

Изменения климата

Информационный бюллетень Американского метеорологического общества

(Утвержден Советом АМО 20 августа 2012 года)

Перевел А.Н. Сурков.

Ниже представленный информационный бюллетень издается с целью сообщить широкой общественности достоверное, объективное и в научном плане современное обоснование научных аспектов проблемы.

Введение

Настоящий бюллетень представляет собой краткий обзор проявлений и причин изменений глобального климата, наблюдавшихся в течение последнего столетия и ожидаемых в будущем. Он основывается на экспертной оценке научных трудов и согласуется с взятыми во всей полноте современными представлениями, отраженными в исследованиях и докладах Международной группы экспертов по изменениям климата, Национальной академии наук США и национальной программы исследования глобальных изменений. Хотя появление бюллетеня вызвано озабоченностью внутри Соединенных Штатов, затрагиваемые в нем проблемы по своей сути имеют глобальный характер.

Как меняется климат

Согласно многочисленным и разнообразным свидетельствам, потепление планетарной климатической системы в настоящее время не вызывает сомнений. Результаты наблюдений отражают повышение глобально осредненной температуры атмосферы и океана наряду с повсеместным сокращением площади, занятой снегом и льдом, и повышением уровня океана. Температура у поверхности земли для планеты в целом, с учетом данных измерений как для суши, так и для водной поверхности, за период с 1901 по 2010 год выросла на 0.8°C , причем с 1979 по 2010 год (за этот отрезок времени доступны данные спутниковых измерений температуры) повышение составило около 0.5°C . Вследствие естественной изменчивости это не означает, что каждый последующий год оказывается для всего земного шара теплее предыдущего. Тем не менее, самые теплые 10 лет за историю глобальных измерений температуры наблюдались после 1997 года, а 2005 и 2010 годы оказались рекордными за более чем столетний период наблюдений. Положительный тренд температуры наиболее выражен в высоких широтах северного

полушария и над сушей. В Соединенных Штатах потепление отмечается, в основном, в западной части страны и на Аляске. Что касается всей территории страны, то число рекордно высоких среднесуточных температур в первом десятилетии 21 века вдвое превысило число рекордно низких среднесуточных температур.

Глобальное потепление наиболее ярко проявляет себя в полярных поясах Земли. Площадь распространения и объем арктического льда снижались на протяжении последних нескольких десятилетий. Как гренландский, так и антарктический ледники потеряли значительную часть своей массы. Так же сокращается большинство ледников планеты.

Одновременно с этим происходят и другие изменения, как в Соединенных Штатах, так и на всей планете. Количество осадков, выпадающих при очень сильных дождях и снегопадах (1% самых сильных осадков из всех случаев явления), за последние 50 лет увеличилось на всей территории страны. Высотное положение нулевой изотермы меняется, соотношение частоты дождя и снега в среднем высотном поясе западных горных систем североамериканского континента изменяется в сторону жидких осадков. Максимальные предвесенние снегозапасы снижаются, таяние снега начинается раньше, в результате весенний сток, вклад которого в питание водотоков западной части США составляет около двух третей, сокращается. Потепление климата также проявляет себя в изменениях сезонов года на большой территории: в раннем наступлении весны, увеличении продолжительности безморозного периода и вегетационного периодов, в изменении мест обитания и маршрутов миграции птиц и насекомых.

Средний уровень океана за 20-е столетие поднялся на 17 см, причем с начала 90-х годов его повышение ускорилось. Практически 50% отмеченного с 1970-х годов подъема уровня океана обусловлено расширением воды за счет повышения ее температуры. Другой причиной является таяние континентальных льдов и ледяных щитов Гренландии и Антарктиды. В местном масштабе уровень моря зависит и от других факторов, например, от медленного опускания или поднятия суши, которое приводит к изменению уровня моря на величину, отличную от среднего повышения. Даже незначительное повышение уровня в прибрежной зоне несет в себе опасность серьезных бедствий, особенно для маленьких островных государств и других регионов, которые подвержены цунами, связанными с прохождением активных атмосферных вихрей.

