, которое наиболее понятно из всех воздействий, вызванных деятельностью человека, положительно, потому что каждый газ поглощает уходящее инфракрасное излучение в атмосфере. За этот период наибольшее воздействие из парниковых газов вызвало увеличение содержания CO_2 . Потеплению также способствовало увеличение содержания тропосферного озона, тогда как уменьшение количества стратосферного озона содействовало охлаждению.

Аэрозольные частицы прямо влияют на радиационное воздействие путем отражения и поглощения солнечного и инфракрасного излучения в атмосфере. Некоторые аэрозоли вызывают положительное воздействие, а некоторые – отрицательное. Совокупное прямое радиационное воздействие всех типов аэрозолей отрицательно. Аэрозоли также вызывают отрицательное радиационное воздействие косвенно, через изменения, которые они вызывают в свойствах облаков.

Деятельность человека с начала индустриальной эпохи изменила характер поверхности суши на всей планете, главным образом из-за изменений в пахотных землях, пастбищах и лесах. Она также изменила отражательные свойства льда и снега. В целом, вполне вероятно, что сейчас в результате деятельности человека от поверхности Земли отражается все больше солнечного излучения. Это изменение приводит к отрицательному воздействию.

Самолеты создают стойкие линейные конденсационные следы в регионах, где преобладают низкие температуры и высокая влажность. Конденсационные следы – это форма перистого облака, которая отражает солнечную радиацию и поглощает инфракрасное излучение. Линейные конденсационные следы глобальных воздушных перевозок повысили облачность и, по оценкам, вызывают небольшое положительное радиационное воздействие.

Радиационное воздействие естественных изменений

Естественные воздействия возникают вследствие изменений на Солнце и взрывных извержений вулканов. Поток энергии Солнца в индустриальную эпоху постепенно возрастал, создавая небольшое положительное радиационное воздействие (см. рис. 2). Это воздействие дополняет циклические изменения в солнечной радиации, которые идут по 11-летнему циклу. Солнечная энергия непосредственно нагревает климатическую систему и может также воздействовать на избыток в атмосфере некоторых парниковых газов, таких как стратосферный озон. Взрывные извержения вулканов могут создавать краткосрочное (2-3 года) отрицательное воздействие посредством повышения температуры, имеющего место в сульфатном аэрозоле в стратосфере. Сейчас в стратосфере нет вулканического аэрозоля, поскольку последнее крупное извержение произошло в 1991 году (гора Пинатубо).

Различия в оценках радиационного воздействия, создаваемого изменениями в солнечном излучении и вулканами, между нынешним днем и началом индустриальной эпохи очень малы по сравнению с различиями в радиационном воздействии, которое стало результатом деятельности человека. Как следствие, в сегодняшней атмосфере радиационное воздействие деятельности человека гораздо более важно для текущих и будущих изменений климата, нежели радиационное воздействие изменений в естественных процессах.

Часто задаваемый вопрос 3.1

Как изменяется температура на Земле?

Инструментальные наблюдения за последние 157 лет показывают, что температура земной поверхности повысилась на всей планете, причем имеют место значительные региональные вариации. В среднем за последнее столетие потепление происходило в два этапа, с 1910-х по 1940-е годы (на $0,35^{\circ}\text{C}$) и, более существенно, с 1970-х годов до нынешнего времени (на $0,55^{\circ}\text{C}$). Скорость потепления за последние 25 лет также выросла; в частности, 11 из зарегистрированных самых теплых 12 лет приходится на последние 12 лет. Что касается воздуха, то глобальные наблюдения с 1950-х годов показывают, что тропосфера (приблизительно до 10 км) нагревается с несколько более высокой скоростью, чем земная поверхность, тогда как стратосфера (около 10-30 км) с 1979 года существенно остыла. Это совпадает с прогнозами физиков и результатами большинства моделей. Подтверждением глобального потепления служит потепление океанов, повышение уровня моря, таяние ледников, отступление морских льдов в Арктике, уменьшение снежного покрова в северном полушарии.

Единого термометра для измерения глобальной температуры нет. Результаты отдельных измерений, которые ежедневно проводятся на нескольких тысячах станций, расположенных на суше по всему миру, объединяются с результатами тысяч других измерений температуры поверхности моря, которые проводятся с кораблей, плавающих по океанам, в результате чего ежемесячно выводится оценка глобальной средней температуры. Чтобы получить согласованные данные об изменениях во времени, главное – провести анализ аномалий (отклонений от климатологического среднего в каждом пункте), так как они более устойчивы к изменениям в доступности данных. Сейчас можно использовать такие измерения с 1850 года до нынешнего времени, хотя во второй половине XIX века охват был гораздо меньше глобального; после 1957 года, когда начались измерения в Антарктиде, он улучшился, а самым полным стал где-то после 1980 года, когда начались спутниковые измерения.

Если говорить о глобальном среднем, то приземная температура за последние сто лет (с 1906 по 2005 год; см. рис. 1) выросла приблизительно на $0,74^{\circ}\text{C}$. При этом, однако, потепление не было ни стабильным, ни одинаковым в разные времена года и в разных точках. Значительного изменения с 1850 года приблизительно до 1915 года не наблюдалось, не считая повышений и понижений, которые были связаны с естественной изменчивостью, но которые, возможно, были частично вызваны и плохим выборочным контролем. Повышение ($0,35^{\circ}\text{C}$) было отмечено в глобальной средней температуре за период с 1910 по 1940 год, после чего последовало незначительное охлаждение ($0,1^{\circ}\text{C}$), а потом быстрое потепление ($0,55^{\circ}\text{C}$) вплоть до конца 2006 года (рис. 1). Самыми теплыми годами из этого ряда были 1998 и 2005 годы (которые статистически неотличимы), а 11 из 12 самых теплых лет пришлось на последние 12 лет (1995-2006 годы).

Потепление, особенно с 1970-х годов, как правило, было более значительным на суше, нежели над океанами. В сезонном разрезе потепление слегка интенсивнее в зимнем полушарии. Дополнительное потепление имеет место в городах и городских районах (что часто называют эффектом городского острова тепла), однако оно ограничено в пространственном измерении, и его эффекты учитываются путем исключения максимально возможного количества таких пунктов из данных о глобальной температуре, а также путем увеличения интервала погрешности (на рисунке – светло-серая полоса).

Несколько областей с 1901 года охладилась; заметнее всего – северная часть Северной Атлантики вблизи южной Гренландии. Наиболее сильным потеплением в этот период было над континентальными внутренними районами Азии и северной частью Северной Америки. Однако, поскольку это области со значительной годовой изменчивостью, наиболее очевидный сигнал о потеплении наблюдался в районах средних и низких широт, особенно над тропическими океанами. В нижней левой части рис. 1, где показана динамика температуры с 1979 года, в температурном профиле Тихого океана заметны регионы потепления и охлаждения, связанные с Эль-Ниньо.

Недавно стал возможным анализ долговременных изменений дневных экстремальных температур во многих регионах мира (в ряде частей Северной Америки, на юге Южной Америки, в Европе, северной и восточной Азии, южной Африке и Австралии). Особенно с 1950 годов эти данные показывают уменьшение числа очень холодных дней и ночей и увеличение количества крайне жарких дней и теплых ночей (см. ЧЗВ 3.3). Продолжительность периода без морозов увеличилась в большинстве средне- и высокоширотных регионов обоих полушарий. В северном полушарии это проявляется очевиднее всего в более раннем приходе весны.

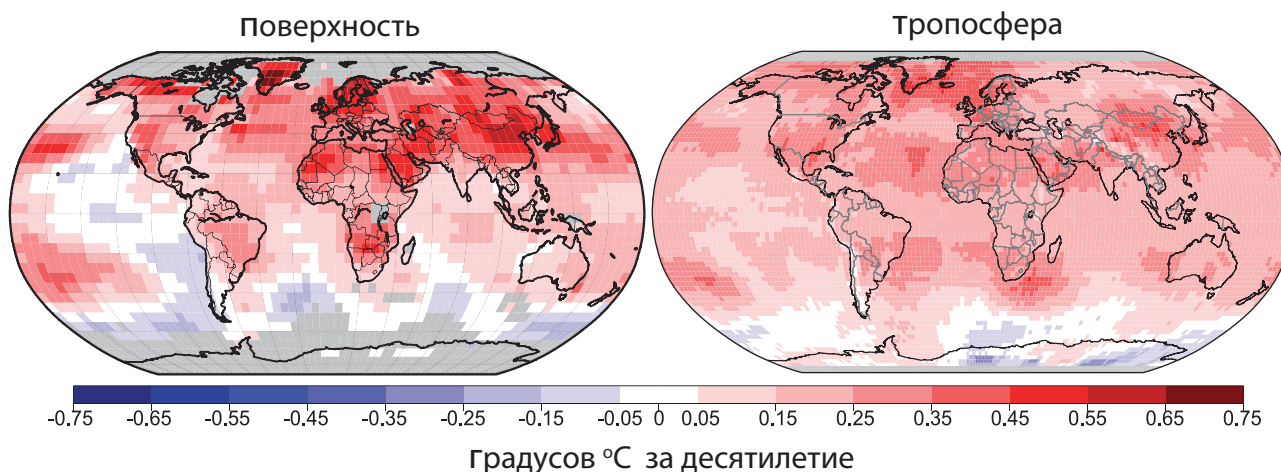
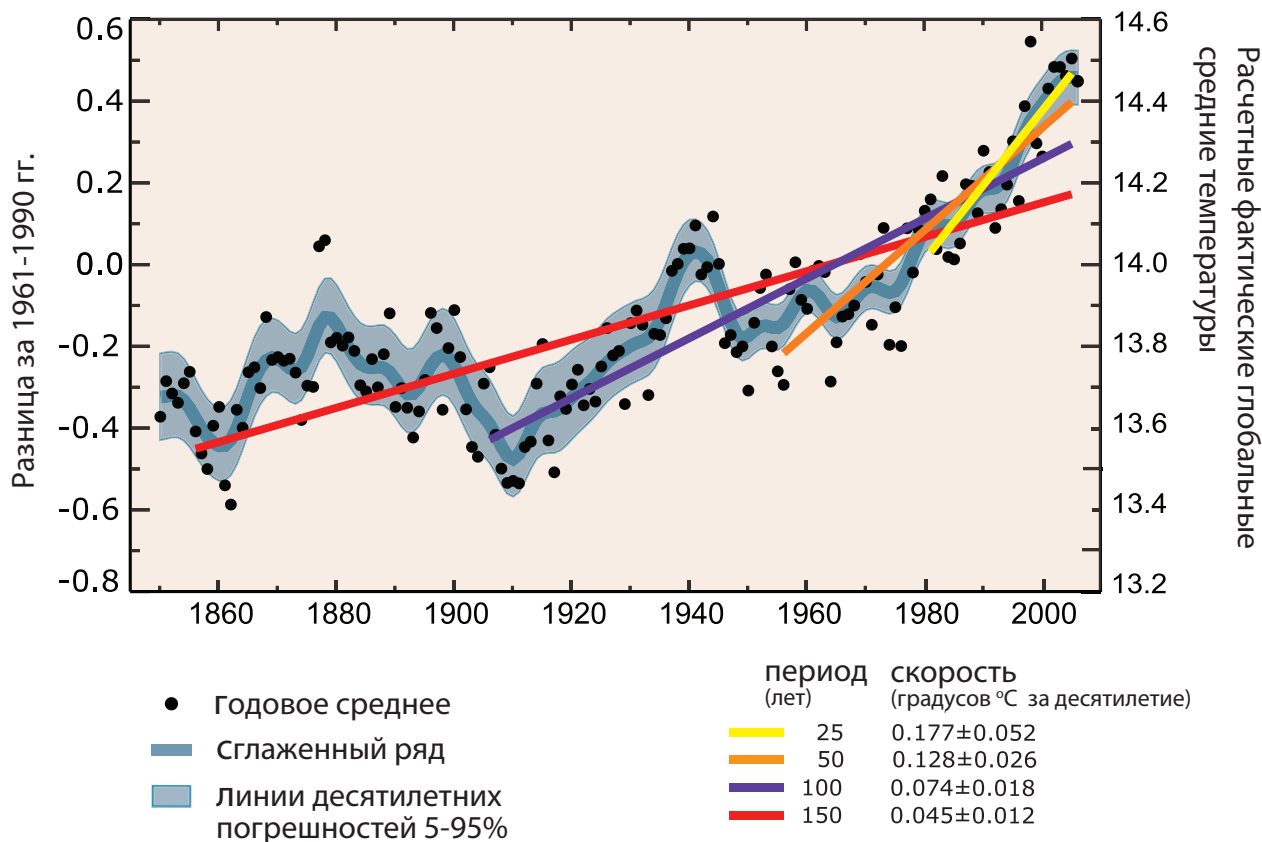
Помимо описанных выше данных о приземной температуре, проводились – с помощью метеозондов – измерения над поверхностью, причем с 1958 года был обеспечен достаточный охват над сушей, а с 1979 года используются спутниковые данные. Все данные скорректированы на изменения в контрольно-измерительных приборах и методиках наблюдения, где это необходимо. Данные микроволновых спутниковых приборов использовались для создания «спутниковых температурных протоколов» для толстых слоев атмосферы, включая тропосферу (от поверхности Земли приблизительно до 10 км) и нижнюю стратосферу (10-30 км). Несмотря на ряд новых аналитических исследований с улучшенной с перекрестной калибровкой 13 приборов на разных спутниках, проведенных с 1979 года, и компенсацию изменений во времени наблюдения и высоте спутников, некоторые неопределенности в трендах остаются.

Что касается глобальных наблюдений с конца 1950-х годов, то самые последние версии всех доступных комплектов данных показывают, что тропосфера теплела с несколько большей

скоростью, чем поверхность, тогда как стратосфера с 1979 года заметно остыла. Это совпадает с прогнозами физиков и результатами большинства моделей, что демонстрирует роль повышения содержания парниковых газов в потеплении тропосферы и охлаждении стратосферы, причем истощение озонового слоя значительно способствует охлаждению стратосферы.

Наблюдалось уменьшение длительности периода ледостава на реках и озерах. Кроме того, в XX веке имеет место практически всемирное сокращение ледовой массы и протяженности ледников; недавно стало очевидным таяние Гренландского ледового щита; во многих регионах северного полушария уменьшился снежный покров; толщина и площадь морского льда в Арктике во все времена года уменьшается, причем наиболее значительно весной и летом; теплеют океаны; из-за теплового расширения океанов и таяния материкового льда повышается уровень моря.

Глобальная средняя температура



ЧЗВ 3.1, рис. 1. (Вверху) Годовая глобальная средняя наблюдаемая температура¹ (черные точки) с простой подгонкой к данным. На левой оси показаны аномалии относительно среднего за 1961-1990 гг., а на правой – расчетная фактическая температура (°C). Показаны линейные тренды за последние 25 (желтый), 50 (оранжевый), 100 (лиловый) и 150 (красный) лет, которые соответствуют периодам 1981-2005 гг., 1956-2005 гг., 1906-2005 гг., 1856-2005 гг. Отметим, что для более коротких последних периодов крутизна выше, что означает ускоренное потепление. Синяя кривая – сглаженное изображение для демонстрации десятилетних изменений. Чтобы дать представление о том, имеют ли значение эти колебания, над этой линией даны десятилетние диапазоны погрешности 5-95% (светло-серый) (соответственно, годовые значения превышают эти пределы). Результаты моделей климата, на которые влияют расчетные радиационные воздействия в 20 веке (глава 9), показывают, что до 1915 года были незначительные изменения и что значительная доля изменения в начале 20 века была обусловлена естественными явлениями, в том числе изменениями солнечного излучения, вулканической деятельностью и естественной изменчивостью. Где-то с 1940 до 1970 года растущая индустриализация после Второй Мировой войны привела к увеличению загрязнения в северном полушарии, что способствовало охлаждению, а с середины 1970-х годов в наблюдаемом потеплении доминирует увеличение выбросов углекислого газа и других парниковых газов. (Внизу) Профили линейных трендов глобальной температуры за период 1979-2005 гг., полученные для земной поверхности (слева) и тропосферы (справа) в отрезке от поверхности до высоты около 10 км; данные взяты из спутниковых измерений. Серые области означают неполные данные. Отметим более пространственно однородное потепление в спутниковых данных для тропосферы, тогда как изменения температуры на поверхности более явно связаны с засухой и океаном.

