

Адекватность и выполнимость долгосрочного глобального лимита в 1,5°C

июль 2013 г.

Авторы: Мишель Шеффер, Бил Хейр, Марсиа Роча, Джерри Рогел (аналитики)

При содействии Кирстен Мейси, Марион Вьюег и Дим Куму (PIK)



Опубликовано на английском языке в июле 2013 года Climate Action Network Europe, Брюссель, Бельгия. В случае полного или частичного воспроизведения следует упоминать название и давать ссылку на указанного выше издателя в качестве владельца авторских прав.

Перевод и публикация на русском языке подготовлены Национальным Экологическим Центром Украины

www.necu.org.ua
www.climategroup.org.ua



и Сетью Климатических Действий Восточной Европы, Кавказа и Центральной Азии (CAN EECCA)

www.infoclimate.org

Тираж 500 копий

© Copyright text 2013. Все права сохранены

Публикация подготовлена при финансовой поддержке Air Pollution and Climate Secretariat (Sweden), Европейского Союза и Фонда Демократии ООН. Содержание публикации является предметом ответственности авторов и не может расцениваться как такое, что отражает точку зрения Европейского Союза.



Распространяется бесплатно

Краткий обзор

Научные оценки показали, что согласно прогнозам, негативное влияние будет значительно ухудшаться в случае потепления более чем на 1,5 или 2°C в сравнении с доиндустриальной эпохой. Такие оценки повлияли на принятие 2°C в качестве глобальной цели в ходе климатических переговоров в Копенгагене в 2009 году. В Канкуне в 2010 году стороны Климатической конвенции согласились пересмотреть глобальную цель с перспективой ужесточения лимита до уровня 1,5°C. Три соображения играют роль относительно долгосрочной глобальной цели:

- 1) Сможет ли долгосрочная глобальная цель действительно помочь повлиять на мировые усилия по сокращению выбросов парниковых газов и стимулировать местные инициативы?
- 2) Достаточно ли адекватен уровень предела потепления для предотвращения вмешательства в климатическую систему?
- 3) Является ли цель достижимой с учетом социально-экономических и технических ограничений?

Долгосрочная глобальная цель способствует международным переговорам и вдохновляет на принятие программ по всему миру

Существует важное доказательство того, что лимит в 2°C и задачи на 2020 г. соответствующие этой цели согласно оценке МГЭИК в ее Четвертом экспертном отчете уже повлияло на цели и политику стран, включая Европейский Союз, Австралию, Японию, Мексику, Южную Корею, Бразилию, Индонезию и Южную Африку. Несколько развивающихся стран (например, Мальдивские острова) даже объявили о намерении стать «нейтральными» с точки зрения выбросов углерода в течение нескольких десятилетий. Некоторые страны интегрировали эти долгосрочные цели в национальное законодательство.

Это, а также тот факт, что правительства принимают и реализовывают все больше климатических и энергетических политик, чем когда-либо ранее, явно свидетельствует, что температурный лимит полезен и фактически является необходимым условием, чтобы дать возможность мировому сообществу совместными усилиями решить потенциально катастрофические проблемы изменения климата.

Тот факт, что ни одна страна не предприняла достаточных мер, не умаляет важности глобальной цели в качестве краеугольного камня стратегии.

При потеплении от 1,5 до 2° прогнозируется ухудшение отрицательных воздействий и существует риск достижения критических точек

Текущее потепление

В прошлом столетии и, в частности, в течение последних нескольких десятилетий, наблюдались признаки антропогенного изменения климата в различных его проявлениях: быстрое таяние морского льда в Арктике, месячные и сезонные экстремальные значения температуры, необычайные засухи в Средиземноморье, сокращение популяций коралловых рифов и отрицательное влияние на урожайность сельскохозяйственных культур.

На 1,5°C выше доиндустриального уровня

Повышение температуры только на 1,5°C к 2100 году поможет предотвратить некоторые из самых отрицательных воздействий, но по-прежнему представляет серьезную проблему в мировом масштабе, особенно в наименее развитых странах, малых островных развивающихся государствах и Африке, а также вследствие снижения количества субтропических осадков. В целом, изменение уровня осадков повысит дефицит воды в регионах, которые уже сегодня страдают от засух. Недавние научные исследования показывают, что экосистемы коралловых рифов ощущают наиболее отрицательное влияние в результате совместного воздействия окисления и потепления океана уже

на уровне 1,5°C, усугубленные воздействием глобального повышения уровня океана на 75 см к 2100 году против 2000, прогнозируемого для данного уровня потепления. Однако, если температура снизится до значений меньше 1,5°C, повышение уровня моря может стабилизироваться после 2100 года ниже уровня, который на 1,5 м превышает сегодняшней. Повышение уровня моря всего лишь на 45 см привело бы к потере 10% территории Бангладеш и быстрому повышению опасности паводков при потеплении в диапазоне от 0 до 2°C. Без адаптации такой умеренный подъем уровня моря увеличит численность людей, страдающих от паводков, спровоцированных штормовыми приливами, более чем в пять раз, при этом Южная и Юго-Восточная Азия находятся в зоне особого риска по причине низкого уровня суши и густозаселенных дельт.

На 2°C выше доиндустриального уровня

При потеплении на 2°C, серьезные и обширные засухи будут происходить в ближайшие 30-90 лет во многих густонаселенных районах, включая южные регионы, такие как Европа, Австралия и большая часть Африки, Северной и Южной Америки. Дефицит воды и тепловая нагрузка отрицательно скажутся на урожайности в регионах, подверженных засухе, уже сегодня ставя под угрозу продовольственную безопасность. Как ожидается, частота катастрофических засух в крупных сельскохозяйственных регионах удвоится. Ущерб растениеводству может превысить 7% в суб-сахельном регионе, с небольшой вероятностью 27% ущерба. Однако, в целом, в моделях сельского хозяйства недооцениваются реальные потери урожайности при потеплении на 2°C на целых 50% для некоторых сроков посева. 10-15% видов экосистем к югу от Сахары окажется под угрозой исчезновения, а прогнозируемое сокращение осадков в амазонских лесах может привести к существенному отступлению леса. Из-за окисления океана, рост коралловых рифов станет затруднен при концентрации CO₂ 450 частей на миллион. Этот уровень может быть достигнут к 2050 г. В случае потепления на 2°C. К 2100 году уровень моря поднимется на 80 см выше уровня 2000 года, что всего лишь на 5 см выше прогнозов сценария 1,5°C, поэтому воздействия окажутся сопоставимыми. Однако долгосрочная стабилизация при потеплении на 2°C предполагает непрерывное повышение уровня моря на протяжении веков, который может достичь 3 м к 2300 году. Порог необратимого таяния ледяного покрова Гренландии в течение очень длительного срока в настоящее время оценивается в 1,6°C выше доиндустриального, по сравнению с оценкой 4-го экспертного отчета МГЭИК, составляющей 3,1°C.

4°C выше доиндустриального уровня

Современные тенденции выбросов и обязательства по их сокращению ведут к повышению температуры почти на 4°C к 2100 году. При таких уровнях потепления воздействия окажутся наиболее тяжелыми, большинство из которых могут выйти за границу адаптации. Условия некоторых из самых необычных тепловых волн, имеющие место сегодня, станут новой нормой и совершенно новым классом тепловых волн с ранее никогда не наблюдавшимися магнитудами. Это вызовет серьезное, но пока еще не определенное количественно, влияние на сельскохозяйственное производство и человеческое здоровье. Срок наступления потепления критичен, поскольку ожидается, что население мира будет расти до второй половины XXI столетия. Доля засушливых и полузасушливых земель в Африке, вероятно, увеличится на 5% до 8%. В мировом масштабе прогнозируется, что страдающие от засухи районы в крупных посевных площадях возрастут втрое (с 15,4% до 44,0%) к 2100 году. Производство пшеницы, скорее всего, исчезнет из Африки к 2080 году, тогда как урожайность проса в местностях к югу от Сахары, по прогнозам, сократится на 40%. В мире, пережившем потепление на 4°C, изменение климата может стать доминирующим инструментом экосистемных сдвигов, приводящих к разрушению среды обитания как величайшей угрозе для биоразнообразия. По причине окисления океана, кораллы во всем мире, вероятно, начнут растворяться при концентрации CO₂ свыше 550 частей на миллион. Этот уровень будет достигнут к 2050 году при потеплении на 4°C. Предполагается, что леса Амазонии сократятся до 25% от их первоначального размера, а почти 30% других тропических лесов (в центральной Суматре, Сулавези, Индии и Филиппинах) угрожает сокращение площадей. В Африке, 25-42% растений могут потерять весь пригодный ареал до 2085 г. Существенные потери

площади тропических лесов приведёт к высвобождению большого количества углекислого газа в атмосферу, что ускорит дальнейшее изменение климата. Повышение уровня моря превысит 1 м к 2100 году, в то время как после 2100 года уровень моря тяжело спрогнозировать в виду больших пробелов в понимании реакции ледового покрова в случае такого сильного потепления. Потенциальное воздействие повышения уровня моря на 1 м и более окажется тяжелым, с реальным риском вынужденного переселения столкнется почти 187 миллионов человек в течение столетия (до 2,4% мирового населения). Восточная Азия, Юго-Восточная Азия и Южная Азия наиболее пострадают в результате ожидаемого вынужденного переселения 53-125 млн. людей. Малые островные государства, Африка и некоторые части Азии, скорее всего, столкнутся с проблемой сокращения прибрежных территорий, поскольку вероятность успешных защитных мер низкая. По прогнозам, частота наиболее разрушительных (4 и 5 категории) атлантических тропических циклонов почти удвоится к концу XXI века.

Изменение климата может выступить катализатором стремительных сдвигов в динамичных, вышедших из равновесия экосистемах, таких как внезапное исчезновение лесов или региональная потеря сельскохозяйственной продуктивности по причине опустынивания. Последствия таких сдвигов были бы далеко идущими, начиная от серьезной потери биологического разнообразия и уменьшения растительного покрова до потери экосистемных функций. Потепление на 4°C к 2100 г., вероятно, приведет к стабилизации температур на уровне 6°C выше доиндустриального уровня в течение нескольких следующих столетий. Не существует никакой геолого-исторической аналогии стремительного потепления, прогнозируемого в этом случае, если человечество не будет сокращать выбросы, но очевидно, что это приведет к широкомасштабному вымиранию видов в экосистемах, которое произошло 55 миллионов лет назад в ходе палеоцен-эоценового температурного максимума, который достиг такого уровня при меньшем темпе потепления.

Потепление можно ограничить 1,5°C и менее

С точки зрения геофизики потепление можно снизить до уровня ниже 1,5°C

Гипотетически, если мгновенно прекратить все выбросы, задержки в климатической системе и резкие изменения в атмосферном радиационном прогреве позволили бы потеплению продолжаться до уровня 1,2°C выше доиндустриального, до того как наметится постепенное снижение. В очень долгосрочной перспективе предел потепления 1,5°C требует, чтобы все концентрации парниковых газов плюс воздействия аэрозолей были ниже уровня 400 чнм CO₂ экв. Поскольку мгновенное прекращение всех выбросов в мировом масштабе очевидно невозможно, любое смягчение воздействия, целью которого является 1,5°C и ниже, обязательно предусматривает профиль распределения концентрации с пиком и снижением.

Социально-экономические варианты для потепления на уровне ниже 1,5°C появляются в научной литературе.

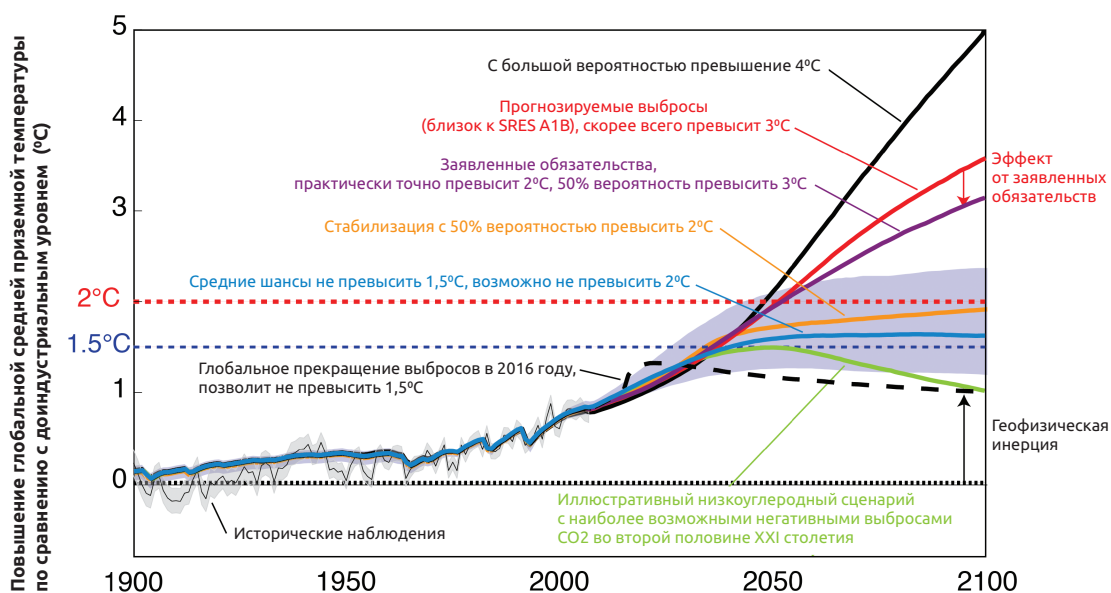
Энерго-экономические модели могут достичь требуемых низких уровней выбросов, также без расширения ядерной энергетики, однако это принципиально зависит от:

- Раннего и глобального сокращения выбросов, начиная с 2013 г. и далее, и достижения глобального пика выбросов к 2020 г.;
- Быстрого расширения и возможности технической реализации крупномасштабных проектов в сфере биоэнергетики, а также наличия лесных поглотителей;
- Высокие уровни повышения энергоэффективности;
- Наличие технологий улавливания и хранения углерода (УХУ)

Крупномасштабное разворачивание проектов по производству биомассы вместе с улавливанием и хранением углерода кажется необходимым, чтобы вернуться до уровня ниже 1,5°C. До 2030-х годов происходит совместное перекрывание долгосрочных сценариев выбросов 1,5 и 2°C, однако сценарии потепления на 1,5°C требуют более значительных сокращений в оставшейся части XXI столетия. Будучи связанными реальными выбро-

сами до 2010 г. и ограниченным потенциалом энерго-экономического сокращения до 2020-х, сценарии 1,5°C в обязательном порядке требуют отрицательных выбросов CO₂ во 2ой половине XXI столетия. Чем позже произойдет пик выбросов, тем больше следует извлечь CO₂ из атмосферы, начиная приблизительно с 2050-х годов. По причине медленной реакции углеродных пулов в системе Земли, большая часть выделенного CO₂ остается в атмосфере на протяжении столетий, по этой причине выбросы необходимо сократить почти до нуля, дабы стабилизировать концентрации. Тем не менее, это также означает, что концентрации снижаются медленно, если только CO₂ не извлекается из атмосферы благодаря вмешательству человека. Поскольку биомасса берет углерод из атмосферы посредством фотосинтеза, улавливая CO₂ из энергетических систем биомассы и сохраняя его под землей, она фактически вырабатывает полезные формы энергии для общества (электричество), одновременно извлекая CO₂ из атмосферы – происходит отрицательная эмиссия. Извлечение CO₂ также помогает ограничить окисление океанов.