Почему меняется климат

Климат меняется постоянно. Однако большинство наблюдаемых изменений из числа описанных выше выходят за пределы естественной изменчивости климата. Многочисленные научные свидетельства указывают на то, что главной причиной быстрого изменения климата за последние полвека является обусловленное деятельностью человека повышение концентрации парниковых газов в атмосфере, а именно: диоксида углерода (CO₂), хлорфторуглеродов (фреонов), метана и оксида азота. Первостепенная роль из них принадлежит углекислому газу, содержание которого в атмосфере растет, в первую очередь, за счет сжигания горючих ископаемых и сокращения лесов. В то время как в ходе естественных процессов углекислый газ в больших объемах поступает и выводится из атмосферы и океана, в результате названных видов человеческой деятельности происходит увеличение общего содержания диоксида углерода в атмосфере и океане. Приблизительно половина углекислоты антропогенного происхождения, поступившей в атмосферу за последние 250 лет, была поглощена океаном и биосферой суши, однако вторая половина остается в атмосфере. Начавшиеся в 1950-х годах регулярные измерения показывают, что концентрация углекислого газа увеличивается с гораздо большей скоростью, чем за последние 800 тысяч лет. Для выведения из атмосферы большей части дополнительно поступившего диоксида углерода за счет естественных механизмов потребуется тысяча лет, а некоторое его количество будет сохраняться в ней еще несколько тысячелетий.

Еще один важный парниковый газ – водяной пар. Однако в отличие от других парниковых газов, его концентрация зависит от температуры воздуха и контролируется глобальной климатической системой посредством гидрологического цикла (испарение-конденсация-осадки). Для водяного пара в силу его большой зависимости от погоды характерна большая изменчивость в пространстве и времени, а также короткий жизненный цикл. По данным наблюдений глобально осредненное содержание водяного пара в последние десятилетия увеличивается, причем скорость изменения согласуется с откликом климатической системы, рассчитанным по математическим моделям, описывающим антропогенно обусловленное увеличение концентрации парниковых газов. Водяной пар усиливает парниковый эффект, добавляя свой вклад к влиянию других парниковых газов.

Еще один механизм влияния человеческой деятельности на климат состоит в изменении количества и физических свойств крошечных твердых частиц и капелек жидкости, содержащихся в атмосфере и имеющих общее название «атмосферные аэрозоли».

Аэрозоли включают в себя пыль, морские соли, а также сульфаты, выбрасываемые в атмосферу промышленными предприятиями и автотранспортом. Аэрозоли участвуют в разнообразных физических процессах в атмосфере. Они поглощают и рассеивают солнечную энергию, а также длинноволновое излучение Земли, сами являются излучателями энергии, а также изменяют отражательные свойства облаков и влияют на образование в них частиц осадков. Аэрозоли в зависимости от их характеристик способны как ослаблять, так и усиливать парниковый эффект. Большинство аэрозолей антропогенной природы оказывают на планету охлаждающее действие, частично компенсируя парниковое нагревание атмосферы. Аэрозоли, выбрасываемые в стратосферу при сильных извержениях вулканов, высвобождающих большое количество сульфатов, способны вызвать понижение глобальной температуры на несколько последующих лет. С другой стороны, сажа, образующаяся при неполном сгорании ископаемого топлива, способствует нагреванию планеты, таким образом, снижение выбросов сажи позволит сдержать потепление. Жизненный цикл тропосферных аэрозолей составляет около недели, что значительно меньше, чем у большинства парниковых газов, а их распространенность и свойства сильно изменяются в пространстве.

Изменения земной поверхности также способны влиять на тепло- и влагообмен между Землей и атмосферой. Человек изменяет свойства земной поверхности в процессе земледелия, орошения, сведения и насаждения лесов, строительства городов и водохранилищ. Эти преобразования могут оказывать существенный эффект на местный и региональный климат, внося некоторый вклад в изменения глобального энергетического баланса.