Часто задаваемый вопрос 3.2

Как изменяются осадки?

Наблюдения показывают, что изменения происходят в количестве, интенсивности, частоте и виде осадков. Эти характеристики осадков в общем характеризуются большой естественной изменчивостью, и значительное влияние оказывают Эль-Ниньо и изменения в профилях атмосферной циркуляции, такие как Североатлантическое колебание. Выраженные долговременные тренды в период 1900-2005 годов наблюдались в количестве осадков в некоторых местах: значительно влажнее в восточной части Северной и Южной Америки, на севере Европы, на севере и в центральной части Азии, а суше - в Сахеле, южной Африке, Средиземноморье и на юге Азии. В северных регионах сейчас больше осадков выпадает в виде дождя, а не снега. Наблюдается повсеместный рост числа значительных случаев выпадений осадков, даже в местах, где общее количество осадков уменьшилось. Эти изменения связаны с увеличением выбросов водяного пара в атмосферу вследствие потепления океанов, особенно в нижних широтах. В некоторых регионах также наблюдается увеличение числа случаев как засухи, так и наводнений.

Осадки – это общий термин для дождя, снега и других форм замерзшей или жидкой воды, выпадающей из облаков. Осадки – прерывистое явление, и характер осадков, когда они выпадают, сильно зависит от температуры и синоптической обстановки. Последняя определяет поступление влаги с ветром и через поверхностное испарение, а также то, как она собирается в бурю в виде облаков. Осадки образуются по мере конденсации водяного пара, обычно в восходящем воздухе, который расширяется и поэтому остывает. Восходящее движение обусловлено подъемом воздуха через горы, движением теплого воздуха над более холодным (теплым фронтом), вталкиванием более холодного воздуха под более теплый (холодным фронтом), конвекцией от местного нагрева поверхности, другими погодными и облачными системами. Таким образом, изменения в любой из этих характеристики изменяют осадки. Поскольку карты осадков, как правило, неполные, то общие тенденции касательно осадков демонстрирует индекс интенсивности засухи Палмера (см. рис. 1), представляющий собой меру влажности почвы с учетом осадков и приблизительных оценок изменений в испарении.

Следствием повышенного нагрева вследствие антропогенного расширенного парникового эффекта является повышенное испарение, при условии наличия достаточной поверхностной влаги (как это всегда имеет место над океанами и другими влажными поверхностями). Следовательно, поверхностная влага по сути дела действует как «кондиционер воздуха», так как используемое для испарения тепло служит для увлажнения воздуха, а не для его нагрева. Наблюдаемое последствие этого – то, что лето часто бывает теплым и сухим либо холодным и влажным. В восточных районах Северной и Южной Америки, где стало влажнее (рис. 1), температура

поэтому повысилась меньше, чем где-либо (изменение числа теплых дней см. в ЧЗВ 3.3, рис. 1). Зимой над северными континентами, однако, большее количество осадков связано с повышением температуры, так как водоудерживающая способность атмосферы в более теплых условиях повышается. В тех регионах, однако, где осадки обычно несколько больше, повышение температуры (ЧЗВ 3.1) ускорило высыхание, из-за чего это изменение осадков на рис. 1 менее очевидно.

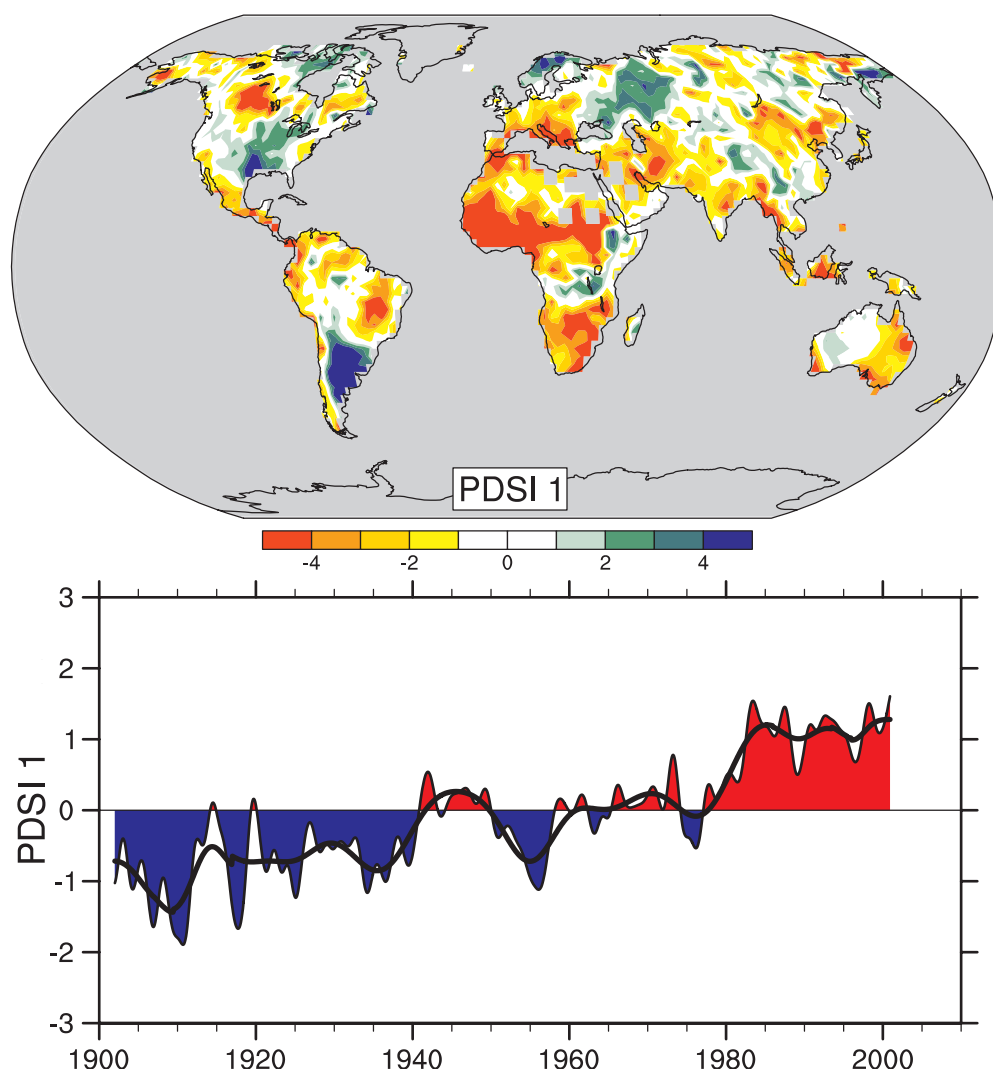
По мере изменения климата количество, интенсивность, частота и тип осадков изменяются и под прямым влиянием некоторых других факторов. Потепление ускоряет высыхание земной поверхности и повышает потенциальную вероятность и интенсивность засухи, что наблюдается во многих местах земного шара (рис. 1). Однако, хорошо обоснованный физический закон (уравнение Клапейрона-Клаузиуса) определяет, что водоудерживающая способность атмосферы возрастает приблизительно на 7% при каждом повышении температуры на 1°C. Наблюдения тенденций относительной влажности неопределенные, но показывают, что в целом она оставалась приблизительно той же самой, от поверхности и до тропосферы включительно; следовательно, повышение температуры приведет к увеличению количества водяного пара. На основании изменений температуры на поверхности моря в XX веке сделано предположение о том, что содержание водяного пара в атмосфере над океанами возросло приблизительно на 5%. Поскольку осадки являются следствием в основном погодных систем, которые питаются водяным паром, находящимся в атмосфере, это в общем повысило интенсивность осадков и риск сильных дождей и снегопадов. Фундаментальная теория, климатические модели, эмпирические доказательства – все это подтверждает, что потепление климата вследствие повышения содержания водяного пара приводит к более интенсивным осадкам, даже в том случае, если годовое количество осадков слегка уменьшается, с перспективой еще более сильных осадков, когда общее количество осадков увеличивается. Поэтому более теплый климат повышает риск как засухи – когда нет дождя – так и наводнения – когда дождь идет – но в разное время и (или) разных местах. Например, лето 2002 года в Европе принесло повсеместные наводнения, однако спустя год, в 2003 году, последовала рекордная жара и засуха. На распределение и сроки наводнений и засухи наиболее сильно влияет цикл Эль-Ниньо, особенно в тропиках и на большей части средних широт стран западного побережья Тихого океана.

В районах, где аэрозольное загрязнение маскирует землю от прямого солнечного света, уменьшение испарения сокращает общее поступление влаги в атмосферу. Следовательно, даже при том, что возможность более сильных осадков вытекает из увеличения количества водяного пара, продолжительность и частота осадков могут уменьшиться, потому что для

перезарядки атмосферы водяным паром требуется больше времени.

Местные и региональные изменения в характере осадков также сильно зависят от профилей атмосферной циркуляции, определяемых Эль-Ниньо, Североатлантическим колебанием (САК; это мера силы западного ветра над Северной Атлантикой зимой) и другими режимами изменчивости. Некоторые из этих наблюдаемых изменений циркуляции связаны с изменением климата. Связанный с ними сдвиг в траекториях циклонов

делает некоторые регионы более влажными, а некоторые – часто близлежащие – более сухими, способствуя усложнению характера изменений. Например, в европейском секторе более положительное САК в 1990-е годы привело к более влажным условиям в северной части Европы и более сухим – в Средиземноморье и северных регионах Африки. Затяжная засуха в Сахеле (см. рис. 1), резко выраженная в период с конца 1960-х до конца 1980-х годов, продолжается, хотя она и не настолько сильная, как раньше; через изменения в



ЧЗВ 3.2, рис. 1. Самый важный пространственный профиль (вверху) ежемесячного индекса интенсивности засухи Палмера (ИИЗП) за 1900-2002 гг. ИИЗП – известный показатель засухи, который измеряет совокупный дефицит (относительно местных средних условий) поверхностной влаги путем включения данных о предыдущих осадках и оценок количества влаги, выброшенной в атмосферу (на основании температуры воздуха) в систему гидрологического учета. На нижней панели показано, как знак и интенсивность этого профиля изменялись с 1900 года. Красные и оранжевые участки суше (влажнее), чем средний уровень, а синие и зеленые участки влажнее (суше) среднего, когда значения, показанные на нижнем графике, положительны (отрицательны). Плавная черная кривая показывает десятилетние вариации. Этот временной ряд приблизительно соответствует тренду, а на данный профиль и его вариации приходится 67% линейного тренда ПИЗП за 1900-2002 гг. по всей поверхности суши. Следовательно, здесь отражена распространенная усиливающаяся засуха в Африке, особенно в Сахеле, например. Отметим также более влажные районы, особенно на востоке Северной и Южной Америки и на севере Евразии. Адаптировано из Dai et al. (2004b).

атмосферной циркуляции она была связана с изменениями в режимах температур поверхности тропических морей в бассейнах Тихого, Индийского и Атлантического океанов. Засуха распространилась по большей части Африки и стала более привычной в тропиках и субтропиках.

По мере роста температуры вероятность выпадения осадков в виде дождя, а не снега, повышается, особенно осенью и весной в начале и конце снежного сезона, а также в областях, где температуры близки к точке замерзания.

Такие изменения наблюдаются во многих местах, особенно над сушей в средних и высоких широтах северного полушария,

что приводит к усилению дождей и уменьшению снегопадов, следовательно, к сокращению водных ресурсов летом, когда они более всего нужны. Тем не менее, часто неоднородная и нерегулярная природа осадков означает, что наблюдаемый характер изменений – сложный. Долгосрочные наблюдения подчеркивают, что характер осадков из года в год несколько меняется, и даже затяжная многолетняя засуха обычно прерывается годом сильных ливней; например, когда чувствуется влияние Эль-Ниньо. В качестве примера можно привести влажную зиму 2004-2005 гг. на юго-западе США после шестилетней засухи и отсутствия обычных снегопадов.

Часто задаваемый вопрос 3.3

Изменились ли экстремальные явления, такие как волны тепла, засуха, наводнения, ураганы?

С 1950 года количество волн тепла увеличилось, и произошли повсеместные изменения в сторону увеличения числа теплых ночей. Число регионов, охваченных засухой, также возросло, поскольку количество осадков над сушей уменьшилось незначительно, тогда как испарение вследствие более теплых условий увеличилось. В целом количество сильных ежедневных случаев выпадения осадков, которые привели к наводнениям, увеличилось, но не везде. Частота тропических бурь и ураганов из года в год существенно изменяется, однако свидетельства дают основание предположить существенное увеличение их силы и продолжительности по сравнению с 1970-ми годами. Во внетропических районах изменения траекторий и силы циклонов отражают изменения основных характеристик атмосферной циркуляции, таких как Североатлантическое колебание.

В ряде регионов мира обнаружены признаки изменений различных типов экстремальных климатических явлений. Экстремальными обычно считаются величины, которые превышают 1, 5 и 10% раза (с одной стороны экстремума) или 90, 95 и 99% раза (с другой стороны экстремума). Теплые ночи или жаркие дни (см. ниже) – это ночи и дни, температура в которые превышает 90-й перцентиль, а холодные ночи или дни – это те, температура в которые падает ниже 10-го перцентилля. Сильные осадки определяются как осадки, дневное количество которых превышает 95-й (или, если осадки «очень сильные», 99-й) перцентиль.

В последние 50 лет для отобранных для исследования областей суши наблюдается значительное снижение годового количества холодных ночей и значительное увеличение годового количества теплых ночей (рис. 1). Уменьшение числа холодных дней и увеличение числа жарких дней обычно менее заметно, хотя и наблюдается повсеместно. Распределения минимальных и максимальных температур не только сдвинулись в сторону более высоких значений, что соответствует общему потеплению; холодные экстремумы потеплели за последние 50 лет больше, чем теплые (рис. 1). Увеличение числа теплых экстремумов подразумевает повышение частоты волн тепла. Среди других подтверждающих признаков – наблюдаемая тенденция в сторону уменьшения числа морозных дней, связанная со средним потеплением в большинстве среднеширотных регионов.

Яркий признак изменения экстремальных значений – наблюдаемое свидетельство роста числа случаев сильных осадков в средних широтах за последние 50 лет, причем даже в местах, где среднее количество осадков не растет (см. также ЧЗВ 3.2). Для случаев очень сильных осадков также сообщается о растущих тенденциях, однако результаты есть лишь по нескольким районам.

Засуху легче измерить благодаря ее продолжительности.