Так называемые «непродолжительные климатообразующие факторы»(НКФ) не помогают в долгосрочной перспективе, но могут замедлить краткосрочное потепление. Меры, не связанные с CO₂, не следует интерпретировать как средство «выиграть время» с целью отложить на будущее мероприятия по сокращению CO₂. Вероятность превышения потепления на 2°C в XXI столетии более чем удваивается с 20% до 50%, если сокращение CO₂ будут отложены всего лишь на 10 лет, с компенсацией в ближайшем будущем посредством сокращений НКФ. Учитывая медленное удаление CO₂ из атмосферы, этот эффект будет длиться столетиями. Также, после задержки сокращений CO₂, связанные с энергетикой темпы сокращения CO₂ должны стать почти в два раза больше сценария, подразумевающего низкие уровни выбросов CO₂ и принятия ранних мер. Без этих более высоких темпов сокращения «отставания» концентрация CO₂ и потепление к 2100 году окажутся еще выше. С точки зрения перспективы многих десятилетий, сценарии откладывания выглядят более рискованными, при этом более быстрые сокращения CO₂ после 10-летней задержки окажутся слишком дорогими и/или технически неосуществимыми. В отчете Международного энергетического агентства «Перспективы мировой энергетики 2011» («World Energy Outlook 2011») говорится, что «Задержка с принятием мер – ложная экономия: на каждый \$1 инвестиций, не сделанных до 2020 г., потребуется потратить дополнительные \$4,3 после 2020 г., дабы компенсировать возросшие выбросы.»



Международные обещания стран по сокращению выбросов неадекватны, однако остаются варианты закрыть «разрыв»

Обещания по сокращению выбросов до 2020 г. неадекватны

Пути 1,5 и 2°C взаимно перекрываются до 2030-х годов. Для 2020 г. «Разрыв в уровне выбросов» определен, с одной стороны, между уровнем глобальных выбросов, рассчитываемый из современных обязательств по сокращению выбросов, взятых на себя странами, а с другой стороны, более низким уровнем выбросов в 2020 г. необходимым, для обеспечения долгосрочного осуществимого варианта сдерживания потепления на уровне ниже 2°C. Разрыв в уровне выбросов был оценен в 6-11 Гт CO₂ экв. Во избежание увеличения разрыва почти до 2 Гт CO₂ экв. следует избежать двойного учета кредитов МЧР.

Существуют варианты закрыть разрыв в уровне выбросов

Варианты закрыть Разрыв в уровне выбросов выглядят следующим образом:

- 1) Увеличить мировую долю возобновляемых источников энергии с текущих 10% до 15% к 2020 г. Это поможет закрыть разрыв на 4 Гт CO₂.
 - Дальнейшее увеличение доли до 20% позволит полностью закрыть разрыв.
- 2) Активизировать повышение энергоэффективности, которое бы имело серьезное влияние на мировую энергетику и тенденции климата и отсрочило бы установление высокого уровня выбросов с 2017 до 2022 г.
- 3) Сократить субсидии на ископаемые виды топлива для уменьшения глобальных выбросов на 2 Гт CO₂ до 2020 г.
 - Ликвидация субсидий сокращает спрос на ископаемое топливо и выбросы.
 - Субсидии на потребление ископаемого топлива во всем мире составили \$409 млрд. В 2010 г. и могут вырасти до \$660 млрд. В 2020 г.
 - Субсидии на возобновляемые источники энергии составили всего лишь \$66 млрд. В 2010 г.
- 4) В контексте международных переговоров:
 - Реализация максимальных обязательств из интервала, заявленного странами^а. Это сократит разрыв на 2 Гт CO₂ экв.
 - Минимизация использования кредитов ЗИЗИЛХ и кредитов на излишки выбросов. Это сократит разрыв приблизительно на 3 Гт CO₂ экв.
 - Минимизация использования излишков установленного количества с киотского периода 2008-2012 гг. Это сократит разрыв на 1.8 Гт CO₂ экв.
 - Избежание двойного подсчета разрешений на выбросы и улучшение дополнителности проектов МЧР. Это сократило бы разрыв почти на 1,5 Гт CO₂ экв.
 - Сокращение выбросов от международных морских и авиационных перевозок.

Требуемые значительные сокращения до 2050 г. могут быть достигнуты только развитыми и развивающимися странами

К 2050 году глобальные выбросы следует сократить по крайней мере на 50% и, вероятно, для обеспечения менее рискованного варианта развития событий, на 80% ниже уровня 1990 г. для достижения лимита 1,5°C в долгосрочной перспективе. Несмотря на важность уровней 2020 г., уровни в середине столетия играют важную роль в достижении порога 1,5 или 2°C. Для двух крайних концов этого глобального диапазона снижения выбросов к 2050 г., в Таблицах 1 и 2 мы показали, что выбросы стран Приложения I следует снизить до 85-95% ниже уровня 1990 г., допуская, что развитые (Приложение I) и развивающиеся (не входящие в Приложение I) страны достигнут одинаковых выбросов на душу населения к 2050 году, в качестве очень простого мерил справедливости. Очевидно, что данный показатель не учитывает исторической ответственности и прочие более сложные соображения справедливости, которые в некоторых случаях подразумевали льготы на отрицательные выбросы для развитых стран.

^а Некоторые страны заявляют про верхнюю и нижнюю грань обязательства при различных условиях соглашения. (ред. дополнение)

Некоторые из таких более сложных соображений также предполагают, что некоторые развивающиеся страны (наподобие недавних «новых промышленно развитых стран» и «стран с быстро развивающейся промышленностью») проведут крупные сокращения выбросов ниже уровня 1990 г. до 2050 года, тогда как, например, наименее развитые страны, могли бы быть освобождены от этого.

Опубликованные сценарии «энергетической дорожной карты» ЕС проходят длинный путь, но не оправдывают ожиданий

«Энергетическая дорожная карта 2050» Европейской Комиссии – это документ в котором подробно описаны сценарии достижения обязательства ЕС по сокращению выбросов парниковых газов на 80-95% ниже уровня 1990 г. к 2050 году. Тем не менее, как указывается в сопроводительном документе, по этому сценарию достигается сокращение лишь на 80% к 2050 году. Как уже отмечалось выше, развитые страны как группа нуждаются в сокращении выбросов до уровня 85-95% ниже 1990 г. к 2050 году, таким образом обязательство ЕС в принципе согласуется с целью 1,5°C, однако сокращения достигаемые в рамках Энергетической дорожной карты не достигают цели.

Содержание

Краткий обзор	1
1 Вступление.....	8
2 Риски и последствия изменения климата	10
2.1 Последствия при различных уровнях потепления	11
2.1.1 Настоящее время: 0,8°C выше доиндустриального уровня	11
2.1.2 1,5°C.....	12
2.1.3 2°C.....	12
2.1.4 4°C.....	13
2.2 Окисление океана	15
2.3 Обзор последствий	15
3.1 Геофизическая возможность 1,5°C.....	17
3.1.1 Роль загрязнителей воздуха	18
3.2 Энерго-экономические сценарии.....	20
3.2.1 Роль отрицательных выбросов: биотопливная энергетика с улавливанием и хранением углерода	20
3.2.2 Роль атомной энергетики	24
3.3 Обзор реакции климата на сценарии выбросов	25
4 Уровень предложений по сокращению выбросов	28
4.1 Предложенные обязательства на 2020 г. и уровни выбросов, совместимые с потеплением на 1,5°C.....	28
4.2 Варианты преодоления разрыва в уровне выбросов 2020.....	28
4.2.1 Взаимодополняющие меры.....	29
4.2.2 Разрыв в амбициях или разрыв в участии?.....	30
4.3 2030-2050 и далее.....	31
5 Роль Европы в варианте потепления на 1,5°C.....	32
5.1 Страны Приложения I в сравнении со странами, не входящими в Приложение I.....	32
5.2 Неужели сокращений выбросов «Дорожной карты ЕС» к 2050 г. достаточно?.....	32
6 Выводы	34
Ссылки.....	37
Приложение 1: Страны, призывающие ограничить потепление на уровне 1,5°C или 2°C выше доиндустриального	41

1 Вступление

В последние годы научные оценки показали, что согласно прогнозам, негативные последствия изменения климата будут значительно усугубляться выше 1,5 или 2°C с доиндустриальных уровней. Такие оценки побудили ЕС продвигать 2°C в качестве глобальной цели или лимита в ходе международных климатических переговоров и способствовали принятию 2°C в качестве глобальной цели на климатических переговорах в Копенгагене в 2009 году. Несмотря на то, что 2°C не воспринимается повсеместно как бесспорная и конструктивная цель, с другой стороны большая группа стран предлагает еще более низкий лимит в 1,5°C (см. Приложение 1). Три фактора играют роль относительно долгосрочной глобальной цели:

- 1) Сможет ли долгосрочная глобальная цель действительно помочь повлиять на мировые усилия по сокращению выбросов парниковых газов и стимулировать местные инициативы?
- 2) Достаточно ли адекватен уровень предела потепления для предотвращения вмешательства в климатическую систему?
- 3) Является ли цель достижимой с учетом социально-экономических и технических ограничений?

Недавно мы написали короткое обсуждение по первому вопросу в введении к климатическим переговорам 2012 РККИ ООН в Дохе (Катар). Ниже приведена цитата из этой дискуссии¹:

«Постановка цели 2°C, и соответствующий призыв большинством наиболее уязвимых стран установить ее ниже (1,5°C) отражает общий подход к решению широко спектра проблем «общего блага» с подобными характеристиками. Каков, например, правильный уровень для стандартов по различным загрязнителям воздуха? Какова правильная «предельная скорость», которая позволяет гражданам достичь конечного пункта за приемлемое время, которая минимизирует риск несчастных случаев и загрязнения воздуха? Не существует точного научного ответа на любой из этих вопросов. Тем не менее, разрешение этих вопросов требует стандартов – или узловых пунктов – чтобы организовать решения и стимулировать достаточные действия всеми сторонами.

Лимиты 2°C и 1,5°C возникли как хорошо обдуманые узловые пункты для предотвращения опасного изменения климата. Имеются существенные доказательства того, что лимит 2°C уже повлиял на цели и политику стран:

- Европейский Союз установил принципы и цели 2020 а также долгосрочные цели на 2050 г. подразумевающие сокращение на 80-95% для достижения 2°C;
- Австралия установила верхний порог своих обязательств по сокращению выбросов и долгосрочные стремления согласно видения не превысить лимит глобальной концентрации CO₂ экв. 450 частей на миллион (около 40% шансов остаться ниже 2°C в долгосрочной перспективе)
- Япония установила своей целью на 2020 г. сократить выбросы на 25% ниже 1990 г., т.е. В пределах часто обсуждаемого диапазона 25%-40% совместимого с лимитом 2°C.
- Мексика увеличила свою цель 2009 г. с 20% до 30% ниже ВАУ (бизнес как обычно) в 2020 г. Это наиболее амбициозное пороговое значение диапазона совместимого с потеплением на 2°C, которое обсуждалось для развивающихся стран.
- Южная Корея избрала для себя безусловную цель – 30% ниже ВАУ в 2020 г., аналогично под влиянием диапазона, который обсуждался для развивающихся стран.
- Бразилия, Индонезия, Южная Африка взяли обязательство добиться еще более амбициозных сокращений чем 30% ниже ВАУ в 2020 г.

Помимо этих обязательств на 2020 год, мы также наблюдаем, что многие страны объявили о долгосрочных целях по сокращению выбросов на 2050 год, например, Мексика, Австралия и ЕС. Несколько развивающихся стран – Коста-Рика и Мальдивские острова – даже объявили о целях стать углеродно-нейтральными в течение следующего

десятилетия. Некоторые страны включили эти долгосрочные цели в национальное законодательство.