Как можно предсказать климат будущего

Факторы, изменявшие климат в прошлом, как антропогенные (такие как выброс в атмосферу парниковых газов), так и естественные (изменчивость излучения Солнца, а также характеристик орбитального движения Земли вокруг Солнца, вулканическая активность) продолжают свое действие и в будущем. Климатические прогнозы на несколько десятилетий вперед рассчитываются с использованием сложных численных моделей климатической системы, учитывающих изменения притока и оттока энергии из системы во временных интервалах, намного превышающих предел предсказуемости отдельных атмосферных образований (около двух недель). Для осмысления предсказуемости крайне важно понимать разницу между погодой и климатом. По нескольким причинам климат является потенциально прогнозируемым на гораздо более длительном временном

интервале, чем погода. Во-первых, для характеристики климата намеренно используются осредненные за период от месяца до нескольких лет значения и другие статистические параметры, а средние показатели прогнозируются легче, чем отдельные явления погоды. Здесь может оказаться полезной аналогия со средним показателем продолжительности жизни населения, который поддается предсказанию в отличие от продолжительности жизни отдельных индивидов. Во-вторых, в формировании климата участвуют физические системы и процессы, обладающие значительной инерционностью, в то время как погоду образуют относительно кратковременные атмосферные явления, такие как грозы, осадки, сильный ветер. В-третьих, климат испытывает влияние медленно изменяющихся во времени факторов, например, изменения состава атмосферного воздуха в результате человеческой деятельности.

Климатические модели описывают главные механизмы формирования климата и его изменения, основываясь на фундаментальных физических законах термо- и гидродинамики и радиационного обмена. Эти модели показывают, какой будет реакция климатической системы при различных характерных сценариях изменения концентрации парниковых газов в будущем. Климатические прогнозы несут в себе неопределенности, которые появляются в силу нескольких причин: из-за различий между моделями, невозможности предсказать долговременные изменения таких факторов, как Эль-Ниньо и вулканическая активность, а также вследствие неясности относительно изменений выбросов парниковых газов в ближайшие несколько десятилетий. Они будут зависеть от глобального социально-экономического развития и от эффективности мероприятий, направленных на сокращение эмиссии парниковых газов и копоти.

Изменения средних и экстремальных значений температуры и осадков, вызванные увеличением концентрации парниковых газов в атмосфере, могут быть рассчитаны на несколько десятилетий и даже столетий вперед, несмотря на то, что предсказать возникновение отдельных явлений погоды в этом временном масштабе невозможно. Из-за того, что для проверки климатических прогнозов требуются долгие годы наблюдений, ученые испытывают свои модели, используя палеоклиматические данные и исторические источники, а также анализируя проявления простой связи между вариациями притока энергии и откликом климатической системы. Ценным подтверждением работоспособности современных математических моделей климата служит тот факт, что при использовании в качестве исходных данных всех известных естественных и антропогенных факторов, влияющих на атмосферу Земли в долговременном масштабе, они воспроизводят многие основные черты наблюдавшихся в 20 веке изменений климата,

в том числе: средних и экстремальных температур континентальной суши, прибрежной зоны и планеты в целом, площади арктических льдов, широтного распределения осадков и повторяемости сильных осадков.

Возможности моделей ограничены неадекватным представлением некоторых важных процессов и особенностей. Например, типичная модель климата все еще не описывает с нужной полнотой сложные динамические, радиационные и микрофизические процессы, связанные с развитием облаков, или пространственную изменчивость почвенной влаги, или взаимодействия атмосферы и биосферы. Тем не менее, несмотря на эти ограничения, климатические модели демонстрируют хорошие показатели в воспроизведении климатов прошлого и однозначно указывают главное направление изменения климатической системы в будущем.

Как будет меняться климат в будущем

Дальнейшее потепление климата неизбежно будет продолжаться еще многие годы вследствие уже выросшей концентрации парниковых газов в атмосфере и поглощения избыточного тепла океаном. Положение может улучшиться за счет разработки и реализации экологически ориентированных геоинженерных технологий, таких как мероприятия по захвату и выведению из атмосферы углекислого газа. Однако, геоинженерный подход несет в себе довольно серьезную потенциальную опасность и требует дальнейшего изучения (оценки последствий для окружающей среды). Этот вопрос не является предметом данного сообщения.

В целом, многие из наблюдавшихся в последние десятилетия тенденций изменения климатической системы сохранятся и в будущем. Эти выводы, как и другие заключения в этом разделе, основаны, главным образом, на расчетах с помощью моделей климата, которые сделаны с предположением, что содержание парниковых газов в атмосфере продолжит увеличиваться в результате человеческой деятельности. Попытки, которые человечество предпринимало для сокращения эмиссии парниковых газов, до сей поры не увенчались успехом. Однако если в будущем удастся внедрить технологии и проводить политику, способные быстро снизить поступление углекислого газа в атмосферу (данный подход получил название «минимизация воздействий на окружающую среду»), глобальное потепление может резко замедлиться, а его последствия будут сглаживаться.