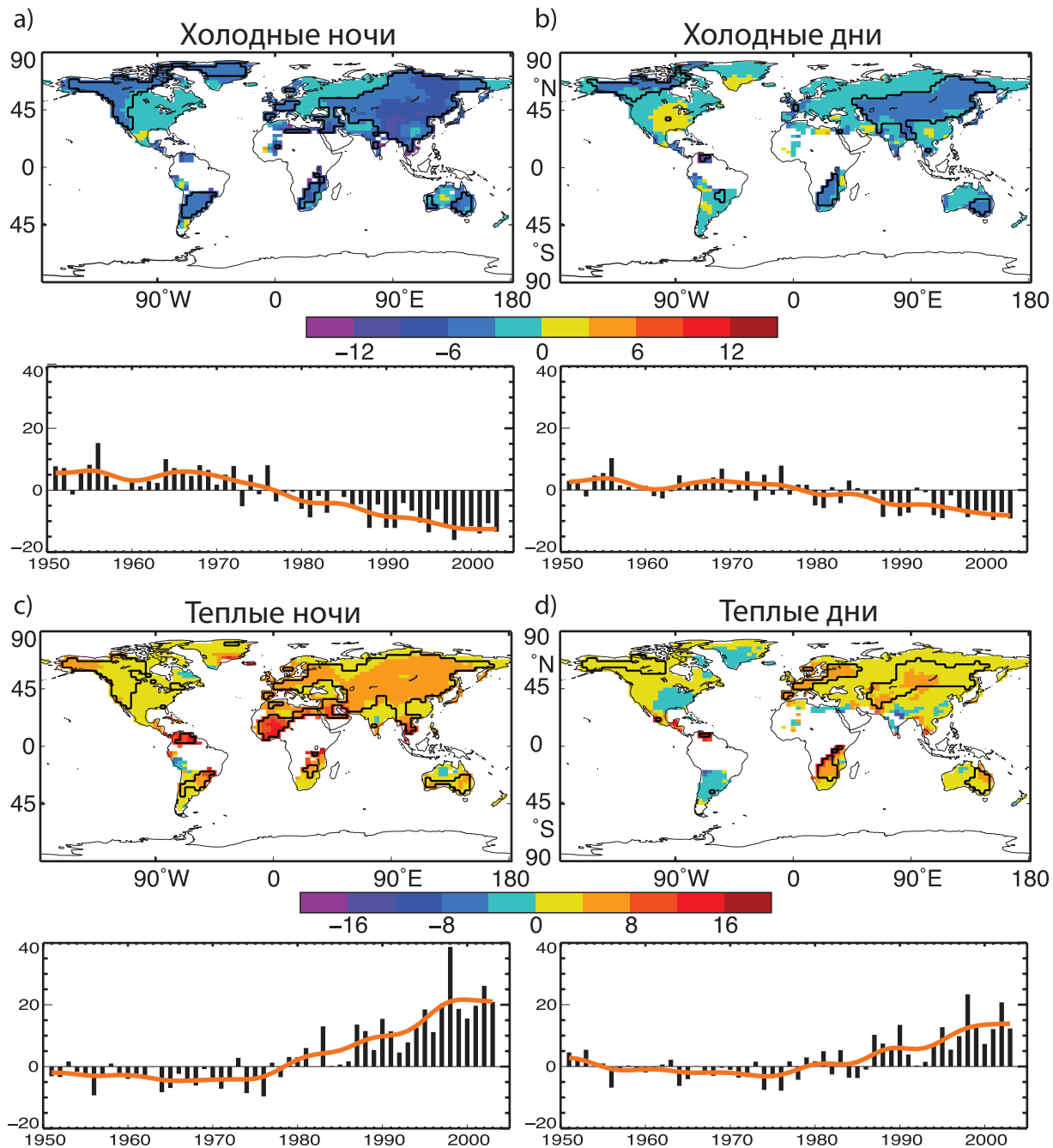
Хотя есть многочисленные показатели и измерители засухи, во многих исследованиях используются месячные количества осадков и средние температуры, объединенные в измеритель, называемый «индексом интенсивности засухи Палмера» (ИИЗП). ИИЗП, рассчитанный с середины XX века, показывает сильную засушливую тенденцию над многими районами суши северного полушария с середины 1950-х годов, причем засуха широко распространена в большей части южной Евразии, в северной Африке, Канаде и на Аляске (ЧЗВ 3.2, рис.1), а противоположная тенденция наблюдается на востоке Северной и Южной Америки. В южном полушарии земная поверхность в 1970-е годы была влажной, в 1960-е и 1990-е – относительно сухой, а с 1974 по 1998 гг. наблюдалась тенденция к высыханию. Данные по Европе за более длительные периоды XX столетия в целом демонстрируют ряд значительных тенденций. Уменьшение осадков над сушей с 1950-х годов – вероятно, главная причина тенденций к высыханию, но в этот процесс свой вклад, очевидно, внесло и значительное поверхностное нагревание, наблюдаемое в последние два-три десятилетия. Одно исследование показало, что общая площадь очень сухих участков суши по всей планете (определенных как участки с ИИЗП менее -3,0) с 1970-х годов более чем удвоилась, что связано с первоначальным уменьшением количества осадков над сушей, связанным с Эль-Ниньо и Южным колебанием, а также с последующим увеличением, обусловленным в основном поверхностным нагреванием.

Изменения частоты и интенсивности тропических бурь и ураганов маскируются значительной естественной изменчивостью. Эль-Ниньо - Южное колебание значительно воздействует на расположение и активность тропических бурь по всему миру. В глобальном разрезе оценки потенциального разрушающего действия ураганов демонстрируют существенную восходящую тенденцию с середины 1970-х годов, а также тенденцию в направлении увеличения продолжительности бурь и повышения их силы, причем эта активность сильно связана с температурой поверхности тропических морей. Эти зависимости подкрепляются фактами значительного роста количества и доли сильных ураганов с 1970 года в мировом масштабе, даже при том, что общее количество циклонов и циклонических дней в большинстве бассейнов слегка уменьшилось. Говоря конкретно, число ураганов 4 и 5 категорий с 1970 года возросло приблизительно на 75%. Наибольший рост отмечен в северной и юго-западной частях Тихого океана и в Индийском океане. При этом, однако, число ураганов в Северной Атлантике в 9 из 11 последних лет также превышало норму, а кульминацией стал рекордный сезон 2005 года.

Исходя из разнообразия мер на поверхности и в верхней тропосфере, можно сделать вывод о том, что во второй

половине XX века имеет место сдвиг в сторону полюсов, а также рост активности бурь в зимнее время в северном полушарии. Эти изменения – часть отклонений, возникших в связи с Североатлантическим колебанием. Наблюдения за период с 1979 года до середины 1990-х годов демонстрируют тенденцию к усилению околополюсной западной атмосферной циркуляции во всей тропосфере и нижней стратосфере, а также смещение струйных течений к полюсам и усиление активности

бурь. Данные наблюдений за изменениями в мелкомасштабных опасных метеорологических явлениях (таких как торнадо, град и грозы) в основном локальные и слишком разбросанные для того, чтобы сделать общие выводы; рост во многих районах обусловлен повышением уровня осведомленности общественности и активизацией усилий по сбору сведений о таких явлениях.



ЧЗВ 3.3, рис. 1. Наблюдаемые тенденции (дней за десятилетие) за 1951-2003 гг. в частоте экстремальных температур, определенные на основании значений за 1961-1990 годы, как карты для 10-го перцентиля: (а) холодные ночи и (b) холодные дни; и для 90-го перцентиля: (с) теплые ночи и (d) теплые дни. Тенденции были рассчитаны только для частей сетки, в которых за этот период были данные минимум за 40 лет и минимум до 1999 года. Черными линиями обведены регионы, где тенденции значительны на уровне 5%. Под каждой карт ой приведены глобальные годовые временные ряды аномалий (по отношению к 1961-1990 гг.). Красная линия показывает десятилетние изменения. Для всех приведенных глобальных показателей тенденции значительны на уровне 5%. Адаптировано из Alexander et al. (2006).

Часто задаваемый вопрос 4.1

Уменьшается ли количество снега и льда на Земле?

Да. Наблюдения показывают уменьшение количества снега и льда в глобальном масштабе в течение многих лет, особенно начиная с 1980 года, причем за последнее десятилетие этот процесс ускорился, несмотря на увеличение в одних местах и незначительное изменение в других (рис. 1). Большинство горных ледников уменьшается. Снежный покров весной тает раньше. Морской лед в Арктике уменьшается во все времена года, а сильнее всего – летом. Сообщается об уменьшениях в вечной мерзлоте, сезонномерзлых грунтах, речных и озерных льдах. Обширные прибрежные регионы ледовых щитов в Гренландии и Западной Антарктиде, как и ледники Антарктического полуострова, становятся тоньше, что способствует повышению уровня моря. Общий вклад таяния ледников, ледяных шапок и ледовых щитов за 1993-2003 годы оценивается величиной $1,2 \pm 0,4$ мм/год.

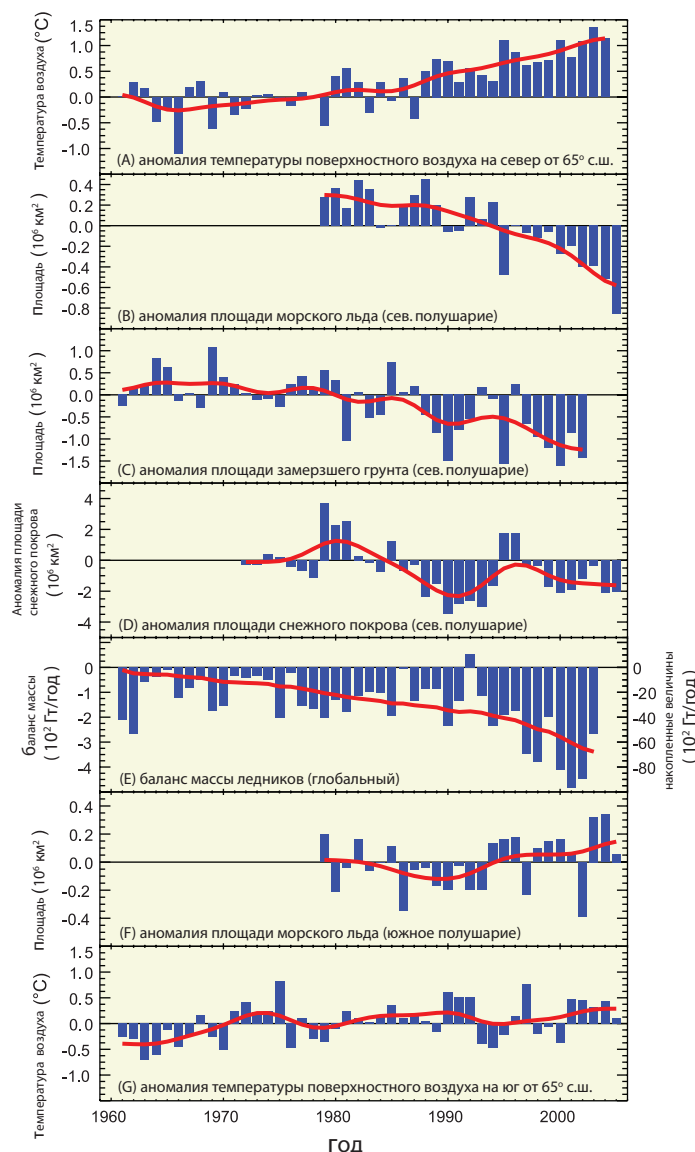
Непрерывные спутниковые измерения дают сведения о большей части сезонного снежного покрова на суше в Европе и показывают, что толщина весеннего снежного покрова в северном полушарии уменьшается приблизительно на 2% за десятилетие начиная с 1966 года, а осенью и ранней зимой изменения небольшие. Во многих местах весеннее уменьшение наблюдается, несмотря на рост количества осадков.

Данные спутниковых измерений еще не позволяют получить подобные достоверные сведения о состоянии льда на реках и озерах или на сезонно либо постоянно замерзшей почве, однако опубликованы многочисленные местные и региональные отчеты, которые, как представляется, указывают на нагревание вечной мерзлоты, увеличение толщины летнего растаявшего слоя над вечной мерзлотой, уменьшение глубины зимнего замерзания в сезонно замерзающих районах, уменьшение площади вечной мерзлоты, сокращение продолжительности сезонного обледенения рек и озер.

С 1978 года спутниковые данные обеспечивают постоянный охват площади распространения морского льда в обоих полярных регионах. В Арктике среднегодовое распространение морского льда уменьшается на $2,7 \pm 0,6\%$ за десятилетие, а летом - на $7,4 \pm 2,4\%$ за десятилетие. В площади распространения антарктического морского льда значительных тенденций не наблюдается. Данные о толщине, полученные, в частности, с подводных лодок, имеются, но ограничены центральной Арктикой, где они свидетельствуют об уменьшении толщины за 1958-1977 годы и в 1990-е годы приблизительно на 40%. Эта оценка, однако, вероятно, завышена по сравнению со всем арктическим регионом.

Большинство горных ледников и ледяных шапок уменьшаются, причем этот процесс начался, вероятно, где-то в 1850 году. Хотя в районе 1970 года имели место несколько лет практического равновесия на многих ледниках северного полушария, этот период сменился усиленным уменьшением. Таяние ледников и ледяных шапок за период 1991-2004 гг. привело к повышению уровня моря на $0,77 \pm 0,22$ мм/год.

В целом вполне вероятно, что ледовые щиты Гренландии и Антарктиды уменьшаются; при этом за период 1993-2003 гг. этот процесс в Гренландии привел к повышению уровня моря на $0,2 \pm 0,1$ мм/год, а в Антарктиде - на $0,2 \pm 0,35$ мм/год.



ЧЗВ 4.1, рис. 1. Временные ряды аномалий (отклонение от долгосрочного среднего) температуры воздуха на поверхности на полюсах (A, G), площади арктического и антарктического морского льда (B, F), площади замерзшей поверхности в северном полушарии (C), площади снежного покрова в северном полушарии (D), глобального баланса массы ледников (E). Сплошная красная линия в E обозначает совокупный глобальный баланс массы ледников; в других частях она показывает десятилетние изменения (см. Приложение 3.A).

Есть доказательства ускоренной потери вплоть до 2005 года включительно.

Уменьшение снежного покрова и горных ледников во многих случаях происходит несмотря на увеличение снегопадов, что предполагает повышение температуры воздуха. Аналогичным образом, хотя изменения снежного покрова влияют на замерзшую почву, озерный и речной лед, это не представляется достаточным для объяснения наблюдаемых изменений, предполагая, что важное значение имеет повышение локальной температуры воздуха. Наблюдаемое уменьшение арктического

морского льда можно достаточно качественно смоделировать в моделях, построенных на изменениях циркуляции и температуры за прошлые периоды. Наблюдаемые изменения в снегопадах на ледовых щитах в некоторых холодных центральных регионах, поверхностное таяние в прибрежных регионах и таяние под шельфовыми ледниками вдоль многих берегов – все это соответствует потеплению. Географический распространенный характер этих изменений снега и льда предполагает, что причиной общей потери льдов на Земле является широко распространенное потепление.

Часто задаваемый вопрос 5.1

Повышается ли уровень моря?

Да, есть убедительные доказательства того, что глобальный уровень моря в XX веке постепенно повышался, а сейчас повышается ускоренными темпами после периода незначительного изменения, который продолжался с начала нашей эры до 1900 года. По прогнозам, уровень моря в текущем столетии будет повышаться еще более высокими темпами. Две главные причины глобального повышения уровня моря – тепловое расширение океанов (вода при нагревании расширяется) и потеря льда на суше вследствие более активного таяния.

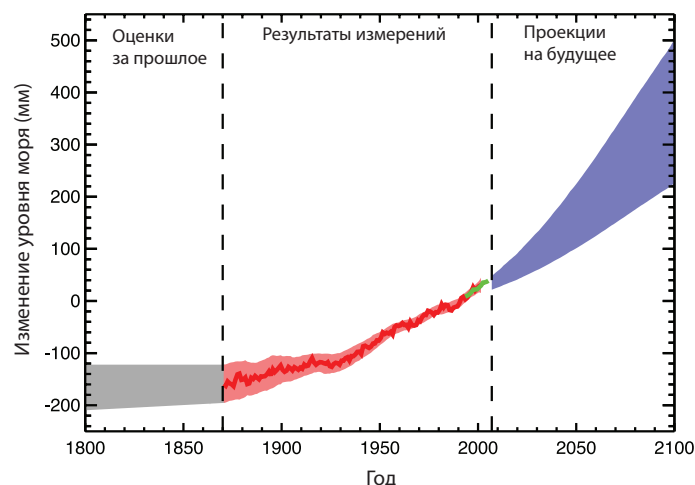
Глобальный уровень моря за несколько тысячелетий после последнего ледникового периода (около 21000 лет назад) повысился приблизительно на 120 м и где-то 2-3 тыс. лет назад стабилизировался. Показатели уровня моря показывают, что с тех пор и до конца XIX столетия глобальный уровень моря значительно не повысился. Результаты измерений изменений уровня моря в наше время подтверждают, что в XIX веке началось повышение уровня моря. Оценки за XX век показывают, что глобальный средний уровень моря повышался со скоростью около 1,7 мм/год.