Правительства принимают и реализовывают больше климатических и энергетических политик, чем когда-либо прежде. Все крупнейшие экономики поставили перед собой цели по развитию возобновляемой энергии, большинство из которых поддерживается программными документами. Широко используются стандарты для электробытовой техники и зданий. Например, США и Канадой недавно были повышены стандарты коэффициента полезного действия для легковых автомобилей. Системы торговли выбросами распространяются в глобальном масштабе: они приняты в Австралии, Южной Корее и Китае. Бразилии удалось значительно снизить темпы обезлесения, что есть одним из крупнейших вкладов в глобальное сокращение выбросов.

Вместе, эти аргументы явно говорят о том, что температурный лимит приносит пользу и, по сути, является необходимым условием для того, чтобы международное сообщество совместно решило проблемы потенциально катастрофических изменений климата. Тот факт, что ни одна страна еще не приняла достаточных мер, не подрывает значимости цели 2°C в качестве узлового пункта для политики».

Остальная часть этого доклада посвящена климатологическим и энергоэкономическим соображениям для решения вопросов 2 и 3 выше, с особым акцентом на лимите 1,5°C. Как показано в следующем разделе, даже при потеплении на 1,5° и 2°C, в этом столетии и дальнейшем прогнозируются большие суммарные отрицательные последствия изменения климата, так что стабилизация на таких уровнях потепления не обязательно позволит избежать «опасных изменений климата». Чтобы выработать долгосрочные ограничения потепления, заметим, что эти ограничения должны быть связаны обратно с концентрациями, а затем с выбросами. Неопределенности в реакции климатической системы на возросшие концентрации ПГ означают, что в конкретной ситуации невозможно с абсолютной уверенностью заявить, будет ли преодолен лимит глобального потепления или нет. Вместо этого, необходимо основывать решения на определенной вероятности того, что цель будет достигнута.

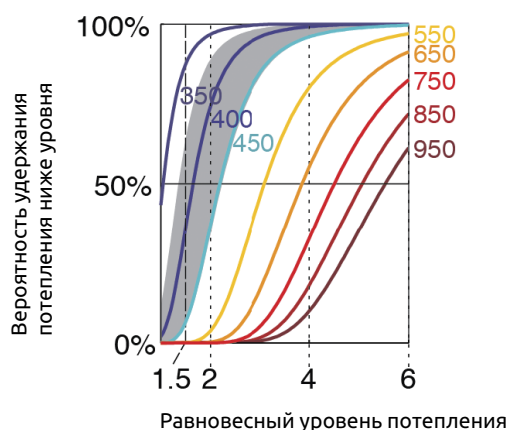


Рисунок 1. Вероятность сдерживания потепления ниже температурных целей после того, как климатическая система достигнет равновесия с целым рядом долгосрочных фиксированных уровней концентрации CO₂-эквивалента (чнм CO₂ экв). Серая заштрихованная зона отображает нынешнюю концентрацию CO₂-эквивалента без охлаждающего действия аэрозолей (около 450 чнм) и с учетом этого охлаждения (ниже 400 чнм). Адаптировано с Ссыл².

Рисунок 1 иллюстрирует уровни концентрации парниковых газов, связанные с целым спектром уровней потепления. При суммарной концентрации парникового газа 450 частей на миллион CO₂ экв., существует вероятность менее 50%, что в долгосрочном плане потепление останется на уровне ниже 2°C. Концентрация должна стабилизироваться на уровне 400 частей на миллион CO₂ экв. или ниже, чтобы потепление осталось ниже 2°C с вероятностью более 66%, т.е. с «вероятной» возможностью, используя принципы неопределенности МГЭИК. Тем не менее, при таком уровне концентрации по-прежнему существует вероятность свыше 50% остаться ниже 1,5°C в долгосрочной перспективе, что требует концентраций 350 частей на миллион CO₂ экв. или ниже. В Разделе 3 дается оценка соображений осуществимости сдерживания потепления ниже 1,5°C в течение длительного периода времени, что потребовало бы в долгосрочной перспективе стабилизации концентрации ниже сегодняшних значений (Рисунок 1).

2 Риски и последствия изменения климата

Несмотря на то, что для единого уровня глобального потепления соответствующие последствия будут различными для различных регионов, значение глобального среднего потепления является приемлемым показателем общей тяжести влияний изменения климата, в целом возрастающих с увеличением потепления. Новейшие результаты моделирования климата с применением новых сценариев RCP^b подготовленные для 5-го экспертного отчета МГЭИК, показывают, что картина регионов, подверженных относительно большим климатическим изменениям, приблизительно такая же как для глобального потепления, достигающего от сегодняшних уровней до 2,5°C выше доиндустриального³. При уровне ниже 2,5°C, особенно сильное изменение климата произойдет в тропиках, Западном Китае и Арктике, в сравнении с другими регионами. Однако в случае потепления свыше 2,5°C изменение климата ускоряется, в частности, в Южной Африке, Средиземноморье и северных высоких широтах, включая Сибирь, Канаду и Аляску, тогда как юго-восточная Латинская Америка, Австралия, южная часть Индийского субконтинента и юго-восточная Азия претерпевают изменения с относительно меньшим темпом.

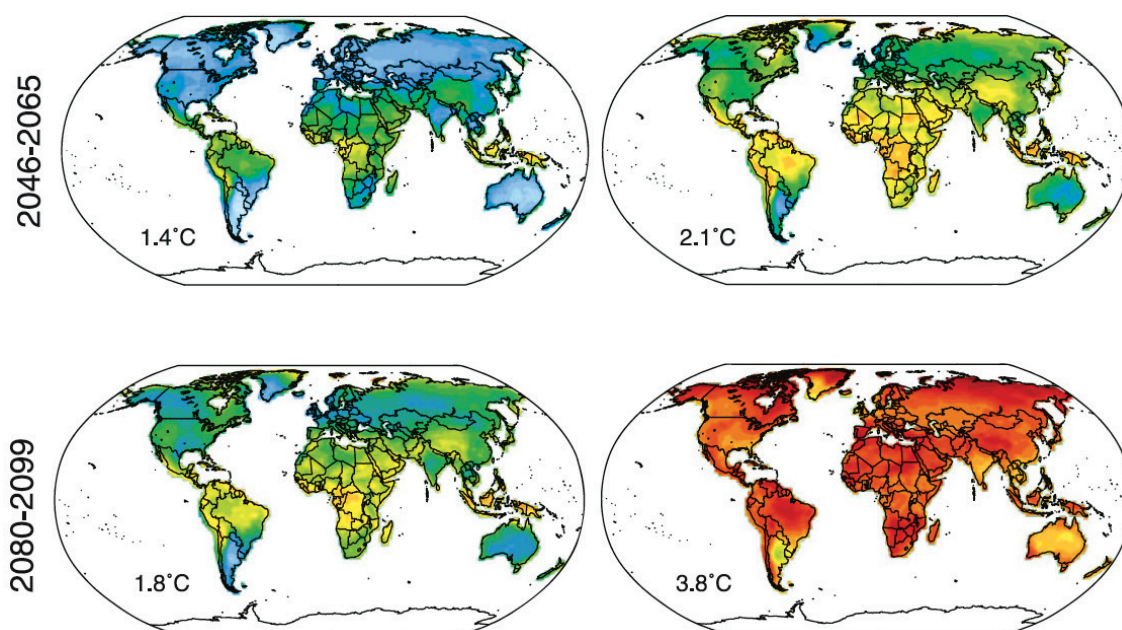


Рисунок 2 Относительное совокупное изменение климата (совокупный показатель изменения климата, включая изменения в температуре, осадках и экстремумах) в период с 1986 по 2005 гг., а также периоды 2046-2065 и 2080-2099 гг. RCP4.5 (левые панели) и RCP8.5 (правые панели). Источник: ссылка³.

Заметьте, что оценки относительно высокой/низкой подверженности изменению климата в определенных регионах не всегда однозначно подразумевают, что последствия также сильнее/слабее, что также зависит от чувствительности геофизических систем, экосистем и общества к изменениям в физической климатической системе. Далее в этом разделе дается обзор прогнозируемых последствий потепления с разными уровнями, сочетающий экспозиции с чувствительностью. Учитывая широкий спектр секторов, систем, регионов и т.д., этот обзор следует рассматривать в качестве пояснительного, и он далеко не полный. Сам по себе он полезен в качестве краткого обновления некоторых выводов Четвертого экспертного отчета МГЭИК 2007, опередив ДО5, в отношении только этих пояснительных секторов и т.п.

^b RCP – репрезентативная концентрация

2.1 Последствия при различных уровнях потепления^c

2.1.1 Настоящее время: 0,8°C выше доиндустриального уровня

В исследованиях, изучающих вклад-влияние, делаются попытки количественно представить основные факторы внешнего воздействия на изменение климата и сопоставить с последствиями. Выбросы парниковых газов являются одним из факторов, который мог привести к происходящим экстремальным погодным явлениям⁴. Такая атрибутивная наука находится в зачаточном состоянии, но в количественном плане причинно-следственная связь между некоторыми экстремальными метеорологическими условиями и их влиянием ясна. Для некоторых типов экстремальных метеорологических условий существует мощная научная доказательная база, которая связывает конкретные события или же рост их числа с антропогенным влиянием на климат⁵. Частота чрезвычайно высоких месячных и сезонных температур быстро увеличивается с 1960-х^{6,7}. Этот рост можно в большой степени отнести на счет антропогенных выбросов парниковых газов⁸⁻¹⁰. Это означает, что с высокой степенью уверенности мы можем сказать, что недавние тепловые волны, как, например, 2003 года в Европе, 2010 в России и 2011 в Техасе являются следствием глобального потепления на данный момент⁷.

Более того, антропогенные выбросы парниковых газов и аэрозолей, скорее всего, являются основными факторами способствующими осушению Восточного Средиземноморья¹¹, проявившегося в виде нескольких очень сухих годов в Сирии. Поскольку преимущественное большинство культур здесь не орошаются, а потому зависят от осадков в зимнее время¹², регион очень уязвим к метеорологическим засухам. В сочетании с неправильным использованием воды, метеорологическая засуха в 2008 году очень быстро привела к дефициту воды, от которого пострадало более 40% возделываемых земель, сильно сократив урожайность пшеницы и ячменя². В глобальном масштабе засухи, вызванные потеплением, уже увеличили территории страдающие от недостатка воды на 8%¹³, тем самым увеличивая дефицит воды в уязвимых регионах. С 1960-х посевные площади всех основных культур все больше ощущают воздействие засухи, при чем площади под кукурузу, страдающие от засухи, увеличились более чем в два раза с 8.51% до 18.63%¹⁴. Надежность наблюдаемых тенденций засухи в глобальном масштабе, однако, остается спорной (например, ссылка¹⁵).

Кроме засух на урожайность таких культур как пшеница и кукуруза отрицательно влияет более теплые сезонные температуры, поскольку сокращается продолжительность произрастания культуры. Кроме того, более частые и интенсивные экстремальные погодные события, такие как засухи или тепловые волны, могут серьезно повредить урожайности культур и таким образом содействовать колебанию цен на продовольствие¹⁶. С 1980-х мировая продукция растениеводства ощущает отрицательное воздействие климатических тенденций, что привело к снижению производства кукурузы и пшеницы на 3,8% и 5,5% соответственно по сравнению с вариантом без климатических тенденций¹⁷. Более того, экстремальные тепловые волны в последние годы, при чем с высокой степенью уверенности можно сказать, что некоторые из них вызваны глобальным потеплением, нанесли серьезный урон сельскохозяйственному производству в России (2010)¹⁸, Техасе (2011)¹⁹ и США (2012)²⁰. Перебои в снабжении, даже относительно небольшие, все равно могут вызвать значительные колебания цен на международном рынке, особенно когда запасы ограничены, и, следовательно, имеют сильное воздействие на уязвимые страны, удаленные от места возникновения тепловых волн²¹. Для примера, производство зерна в России и Украине в 2010 году снизилось на ~25% и ~20% соответственно¹⁸. Поскольку эти страны являются крупными мировыми экспортерами пшеницы²², цены на зерно сильно выросли на международном рынке. Эффект усилился, когда российское правительство установило запрет на экспорт зерна для защиты внутренних потребителей²¹. Это может привести к паническому скачку цен по причине очень нелинейного процесса: другие основные страны-экспортеры ограничивают экспорт в ответ на неопределенность на мировом рынке, что в свою очередь усугубляется этими запретами²¹.

^c Этот раздел адаптирован с Д. Комо и М. Шеффер (Comou, D. and M. Schaeffer) (2012) «Обновление научных данных: Потери и ущерб – изменение климата сегодня и согласно будущих сценариев», Climate Analytics, ноябрь 2012 г.

Изменение климата на сегодняшний день также сыграло роль в наблюдаемых экосистемных изменениях. Коралловые рифы очень чувствительны к повышенным температурам моря, которые вызывают обесцвечивание кораллов²³. Чувствительность усиливается местным загрязнением и другим влиянием человека. Массовое обесцвечивание кораллов и случаи гибели наблюдаются по всему миру с начала 1980-х и отражаются на рифах в региональном масштабе²⁴. Недавние исследования методом моделирования показывают, что потепление на 1°C выше доиндустриального уровня, которое вероятно будет превышено уже в следующем десятилетии, ставит под угрозу около 16% популяций рифов²⁵. Отмирание деревьев, связанное с жарой и засухой, уже наблюдается в бореальных лесных массивах на значительных территориях Северной Америки (Allen et al., 2010).