Надежность климатических прогнозов оказывается выше для температуры и ниже для других параметров, например, для осадков. Кроме того, она выше для масштаба всей

планеты и материков, чем для регионального и местного масштабов. Согласно модельным расчетам более сильное потепление будет отмечаться в высоких широтах северного полушария, над сушей и в зимний период, что согласуется с наблюдаемыми тенденциями.

В 21 веке также продолжится повышение уровня океана, хотя оно не будет одинаковым для разных регионов. Океан с его огромной массой и большой теплоемкостью будет медленно нагреваться, а его объем увеличиваться за счет теплового расширения на протяжении нескольких столетий. Модельные расчеты дают подъем уровня океана на величину от 27 до 71 см к концу 21 века за счет теплового расширения и таяния льда. Более того палеоклиматические данные и моделирование ледяных щитов дают основание ожидать, что к 2500 году уровень океана поднимется на несколько метров в результате таяния гренландского и западно-антарктического ледников при сохранении наблюдающейся скорости потепления после окончания 21 века.

В соответствии с повышением температуры воздуха повсеместно увеличится его влагосодержание, следовательно, глобальный круговорот влаги продолжит ускоряться. Модельные расчеты дают для многих областей возрастание интенсивности отдельных случаев осадков и увеличение продолжительности периодов без осадков. Однако изменения в распределении осадков будут сильно зависеть от территории и сезона года. В некоторых регионах ускорение гидрологического цикла приведет к более выраженному проявлению существующего распределения осадков с более сильными засухами и наводнениями. Более значимое потепление в высоких широтах и над сушей, вероятно, приведет к изменению общей циркуляции атмосферы и существенным изменениям в региональном распределении осадков. В частности, согласно прогнозам произойдет рост количества осадков в крайних северных областях Северной Америки и его сокращение в юго-западных и центральных южных штатах США, чему будет сопутствовать увеличение повторяемости засухи.

Согласно прогностическим расчетам сильные осадки будут повторяться чаще и интенсивнее, в результате количество осадков, приходящихся на эту градацию, возрастет. Эти прогнозы имеют большое значение для управления водными ресурсами и предупреждения подтоплений. Расчеты также указывают на вероятность увеличения засушливых периодов между выпадением осадков в субтропических широтах и южной части умеренного пояса. В высоких широтах, напротив, эти периоды будут сокращаться на фоне увеличения среднего количества осадков. Продолжающееся потепление также вызовет во многих районах сокращение зимнего снегонакопления в пользу жидких

осадков, что приведет к снижению запасов воды в снеге в предполоводный период. На реках со снеговым питанием будет наблюдаться более раннее прохождение пиков половодья и сокращение стока теплого периода. Повсеместное отступление горных ледников приведет к снижению водности рек, питающихся от ледников. В Европе, Африке и на большей части внутренней территории Соединенных Штатов, в особенности на юго-западе, участится засушливая погода. Однако естественная изменчивость характеристик океана с периодичностью до 10 лет, наблюдающаяся, например, в северной части Тихого океана или в Северной Атлантике, способна компенсировать или, наоборот, усиливать эти изменения в предстоящие несколько десятилетий. Для больших временных интервалов палеоклиматические данные указывают на возможность возникновения засух, длительностью в несколько десятков лет, причем такие периоды могут наступать практически неожиданно.