Спутниковые наблюдения, которые проводятся с начала 1990-х годов, дают более точные данные об уровне моря почти с глобальным охватом. Эти спутниковые данные альтиметрии, собранные за десятилетие, показывают, что с 1993 года уровень моря повышается со скоростью около 3 мм/год, что значительно больше, чем средние темпы за предыдущие полстолетия. Измерения, проведенные с помощью мареографов в прибрежных водах, подтверждают это наблюдение и показывают, что аналогичные темпы наблюдались в ряде предыдущих десятилетий.

В соответствии с климатическими моделями спутниковые данные и гидрографические наблюдения показывают, что уровень моря не повышается одинаково во всем мире. В некоторых регионах темпы роста в несколько раз превышают среднее глобальное значение, а в некоторых уровень моря снижается. Из гидрографических наблюдений видны также значительные пространственные колебания скорости изменения уровня моря. Пространственная изменчивость темпов повышения уровня моря обусловлена в основном неоднородными изменениями температуры и солёности и связана с изменениями океанической циркуляции.

Почти глобальные комплекты данных о температуре океанов, полученные в последние годы, позволяют прямо вычислить тепловое расширение. Считается, что в среднем за период с 1961 по 2003 год тепловое расширение стало причиной приблизительно четверти наблюдаемого повышения уровня моря, тогда как на таяние материкового льда пришлось меньше половины. Таким образом, эти комплекты данных недостаточно удовлетворительно объясняют весь размах наблюдаемого повышения уровня моря, как отмечалось в Третьем докладе МГЭИК об оценках.

В последние годы (1993–2003 гг.), в которые система наблюдений была гораздо лучшей, на долю теплового расширения и таяния материкового льда приходится почти по половине наблюдаемого повышения уровня моря, хотя в этих оценках есть некоторая неопределенность. Обоснованная согласованность, отмеченная в последние годы между наблюдаемыми темпами повышения уровня моря и суммой теплового расширения и потери материкового льда, предполагает наличие верхнего предела амплитуды изменений материковых водных ресурсов, который относительно плохо известен. Результаты моделирования показывают отсутствие чистого тренда в содержании водных ресурсов на суше вследствие вызванных климатом изменений, однако есть существенные межгодовые и десятилетние колебания. При этом, однако, в период с 1993 по 2003 год незначительная разница между наблюдаемым повышением уровня моря и суммой действий известных факторов, возможно, была обусловлена неизмеренными количественно антропогенными процессами (это, например, извлечение подземных вод, наполнение водоемов, осушение водно-болотных угодий, обезлесение).



ЧЗВ 5.1, рис.1. Временной ряд глобального среднего уровня моря (отклонение от среднего за 1980-1999 годы) в прошлом и по прогнозам на будущее. Глобальных измерений уровня моря за период до 1870 года нет. Серые участки означают неопределенность расчетных долгосрочных темпов изменения уровня моря (раздел 6.4.3). Красная линия – реконструкция глобального среднего уровня моря по мареографам (раздел 5.5.2.1), а красные участки означают интервал отклонений от гладкой кривой. Зеленая линия – глобальный средний уровень моря, наблюдаемый по спутниковым альтиметрам. Синий участок – диапазон модельных проекций по сценарию СДСВ А1В на 21 век относительно среднего за 1980-1999 годы, вычисленный независимо от наблюдений. Проекция на период после 2100 года еще больше зависит от сценариев выбросов (см. в главе 10 обсуждение проекций повышения уровня моря по другим сценариям, рассмотренных в данном докладе). За многие столетия или тысячелетия уровень моря мог бы повыситься на несколько метров (раздел 10.7.4).

Глобальный уровень моря, по проекциям, в XXI веке будет повышаться с большей скоростью, чем в 1961-2003 годах. По сценарию A1B Специального доклада МГЭИК о сценариях выбросов (СДСВ), к середине 2090-х годов глобальный уровень моря повысится на 0,22-0,44 м по сравнению с 1990 годом, возрастая на 4 мм в год. Как и в прошлом, изменение уровня моря в будущем не будет географически однородным: согласно проекции по типовой модели региональные изменения уровня моря будут колебаться в пределах $\pm 0,15$ от среднего значения. На тепловое расширение, по проекциям, придется больше половины среднего повышения, а масса материкового

льда будет по ходу столетия все быстрее уменьшаться. Важная неопределенность связана с тем, будет ли сток льда с ледовых щитов продолжать расти вследствие ускоренного потока льда, как это было в последние годы. Это увеличило бы степень повышения уровня моря, однако достоверные качественные проекции этой возможной степени дать нельзя, так как нет достаточного понимания соответствующих процессов.

На рис. 1 показано изменение глобального среднего уровня моря в прошлом и по проекциям на 21 век по сценарию СДСВ A1B.

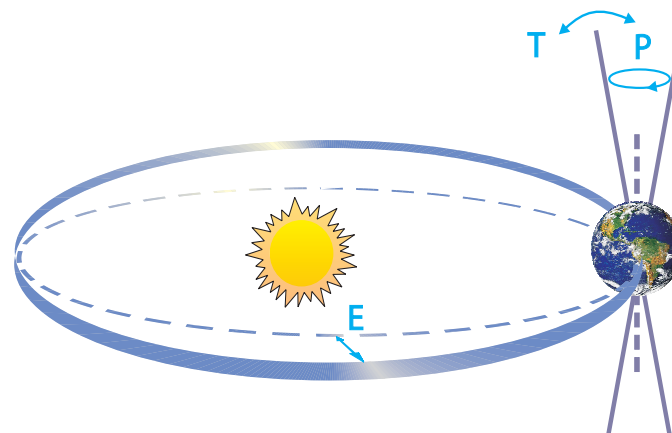
Часто задаваемый вопрос 6.1

Что вызывало ледниковые периоды и другие важные изменения климата до индустриальной эпохи?

Климат на Земле изменялся во все времена, в том числе задолго до того, как свою роль в этом начала играть деятельность человека. Достигнут большой прогресс в понимании причин и механизмов этих изменений. Изменения в радиационном балансе Земли были основным фактором изменений климата в прошлом, но причины таких изменений разные. Для каждого случая – будь то ледниковые периоды, потепление во времена динозавров, колебания в прошлом тысячелетии – конкретные причины необходимо устанавливать отдельно. Во многих случаях это сейчас можно сделать с большой долей уверенности, а многие прошлые изменения климата можно воспроизвести с помощью количественных моделей.

Глобальный климат определяется радиационным балансом планеты (см. ЧЗВ 1.1). Есть три основных способа возможного изменения радиационного баланса Земли с последующим изменением климата: 1) путем изменения поступающего солнечного излучения (например, изменением в орбите Земли или самого Солнца), 2) путем изменения доли солнечного излучения, которое отражается (эта доля называется альбедо – ее можно изменить, например, путем изменения облачного покрова, мелких частиц (аэрозолей) или земной поверхности), 3) путем изменения длинноволновой энергии, излучаемой обратно в космос (например, за счет изменения концентраций парниковых газов). Кроме того, местный климат зависит и от того, как тепло распределяется ветрами и океанскими течениями. Все эти факторы играли роль в изменениях климата в прошлом.

Начиная с ледниковых периодов, которые приходили и уходили регулярными циклами в последние почти три миллиона лет, имеется убедительное доказательство того, что они связаны с регулярными изменениями в орбите вращения Земли вокруг Солнца, так называемыми циклами Миланковича (рис. 1). Эти циклы изменяют количество солнечной радиации, получаемой на каждой широте в каждое время года (но вряд ли влияют на глобальное среднегодовое значение), и их можно рассчитать с астрономической точностью. Все еще ведутся дискуссии о том, насколько точно это соответствует началу и окончанию ледниковых периодов, однако во многих исследованиях говорится, что количество солнечного света летом на северных континентах играет решающую роль: если оно падает ниже критического уровня, то снег с прошедшей зимы летом не тает, и ледовый щит начинает расти по мере накопления все новых и новых снежных масс. Моделирование климата подтверждает, что ледниковый период действительно может начаться таким образом, а с помощью простых концептуальных моделей сделаны, на основании орбитальных изменений, успешные «ретроспективные прогнозы» начала прошлых оледенений. Следующее большое снижение летней инсоляции на севере, аналогичное тому, что началось после ледниковых периодов,



ЧЗВ 6.1, рис. 1. Схема изменений орбиты Земли (циклы Миланковича), которые определяют циклы ледниковых периодов. 'Т' обозначает изменения наклона (наклонения) оси Земли, 'E' – изменения в эксцентриситете орбиты (вследствие изменений малой оси эллипса) 'P' – прецессию, т.е. изменения направления наклона оси в данной точке орбиты. Источник: Rahmstorf and Schellnhuber (2006).

Атмосферный углекислый газ (CO_2) тоже играет важную роль в ледниковых периодах, хоть и не является их главной причиной. Данные кернов антарктического льда показывают, что концентрация CO_2 в холодные ледниковые времена низкая (~190 ppm), а в теплое межледниковье – высокая (~280 ppm); содержание CO_2 в атмосфере следует за температурными изменениями в Антарктиде с запаздыванием на несколько столетий. Поскольку изменения климата в начале и конце ледниковых периодов занимают несколько тысяч лет, то на большинство этих изменений влияет положительная связь по CO_2 ; т.е. небольшое начальное охлаждение из-за циклов Миланковича затем усиливается по мере падения концентрации CO_2 . Моделирование климата ледникового периода (см. раздел 6.4.1) дает реалистичные результаты только при условии учета роли углекислого газа.

В последнем ледниковом периоде произошло более 20 резких и значительных климатических сдвигов, которые особенно заметны в данных по северной Атлантике (см. раздел 6.4). Они отличаются от ледниково-межледниковых циклов тем, что, вероятно, не предполагают значительных изменений в глобальной средней температуре: изменения в Гренландии и Антарктиде идут не синхронно, а в южной и северной частях Атлантики вообще идут в противоположном направлении. Это значит, что никакого существенного изменения в глобальном радиационном балансе для таких сдвигов не потребовалось бы; достаточно было бы перераспределения тепла внутри климатической системы. Есть действительно веское доказательство того, что изменения в океанической циркуляции и переносе тепла могут объяснить многие особенности этих

внезапных явлений; данные исследования осадочных пород и моделирования показывают, что некоторых из этих изменений могли быть инициированы нестабильностями в ледовых щитах, окружавших в то время Атлантику, и соответствующим выбросом пресной воды в океан.

В истории климата встречались и гораздо более теплые времена – на протяжении большинства из прошлых 500 млн. лет на Земле, вероятно, вообще не было ледовых щитов (геологи могут установить это по отметкам, которые лед оставляет на породе), в отличие от сегодняшнего дня, когда Гренландия и Антарктида покрыты льдами. Данные о содержании парниковых газов, которые больше миллиона лет, т.е. которые относятся к периоду вне пределов досягаемости антарктических ледовых кернов, все равно довольно неопределенные однако анализ геологических образцов показывает, что теплые безледные периоды совпадают с периодами высокого содержания CO_2 в атмосфере. Если смотреть по шкале с разрешением в миллионы лет, то уровни CO_2 меняются из-за тектонической активности, что влияет на скорость обмена углекислым газом между океаном и атмосферой, с одной стороны, и твердой землей, с другой стороны. Подробнее о климате в древние времена см. врезку б.1.

Еще одна вероятная причина климатических изменений в прошлом – изменения количества энергии, выделяемой

Солнцем. Измерения за последние десятилетия показывают, что поток энергии Солнца в 11-летнем цикле слегка изменяется (приблизительно на 0,1%). Наблюдения за пятнами на Солнце (датируемые еще XVII столетием), а также данные об изотопах, генерируемых космическим излучением, дают доказательства более долговременных изменений солнечной активности. Сопоставление данных и моделирование показывают, что колебания солнечной и вулканической активности, вероятно, являлись главными причинами климатических колебаний в прошлом тысячелетии, до начала индустриальной эпохи.

Эти примеры служат иллюстрацией того, что разные изменения климата в прошлом были вызваны разными причинами. Тот факт, что естественные факторы вызывали изменения климата в прошлом, не означает, что нынешнее изменение климата является естественным. Аналогичным образом, то, что лесные пожары с давних пор вызываются естественными причинами, например, ударами молний, не означает, что пожары не могут быть вызваны беспечностью туристов. В ЧЗВ 2.1 рассматривается вопрос о том, насколько отличается вклад деятельности человека в последние изменения климата по сравнению с естественными воздействиями.

Часто задаваемый вопрос 6.2

Является ли нынешнее изменение климата необычным по сравнению с более ранними изменениями в истории Земли?

Климат на Земле изменялся на протяжении всей ее истории. Некоторые аспекты нынешнего изменения климата не являются чем-то необычным, а некоторые – являются. Концентрация CO₂ в атмосфере достигла рекордно высокого уровня за более чем полмиллиона лет, причем это произошло исключительно быстрыми темпами. Нынешние глобальные температуры выше, чем когда-либо за последние минимум пять столетий и, вероятно, даже более чем за тысячелетие. Если потепление будет продолжаться такими же темпами, то изменение климата в нынешнем столетии будет крайне необычным в геологическом плане. Еще один необычный аспект нынешнего изменения климата – его причина: в прошлом изменения климата были естественными по природе (см. ЧЗВ 6.1), тогда как в последние 50 лет потепление большей частью обусловлено деятельностью человека.

Сравнивая нынешнее изменение климата с предыдущими, естественными, необходимо провести три различия. Во-первых, должно быть ясно, какая переменная сравнивается: концентрация парниковых газов или температура (либо какой-то другой параметр климата), по абсолютной величине или по темпам изменения? Во-вторых, локальные изменения не следует путать с глобальными. Локальные изменения климата часто более значительны, чем глобальные, поскольку локальные факторы (например, изменения океанической или атмосферной циркуляции) могут смещать поток тепла или влаги из одного места в другое, и действуют локальные обратные связи (например, обратная связь по морскому льду). Большие изменения глобальной средней температуры, наоборот, требуют некоторого глобального воздействия (например, изменения концентрации парниковых газов или солнечной активности). В-третьих, необходимо различать временные масштабы. Изменения климата за миллионы лет могут быть гораздо более значительными и иметь другие причины (например, дрейф материков), нежели изменения климата в столетнем временном масштабе.

Главная причина нынешней обеспокоенности по поводу изменения климата – повышение концентрации в атмосфере углекислого газа (CO₂) и некоторых других парниковых газов, что очень необычно для четвертичного периода (последних почти двух миллионов лет). Сейчас по кернам антарктического льда точно известна концентрация CO₂ за последние 650 тысяч лет. За это время концентрация CO₂ менялась со 180 ppm в холодные ледниковые времена до 300 ppm в теплое межледниковье. За последнее столетие она быстро выросла и вышла далеко за пределы этого диапазона, составляя сейчас 379 ppm (см. главу 2). Для сравнения: для роста концентрации CO₂ приблизительно на 80 ppm в конце прошлых ледниковых периодов потребовалось свыше 5000 лет. Более высокие значения, чем сейчас, имели

место лишь много миллионов лет назад (см. ЧЗВ 6.1).

Температура – более сложная для реконструкции переменная, чем CO₂ (глобально идеально перемешанный газ), поскольку она не имеет единого значения по всей планете, следовательно, единичное показание (например, по керну льда) имеет лишь ограниченную ценность. Локальные колебания температуры, даже всего лишь за несколько десятилетий, могут составлять несколько десятков градусов Цельсия, что больше, чем глобальный показатель потепления за прошлое столетие (около 0,7°C).