2.1.2 1,5°C

Ограничение потепления на уровне 1,5°C к 2100 году предотвратило бы некоторые из наихудших последствий, но по-прежнему представляет серьезную проблему в мировом масштабе, особенно в наименее развитых странах, малых островных развивающихся государствах и Африке. Приблизительно от 75 до 250 миллионов человек рискуют испытать возросший дефицит воды всего лишь через несколько десятилетий²⁶. Достоверная реакция в проведенных моделированиях климата XXI столетия – снижение количества осадков в субтропиках и их увеличение в высоких широтах^{27, 28}. Поэтому, в целом, изменение уровня осадков повысит дефицит воды в регионах, которые уже сегодня страдают от засух. По оценкам в Танзании уменьшение только выработки электроэнергии на гидроэлектростанциях (по причине дефицита воды) вызовет сокращение ВВП к 2030 г. почти на 1,7% вследствие изменения климата²⁹.

Недавние научные исследования свидетельствуют, что на экосистемы коралловых рифов очень отрицательно воздействуют сочетание окисления океана и потепление уже на уровне 1,5°C²⁵. Прогнозируется, что к 2100 году уровень моря поднимется на 75 см выше уровня 2000 года, но может стабилизироваться после 2100 г. на уровнях выше на 1,5 м чем сегодня, при том что температура упадет значительно ниже порога в 1,5°C³⁰. Повышение уровня моря всего лишь на 45 см может привести к потере 10% территории Бангладеш и быстрому повышению опасности паводков при потеплении в диапазоне от 0 до 2°C. Без адаптации такой умеренный подъем уровня моря увеличит численность людей, страдающих от паводков, спровоцированных штормовыми приливами, более чем в пять раз, при этом Южная и Юго-Восточная Азия находятся в зоне особого риска по причине низкого уровня суши и густозаселенных дельт³².

2.1.3 2°C

При глобальном потеплении почти на 2,5°C³³, гидрологическая реакция будет приблизительно линейной, при этом регионы, испытывающие недостаток влаги при потеплении на 1,5°C, станут еще более засушливыми при повышении температуры³⁴. Серьезные и обширные засухи будут происходить в ближайшие 30-90 лет во многих густонаселенных районах³⁵, включая южные регионы, такие как Европа, Австралия и большая часть Африки, Северной и Южной Америки. К 2050 году население, подвергающееся риску повышенного недостатка воды, достигнет 350-600 млн. человек²⁶. Тем не менее, в мире потеплевшем на 2°C, недостаток воды будет по большей части вызван изменением населения нежели изменениями климата³⁴.

Недостаток воды и тепловая нагрузка отрицательно скажутся на урожайности в регионах, подверженных засухе, уже сегодня ставя под угрозу продовольственную безопасность. Даже в случае невысоких выбросов, частота катастрофических засух в крупных сельскохозяйственных регионах удвоится¹⁴. Ущерб растениеводству может превысить 7% в суб-сахельном регионе, с небольшой вероятностью 27% ущерба³⁶. Однако в целом модели склонны недооценивать разрушающее действие температуры и экстремальных засух на урожайность^{16,37}, тем самым обеспечивая ограниченную достоверность прогнозам количественного воздействия. Полевые эксперименты показали, что культуры очень чувствительны к температурным порогам 30-36°C, что не учитывается

в большинстве с/х моделей^{16,37}. Поэтому, в моделях урожайности вероятно недооцениваются потери урожайности при потеплении на 2°C почти на 50% для некоторых сроков посева¹⁶. Этот эффект, вероятнее всего будет намного сильнее проявляться при более высоких уровнях потепления.

10-15% видов экосистем к югу от Сахары окажутся под угрозой исчезновения²⁶, а прогнозируемое сокращение осадков в амазонских лесах может привести к существенному отступлению леса³⁸. При потеплении на 2°C около 25% начальной площади тропических лесов находится в опасности³⁸.

К 2100 году уровень моря поднимется на 80 см выше уровня 2000 года, что всего лишь на 5 см выше прогнозов сценария 1,5°C, поэтому воздействия окажутся сопоставимыми. Однако долгосрочная стабилизация при потеплении на 2°C предполагает непрерывное повышение уровня моря на протяжении веков, который может достичь 3 м к 2300 году³⁰. Порог необратимого таяния ледяного покрова Гренландии в настоящее время оценивается в 1,6°C выше доиндустриального, по сравнению с оценкой МГЭИК ДО4, составляющей 3,1°C³⁹.

2.1.4 4°C

Современные тенденции выбросов и заявленные обязательства стран по их сокращению ведут к повышению температуры почти на 4°C к 2100 году. При таких уровнях потепления последствия окажутся наиболее тяжелыми, большинство из которых могут выйти за границу адаптации. Условия некоторых из самых необычных тепловых волн, имеющие место сегодня, станут новой нормой и совершенно новым классом тепловых волн с ранее никогда не наблюдавшимися магнитудами^{40,41}.

Это приведет к серьезному, пока еще не определенному количественно, влиянию на сельскохозяйственное производство и человеческое здоровье. Климатические воздействия становятся достаточно значимыми, чтобы играть главенствующую роль в увеличении дефицита воды, а изменения в обезвоживании регионов, прогнозируемые для потепления на 4°C, почти в два раза больше изменений в случае потепления на 2°C⁴². Срок наступления потепления критичен, поскольку ожидается, что население мира будет расти до второй половины XXI столетия. В случае сценария с высокими уровнями выбросов, неблагоприятное влияние на наличие воды таким образом может совпасть с максимальным потреблением по мере роста населения³⁴.

Доля засушливых и полузасушливых земель в Африке, вероятно, увеличится на 5%, достигнув 8%⁴³. При учете количества воды требуемого для производства определенного количества пищи в определенной местности, считается, что население планеты, живущее в странах со скудными водными ресурсами, удвоится по сравнению с сегодняшним днем⁴⁴. В мировом масштабе прогнозируется, что страдающие от засухи районы в крупных посевных площадях возрастут втрое (с 15,4% до 44,0%) к 2100 году¹⁴. Ожидается, что урожайность кукурузы снизится в пределах -13% и -23%, а бобовых -47% и -87%, тем самым подразумевая, что «... изменения, которые будут происходить в мире потеплевшем на 4°C, выйдут далеко за пределы всего, что мы испытываем в последнее время»⁴⁵. Производство пшеницы, скорее всего, исчезнет из Африки к 2080 году⁴³, тогда как урожайность проса в местностях к югу от Сахары, по прогнозам, сократится на 40%⁴⁶.

В мире пережившим потепление на 4°C, изменение климата может стать доминирующим фактором экосистемных сдвигов, приводящих к разрушению среды обитания как величайшей угрозе для биоразнообразия^{47,48}. По причине окисления океана, кораллы во всем мире, вероятно, начнут растворяться при концентрации CO₂ свыше 550 частей на миллион CO₂⁴⁹. Предполагается, что леса Амазонии сократятся до 25% от их первоначального размера³⁸, а почти 30% других тропических лесов (в центральной Суматре, Сулавези, Индии и Филиппинах) угрожает сокращение площадей³⁸. В Африке 25-42% растений могут потерять весь пригодный ареал до 2085 г.⁵⁰ Взаимодействие между влиянием климатических изменений, действиями человека (такие как вырубка лесов), и реакция лесов (на подобие пожара) представляют потенциальную позитивную (уси-

ливающую) обратную связь, которая может привести к широкомасштабному вырождению или утрате лесов Амазонии⁵¹. Существенные потери площади тропических лесов высвободят большие количества углекислого газа в атмосферу, что ускорит дальнейшее изменение климата.

Изменение климата может выступить катализатором стремительных сдвигов в динамичных, вышедших из равновесия экосистемах, таких как внезапное исчезновение лесов или региональная потеря сельскохозяйственной продуктивности по причине опустынивания⁵³. Последствия таких сдвигов могут оказаться далеко идущими, начиная от серьезной потери биологического разнообразия и уменьшения растительного покрова до потери экосистемных функций⁵⁴. Деградация экосистем уменьшает биологическое разнообразие, что в свою очередь снижает общую стабильность экосистем. Недавние работы на тему конкуренции и среды обитания показывают, что модели, в целом, недооценивают воздействие изменения климата на биоразнообразие⁵⁵. Потепление на 4°C к 2100 г., вероятно, приведет к стабилизации температур на уровне 6°C выше доиндустриального уровня в течение нескольких следующих столетий⁵⁶. Самым близким геологическим аналогом, в котором произошло потепление на 6°C, является палеоцен-эоценовый тепловой максимум 55 миллионов лет тому назад, когда произошло стремительное изменение глобального климата, однако при меньшем темпе потепления, чем тот, который прогнозируется для будущего мира с потеплением на 4-6°C⁵⁷. Не существует никакой геолого-исторической аналогии стремительного потепления, прогнозируемого в случае несмягченного изменения климата, и, справедливости ради, стоит отметить, что это приведет к широкомасштабному вымиранию видов в экосистемах, которое произошло 55 миллионов лет назад⁵⁸.

Повышение уровня моря (ПУМ) превысило бы 1 м к 2100 году³⁰, с возможностью повышения до 20% в некоторых регионах⁴¹. Уровень моря после 2100 года тяжело спрогнозировать по причине больших пробелов в понимании реакции ледниковых шапок на такое мощное потепление. Потенциальное влияние подъема уровня моря на 1 м или больше будет серьезным, с реальной опасностью вынужденного переселения почти 187 миллионов людей в течение столетия (до 2,4% мирового населения)⁵⁹. Восточная Азия, Юго-восточная Азия и Южная Азия наиболее пострадают в результате ожидаемого вынужденного переселения 53-125 млн. людей. Малые островные государства, Африка и некоторые части Азии, скорее всего, столкнутся с проблемой сокращения прибрежных территорий, поскольку вероятность успешных защитных мер низка. Прибрежные города в развивающихся регионах особенно уязвимы в отношении ПУМ по причине высокой плотности населения и часто неправильному городскому планированию и защитных мер. Включая демографическую информацию, Vreht et al.⁶⁰ оценили будущее влияние изменения климата на штормовые явления, которые ударят по прибрежному населению, экономике и экосистемам. Они определили 10 азиатских городов, на которые приходится 50% будущего воздействия ПУМ, из которых более 40% приходится только на Манилу, Карачи и Джакарту. В Африке страны с наибольшим суммарным уровнем воздействия в случае повышения уровня моря на 126 см – Египет, Мозамбик и Нигерия, где ежегодно будут вынуждены переселяться соответственно 8, 5 и 3 миллиона человек⁶¹.

Предполагается, что частота появления наиболее разрушительных (категория 4 и 5) атлантических тропических циклонов почти удвоится к концу XXI столетия⁶². Новое исследование показывает, что риск смертельных исходов зависит от интенсивности, длительности воздействия тропических циклонов, уровней бедности и эффективности управления⁶³.

2.2 Окисление океана^d

В предыдущем разделе внимание уделялось последствиям, прогнозируемым для различных уровней глобального потепления. Однако, концентрация атмосферного CO₂ недавно превысила 380 частей на миллион, что не только привело к изменению климата, но также и повысило абсорбцию CO₂ океанами и повышению кислотности мирового океана, что выразилось в снижении pH на 0,1 с доиндустриальной эпохи⁶⁴. Снижение значения pH свидетельствует о повышении кислотности, и поскольку pH – логарифмическая шкала, сокращение на 0,1 представляет собой повышение кислотности приблизительно на 30%. Повышенная кислотность океанской воды ведет к сокращению наличия карбоната кальция (арагонита) – ресурса жизненно необходимого для постройки скелетов и раковин кораллами и экосистемами. Снижение кальцификации рифов по причине окисления наблюдается в последние десятилетия⁶⁵⁻⁶⁷. Особенно уязвимы коралловые рифы теплых вод, кораллы холодных вод и экосистемы в Южном океане. Последствия сокращения pH на эти системы проявляются в снижении кальцификации кораллов (сокращение роста), ослаблении кораллового скелета и в сильной температурной зависимости – последняя потенциально повышает опасность обесцвечивания по причине повышения температуры поверхностных вод⁶⁸.

Прогнозы 4-го экспертного отчета МГЭИК относительно сценариев SRES свидетельствуют о дальнейшем росте кислотности океана с 0,14 до 0,35 единиц pH в течение XXI столетия⁶⁴, что эквивалентно увеличению кислотности на 80-180% с доиндустриальной эпохи. Недавний обзор показывает, что скорость антропогенного поступления углерода в океаны оказывается более высокой, чем в ходе любого окисления океанов, имевшего место в геологическом прошлом миллионы лет назад и включавшего массовое вымирание видов⁶⁹. Недавние исследования предполагают, что если концентрация атмосферного CO₂ достигнет 450 частей на миллион, по всему миру значительно замедлится рост коралловых рифов, а при 550 чнм они начнут растворяться^{49,70}. Последствия окисления уже наблюдаются и постепенно будут усугубляться по мере роста окисления. Поэтому, снижение роста, ослабление скелета кораллов и зависимость от возросшей температуры начнут влиять на коралловые рифы при концентрации 450 чнм. Вырождение коралловых рифов будет иметь отрицательное влияние на зависимые виды, рыбное хозяйство, защиту берегов и туризм во многих регионах.

По сценарию, соответствующему порогу потепления на 1,5°C, к концу этого столетия концентрация CO₂ должна опустится до значения 350 чнм. Недавняя оценка показала, что уровень CO₂ ниже 350 чнм необходим для долгосрочного выживания коралловых рифов в случае включения множественных стрессоров, таких как высокие температуры поверхностных вод океана, повышение уровня моря и ухудшение качества воды⁷¹.