Погодные условия будут по-прежнему меняться от дня ко дню и от сезона к сезону, но повторяемость отдельных процессов и экстремальных погодных явлений в результате глобального потепления может измениться. Модельные расчеты прогнозируют увеличение доли сильнейших ураганов, относящихся к 4 и 5 категориям по шкале Саффира-Симпсона, хотя общее количество ураганов может остаться прежним или даже уменьшиться. Эти тенденции могут проявляться в разной степени в различных регионах. Кроме того, согласно прогнозам траектории движения ураганов при выходе в умеренные широты сместятся к полюсу. Многолетние вариации климатических условий в масштабе планеты (такие, как Эль-Ниньо и Ла-Нинья) сохранятся, но может измениться их интенсивность, частота и другие характеристики, что может по-разному отражаться на состоянии атмосферы. Что касается волн тепла и холода с сопутствующими им погодными условиями, то ожидается увеличение частоты сильных потеплений и сокращение холодных вторжений. Уже сейчас волны холода перестают соответствовать устоявшимся представлениям и проявляются не таким резким понижением температуры. Продолжительность морозной погоды сократится, а вегетационного периода – увеличится. Более засушливая летняя погода, такая как прогнозируется для юга Соединенных Штатов и Южной Европы, усилит негативные последствия аномально жаркой погоды. Пороговые значения суточных максимумов температуры, являющиеся критическими для жизнедеятельности экосистем и зерновых культур (таких как пшеница, рис, кукуруза), будут превышаться чаще.

Земные оболочки образуют чрезвычайно взаимосвязанную и сложную систему, множество процессов и обратных связей в которой только сейчас начинает постепенно

осознаваться. В частности, большую неопределенность в климатические прогнозы вносит углеродный цикл. Остается неясным, способны ли будут океан и биосфера суши поглощать углекислый газ с той же скоростью, что и сейчас. Неизвестно, станут ли почва и растительность глобальным источником или стоком диоксида углерода при потеплении планеты. Еще одна неопределенность связана с количеством метана, которое будет высвобождаться в атмосферу при потеплении в высоких широтах. Получены свидетельства оттаивания многолетней мерзлоты на больших территориях на Аляске и в других субарктических областях Земли, что несет в себе возможность выделения больших объемов углекислого газа в атмосферу в дополнение к антропогенным источникам. Растущее поглощение углекислоты океаном ведет к увеличению его кислотности, что негативно сказывается на существовании колоний организмов с известковым скелетом и раковинами, а также на экосистемах океана в целом. Только сейчас над этими процессами начаты наблюдения, и они стали включаться в климатические модели. Поскольку изменения климата проявляются на региональном и местном уровнях, необходимы также дополнительные исследования, направленные на повышение качества прогнозов в местном и региональном масштабах, в особенности для экстремальных погодных и климатических условий.

Заключение

Существуют неопровержимые доказательства того, нижние слои атмосферы, земли, океан и поверхность суши нагреваются, уровень океана повышается, а площади снежного покрова, горных ледников и арктического морского льда сокращаются. Главной причиной потепления с середины 20 века является деятельность человека. Этот научный вывод основан на результатах многочисленных и надежных исследований. Наблюдающееся потепление будет необратимым на протяжении многих лет, а рост температуры еще более ускорится вследствие продолжающегося накопления в атмосфере парниковых газов. Для предотвращения этого сценария необходимо значительное и быстрое сокращение эмиссии парниковых газов. С развитием потепления в 21 и последующих столетиях возрастут риски и напряженность в обществе и экономике, опасности подвергнутся экосистемы и дикая природа, что вынудит общество каким-то образом реагировать на изменения климата. Для принятия решений, направленных на адаптацию и смягчение последствий, необходимо углублять понимание глобальной климатической системы, развивая системы наблюдения и исследования. Это, в первую очередь, относится к процессам местного и сезонного масштабов и к экстремальным погодным и климатическим явлениям, а также важным гидроклиматическим характеристикам, таким как осадки и водообеспеченность.

Масштабы последствий климатических изменений будут зависеть от технологических, экономических и политических решений ближайшего будущего. Научно-обоснованные шаги редко удастся предпринимать в условиях абсолютной ясности. Внутринациональные и международные обсуждения должны привести к отысканию наилучших способов как адаптации к меняющимся климатическим условиям, так и смягчения их последствий. Минимизация воздействия означает сглаживание изменений и снижение вероятности серьезных и потенциально опасных последствий. В то же время изменение климата полностью предотвратить невозможно, и ответные мероприятия должны предусматривать адаптацию к меняющимся условиям. Благоразумие подсказывает, что мы должны с предельной осторожностью строить свои отношения с единственной планетой, на которой возможна человеческая жизнь.

(Данный бюллетень действует до августа 2017 года и может быть отменен только с выпуском нового сообщения Совета Американского метеорологического общества).