Более значимым для глобальных изменений является анализ крупномасштабных (глобальных или по полушариям) средних значений, где большинство локальных изменений при усреднении исключается, а изменчивость меньше. Достаточный охват результатов измерений начал обеспечиваться всего лишь около 150 лет назад. Если говорить о более ранних периодах, то есть комплекты данных, которые относятся к периоду более чем тысячелетней давности: годовые кольца деревьев, керны льда и т.д., пространственный охват которых меньше (см. раздел 6.5). Хотя между этими реконструкциями есть различия и остается значительная неопределенность, все опубликованные реконструкции показывают, что температура была высокой в средневековье, а затем опустилась до низких значений в XVII, XVIII и XIX веках, после чего вновь быстро повысилась. Средневековый уровень теплоты неопределенный, но, возможно, он был вновь достигнут в середине XX века, лишь для того, чтобы вновь быть превышенным с тех пор. Эти выводы подтверждаются и моделированием климата. Более чем 2000 лет назад температурные колебания не объединялись систематически в крупномасштабные средние значения, но они не дают доказательства того, что вплоть до голоцена (последние 11600 лет; см. раздел 6.4) включительно глобальные среднегодовые температуры были выше, чем сейчас. Есть серьезные признаки того, что более теплый климат, со значительно меньшим глобальным ледяным покровом и более высоким уровнем моря, преобладал еще около 3 млн. лет назад. Таким образом, нынешнее потепление кажется необычным в контексте прошлых тысячелетий, но совсем не необычным в более долгосрочном разрезе, для которого типичны изменения тектонической активности (которые могут вызывать естественные, медленные изменения концентрации парниковых газов) (см. врезку 6.1).

Другой вопрос – нынешняя скорость потепления. Отражены ли в достоверных данных более быстрые глобальные изменения климата? Крупнейшие изменения температуры за последний миллион лет – это ледниковые циклы, во время которых глобальная средняя температура изменялась на 4-7°C между ледниковыми периодами и теплыми межледниковыми периодами (локальные изменения были намного значительнее,

например, вблизи материковых ледовых щитов). Тем не менее, эти данные указывают на то, что глобальное потепление в конце ледникового периода было постепенным процессом, который занял около 5000 лет (см. раздел 6.3). Поэтому ясно, что нынешние темпы глобального изменения климата гораздо более высокие и очень необычные в контексте прошлых изменений. Активно обсуждаемые резкие климатические сдвиги в ледниковые времена (см. раздел 6.3) – не контрпримеры, потому что они, вероятно, были обусловлены изменениями в океаническом переносе тепла, что вряд ли бы повлияло на глобальную среднюю температуру.

Если вернуться во времени еще дальше, раньше данных ледяных кернов, то временное разрешение проб осадков и других архивов не позволит объяснить изменения, такие же

быстрые, как и нынешнее потепление. Таким образом, хотя в прошлом и случались значительные изменения климата, доказательств того, что они происходили с большей скоростью, чем нынешнее потепление, нет. Если проекции, по которым температура в текущем столетии повышается приблизительно на 5°C (это верхний предел диапазона), станут реальностью, то Земля испытает приблизительно такое же глобальное среднее потепление, что и в конце последнего ледникового периода; нет никаких доказательств того, что такие темпы, которыми будет идти возможное будущее глобальное изменение температуры, когда-либо наблюдались за последние 50 млн. лет.

Часто задаваемый вопрос 7.1

Вызвано ли повышение содержания углекислого газа и других парниковых газов в атмосфере в индустриальную эпоху деятельностью человека?

Да, повышение содержания в атмосфере углекислого газа (CO_2) и других парниковых газов в индустриальную эпоху вызвано деятельностью человека. По сути дела, наблюдаемое повышение концентраций CO_2 в атмосфере не раскрывает весь масштаб выбросов, вызванных деятельностью человека, поскольку на него приходится всего лишь 55% CO_2 , выброшенного вследствие деятельности человека начиная с 1959 года. Остальное поглотили деревья на суше и океаны. Во всех случаях концентрации парниковых газов в атмосфере и их увеличение определяются балансом между источниками (выбросами газа вследствие деятельности человека и естественными системами) и поглотителями (удалением газа из атмосферы путем преобразования его в другое химическое соединение). Более 75% выбросов CO_2 от деятельности человека приходится на сжигание ископаемых видов топлива (плюс несколько меньший вклад производства цемента). Остальная часть – результат изменений в землепользовании (главным образом обезлесения). Что касается метана, еще одного важного парникового газа, то его выбросы из-за деятельности человека за последние 25 лет превысили естественные выбросы. Выбросы закиси азота вследствие деятельности человека равны естественным выбросам в атмосферу. Большинство долгоживущих галогенсодержащих газов (таких как фреоны) производят люди, и до индустриальной эпохи их в атмосфере не было. В среднем содержание тропосферного озона сейчас повысилось на 38% по сравнению с доиндустриальными временами, причем оно является результатом атмосферных реакций нестойких загрязнителей, испускаемых вследствие деятельности человека. Концентрация CO_2 сейчас составляет 379 частей на миллион (ppm), а метана – более 1774 частей на миллиард (ppb); весьма похоже, что обе эти цифры намного выше, чем в любой момент за минимум 650 тыс. лет (на протяжении которых CO_2 оставался в пределах 180-300 ppm, а метан – 320-790 ppb). Такие темпы изменений – резкие и беспрецедентные; рост концентрации CO_2 никогда не превышал 30 ppm за тысячу лет – а сейчас его концентрация выросла на 30 ppm всего лишь за последние 17 лет.

Углекислый газ

Выбросы CO_2 (рис. 1а) при горении ископаемых видов топлива, а также при производстве цемента являются причиной более чем 75% роста концентрации CO_2 в атмосфере с доиндустриальных времен. Остальная часть – результат изменений в землепользовании, главным образом обезлесения (и связанного с ним сжигания биомассы), а также изменений в методах ведения сельского хозяйства. Все это

увеличение вызвано деятельностью человека. Естественный углеродный цикл не может объяснить наблюдаемое за последние 25 лет повышение содержания CO_2 в атмосфере на 3,2-4,1 ГтС/год. (Одна ГтС равна 1015 г углерода, т.е. одному миллиарду тонн.)

Естественные процессы, такие как фотосинтез, дыхание, гниение и газообмен на морской поверхности, ведут к массовому обмену, источникам и поглотителям CO_2 между землей и атмосферой, которые составляют, по оценкам, ~120 ГтС/год) и между океаном и атмосферой (по оценкам – ~90 ГтС/год; см. рис. 7.3). Естественные поглотители углерода обеспечивают незначительное чистое поглощение CO_2 , приблизительно 3,3 ГтС/год за последние 15 лет, частично компенсируя выбросы от деятельности человека. Если бы естественные поглотители не поглотили почти половину созданного человеком CO_2 за последние 15 лет, то концентрации в атмосфере возросли бы еще значительно.

Известно, что повышение концентрации CO_2 вызвано деятельностью человека, потому что характер CO_2 в атмосфере, в частности отношение между тяжелыми и легкими атомами углерода в нем, изменилось так, что это можно отнести на счет выбросов углерода из ископаемого топлива. Кроме того, соотношение между кислородом и азотом в атмосфере упало по мере повышения концентрации углекислого газа; это – ожидаемый результат, потому что кислород истощается, когда сжигаются ископаемые топлива. Тяжелая форма углерода, изотоп углерод-13, меньше присутствует в растительности и в ископаемых видах топлива, которые образовались из растительности, и больше присутствует в углероде в океанах, вулканических и геотермальных выбросах. Относительное содержание изотопа углерод-13 в атмосфере снижается, показывая, что дополнительные количества углерода поступают из ископаемых топлив и растительности. Углерод также имеет редкий радиоактивный изотоп, углерод-14, который присутствует в атмосферном CO_2 , но отсутствует в ископаемом топливе. До испытаний атомного оружия в атмосфере уменьшение относительного содержания углерода-14 показало, что в атмосферу поступает углерод из ископаемого топлива.

Галогенсодержащие газы

Деятельность человека – основная причина концентрации в атмосфере долгоживущих галогенсодержащих газов. До индустриализации было лишь несколько естественных галогенсодержащих газов, например, метилбромид и метилхлорид. Разработка новых методов химического

синтеза привела в последние 50 лет XX века к распространению химически вырабатываемых галогенсодержащих газов. Выбросы основных галогенсодержащих газов, производимых людьми, показаны на рис. 1b.

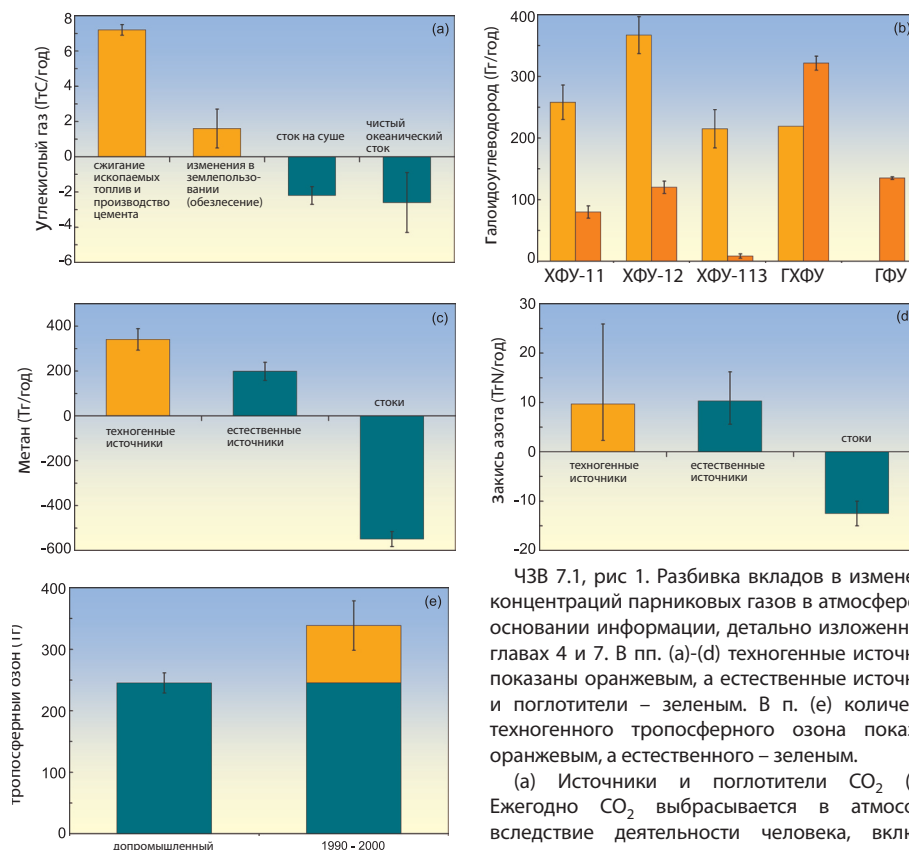
Для хлорфторуглеродов (ХФУ), показанных здесь, время жизни в атмосфере колеблется от 45 до 100 лет, для гидрохлорфторуглеродов (ГХФУ) – 1-18 лет, для гидрофторуглеродов (ГФУ) – 1-270 лет. Перфторуглероды (ПФУ, на графике не показаны) находятся в атмосфере тысячи лет. Концентрации нескольких важных галогенсодержащих газов, в т.ч. фреонов, на поверхности Земли сейчас стабилизируются и уменьшаются в результате подписания Монреальского протокола по веществам, разрушающим озоновый слой, и поправок к нему. Концентрации ГХФУ, производство которых должно быть прекращено к 2030 году, и газов ПФУ и ПФУ, оговоренных в Киотском протоколе, в настоящее время увеличиваются.

Метан

Выбросы метана (CH_4) в атмосферу из источников, связанных с деятельностью человека, превышают его выбросы из естественных систем (рис. 1с). За 1960-1999 годы концентрации CH_4 выросли в среднем минимум в шесть раз быстрее, чем за любой 40-летний период двух тысячелетий до 1800 года, несмотря на почти нулевой рост с 1980 года. Основной естественный источник выбросов CH_4 в атмосферу – водно-болотные угодья. Среди других естественных источников – термиты, океаны, растительность и гидраты CH_4 . Виды человеческой деятельности, при которых вырабатывается CH_4 , включают производство энергии из угля и природного газа, захоронение отходов на свалках, выращивание жвачных животных (например, крупного рогатого скота и овец), рисоводство и сжигание биомассы. После выброса CH_4 остается в атмосфере приблизительно 8,4 года, после чего удаляется, преимущественно путем химического окисления в тропосфере. Незначительные стоки CH_4 – поглощение почвой и окончательное разрушение в стратосфере.

Закись азота

Объем выбросов закиси азота (N_2O) в атмосферу вследствие деятельности человека приблизительно равен



ЧЗВ 7.1, рис 1. Разбивка вкладов в изменения концентраций парниковых газов в атмосфере, на основании информации, детально изложенной в главах 4 и 7. В пп. (а)-(d) техногенные источники показаны оранжевым, а естественные источники и поглотители – зеленым. В п. (е) количество техногенного тропосферного озона показано оранжевым, а естественного – зеленым.

(а) Источники и поглотители CO_2 (ГтС). Ежегодно CO_2 выбрасывается в атмосферу вследствие деятельности человека, включая сжигание ископаемого топлива и изменения

в землепользовании. Лишь 57-60% CO_2 , выброшенного вследствие деятельности человека, остается в атмосфере. Некоторая часть растворяется в океанах, а некоторая поглощается растениями в процессе роста. Связанные с землей потоки относятся к 1990-м годам; потоки, связанные с ископаемым топливом и цементом, а также чистое поглощение океаном даны за период 2000-2005 гг. Все значения и области неопределенности взяты из табл. 7.1.

(b) Глобальные выбросы фреонов и других галогенсодержащих соединений за 1990 г. (светло-оранжевый) и 2002 г. (темно-оранжевый). Эти химикаты производятся исключительно человеком. Здесь ГХФУ включают ГХФУ-22, -141b, -142b ГФУ – ГФУ-23, -125, -134a, -152a. Один Гт = 109 г (1000 тонн). Большинство данных взято из отчетов, перечисленных в главе 2.

(c) Источники и поглотители CH_4 за период 1983-2004 гг. Антропогенные источники CH_4 включают производство энергии, свалки, выращивание жвачных животных (например, КРС и овец), рисоводство, сжигание биомассы. Один Тг = 1012 г (1 млн. тонн). Значения и погрешности – это средние и квадратичные отклонения содержания CH_4 соответствующих совокупных значений из табл. 7.6.

(d) Источники и поглотители N_2O . Антропогенные источники N_2O включают превращение азота удобрений в N_2O и ее последующие выбросы с сельскохозяйственных земель, сжигание биомассы, скотоводство и некоторые виды промышленной деятельности, в частности, производство нейлона. Значения и погрешности источников – это средние точки и пределы диапазона из табл. 7.7. Потери N_2O взяты из главы 7.4.

(e) Тропосферный озон в XIX и начале XX века и за период 1990-2000 гг. Рост образования тропосферного озона вызван деятельностью человека, в частности, атмосферными химическими реакциями загрязнителей, выбрасываемых при сжигании ископаемых топлив или биотоплив. Доиндустриальное значение и область неопределенности взяты из табл. 4.9. Третьего доклада МГЭИК об оценках (ТДО), где они оценены по реконструированным наблюдениям. Итог на сегодняшний день и его область неопределенности – это среднее и квадратичное отклонения результатов модели, приведенных в табл. 7.9 этого отчета, кроме цифр, взятых из ТДО.