2.3 Обзор последствий^e

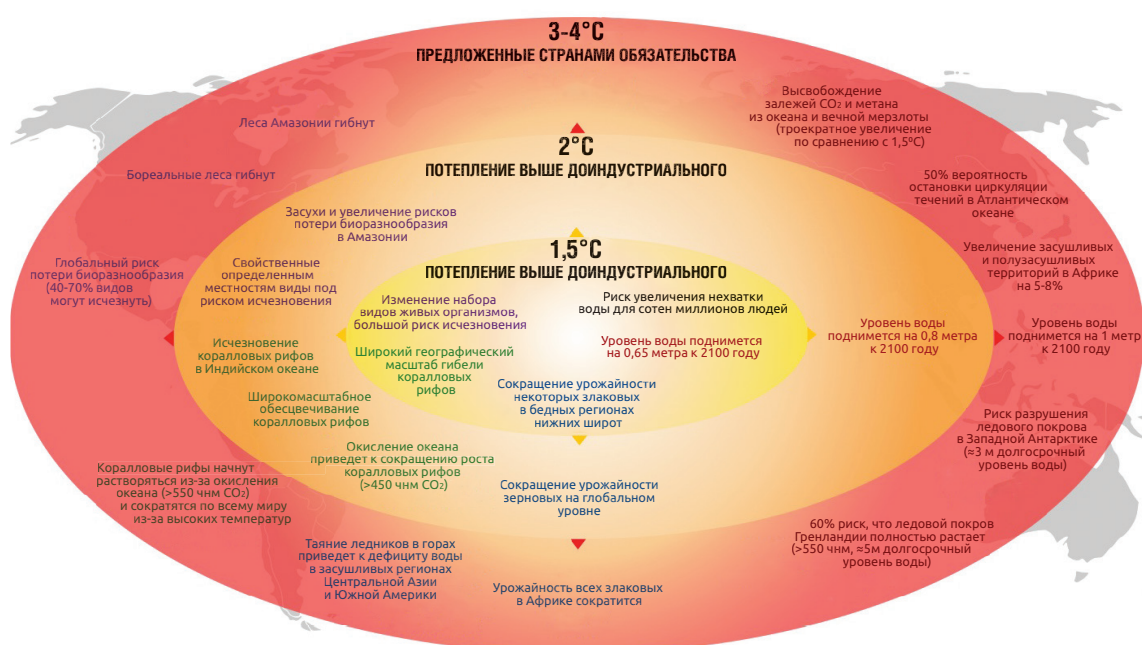
Как упоминалось во вступлении и следует из предыдущих разделов, даже ограниченное потепление на 1,5°C не предупредит далеко идущие последствия, в частности для уязвимых стран, таких как наименее развитые страны и малые островные развивающиеся государства, либо для уязвимых экосистем, как коралловые рифы. Однако при превышении порога 1,5°C, не только постепенно растущие воздействия усугубятся, но и части системы Земли могут вступить в другое состояние, включая прохождение некоторых установленных «переломных моментов», как, например, необратимое таяние ледового покрова Гренландии и риск вымирания лесов Амазонии. Иллюстрация на Рисунке 3 – обзор некоторых воздействий и переломных элементов по температурным уровням.

d Этот раздел адаптирован с М. Шеффер (Schaeffer, M) и Б.Харе (B. Hare) (2012) «Окисление океана: Причины и последствия», Climate Analytics, 1 октября 2010 г.

e Этот раздел адаптирован из Н. Хьоне, Б. Харе и М. Шеффер, М. Вивег-Мерсман, М. Роча, С.Чен, Дж.Роджели, М. Менгел, М. Перрте (Höhne, N., B. Hare, M. Schaeffer, M. Vieweg-Mersmann, M. Rocha, C. Chen, J. Rogelj, M. Mengel, M. Perrette) (2011) «После Дурбана: Риск задержки в повышении амбиций снижает шансы на превышение лимита в 2°C, и достижение 3.5°C», Climate Action Tracker – Climate Analytics, PIK, Ecofys, 11 декабря 2011 г.

Картина нагревающегося мира

Поскольку соглашения в Дурбане не предлагают дополнительных мер до 2020 г., риск превышения 2°C остаётся очень высоким. Мероприятия по реализации Дурбанских соглашений должны быть быстрыми, чтобы смягчить выбросы, и недопустить, чтобы прогнозируемое потепление достигло 3.5°C к 2100 году. Порог в 1,5°C уже приведет к значительным последствиям, к еще большим последствиям приведет потепление на 2°C. Но при росте температуры в направлении 3,5°C, влияние достигнет гораздо более высокого уровня риска. Примеры воздействия на этом рисунке являются иллюстративными и не всеобъемлющими.



Загрузите полный отчет с www.climateactiontracker.org

3 Возможно ли ограничить потепление на уровне 1,5°C?

3.1 Геофизическая возможность 1,5°C

Сегодняшнее глобальное потепление составляет около 0,8°C. Если мгновенно прекратить все выбросы, то задержки в климатической системе и резкие изменения в атмосферном радиационном прогреве позволили бы потеплению продолжаться до уровня на 1,2°C выше доиндустриального, перед тем как наметится постепенное снижение. (черная пунктирная линия на рисунке 4).

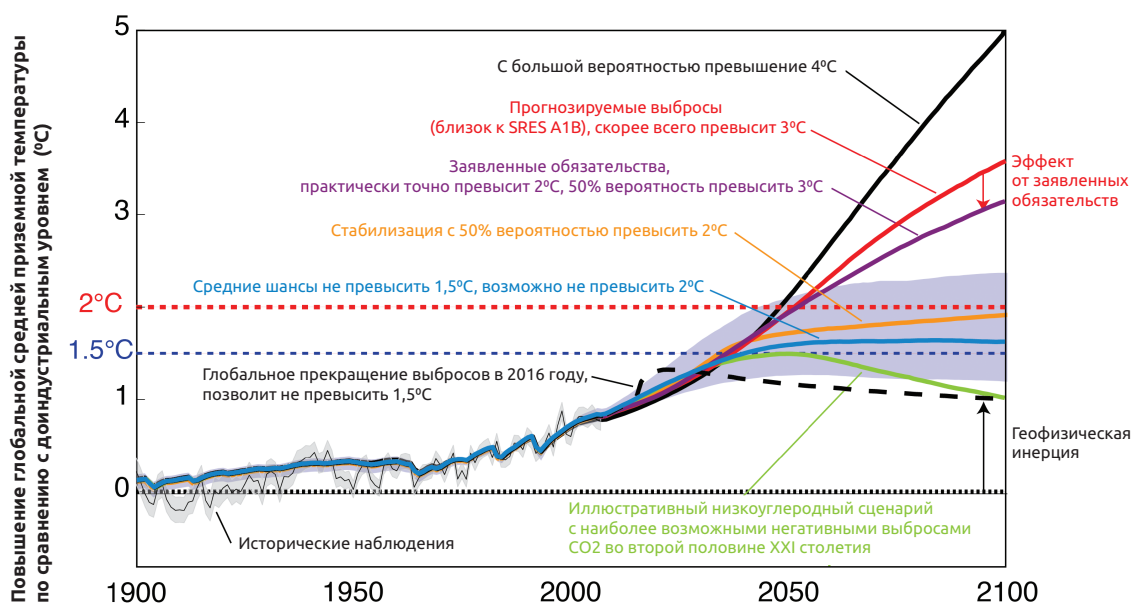


Рисунок 4. Средние оценки (линии) на основе вероятностных температурных прогнозов в случае сценариев выбросов в рамках обычного хода деятельности (SRES A1FI и Ссылки), а также широкий диапазон сценариев смягчения воздействия по сдерживанию потепления на уровне ниже 2°C с вероятностью 50% или больше^{30,72,73}. Область неопределенности 15-85% обеспечена только для одного сценария с целью улучшения читаемости.

Очевидно, что мгновенное прекращение всех выбросов в мировом масштабе нереально, но в долгосрочной перспективе, концентрации стабилизируются только в том случае, если глобальные выбросы CO₂ сократятся почти до нуля⁷⁴. Задержка с реализацией мер по сокращению выбросов ведет к более высоким кумулятивным выбросам. Даже если выбросы CO₂ сведены до нуля после такой задержки, более высокие кумулятивные выбросы ведут к стабилизации как концентрации, так и выбросов на более высоком уровне.

Медленную реакцию концентрации CO₂ и потепления можно было бы также превратить в преимущество. Потребовались бы десятилетия, если не столетия, чтобы вызванное человеком повышение температуры полностью стабилизировалось на уровне показанном на Рисунке 1, например, на уровне более 2°C для концентрации 450 частей на миллион CO₂ экв. Пока не будет достигнута эта полная температурная характеристика, потепление остается ниже уровня, достигнутого в полном равновесии. Такая задержка означает, что существует вариант, когда выбросы и концентрации выйдут на пик и начнут снижаться, дабы снизить концентрации с пикового уровня, до того, как вся климатическая система получит время нагреться до этого пика. Если концентрации снизятся достаточно сильно и быстро, потепление может пойти на спад уже в XXI столетии, как видно из гипотетического сценария внезапной остановки выбросов. С геофизической точки зрения, нет никакой причины рассматривать 1,5°C как нечто недостижимое.

Для 2005 г. В 4-м экспертном отчете МГЭИК указывалось, что суммарная концентрация CO₂ экв. долгоживущих парниковых газов составляла около 455 частей на миллион CO₂ экв, хотя с учетом охлаждающего воздействия аэрозолей и других загрязнителей воздуха, чистая концентрация парникового газа оценивалась в пределах 311-435 частей на миллион CO₂ экв. Как показано на Рисунке 1 во вступлении, граница потепления в 1,5°C требует концентраций ниже 400 чнм CO₂ экв. Поэтому любое смягчение, нацеленное на достижение стабилизации на уровне 350 чнм CO₂ -экв. (с учетом всех газов киотского протокола (CO₂, CH₄, N₂O и F-газы), обязательно подразумевает профиль концентрации с пиком и падением, со снижением с текущих концентраций до приблизительно 350 чнм CO₂ экв.

3.1.1 Роль загрязнителей воздуха^f

Недавние публикации⁷⁵⁻⁷⁷ предполагают, что так называемые непродолжительные климатообразующие факторы (НКФ) могли бы помочь в снижении краткосрочного потепления и задержать на уровне 2°C. Термин НКФ стал охватывать такие вещества, как, например, метан, гидрофторуглероды и загрязнители воздуха наподобие сажи и органического углерода. Относительно короткий период жизни в атмосфере колеблется от 12 лет (метан) до нескольких дней или недель (сажа, органический углерод и т.д.).

Меры, не связанные с сокращением CO₂, не следует интерпретировать как средство для «покупки времени» с целью отложить на будущее сокращения CO₂. Это может быть продемонстрировано путем изучения сценария, где полная реализация мер по борьбе с загрязнителями воздуха, как указано в сноске⁷⁵⁻⁷⁷, сопровождается 10-летней задержкой в сокращении выбросов CO₂ и серы. После задержки до 2030 г., выбросы CO₂ быстро сокращаются^g, чтобы в конце концов достичь того же уровня, что и в случае сценария низких выбросов к 2100 г. В краткосрочной перспективе, потепление будет меньшим (почти на 0,1°C к 2020 г.), чем в случае исходного сценария с низкими выбросами. Такое сниженное потепление является, главным образом, следствием более высоких выбросов SO_x, которые обладают охлаждающим эффектом. Тем не менее, если принять во внимание современное высокое текущее значение радиационного прогрева, охлаждение в результате снижения выбросов сажи и связанных эмиссий приблизительно равно повышению выбросов SO_x. Однако, такой путь ускоренных мероприятий в отношении загрязнителей в сочетании с задержкой мер по сокращению выбросов CO₂ имеет два важных недостатка, даже если принять во внимание высокий современный фактор сажи.

Во-первых, вероятность превышения порога потепления на 2°C в XXI столетии более чем удваивается, с 20% до 50%. Прогнозируется, что медиана потепления будет на 0,3°C выше в 2100 г. и, что важно, при условии медленного удаления CO₂ из атмосферы, этот эффект будет длиться столетиями. Заметьте, что этот путь с отсрочкой CO₂, по-прежнему, включает во всей полноте возрастающие последствия сокращения количества ГФУ, CH₄ и других веществ начального сценария с низкими выбросами и более высокое потепление к 2100 году – исключительно эффект 10-летней задержки принятия мер относительно CO₂.

Во-вторых, темпы сокращения выбросов CO₂ связанных с энергетикой в промежутке между 2030 и 2050 гг. В среднем должны составлять 2,4% от уровня 2010 г. В год, вместо 1,5% в год в исходном сценарии с низкими выбросами и ранним мерами по сокращению выбросов CO₂. Без этих более высоких темпов сокращения «отставания», концентрация CO₂ и потепление к 2100 году окажутся еще выше. С точки зрения перспективы многих десятилетий, сценарии задержки выглядят более рискованными, при этом более быстрые сокращения CO₂ после 10-летней задержки окажутся слишком дорогими и/или технически неосуществимыми^{78,79}.