объему выбросов из естественных систем (рис. 1d). За 1960-1999 годы концентрации N_2O возросли в среднем минимум в два раза. быстрее, чем за любой 40-летний период двух тысячелетий до 1800 года. Естественные источники N_2O – океаны, химическое окисление аммиака в атмосфере и почвы. Особенно важный источник выбросов закиси азота в атмосферу – тропические почвы. Среди видов деятельности человека, приводящих к выбросам N_2O , - переработка азота удобрений в N_2O и ее последующий выброс с сельскохозяйственных земель, сжигание биомассы, скотоводство и некоторые виды промышленной деятельности, в т. ч. производство нейлона. После выброса N_2O остается в атмосфере приблизительно 114 лет, а потом удаляется, главным образом путем разрушения в стратосфере.

Тропосферный озон

Тропосферный озон образуется в ходе фотохимических реакций в атмосфере с участием химикатов-прекурсоров,

таких как окись углерода, CH_4 , летучие органические соединения и оксиды азота. Эти химикаты образуются в ходе естественных биологических процессов и в результате деятельности человека, в том числе из-за изменений в землепользовании и в ходе сгорания топлива. Поскольку тропосферный озон относительно короткоживущий (он сохраняется в атмосфере от нескольких дней до нескольких недель), то его распределение очень изменчивое и связано с содержанием соединений-прекурсоров, водяного пара и солнечным светом.

Концентрации тропосферного озона значительно выше в городском воздухе, по ветру в городских районах и в регионах сжигания биомассы. Рост тропосферного озона на 38% (20-50%) по сравнению с доиндустриальной эпохой (рис. 1e) вызван деятельностью человека.

Часто задаваемый вопрос 8.1

Насколько достоверны модели, с помощью которых составляются проекции будущего изменения климата?

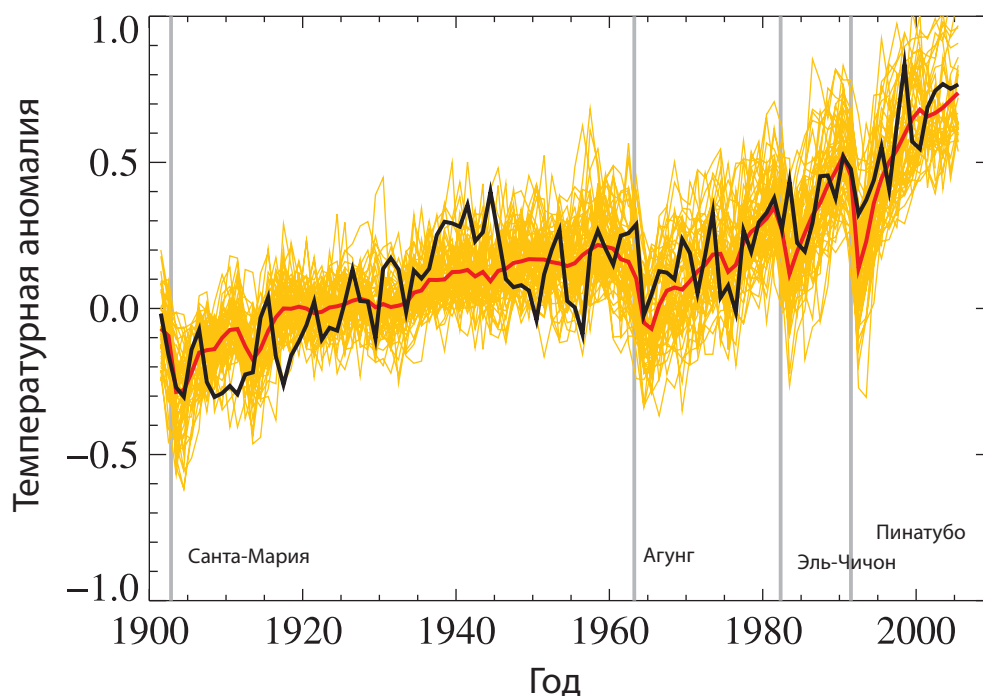
Есть достаточные доказательства того, что модели климата дают достоверные количественные оценки будущих изменений климата, особенно в разрезе континентов и шире. Эта достоверность проистекает из того, что модели построены на общепринятых физических принципах, а также из их способности воспроизводить наблюдаемые особенности текущего климата и прошлых изменений климата. Уверенность в результатах моделирования для некоторых переменных климата (например, температуры) выше, чем для остальных (например, количества осадков). За несколько десятилетий развития модели последовательно давали достоверную и однозначную картину значительного потепления как реакции на повышение концентрации парниковых газов.

Модели климата – это математические представления климатической системы, выраженные как машинные программы и выполняемые на мощных компьютерах. Один из источников уверенности в моделях происходит из того факта, что основы моделей построены на доказанных физических законах, например, на законах сохранения массы, энергии и импульса, а также на изобилии наблюдений.

Еще один источник уверенности – способность моделей имитировать важные аспекты текущего климата. Модели

постоянно и широко оценивают путем сравнения их результатов с наблюдениями за атмосферой, океаном, криосферой и земной поверхностью. Беспрецедентные объемы оценок проводились в прошедшем десятилетии в форме организованных многомодельных «взаимных сравнений». Модели демонстрируют значительную и все большую способность к представлению многих важных средних показателей климата, как то крупномасштабных распределений атмосферной температуры, осадков, радиации, ветра, океанических температур, течений и морского ледяного покрова. Модели могут также воспроизводить существенные аспекты многих профилей изменчивости климата, наблюдаемых по целому ряду временных шкал. Среди примеров – приход и уход основных муссонных систем, сезонные сдвиги температуры, пути циклонов и зоны дождей, возвратно-поступательные изменения затропического приземного давления в масштабе полушария (северный и южный «кольцевые режимы»). Некоторые модели климата, или близкие к ним варианты, также проверялись путем использования их для предсказания погоды и составления сезонных проекций. Эти модели демонстрируют искусство в составлении таких проекций, показывая, что они могут представлять важные

ЧЗВ 8.1, рис.1. Глобальные приземные температуры за XX век по результатам наблюдений (черный) и полученные из 58 имитаций в 14 разных моделях климата, основанных на естественных и антропогенных факторах, влияющих на климат (желтый). Показано также среднее значение всех этих результатов (толстая красная линия). Температурные аномалии показаны относительно среднего значения за 1901-1950 годы. Вертикальные серые линии обозначают время сильных извержений вулканов. (Рисунок адаптирован из главы 9, рис. 9.5. Дополнительные детали можно почерпнуть из соответствующей подписи.)



характеристики общей циркуляции в более коротких временных масштабах, а также особенности сезонной и межгодовой изменчивости. Способность моделей представлять эти и другие важные особенности климата повышает нашу уверенность в том, что они представляют существенные физические процессы, важные для моделирования будущих изменений климата. (Отметим, что ограничение возможности моделей предсказывать погоду больше чем на несколько дней не ограничивает их способность прогнозировать долгосрочные изменения климата, так как это совсем другой тип прогноза – см. ЧЗВ 1.2.).

Третий источник уверенности основан на способности моделей воспроизводить особенности прошлого климата и прошлых изменений климата. С помощью моделей имитируется климат древних времен, например, теплый климат среднего голоцена (6000 лет назад) или последнего ледникового максимума (21000 лет назад) (см. главу 6). Они могут воспроизводить многие характеристики (учитывая неопределенности в реконструкции прошлого климата), такие как порядок и широкомасштабный профиль океанического охлаждения во время последнего ледникового периода. Модели могут имитировать и многие наблюдаемые аспекты изменения климата по результатам измерений. Вот один пример: глобальный температурный тренд за последнее столетие (показанный на рис. 1) можно смоделировать с высоким качеством, если включить как человеческие, так и естественные факторы, влияющие на климат. Модели также воспроизводят другие наблюдаемые изменения, такие как более быстрое повышение ночной температуры, чем дневной, более значительную степень потепления в Арктике, небольшое, краткосрочное глобальное похолодание (и последующее восстановление), следовавшее за крупными извержениями вулканов, например, вулкана Пинатубо в 1991 году (см. ЧЗВ 8.1, рис. 1). Смоделированные проекции глобальной температуры на последние два десятилетия также в общем согласуются с последующими наблюдениями за этот период (глава 1).

Тем не менее, модели все равно дают значительные ошибки. Хотя они, как правило, больше при меньших масштабах, остаются и серьезные крупномасштабные проблемы. Например, остаются недостатки в моделировании тропических осадков, Эль-Ниньо – Южного колебания и Колебания Маддена-Джулиана (наблюдаемых колебаний тропических ветров и дождей во временном масштабе 30-90 дней). Конечный источник большинства таких ошибок – то, что многие важные мелкомасштабные процессы невозможно представить в моделях явно, поэтому их приходится включать в приближенной форме, так как они взаимодействуют с особенностями большего масштаба. Это частично обусловлено ограничениями вычислительной мощности, а также является результатом ограничений в научном понимании или в наличии подробных наблюдений некоторых физических процессов. Значительные неточности, в частности, связаны с представлением облаков и в полученных реакциях облаков

на изменение климата. Как результат, модели продолжают отображать значительный диапазон глобального изменения температуры в ответ на заданное воздействие парникового газа (см. главу 10). Несмотря на такие неточности, однако, модели единогласны в своем предсказании существенного потепления климата под воздействием повышения содержания парниковых газов, и порядок этого потепления совпадает с независимыми оценками, выведенными из других источников, например, из наблюдаемых изменений климата и реконструкций климата за прошлые периоды.

Поскольку уверенность в изменениях, предсказанных глобальными моделями, при меньших масштабах снижается, то для исследования изменений климата в региональном и локальном масштабе специально разработаны другие методы, например, использование моделей регионального климата или методы уменьшения масштаба (см. ЧЗВ 11.1). Вместе с тем, поскольку глобальные модели продолжают развиваться, а их разрешение продолжает улучшаться, они становятся все более полезными для исследования важных особенностей меньшего масштаба, например, изменений в экстремальных метеорологических событиях, причем ожидаются дальнейшие усовершенствования в представлении регионального масштаба благодаря росту вычислительной мощности. Модели также становятся более всеобъемлющими в трактовке климатической системы, прямо представляя большее число физических и биофизических процессов и взаимодействий, которые считаются потенциально значимыми для изменения климата, особенно в более длинных временных масштабах. Среди примеров – недавнее включение в ряд глобальных моделей климата реакций растений, океанических биологических и химических взаимодействий, а также динамики ледовых щитов.

Подводя итог, отметим, что уверенность в моделях проистекает из их физической основы и их способности представлять наблюдаемый климат и изменения климата за прошлые периоды. Модели оказались исключительно важными инструментами для имитирования и понимания климата, и есть значительная уверенность в том, что они способны дать достоверные количественные оценки будущего изменения климата, особенно при больших масштабах. У моделей еще есть значительные недостатки, например, в представлении облаков, которые ведут к неточностям в порядке величины и временных параметрах прогнозируемого изменения климата, а также в его региональных характеристиках. Тем не менее, за несколько десятилетий развития моделей они неизменно дают достоверную и однозначную картину значительного потепления климата как реакцию на повышение содержания парниковых газов.

Часто задаваемый вопрос 9.1

Можно ли объяснить отдельные экстремальные явления парниковым потеплением?

Изменения в экстремальных климатических условиях ожидаются по мере потепления климата в ответ на повышение содержания парниковых газов в атмосфере из-за деятельности человека, например, использования ископаемых видов топлива. Однако определить, вызвано ли конкретное, отдельное экстремальное явление конкретной причиной, например, повышением содержания парниковых газов, трудно, если не невозможно, по двум причинам: 1) экстремальные явления обычно вызываются комбинацией факторов, 2) целый ряд экстремальных явлений является нормальным даже при отсутствии изменений климата. Тем не менее, анализ потепления, наблюдаемого за прошлое столетие, говорит о том, что вероятность некоторых экстремальных явлений, таких как волны тепла, повысилась из-за парникового потепления и что вероятность других явлений, таких как мороз или крайне холодные ночи, снизилась. Например, в одном из последних исследований высказано предположение о том, что влияние человека более чем удвоило риск очень жаркого лета в Европе, как в 2003 году.

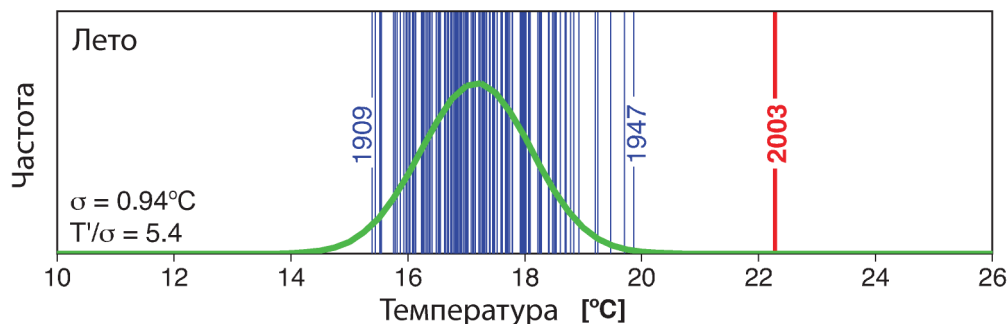
Люди, на которых воздействует экстремальное метеорологическое явление, часто спрашивают, можно ли считать влияние человека в некоторой степени ответственным за изменение климата. В последние годы наблюдается много экстремальных явлений, которые некоторые комментаторы связали с повышением содержания парниковых газов. Среди этих явлений – затяжная засуха в Австралии, исключительно жаркое лето 2003 года в Европе (см. рис. 1), интенсивные сезоны ураганов в Северной Атлантике в 2004 и 2005 годах, сильнейшие ливни в Мумбае (Индия) в июле 2005 г. Могло ли влияние человека, например, повышение концентраций парниковых газов в атмосфере, «вызвать» какое-либо из этих событий?

Экстремальные явления обычно являются результатом комбинации факторов. Например, исключительно жаркое европейское лето 2003 года было вызвано несколькими факторами, в т.ч. стойким антициклоном, связанным с очень ясным небом и сухой почвой, из-за чего для нагрева земли оставалось больше почвы. Точно так же образование урагана требует наличия

высокой температуры поверхности моря и особых условий атмосферной циркуляции. Поскольку на некоторые факторы, в частности, на температуру поверхности моря, может сильно влиять деятельность человека, а на некоторые – не может, то выявить влияние человека на отдельное, конкретное экстремальное явление непросто.

Тем не менее, можно с помощью моделей климата определить, изменило ли влияние человека вероятность определенных видов опасных явлений. Например, в случае с волной тепла в 2003 году в Европе климатическая модель была запущена с включением только прошлых изменений естественных факторов, влияющих на климат, например, вулканической активности и изменений в потоке солнечного излучения. Затем модель была запущена еще раз с учетом человеческих и естественных факторов, в результате чего была получена картина эволюции европейского климата, которая была гораздо ближе к той, которая фактически имела место. На основании этих экспериментов был сделан вывод о том, что за XX век влияние человека более чем удвоило риск наступления в Европе такого же жаркого лета, как в 2003 году, и что в отсутствие влияния человека этот риск, вероятно, равнялся бы одному случаю за много столетий. Для оценки изменений риска конкретных событий с сильными последствиями, например, наступлением ряда очень теплых ночей в городской зоне, такой как Париж, потребуется более детальная работа по моделированию.

Ценность такого вероятностного подхода – «Изменяет ли влияние человека вероятность события?» – состоит в том, что с его помощью можно оценить влияние внешних факторов, таких как повышение концентрации парниковых газов, на частоту конкретных видов явлений, таких как волны тепла или



ЧЗВ 9.1, рис. 1 Летняя температура в Швейцарии за период 1864-2003 гг. в среднем равна около 17°C, как показано зеленой кривой. Во время крайне жаркого лета 2003 года средняя температура превысила 22°C, как показано красной чертой (вертикальная линия нанесена для каждого года 137-летнего периода наблюдений). Подобранные гауссово распределение показано зеленым цветом. 1909, 1947 и 2003 отмечены, т.к. они представляют в данных экстремальные годы. Значения в нижнем левом углу означают квадратичное отклонение (σ) и аномалию за 2003 года, нормализованную квадратичным отклонением за 1864-2000 гг. (T'/σ). Из Schär et al. (2004).

мороз. Вместе с тем, необходим тщательный статистический анализ, поскольку вероятность отдельных экстремумов, например, мороза в конце весны, могла меняться вследствие сдвигов в изменчивости климата, а также изменений в средних климатических условиях. Такой анализ строится на оценках изменчивости климата, основанных на модели климата, поэтому используемые модели климата должны адекватно представлять эту изменчивость.

С помощью этого же вероятностного подхода можно исследовать изменения частоты сильных дождей или наводнений. Модели климата прогнозируют, что влияние человека будет вызывать рост частоты многих типов экстремальных явлений, в том числе экстремальных ливней. Уже есть доказательства того, что в последние десятилетия экстремальные ливни усилились в некоторых регионах, что ведет к усилению наводнений.

Часто задаваемый вопрос 9.2

Можно ли объяснить потепление в 20-м веке естественной изменчивостью?

Очень маловероятно, что потепление XX века можно объяснить естественными причинами. Конец XX века был необычно теплым. Палеоклиматические реконструкции показывают, что вторая половина XX века была, вероятно, самым теплым 50-летним периодом в северном полушарии за последние 1300 лет. Такое быстрое потепление соответствует научному пониманию того, как климат должен реагировать на быстрый рост концентрации парниковых газов – такой, как наблюдался в прошлом столетии; это потепление противоречит научному пониманию того, как климат должен реагировать на естественные внешние факторы, такие как изменчивость потока солнечного излучения и вулканическая активность. Модели климата дают надлежащий инструмент для изучения различных влияний на климат Земли. Если в модели включаются эффекты повышения концентрации парниковых газов, а также естественные внешние факторы, то эти модели дают хорошую имитацию потепления, имевшего место в прошлом столетии. Если же использовать только естественные факторы, то модели не воспроизводят наблюдаемое потепление. Если включить человеческие факторы, то модели имитируют и географический профиль изменения температуры по всей планете, подобного тому, которое имело место в последние десятилетия. Этот пространственный профиль, среди особенностей которого – большее потепление на высоких северных широтах, отличается от самых важных профилей естественной изменчивости, связанных со внутренними климатическими процессами, такими как Эль-Ниньо.

Колебания в климате Земли вызываются естественными внутренними процессами, такими как Эль-Ниньо, а также изменениями во внешних воздействиях. Эти внешние воздействия могут быть естественными по характеру, например, вулканическая активность и колебания потока солнечного излучения, или вызываться деятельностью человека, например, выбросами парниковых газов, искусственными аэрозолями, истощением озона и изменениями в землепользовании. Роль естественных внутренних процессов можно оценить, изучая наблюдаемые колебания климата и используя модели климата без изменения внешних факторов, влияющих на климат. Эффект внешних воздействий можно оценить с помощью моделей путем изменения этих факторов и применения физического понимания происходящих процессов. Общие эффекты естественной внутренней изменчивости и естественных внешних факторов можно оценить и по климатической информации, отраженной в годичных кольцах деревьев, ядрах льда и других видах естественных «термометров» до индустриальной эпохи.

Естественные внешние факторы, влияющие на климат, включают вулканическую активность и колебания потока солнечного излучения. При взрывных извержениях вулканов высоко в атмосферу иногда выбрасываются большие количества пыли и сульфатный аэрозоль, временно экранируя Землю и отражая солнечный свет обратно в космос. Солнечное излучение имеет 11-летний цикл и может также иметь более долговременные колебания. Деятельность человека за последние 100 лет, особенно сжигание ископаемых видов топлива, вызвала быстрый рост содержания углекислого газа и других парниковых газов в атмосфере. До индустриальной эпохи концентрации этих газов тысячи лет были почти стабильными. Деятельность человека также вызвала повышение концентрации в атмосфере мелких отражающих частиц, или «аэрозолей», особенно в 1950-1960-е годы.

Хотя естественные внутренние климатические процессы, такие как Эль-Ниньо, и могут вызывать колебания глобальной средней температуры на относительно короткие периоды, анализ показывает, что в значительной мере это вызвано внешними факторами. Короткие периоды глобального похолодания следовали за крупными извержениями вулканов, например, вулкана Пинатубо в 1991 году. В начале 20 века средняя глобальная температура повысилась, и в этот период концентрации парниковых газов начали расти, солнечная радиация, вероятно, увеличилась, а вулканическая активность была низкой. В 1950-1960-е годы средние глобальные температуры выровнялись, так как повышение выбросов аэрозолей при сжигании ископаемых видов топлив и других источников охладило планету. Извержение вулкана Агунг в 1963 году также привело к выбросу больших количеств отражающей пыли в верхние слои атмосферы. Быстрое потепление, наблюдаемое с 1970-х годов, наступило в период, когда над всеми остальными факторами доминировало повышение содержания парниковых газов.

Для определения вероятных причин изменения климата в XX веке были проведены многочисленные эксперименты с использованием моделей климата. Эти эксперименты показывают, что модели не могут воспроизвести быстрое потепление, наблюдаемое в последние десятилетия, если они учитывают только колебания солнечного излучения и вулканической активности. Однако, как показано на рис.1, модели способны имитировать наблюдаемые в XX веке изменения температуры, если они включают все важнейшие внешние факторы, в том числе влияние человека, например, парниковые газы, и естественные внешние факторы. Оцениваемые по моделям реакции на эти внешние факторы можно обнаружить в климате XX века на всей планете в целом

том, что преобладающей причиной глобального потепления, наблюдаемого в последние 50 лет, были именно человеческие, а не естественные факторы.

Оценки температур в северном полушарии за последние одно-два тысячелетия, основанные на природных «термометрах», таких как годовые кольца, которые изменяются по ширине или плотности по мере изменения температуры, а также архивные метеосводки, дают дополнительное свидетельство того, что потепление в XX веке нельзя объяснить только естественной внутренней изменчивостью и естественными внешними воздействиями. Достоверность этих оценок повышается, потому что до индустриальной эпохи колебания, которые они показывают в

средней температуре в северном полушарии, в значительной мере можно объяснить эпизодическим похолоданием, вызванным крупными извержениями вулканов и вариациями солнечного излучения. Остальная часть изменений в общем согласуется с изменчивостью, демонстрируемой моделями климата в отсутствие естественных и техногенных внешних факторов. Хотя в оценках температур за прошлые периоды есть неопределенность, они показывают, что, вероятно, вторая половина XX века была самым теплым 50-летним периодом за последние 1300 лет. Оценка изменчивости климата, вызванной естественными факторами, мала по сравнению с сильным потеплением в XX веке.

Часто задаваемый вопрос 10.1

Ожидается ли с изменением климата Земли изменение экстремальных явлений, таких как волны тепла, засуха, наводнения?

Да; тип, частота и интенсивность экстремальных явлений, как ожидается, изменятся по мере изменения климата Земли, причем эти изменения могут происходить даже при относительно незначительных средних изменениях климата. Изменения некоторых типов экстремальных явлений уже наблюдаются, например, изменения частоты и интенсивности волн тепла и значительных осадков (см. ЧЗВ 3.3).

В более теплом будущем климате риск наступления более интенсивных, более частых и более продолжительных волн тепла возрастет. Период сильной жары в Европе в 2003 году – пример экстремального теплового явления, длящегося от нескольких дней до более чем недели, который в более теплом климате будущего может стать более распространенным. Связанный с этим аспект экстремальных значений температуры состоит в том, что в большинстве регионов, скорее всего, будет понижение дневного (суточного) диапазона температур. Вероятно также, что в более теплом климате будущего будет меньше морозных дней (т.е. ночей, когда температура падает ниже точки замерзания). Увеличение продолжительности времен года связано с количеством морозных дней, и по прогнозам она с потеплением климата увеличится. Будет, вероятно, и снижение частоты вспышек холодного воздуха (т.е. периодов крайнего холода от нескольких дней до более чем недели) зимой в большинстве районов северного полушария. Исключения могут быть в районах с минимальным уменьшением крайнего холода в западной части Северной Америки, в Северной Атлантике, на юге Европы и Азии вследствие изменений атмосферной циркуляции.

Для более теплого будущего климата модели общей циркуляции системы «атмосфера-океан» предсказывают повышенную сухость летом и влажность зимой в большинстве районов северных средних и высоких широт. Летняя сухость означает повышенный риск засухи. Вместе с риском высыхания растет вероятность сильных осадков и наводнений вследствие большей вододерживающей способности более теплой атмосферы. Это уже наблюдается и, по прогнозам, будет продолжаться, потому что в более теплом мире осадки обычно концентрируются в более сильные явления, с более длительными периодами меньших осадков между ними. Таким образом, интенсивные и сильные ливни будут перемежаться более длительными относительно сухими периодами. Еще один аспект этих прогнозируемых изменений состоит в том, что экстремальная влажность, по прогнозам, будет более значительной там, где прогнозируется рост среднего количества осадков, а экстремальная сухость – там, где ожидается уменьшение этого показателя.

В соответствии с результатами повышения экстремумов сильных осадков, даже если сила ветра при штормах в будущем

климате не изменится, экстремальная сила дождей возрастет. В частности, над сушей северного полушария ожидается повышение вероятности очень влажных зим в большей части центральной и северной Европы вследствие увеличения сильных осадков во время штормов, что создает повышенный риск наводнений в Европе и других среднеширотных регионах из-за более сильных дождей и снегопадов, создающих большее стекание. Аналогичные результаты получены для летних осадков, вследствие чего возникает повышенная вероятность наводнений в азиатском муссонном регионе и других тропических районах. Повышенный риск наводнений в ряде бассейнов больших рек в будущем более теплом климате связывается с повышением дебита рек при повышенном риске будущих сильных выпадений осадков и наводнений, связанных со штормами. Некоторые из этих изменений будут продолжением тенденций, которые видны уже сегодня.

Результаты моделирования уже свидетельствуют о том, что будущие тропические циклоны могут стать более сильными, с более высокой силой ветра и более значительными осадками. Исследования показывают, что такие изменения, возможно, уже идут; есть признаки того, что среднее число ураганов 4 и 5 категории в год за последние 30 лет увеличилось. В некоторых исследованиях прогнозируется уменьшение числа тропических циклонов в мире вследствие повышенной стабильности тропической тропосферы в более теплом климате, которая характеризуется меньшим количеством слабых и большим количеством сильных штормов. В ряде модельных исследований проецируется общая тенденция уменьшения числа бурь за тропиками с одновременным повышением их силы, а также тенденция к усилению ветров и повышению высоты океанических волн в некоторых регионах в связи с этими более глубокими циклонами. Модели также проецируют сдвиг траекторий циклонов на несколько градусов широты в направлении полюсов в обоих полушариях.

Часто задаваемый вопрос 10.2

Насколько вероятны существенные или резкие изменения климата, такие как убыль ледовых щитов или изменения в глобальной океанической циркуляции?

Имеющиеся результаты моделирования дают основание полагать, что в XXI веке вряд ли возможны такие резкие изменения климата, как разрушение Западно-Антарктического ледового щита, быстрая убыль Гренландского ледового щита или крупномасштабные изменения в океанических циркуляционных системах. Однако вероятность таких изменений все более повышается по мере прогрессирования возмущения в климатической системе.

Физический, химический и биологический анализ кернов гренландского льда, морских отложений из Северной Атлантики и других районов, а также множества других свидетельств климата прошлых периодов показал, что локальные температуры, ветровые режимы и круговорот воды могут быстро меняться всего лишь за несколько лет. Сравнение результатов наблюдений в разных частях света показывает, что в прошлом имели место серьезные изменения в масштабе полушарий или всей планеты. В результате выработалось мнение о неустойчивом климате прошлого, который проходил этапы резких изменений. Поэтому важной проблемой является то, что продолжающийся рост концентраций парниковых газов в атмосфере может создавать возмущение, достаточно сильное для того, чтобы вызвать резкие изменения в климатической системе. Такое вмешательство в климатическую систему можно было бы считать опасным, ибо оно имело бы существенные глобальные последствия.

Перед тем, как обсудить несколько примеров таких изменений, полезно определить термины «резкое» и «существенное». «Резкое» означает, что изменения происходят гораздо быстрее, чем возмущение, их вызвавшее; иными словами, реакция – нелинейная. «Существенное» изменение климата – это изменение, предполагающее изменения, выходящие за диапазон текущей естественной изменчивости и имеющие пространственный охват от нескольких тысяч километров до всей площади поверхности Земли. В локальном и региональном масштабе резкие изменения – типичная характеристика естественной изменчивости климата. Отдельные, кратковременные явления, которые уместнее называть «экстремальными явлениями», здесь не учитываются, а во внимание принимаются довольно крупномасштабные изменения, которые быстро развиваются и продолжают несколько лет или десятилетий. Например, сдвиг в температурах морской поверхности в середине 1970-х гг. в восточной части Тихого океана или уменьшение солёности в верхних 1000 м Лабрадорского моря в середине 1980-х гг. – примеры резких явлений с локальными и региональными последствиями, в отличие от более масштабных, более продолжительных явлений, на которых здесь делается акцент.

Один пример – проблема потенциального коллапса или остановки Гольфстрима, которая привлекла внимание широкой общественности. Гольфстрим – это преимущественно горизонтальное течение в северо-западной части Атлантического океана, приводимое в движение ветрами. При этом, однако, на стабильное свойство общей циркуляции океана, его северное расширение, которое питает формирование глубинных вод в Гренландском, Норвежском и Исландском морях, доставляя таким образом значительные количества тепла в эти моря и к близлежащим участкам суши, сильно влияют изменения плотности поверхностных вод в этих районах. Это течение образует северное окончание меридиональной опрокидывающей циркуляции бассейнового масштаба (МОЦ), которое формируется вдоль западной границы Атлантического бассейна. Непротиворечивым результатом моделирования климата является то, что плотность поверхностных вод в Северной Атлантике снижается вследствие потепления или уменьшения солёности, сила МОЦ уменьшается, а с ней снижается и подача тепла в эти районы. Сильное устойчивое снижение солёности могло бы вызвать даже более значительное уменьшение или полную остановку МОЦ во всех прогнозных моделях климата. Такие изменения действительно случались в далеком прошлом.

Сейчас вопрос состоит в том, является ли растущее влияние человека на атмосферу достаточно сильным возмущением для МОЦ для того, чтобы такое изменение началось. Повышение содержания парниковых газов в атмосфере приводит к потеплению и активизации гидрологического цикла, а последний фактор делает поверхностные воды Северной Атлантики менее солёными, поскольку усилившиеся дожди обеспечивают стекание в океан большего количества пресной воды из рек региона. Потепление также вызывает таяние материкового льда, вследствие чего увеличивается приток пресной воды и еще больше снижается солёность поверхностных вод. Оба эффекта снизили бы плотность поверхностных вод (которые должны быть достаточно плотными и тяжелыми, чтобы тонуть и приводить этим в движение МОЦ), в результате чего в XXI веке МОЦ сократилась бы. По прогнозам это уменьшение будет идти в ногу с потеплением: ни одна из нынешних моделей не показывает в текущем столетии резкого (нелинейного) сокращения или полной остановки. Разброс результатов моделирования сокращения МОЦ все равно велик, практически от отсутствия реакции до сокращения более чем на 50% к концу XXI века. Эти межмодельные вариации обусловлены разницей в силе атмосферных и океанических обратных связей, которые имитируются в этих моделях.

Есть неопределенность и в отношении долгосрочной перспективы МОЦ. Многие модели прогнозируют восстановление МОЦ после стабилизации климата. В некоторых моделях, однако, есть пороги для МОЦ, и они проходятся, когда воздействие достаточно сильно и длится достаточно долго. Такие модели показывают постепенное сокращение МОЦ, которое продолжается даже после стабилизации климата. Количественная оценка вероятности такого развития события на данном этапе невозможна. Тем не менее, даже если бы это случилось, Европа все равно испытала бы потепление, так как радиационное воздействие, вызванное повышением концентрации парниковых газов, подавило бы похолодание, связанное с сокращением МОЦ. Поэтому катастрофические сценарии, предсказывающие начало ледникового периода из-за остановки МОЦ, - не более чем предположения, и ни одна модель климата такого результата не дала. На самом деле процессы, приводящие к ледниковому периоду, достаточно хорошо поняты и полностью отличаются от обсуждаемых здесь, поэтому мы с уверенностью можем исключить этот сценарий.