^f Этот раздел адаптирован из Б. Харе, М.Шеффер, Дж.Роджели, Н. Хьоне, К. Блок, К. Ван дер Лун и Н. Харрисон (Hare, B., M. Schaeffer, M. Rocha, J. Rogelj, N. Hohne, K. Blok, K. van der Leun and N. Harrison (2012) « Преодоление разрыва в уровне выбросов 2020: проблемы, варианты и стратегии», Берлин, Германия, Climate Analytics and Ecofys

^g Выбросы SO_x последуют этому сценарию

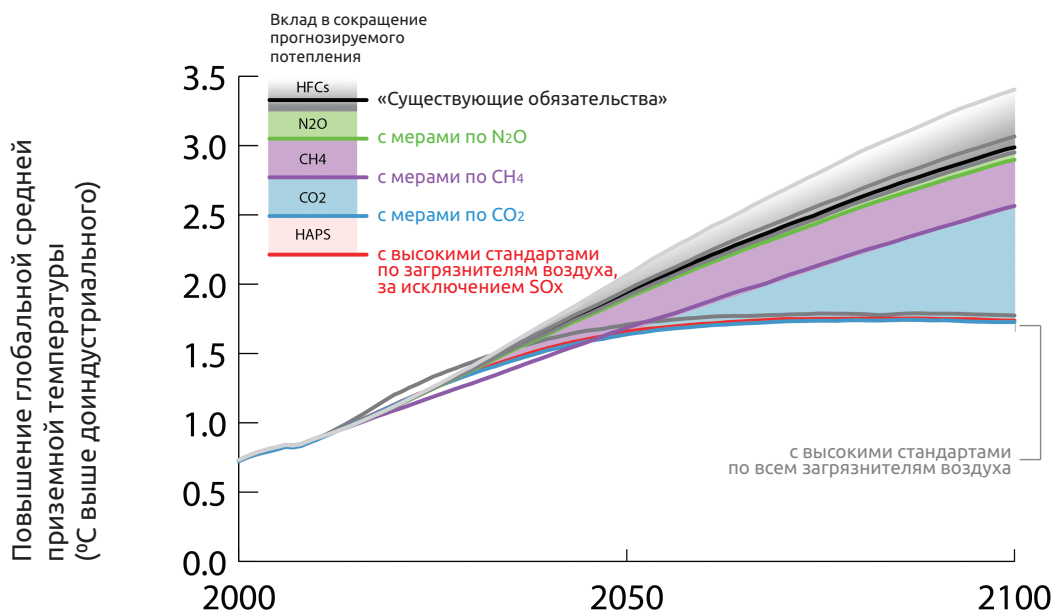


Рисунок 5. Возрастающие последствия сокращения выбросов различных парниковых газов ГУФ, N₂O, CH₄, CO₂, а также загрязнителей воздуха. Меры включают только те сокращения выбросов загрязняющих воздух, которые согласуются с изменениями в энергетической системе. Это можно сравнить с низкими выбросами CO₂ с высокими стандартами выбросов загрязняющих воздух, включая SO_x (серая) и дополнительными мерами по контролю SO_x (красная). Различие между красной и синей кривыми вызвано главным образом дополнительными мерами по выбросам сажи, кроме тех, которые связаны с трансформацией энергосистемы с низкими выбросами углерода. Различие между серой и красной кривыми – эффект более низких выбросов SO_x в рамках сценария высоких стандартов.

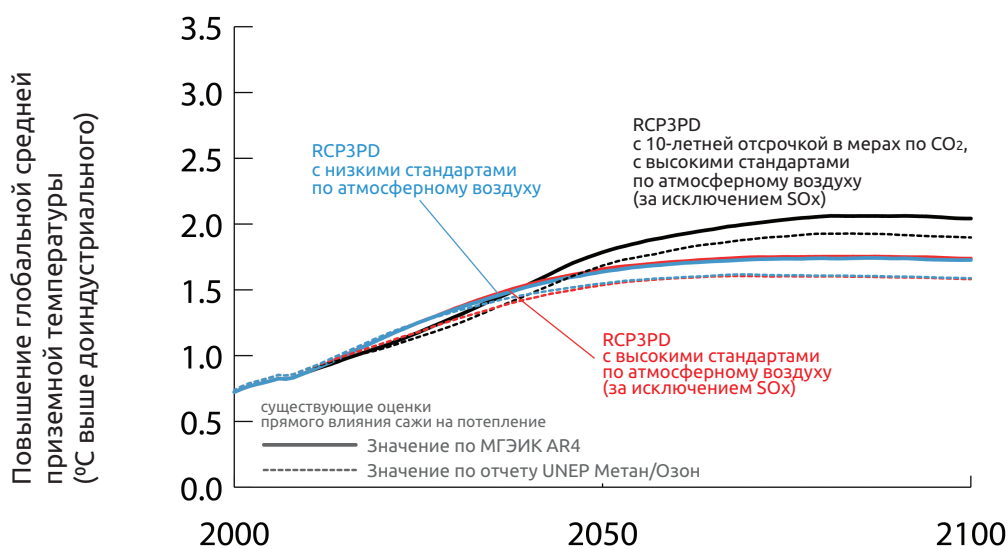


Рисунок 6. Прогнозы глобального потепления для варианта с низкими выбросами RCP3PD (синяя линия) и сценария, при котором сокращения выбросов CO₂ отсрочены до 2030 г., но со значительными сокращениями выбросов сажи и сопутствующих загрязнителей воздуха, согласно переходу от низких к высоким стандартам чистоты воздуха, которые исключают серу (черная линия). В случае отсрочки выбросы CO₂ и SO_x следуют сценарию, который подразумевается в свете нынешних обещаний по сокращению выбросов до 2030 г., когда к 2100 году произойдет их стремительное сокращение до уровней RCP3PD. Красная линия показывает выгоды относительного охлаждения только в рамках реализации ускоренного сокращения выбросов веществ, загрязняющих воздух, без отсрочки мер по CO₂. Для сравнения, пунктирные линии показывают результаты для этих же сценариев с учетом современного непосредственного радиационного прогрева от сажи на основании отчетов UNEP по метану и озону^{76,77}, что в два раза превышает оценку приведенную в 4-м ЭО МГЭИК80. Такие высокие оценки подразумевают, что меры по сокращению выбросов сажи имеют большой охлаждающий эффект (сравните красную пунктирную линию с синей пунктирной линией), но они имеют такой же временный характер, как и в случаях по умолчанию (4-й ЭО).

3.2 Энерго-экономические сценарии^h

С момента публикации 4-го экспертного отчета МГЭИК, было опубликовано целый ряд оценок затрат на мероприятия по снижению воздействия на изменение климата, которые приведут к концентрациям парниковых газов на уровне или ниже категории самых низких выбросов, указанных в 4-м экспертном отчете. В этих исследованиях предлагаются осуществимые пути, которые ведут к стабилизирующим уровням 400 чм СО₂ экв.

Большинство энерго-экономических моделей позволяют достичь низких уровней выбросов, однако это принципиально зависит от:

- Раннего и глобального снижения воздействия на климат, сокращения выбросов, начиная с 2013 г. и далее, и достижения глобального пика выбросов к 2020 г.
- Быстрого расширения и возможности технической реализации крупномасштабных проектов в сфере биоэнергетики, а также наличия лесных поглотителей
- Высокие уровни повышения рационального использования энергии
- Наличие технологий улавливания и хранения углерода (УХУ)

В недавнем исследовании, опубликованном Форумом энергетического моделирования (ФЭМ), изучались эти определяющие факторы осуществимости сценариев с низким уровнем выбросов. В исследовании было повторно подтверждено, что низкие выбросы могут оказаться неосуществимыми, если не будет достигнуто согласованных мер по снижению выбросов в глобальном масштабе и/или профили концентрации выбросов не смогут достичь временного пика, перед тем как пойти на спад: последнее зависит от наличия технологии улавливания и хранения углерода для достижения отрицательных выбросов в конце XXI столетия.

«Случаи, по которым моделирование климатических мероприятий было невозможно исключительно для решения по модели или в виду высокой начальной стоимости, свидетельствуют скорее об особенно высоких изменениях в энергетике и других отраслях связанных с климатом, которые может оказаться потенциально сложно реализовать, но не подразумевает отсутствие физической осуществимости.»⁸¹

3.2.1 Роль отрицательных выбросов: биотопливная энергетика с улавливанием и хранением углерода

В отчетах ЮНЕП указывается целый ряд энерго-экономических сценариев, которые достигают 2°C с вероятностью более 66% и возврат к уровню ниже 1,5°C к 2100 году с вероятностью 50%. До 2030-х эти два класса сценариев накладываются друг на друга, однако сценарий 1,5°C требует более серьезных сокращений в оставшейся части XXI столетия. Ограниченные реальными выбросами до 2010 года и возможностью энерго-экономического сокращения до 2020-х годов, сценарии 1,5°C в обязательном порядке требуют отрицательных выбросов СО₂ во второй половине XXI века (Рисунок 7). Чем позже произойдет пик выбросов, тем больше следует извлечь СО₂ из атмосферы, начиная приблизительно с 2050-х годов (Рисунок 8).

По причине медленной реакции углеродных пулов в системе Земли, большая часть выделенного СО₂ останется в атмосфере на протяжении столетий, по этой причине выбросы необходимо сократить почти до нуля, дабы стабилизировать концентрации. Тем не менее, это также означает, что концентрации снижаются медленно, если только СО₂ не извлекается из атмосферы благодаря вмешательству человека. Основная технология, предусмотренная современными моделями энергосистем для достижения этого результата, называется Улавливание и хранение углерода с помощью энергии биомассы (УХУЭБ)ⁱ. Поскольку биомасса берет углерод из атмосферы посредством

^h Этот раздел адаптирован из М. Шеффер и Ф.Фаллаш (Schaeffer, M. and F. Fallasch) (2010) «Осуществимость вариантов с низким уровнем выбросов углерода», Берлин, Германия, Climate Analytics, 11 июня 2010 года.

ⁱ Например: Azar et al. (2006) «Улавливание и хранение углерода из ископаемого топлива и биомасса – Затраты и потенциальная роль в стабилизации атмосферы», Climatic Change 74 (1), 47-79; Knopf et al. (2008) «Отчет о первой оценке сценариев низкой стабилизации», D-M2.6, PIK, Потсдам, Германия; Rao et al. (2008) «Сценарии IMAGE и MESSAGE ограничивающие концентрации парниковых газов на низком уровне», промежуточный отчет IR-08-020, IIASA, Лаксенбург, Австрия.

фотосинтеза, улавливая CO_2 из энергетических систем биомассы и сохраняя его под землей, она фактически вырабатывает полезные формы энергии для общества (электричество), одновременно извлекая CO_2 из атмосферы – происходит отрицательная эмиссия. Это не обязательно пример инженерной геологии: 'приведение в порядок' посредством преобразования энергии с участием УХУЭБ больше не является формой инженерной геологии, чем 'создание беспорядка' путем потребления ископаемого топлива. Важно также осознать, что извлечение CO_2 поможет разрешить проблему окисления океана, которая не решается с помощью вариантов инженерной геологии, которые влияют на потепление, например, путем уменьшения солнечной радиации, поступающей на Землю.

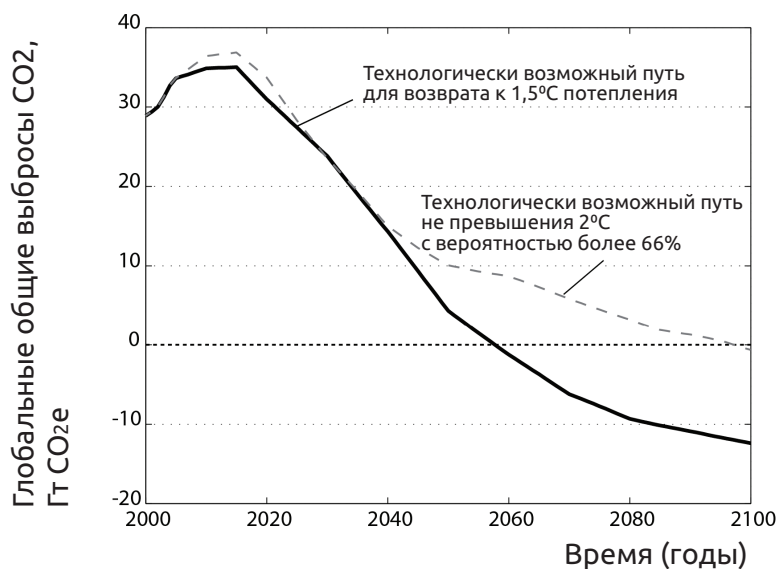


Рисунок 7. Выбросы CO_2 в сценариях 1,5°C накладываются на сценарий 2°C до 2030-х, но требуют более значительного сокращения в оставшейся части XXI века.

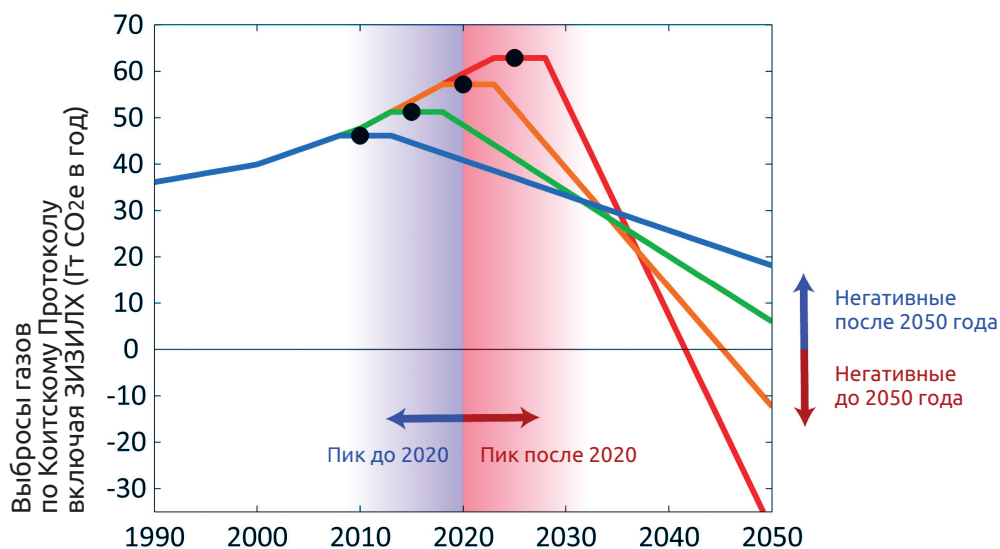


Рисунок 8. Эффект задержки сокращений выбросов 2020, но с соблюдением фиксированных кумулятивных выбросов в период до 2050 г. (отсюда фиксированная вероятность превышения температурных целей) потребует увеличить требуемый темп сокращения до 2050 г. и углубить необходимые сокращения к 2050 г. Синяя линия сопоставима со сценарием с 50%-м сокращением ниже уровня 1990 г. к 2050 году, как и синяя линия на рисунке 4. Более продолжительная задержка проиллюстрирована здесь сценарием обычного хода деятельности в течение более длительного времени (в этом случае МГЭИК SRES Marker scenario A2).

Растущая биомасса обладает возможностью поглощать углерод из атмосферы в земных экосистемах путем изменения сельскохозяйственной практики и управления лесными ресурсами. Кроме того, биомасса в форме биотоплива рассматривается в качестве замены ископаемым видам топлива в транспортном и энергетическом секторах с почти нейтральным балансом CO₂. Если такое использование объединить с улавливанием и хранением углерода, система обладает потенциалом формирования отрицательных чистых выбросов CO₂ в течение всего жизненного цикла процесса. В этой системе улавливания и хранения углерода с помощью энергии биомассы (УХУЭБ) CO₂, изолированный в ходе роста биомассы до сбора урожая, только частично повторно высвобождается в атмосферу, тогда как остальная часть сохраняется в течение времени сопоставимого с геологическими масштабами.

Степени этических, политических, экологических и законодательных преград для необходимого кардинального пересмотра современных практик землепользования проходят обсуждения, однако технического потенциала может быть достаточно для снижения концентраций CO₂ до текущих значений к концу XXI столетия^l. С инженерной точки зрения, необходимо сочетание двух систем, обе из которых в данное время исследуются в целом ряде проектов. Различные биоэнергетические системы уже применяются в коммерческом масштабе, или же достигли фазы коммерческого использования. Необходимо более активно проводить пробную эксплуатацию технологии УХУ, а также дальнейший научный и инженерный анализ выбросов полного жизненного цикла УХУ и связанных расходов. Последнее важно, если речь идет о более промышленном подходе к достижению отрицательных выбросов. Непосредственное улавливание CO₂ из воздуха^k путем химических процессов рассматривается некоторыми в качестве «крайней» технологии снижения концентрации CO₂ ниже опасного уровня, как только данные наблюдений и научный прогресс сделают это необходимым. Текущие прогнозы стоимости высоки, однако они могут быть по-прежнему выше, если необходимо достичь сравнительно невысокого уровня концентрации CO₂ без таких технологий. Как и в случае биоэнергетических систем, улавливание углекислого газа из атмосферного воздуха требует сочетания с УХУ для достижения отрицательной эмиссии.

Существует необходимость в активных исследовательских программах по изучению выбора между технологиями для ограничения концентрации CO₂ до низкого уровня с целью определения возможных синергий и конфликтов между: улавливанием и хранением ископаемого углерода, улавливанием и хранением углерода биомассой, системами возобновляемой энергии и мерами по энергоэффективности. Темпы развития возобновляемых источников энергии в последние годы просто поразительны и свидетельствуют о том, что во многих рынках возобновляемая энергия (в форме энергии ветра) – один из наилучших краткосрочных вариантов для расширения в сфере снабжения электроэнергией. С учетом снижения цен на фотоэлектрические системы на многих рынках, ожидается паритет энергосистем в течение следующих 5-10 лет, что может революционизировать рынок в этой сфере. Масштабная программа исследования, охватывающая технологические, экономические и законодательные и нормативные вопросы, не должна вступать в противоречие с краткосрочной необходимостью внедрения технологий, которые сокращают выбросы.

В дополнение к законодательным вопросам, возникающим относительно технологии улавливания и хранения углерода (УХУ) в целом, ряд социальных, правовых и законодательных вопросов касаются в частности сочетания УХУ с биомассой в системах УХУЭБ^l:

- Недавний биотопливный бум демонстрирует две стороны вопроса: возможность краткосрочного, крупномасштабного развертывания биоэнергетики, а с другой

j В качестве обзора энергетических систем involved и их потенциалов в стратегии по снижению концентрации CO₂, см. например, П. Рид (Read, P.) (2008) «Управление запасами углерода в биосфере: решение угрозы резкого изменения климата в течении нескольких следующих десятилетий: статья редактора», *Climatic Change* 87, 305-320, и замечания Родоса и Кита (Rhodes and Keith) по документу Рида (2008) «Биомасса с улавливанием: отрицательные выбросы в рамках социальных и экологических ограничений: комментарий редакторов», *Climatic Change* 87, 321-328

k Для проведения обсуждения информации, см. Jones, N., *Nature* 458, 30 апреля 2009 г., 1094-1097.

l Для обсуждения, см. Родос и Кит (Rhodes and Keith) (2008) «Биомасса с улавливанием: отрицательные выбросы в рамках социальных и экологических ограничений: комментарий редакторов», *Climatic Change* 87, 321-328

– возможность вызвать фундаментальные социальные проблемы, в том числе искажение цен на мировых продовольственных рынках и экологические проблемы. Последние являют собой проблемы законодательного регулирования конкурирующих землепользователей, в том числе производство пищевых продуктов и кормов, и охрану природы. Технологический вызов заключается в переходе от нынешнего поколения технологий использования энергии биомассы к технологиям, в основе которых лежат древесные растения, которые не конкурируют в сфере производства пищевых продуктов, как это имело место в первом поколении систем биомассы.

- С учетом географического распределения продуктивных земель, крупномасштабное разворачивание производства биомассы, скорее всего, потребует значительных территорий в развивающихся странах. Реализация эффективной системы УХУЭБ требует коммерциализации технологии производства древесных растений для производства энергии, которая бы не имела отрицательного воздействия на производство пищевых продуктов или водоснабжение, а также технологию улавливания и хранения углерода. Во второй половине этого столетия улавливание и хранение углерода при помощи биомассы представляется необходимым для достижения низких концентраций CO_2 . Если мы хотим внедрить существенные технологии для достижения отрицательных выбросов после 2050 г. потребуются существенные инвестиции в исследования, разработку, демонстрацию и коммерциализацию задолго до этого. Поэтому потребуются увеличенные инвестиции в исследования и разработку технологий улавливания и хранения углерода, а также экологически устойчивые пути выращивания, производства и транспортировки биотоплива. Для того, чтобы разработать технологии до требуемого масштаба, потребуется в течение нескольких десятилетий внедрение в энергетические системы технологий, разработанных для достижения отрицательных выбросов CO_2 . Роль и потенциал данной технологии необходимо будет сопоставить с ролью улавливания и хранения ископаемого углерода для проверки каких-либо конфликтов или синергий между системами биотоплива и ископаемого топлива. В краткосрочной перспективе (с 2020-х по 2030-ые годы), улавливание и хранение углерода посредством биомассы не будет играть значительной роли в сокращении выбросов в атмосферу, хотя то, что происходит в этот период, может оказаться довольно фундаментальным явлением в долгосрочной перспективе для быстрого снижения концентраций CO_2 , в зависимости от способности масштабировать эту технологию.

Истинная технологическая осуществимость технологии отрицательных выбросов в данное время не установлена. Существует необходимость в усовершенствованной исследовательской программе для изучения всех аспектов этой технологии, включая принципы и мероприятия, требуемые для ее внедрения на энергетических рынках и исследования синергий и возможных конфликтов между технологиями производства биомассы и улавливания и хранения ископаемого углерода.

В то время как успешное внедрение технологий улавливания и хранения углерода помогло бы снизить выбросы CO_2 в долгосрочной перспективе, оно создает опасность для программ климатоохранных действий в краткосрочной перспективе. В виду необходимости принимать решения по строительству крупномасштабных новых электростанций, работающих на угле, могут быть использованы аргументы, что эти технологии могут быть усовершенствованы и доработаны посредством технологии улавливания и хранения углерода, как только будет доказано, что эта технология жизнеспособна и пригодна для использования в широком масштабе.

Последнее не так уж несомненно и неудача с полномасштабным внедрением улавливания и хранения углерода в ближайшей перспективе сделает электроэнергетическую систему зависимой от недавно построенных электростанций, работающих на угле без УХУ на следующие 30 или 40 лет эксплуатации, тогда как во многих случаях этого можно было бы избежать благодаря расширению в настоящее время потенциала возобнов-

ляемой энергетики и энергоэффективности. Другим вопросом касательно дооснащения электростанций, равно как и модернизации, является то, что потенциал УХУ может быть заполнен углеродом, уловленным из электростанций на ископаемом топливе, тогда как это потенциал мог бы позже потребоваться для систем УХУЭБ.

3.2.2 Роль атомной энергетики

Поэтапное сокращение атомных мощностей, как предусмотрено для Германии, открывает возможность (в случае сочетания с умной инвестиционной стратегией) добиться полной декарбонизации к 2050 году. Различные исследования показывают, что переход к полностью возобновляемой энергетической инфраструктуре возможен за относительно короткий отрезок времени^м. Япония, возможно, также пойдет этим путем, как было заявлено высокопоставленным правительственным представителем Юкио Эдано после событий, связанных с аварией на АЭС «Фукусима», хотя имеются различные сигналы относительно их будущей стратегии, поскольку:

«Стремление к солнечной энергетике, биоэнергетике и другим чистым источникам энергии станет основным стержнем правительственной стратегии восстановления, которая будет разработана для сфер, пострадавших от массивного землетрясения и цунами после самого ужасного ядерного инцидента в истории страны»^о.

Если возможность трансформирования электроэнергетического сектора будет реализована, то воздействие на выбросы CO₂ окажется позитивным в средне- и долгосрочной перспективе. Что касается Германии, например, то различные исследования приходят к выводу, что в довольно короткий срок возможно достичь энергетического сектора без атомной электроэнергетики, что также принесет пользу климату за счет усиления мер в сфере энергоэффективности и увеличения возобновляемой энергии»^о.

Возможности еще выше там, где такое изменение стратегии ведет к замене вновь запланированных атомных мощностей. В виду высоких капитальных затрат на атомные электростанции такая же экономия средств может быть перенаправлена на источники энергии с низкими выбросами углерода, инфраструктуру интеллектуальной энергосистемы и системы управления потреблением, и дать более значительное снижение выбросов за те же средства. Каждый доллар, потраченный на новый реактор дает в 2-10 раз меньше экономии углерода, в 20-40 раз медленнее, чем если бы он был потрачен на более дешевые, быстрые, безопасные решения: рациональное использование электричества, производство электроэнергии и тепла вместе на заводах или в зданиях («когенерация»), и возобновляемые источники энергии^п. Атомная энергетика также одна из немногих энергетических технологий, которая демонстрирует отрицательное накопление опыта: иными словами, рост расходов вместо их снижения с течением времени^q.

Характеристика инфраструктуры атомной энергетики и обсуждаемые здесь инвестиции играют роль в энерго-экономическом моделировании оптимальных – с точки зрения затрат – сценариев сокращения выбросов в 21-м столетии. Атомная энергетика присутствует как один из видов энергетики в целом ряде неископаемых источников энергии в большинстве сценариев по сокращению выбросов, нацеленных на ограничение выбросов до уровня совместимого с потеплением на 2°C. Например, в документе МЭА «Перспективы энергетической технологии 2010», атомная энергетика обеспечивает 6% сокращения выбросов от исходного уровня необходимых к 2050 году для

^м См., например: Ф. Метьюз и другие (Matthes, F. et al.) (2011). «Schneller Ausstieg aus der Kernenergie in Deutschland. Kurzfristige Ersatzoptionen, Strom- und CO₂-Preiseffekte»; П.Д. Шварцман и Д.В. Шварцман (Schwartzman, P.D. and D.W. Schwartzman) (2011). Переход к солнечной энергетике возможен.

^п Kyodo News, 29 March 2011. <http://english.kyodonews.jp/news/2011/03/81780.html>

^о Greenpeace Germany (2011). «Der Plan: Ein aktuelles Energiekonzept für Deutschlands Atomausstieg bis 2015»; Matthes, F. et al. (2011)

^п см., например, Амори Ловинс на http://www.huffingtonpost.com/amory-lovins/nuclear-power-fukushima-_b_837643.html

^q Grubler, A. The costs of the French nuclear scale-up: A case of negative learning by doing. Energy Policy 38, 5174-5188 (2010)

достижения сценария 2°C^г. Широкое взаимное сравнение энерго-экономических моделей и сценариев^с показало, что

«Атомная энергетика не играет важную дополнительную роль в сценариях сокращения выбросов в любой из моделей. Единственная роль, которую она играет – это в базовых уровнях выбросов, в которых она привлекательна в большинстве моделей. Закрепление атомной энергетике в ее базовых значениях приводит только к маргинальному увеличению расходов. Однако при свертывании атомной энергетике расходы возрастают. Как бы то ни было, эти расходы меньше, чем в случае весьма ограниченного экономического потенциала УХУ».

Поэтому необходимые объемы по снижению выбросов возможны без атомной энергетике, но их достижение зависит от структурного долгосрочного выбора: равномерные сокращения выбросов с несколько более высокими затратами или несколько меньшие объемы сокращения при равных затратах. Недавний экономический анализ показал, что данная оценка вписывается в энерго-экономическую базовую структуру моделирования, свидетельствуя о том, что экономическое влияние введения жесткого углеродного бюджета на экономику – это эффект первого порядка, и более значительный, чем ограничительная политика в сфере атомной энергетике⁸².