Независимо от долгосрочного развития МОЦ модели сходятся в том, что потепление и снижение солености в результате него значительно сократят формирование глубинных и промежуточных вод в Лабрадорском море в следующие несколько десятилетий. Это изменит характеристики промежуточных водных масс в Северной Атлантике и в конечном итоге повлияет на большие глубины океана. Долговременные последствия такого изменения неизвестны.

Среди других широко обсуждаемых примеров резких изменений климата – быстрый распад Гренландского ледового щита или внезапное разрушение Западно-Антарктического

ледового щита. Результаты моделирования и наблюдения показывают, что потепление в высоких широтах северного полушария ускоряет таяние Гренландского ледового щита и что усиление снегопадов вследствие активизации гидрологического цикла не способно компенсировать это таяние. Как результат, Гренландский ледовый щит в следующие столетия может значительно уменьшиться в размерах. Более того, результаты говорят о том, что есть критический температурный порог, за которым щит должен будет полностью исчезнуть, причем этот порог может быть превзойден уже в нынешнем столетии. Вместе с тем, полное таяние Гренландского ледового щита, которое подняло бы глобальный уровень моря почти на семь метров, - процесс медленный, который занял бы многие сотни лет.

Последние спутниковые и прямые наблюдения за ледяными потоками в разрушающихся шельфовых ледниках подчеркивают ряд быстрых реакций систем ледовых щитов. Это поднимает новый вопрос – об общей стабильности Западно-Антарктического ледового щита, разрушение которого повысило бы уровень моря еще на 5-6 метров. Хотя эти потоки, как кажется, подпираются находящимися вперед них шельфами, в данный момент неизвестно, может ли уменьшение или исчезновение этой опоры относительно ограниченных площадей ледового щита вызвать масштабный сход множества ледяных потоков и, следовательно, дестабилизацию всего Западно-Антарктического ледового щита. Модели ледовых щитов лишь начинают учитывать такие мелкомасштабные динамические процессы, которые включают сложные взаимодействия с ложем ледника и океаном по периметру ледового щита. Поэтому нынешнее поколение моделей ледовых щитов не дает количественной информации о вероятности или времени такого события.

Часто задаваемый вопрос 10.3

Если уменьшить выбросы парниковых газов, как быстро их концентрация в атмосфере снизится?

Регулирование концентрации парниковых газов в атмосфере в соответствии с уменьшением выбросов зависит от химических и физических процессов, которые удаляют эти газы из атмосферы. Концентрация некоторых парниковых газов снижается почти мгновенно в ответ на уменьшение выбросов, а концентрация других может продолжать расти в течение столетий даже при сокращении выбросов.

Концентрация парникового газа в атмосфере зависит от конкуренции между интенсивностью испускания газа в атмосферу и скоростью процессов, которые удаляют его из атмосферы. Например, обмен углекислым газом между атмосферой, океаном и сушией осуществляется посредством таких процессов, как атмосферно-океанический газообмен, химические (например, выветривание) и биологические (например, фотосинтез) процессы. Хотя более половины выброшенного CO_2 сейчас удаляется из атмосферы в течение максимум столетия, некоторая часть (около 20%) выброшенного CO_2 остается в атмосфере многие тысячелетия. Из-за медленной скорости процессов удаления концентрация CO_2 в атмосфере в долгосрочной перспективе будет продолжать расти, даже если выбросы существенно сократятся по сравнению с нынешними уровнями. Метан (CH_4) удаляется химическими процессами в атмосфере, а закись азота (N_2O) и некоторые галоидоуглеводороды разрушаются в верхних слоях атмосферы солнечной радиацией. Все эти процессы идут в разных временных масштабах – от нескольких лет до тысячелетий. Мера этого показателя – время жизни газа в атмосфере, определяемое как время, необходимое для снижения уровня возмущения до 37% начального значения.

Если для CH_4 , N_2O и других незначительных газовых помесей,

таких как гидрохлорфторуглерод-22 (ГХФУ-22), охлаждающая жидкость, это время жизни можно обоснованно определить (для CH_4 – около 12 лет, для N_2O – около 110 лет, для ГХФУ-22 – около 12 лет), то время жизни CO_2 определить невозможно.

Изменение концентрации любой незначительной газовой помеси частично зависит от динамики ее выбросов во времени. Если выбросы со временем растут, то концентрация в атмосфере тоже будет расти, независимо от времени жизни газа в атмосфере. Если же принять меры по сокращению выбросов, то концентрация такой помеси будет зависеть от относительных изменений не только в выбросах, но и в процессе удаления. Здесь мы показываем, как время жизни и процессы удаления разных газов диктуют динамику концентраций при сокращении выбросов.

Для иллюстрации на рис. 1 показаны контрольные примеры, показывающие, как концентрация трех газовых помесей реагировала бы на показательные изменения в объеме выбросов (эта реакция представлена здесь как ответ на принудительное импульсное изменение выбросов). Мы рассматриваем CO_2 , который не имеет конкретного времени жизни, незначительную газовую помесь с четко определенным длительным временем жизни, порядка столетия (например, N_2O), а также незначительную газовую помесь с четко определенным коротким временем жизни, порядка десятилетия (например, CH_4 , ГХФУ-22 или другие галоидоуглеводороды). Для каждого газа представлены пять иллюстративных вариантов будущих выбросов: стабилизация сегодняшних уровней и незамедлительное сокращение выбросов на 10%, 30%, 50% и 100%.

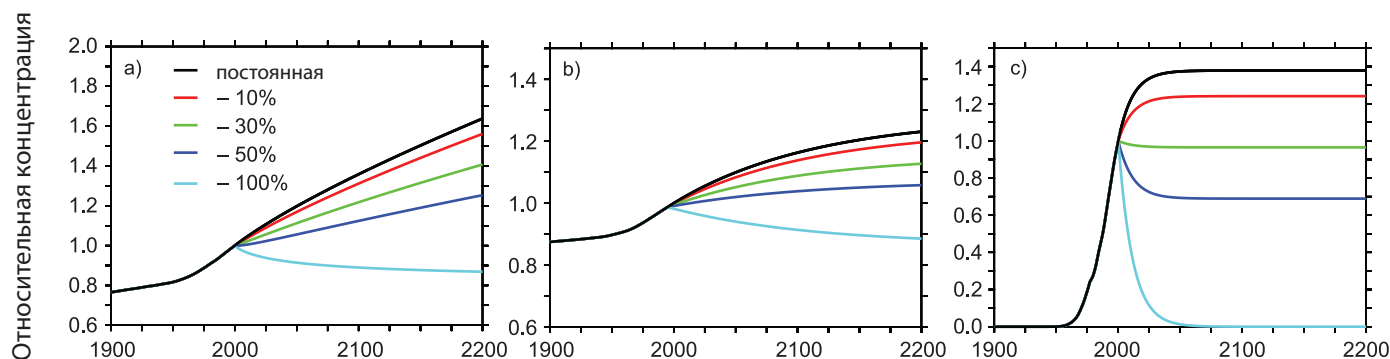


Рис. 1. (а) Смоделированные изменения концентрации CO_2 в атмосфере относительно нынешнего уровня при стабилизации выбросов на нынешнем уровне (черный), при уменьшении выбросов на 10% (красный), 30% (зеленый), 50% (синий) и 100% (голубой); (b) как в (а), для незначительной газовой помеси со временем жизни 120 лет, под действием естественных и антропогенных потоков; (с) как в (а), для незначительной газовой помеси со временем жизни 12 лет, под действием только антропогенных потоков.

Поведение CO_2 (рис. 1a) полностью отличается от поведения незначительных газовых помесей с четко определенным временем жизни. Стабилизация выбросов CO_2 на нынешних уровнях привела бы к непрерывному повышению концентрации CO_2 в атмосфере в XXI веке и в последующие столетия, тогда как для газа со временем жизни порядка столетия (рис. 1b) или десятилетия (рис. 1c) стабилизация выбросов на нынешнем уровне привела бы к стабилизации концентрации на более высоком уровне, чем сегодня, за пару столетий или, соответственно, десятилетий. Фактически только в случае практически полного прекращения выбросов концентрацию углекислого газа в атмосфере можно стабилизировать на постоянном уровне. Во всех остальных случаях умеренного сокращения выбросов CO_2 концентрация растет из-за характерных процессов обмена, связанных с углеродным циклом в климатической системе.

Говоря конкретнее, интенсивность выбросов CO_2 сейчас значительно превышает скорость его удаления, а медленное и неполное удаление означает, что небольшое или умеренное сокращение выбросов не приведет к стабилизации концентрации CO_2 , а только уменьшит скорость ее роста в последующие десятилетия. Сокращение выбросов углекислого газа на 10% приведет к снижению темпов роста концентрации на 10%, сокращение на 30% - аналогичным образом даст снижение темпов роста концентрации на 30%. Сокращение выбросов на 50% стабилизировало бы концентрацию CO_2 , но только менее чем на десятилетие. После этого концентрация опять начала бы повышаться, так как поглотители на

суше и в океане сокращаются из-за хорошо известных химических и биологических вмешательств. По оценкам, полное прекращение выбросов углекислого газа приведет к медленному снижению его концентрации в атмосфере за XXI век приблизительно на 40 ppm.

С незначительными газовыми помесями, имеющими четко определенное время жизни, ситуация абсолютно иная. Для иллюстративной помеси со временем жизни порядка столетия (например, N_2O) стабилизация концентрации на уровне, близком к сегодняшнему, требует сокращения выбросов более чем на 50% (рис. 1b). Непрерывные выбросы приводят к стабилизации концентрации в течение несколько столетий.

В случае с иллюстративным газом с коротким временем жизни потеря на сегодняшний день составляет 70% выбросов. Сокращение выбросов менее чем на 30% все равно сохранит краткосрочное увеличение концентрации, однако, в отличие от CO_2 , приведет к стабилизации концентрации за пару десятилетий (рис. 1c). Уменьшение уровня, на котором стабилизировалась бы концентрация такого газа, прямо пропорционально сокращению выбросов. Таким образом, в данном иллюстративном примере для стабилизации концентрации на уровнях, значительно более низких, чем сегодня, потребовалось бы сокращение выбросов указанной незначительной газовой помеси более чем на 30%. Полное прекращение выбросов незначительной газовой помеси со временем жизни порядка десятилетия привело бы к возврату на доиндустриальный уровень концентрации менее чем за столетие.

Часто задаваемый вопрос 11.1

Варьируются ли проекции изменения климата по регионам?

Климат изменяется от региона к региону. Это изменение определяется неравномерным распределением солнечного тепла, отдельными реакциями атмосферы, океанов и земной поверхности, взаимодействием между ними, физическими характеристиками регионов. Возмущения атмосферных составляющих, приводящие к глобальным изменениям, влияют на определенные аспекты этих сложных взаимодействий. Некоторые антропогенные факторы, которые влияют на климат («воздействия»), глобальны по характеру, а некоторые изменяются от региона к региону. Например, углекислый газ, который вызывает потепление, распределяется вокруг земного шара равномерно, независимо от местонахождения источника выбросов, тогда как сульфатные аэрозоли (мелкие частицы), которые частично компенсируют потепление, как правило, имеют региональное распределение. → Более того, реакция на воздействия частично регулируется процессами обратной связи, которые могут действовать в других регионах, а не в тех, где воздействие максимальное. Таким образом, проекции изменения климата также будут варьироваться от региона к региону.

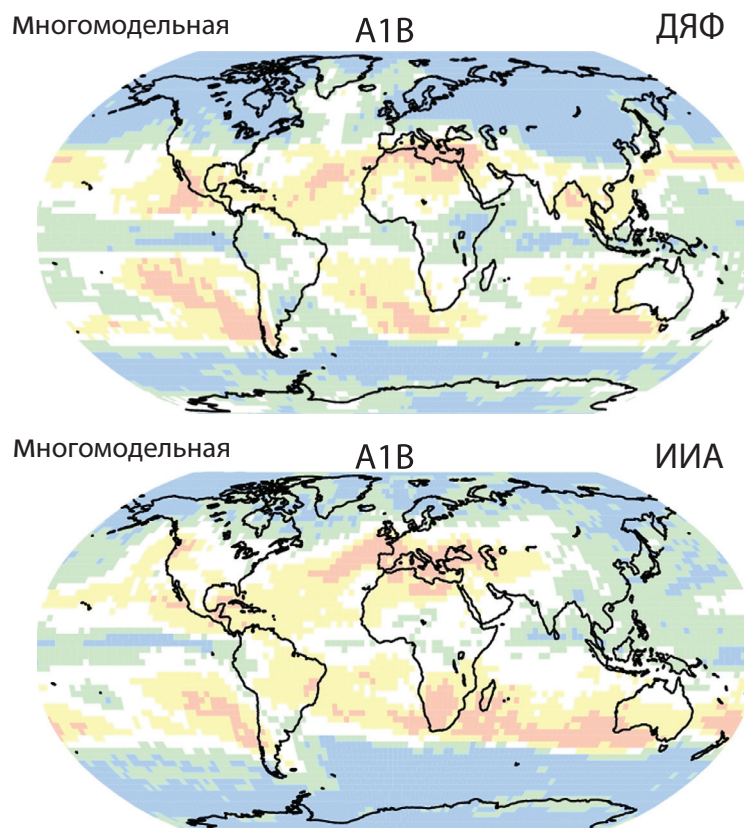
Хорошая отправная точка для рассмотрения того, как изменения климата повлияют на регион, - широта. Например, хотя потепление ожидается по всей Земле, степень проецируемого потепления обычно возрастает от тропиков до полюсов в северном полушарии. Осадки - более сложный момент, но здесь тоже есть некоторые зависящие от широты особенности. На широтах, соседних с полярными областями, проецируется увеличение осадков, а во многих областях, смежных с тропиками, - уменьшение (см. рис. 1). Уменьшение количества осадков в тропиках проецируется на дождливые сезоны (например, муссоны) и, в частности, в тропической части Тихого океана.

Еще один важный фактор - положение относительно океанов и горных хребтов. В общем внутренние районы материков по прогнозам будут нагреваться больше прибрежных областей. Реакция осадков особенно чувствительна не только к геометрической форме материков, но и к форме близлежащих горных хребтов и направлению воздушных потоков. Муссоны, внетропические циклоны, ураганы/тайфуны - все они тем или иным образом зависят от этих региональных особенностей.

Некоторые из самых сложных аспектов понимания и составления проекций изменений регионального климата относятся к возможным изменениям циркуляции атмосферы и океанов

и профилям их изменчивости. Хотя в некоторых случаях можно сделать общие утверждения о ряде регионов с качественно похожим климатом, почти каждый регион в том или ином смысле уникален - будь то прибрежные зоны вокруг субтропического Средиземного моря, экстремальная погода во внутренних районах Северной Америки, зависящая от переноса влаги из Мексиканского залива, или взаимодействие между распределением растительности, океаническими температурами и атмосферной циркуляцией, которое помогает регулировать южную границу Сахары.

Разработка и понимание правильного баланса глобальных и региональных факторов остается сложной задачей, однако понимание этих факторов неуклонно растет, повышая нашу уверенность в региональных проекциях.



ЧЗВ 11.1, рис 1. Синие и зеленые участки на карте - это области, которые по проекциям до конца столетия испытают увеличение количества осадков, а для розовых и желтых участков будет характерно уменьшение. В верхней части показаны прогнозы на период, охватывающий декабрь, январь и февраль, а в нижней - на июнь, июль и август.