3.3 Обзор реакции климата на сценарии выбросов

В предыдущих разделах давался обзор ограничений климатической системы и энерго-экономические факторы для возможности удержать потепление на уровне 1,5°C. В итоге:

- Сдерживание глобального потепления ниже 2°C физически возможно
- Аналогично, возврат потепления к уровню ниже 1,5°C к 2100 году физически возможен после временного превышения порога в 2050-х
- Технологически и экономически осуществимые сценарии, которые позволяют достичь целей 1,5 и 2°C опубликованы в научной литературе
- В краткосрочной перспективе, сценарии не превышения 1,5°C и 2°C взаимно перекрываются до 2030-х гг. После этого для достижения порога в 1,5°C необходимы более активные сокращения выбросов
- Сокращения выбросов требуемые к 2020 г. для того, чтобы сдержать потепление на уровне 1,5°C и 2°C осуществимы и могут быть достигнуты при умеренных затратах с применением только хорошо известных технологических вариантов
- Сокращения наиболее осуществимы, если начать действовать до 2015 г.: чем больше отсрочка, тем сложнее и дороже добиться результата
- Важные технологии для периода после 2020 г., определенные как «необходимые для повышения вероятности удержания потепления на уровне ниже 2°C и возвращения ниже 1,5°C» требуют дальнейшего изучения и осмысления
- Принимая во внимание неопределенности, связанные с крупномасштабными возможностями разных технологий, задержка с принятием мер по сокращению выбросов является рискованной в виду сокращения гибкости в выборе внедрять или нет различные технологии в будущем: чем дольше задержка в действиях по сокращению выбросов, тем меньше мир может себе позволить НЕ разворачивать определенные технологии.

г МЭА. (2010). Перспективы энергетической технологии. Международное энергетическое агентство (МЭА), Париж, Франция, 18 стр.

с Edenhofer, O., Knopf, B., Barker, T., Baumstark, L., Bellevrat, E., Chateau, B., Criqui, P., Isaac, M., Kitous, A., Kypreos, S., Leimbach, M., Lessmann, K., Magne, B., Scricciu, S., Turton, H. and van Vuuren, D. (2010). «Экономика низкой стабилизации: модельное сравнение компенсационных мер и расходов», The Energy Journal 31(специальное издание): 11-48.

Чтобы показать в перспективе обсуждаемые выше сценарии, мы показываем на рисунках 9-12 прогнозы для других климатических показателей, используя те же сценарии выбросов, которые были использованы для прогнозирования потепления на рисунке 5.

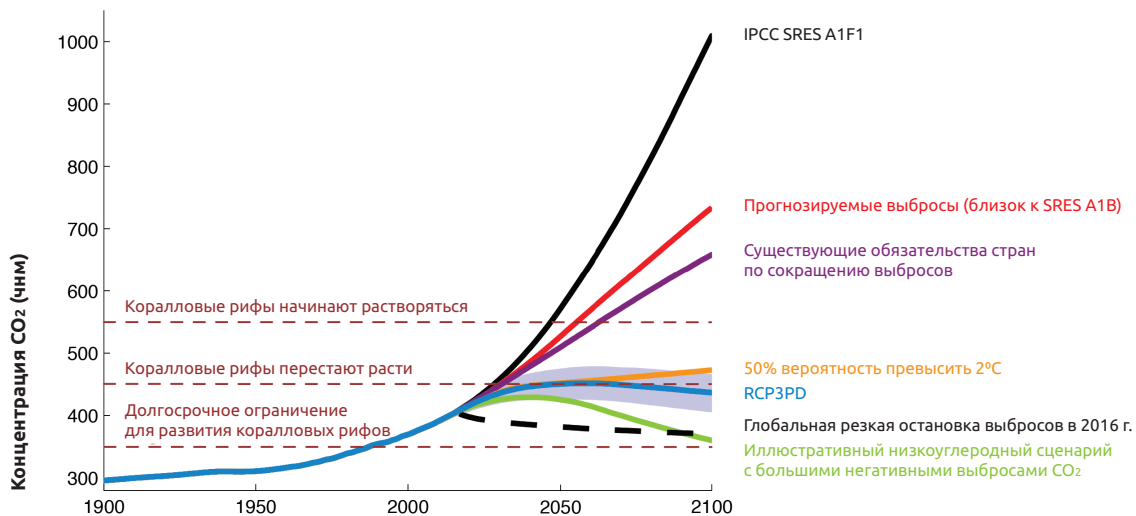


Рисунок 9. Аналогичен Рисунку 4 для концентрации CO₂ в атмосфере. Пороги выживания коралловых рифов взяты из Silverman et al. (2009) и Veron et al. (2009)^{49,71}.

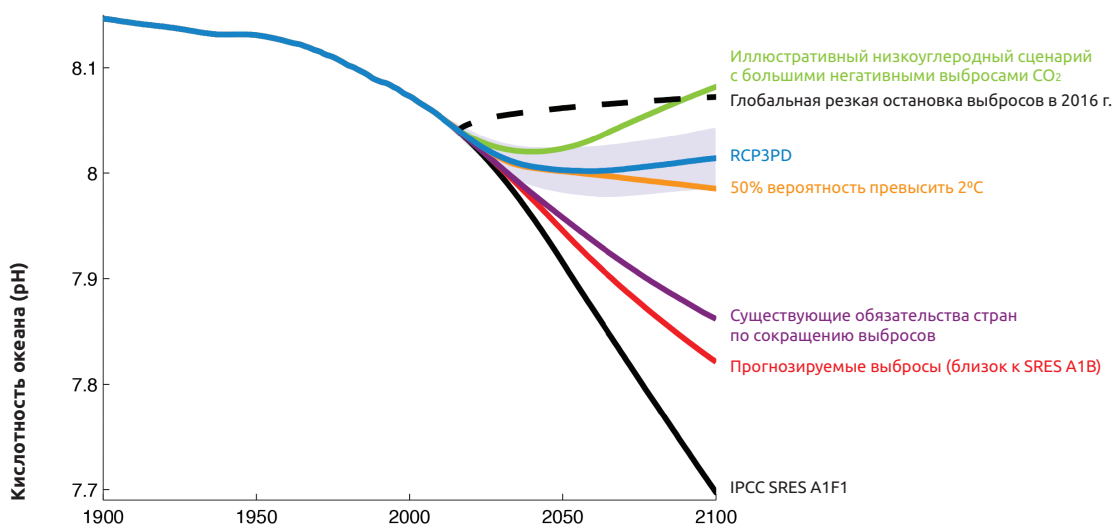


Рисунок 10. Аналогичен рисунку 4 для уровня pH поверхности океана. Снижение pH свидетельствует о более серьезном окислении океана, что замедляет рост организмов, использующих кальций, включая моллюсков, известковый фитопланктон и коралловые рифы. Метод для оценки pH от Vernie et al. (2010)⁸³.

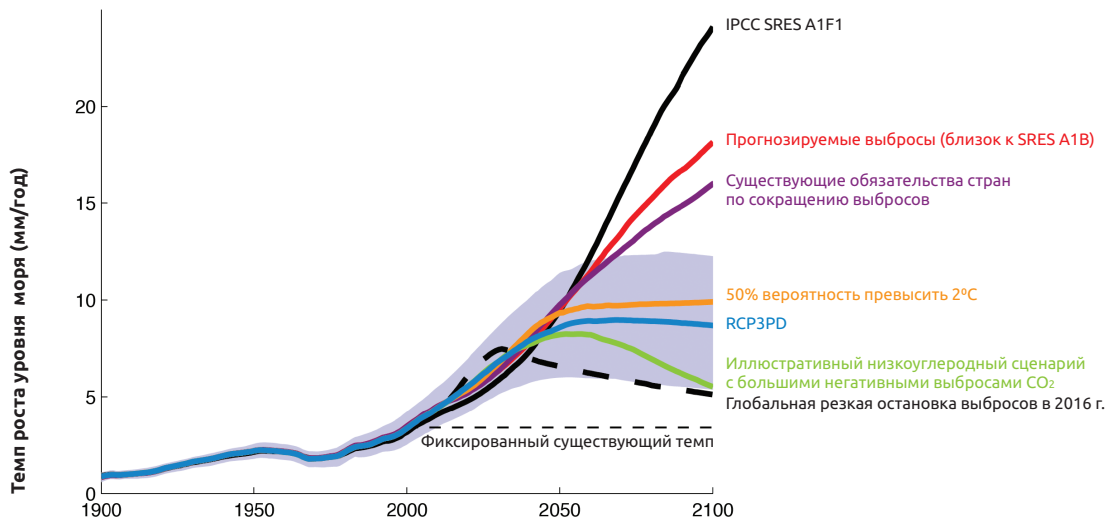


Рисунок 11. Аналогичен рисунку 4 по ежегодному темпу среднемирового подъема уровня моря. Ориентировочный/фиксированный современный темп составляет 3,3 мм/год – средний темп 1993-2007 гг. на основе спутниковых исследований⁸⁴.

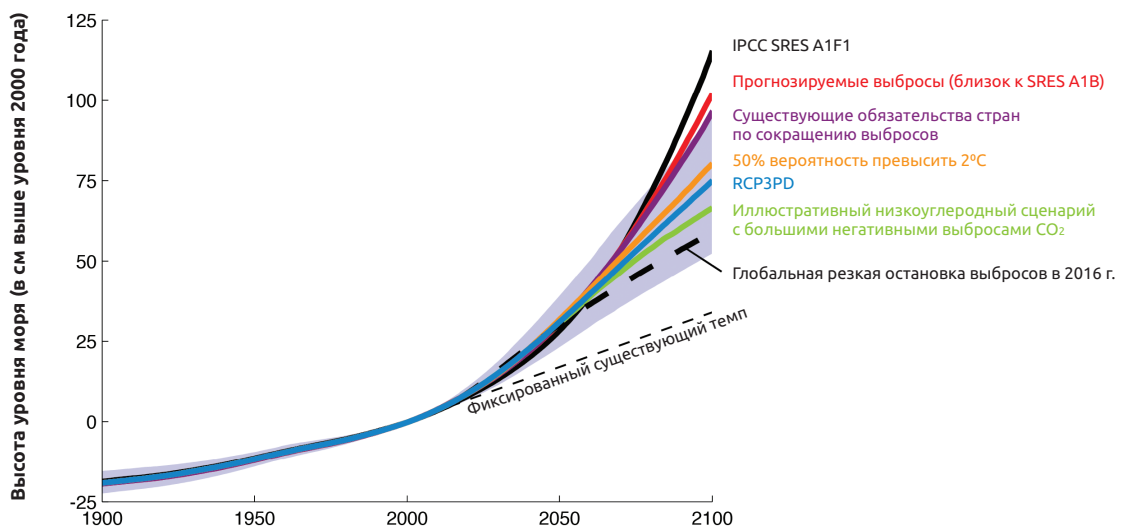


Рисунок 12. Аналогичен рисунку 4 касательно среднемирового повышения уровня моря выше уровней 2000 г. «Фиксированный современный темп» иллюстрирует подъем уровня моря в XXI веке, если гипотетически средний темп равен темпу, наблюдаемому спутниками в период с 1993 по 2007 гг.⁸⁴.

4 Уровень предложений по сокращению выбросов

4.1 Предложенные обязательства на 2020 г. и уровни выбросов, совместимые с потеплением на 1,5°C

Как объяснялось в предыдущем разделе, сценарии для удержания потепления на уровне 1,5° и 2°C взаимно накладываются до 2030-х. В последние годы UNEP координировало научные отчеты о глобальных уровнях выбросов до 2020 г^t. Ученые, занимавшиеся подготовкой отчетов, приблизительно подсчитали, что существует большой разрыв («Разрыв в уровне выбросов»). Этот разрыв с одной стороны, существует между уровнем глобальных выбросов 2020 г., рассчитанный исходя из современных обязательств по сокращению выбросов, взятых на себя странами, и с другой стороны, более низким уровнем выбросов 2020 г. необходимым для обеспечения долгосрочного осуществимого варианта сдерживания потепления на уровне ниже 2°C. В отчетах также показано, что после 2020 г. этот вариант перекрывается вариантом, при котором в долгосрочной перспективе достигается потепление 1,5°C, как упоминалось ранее.

Разрыв в уровне выбросов был оценен в 8-13 ГтСО₂экв. Это однозначно показывает, что предлагаемые странами в данное время сокращения выбросов на 2020 г. недостаточны для того, чтобы мир смог вернуться к сценарию 1,5 или 2°C. В отчете далее указывается, что необходимо избежать двойного учета кредитов МЧР, дабы предотвратить увеличение разрыва до 2 ГтСО₂экв. Двойной учёт МЧР происходит, когда единовременное сокращение выбросов, достигнутое конкретными проектами МЧР, заявляется как сокращение выбросов развитой страной, обеспечивающей финансирование, а также развивающейся страной, которая проводит проект.

Разрыв в уровне выбросов 2020 относится к дальнейшим сокращениям необходимым для того, чтобы обеспечить миру шанс удержать потепление ниже 2°C с вероятностью 66%, согласно терминологии МГЭИК. В отчете UNEP заявляется, что чем выше будут выбросы в 2020 году, тем более дорогостоящими впоследствии окажутся мероприятия по их сокращению, и тем больше придется надеяться на технологии, которые еще не внедрены в крупном масштабе. В недавнем отчете Международного энергетического агентства «Перспективы мировой энергетики 2011» получены те же выводы и заявляется, что «Задержка с принятием мер – ложная экономия: на каждый \$1 инвестиций, не сделанных до 2020 г., потребуется потратить дополнительные \$4,3 после 2020 г., дабы компенсировать возросшие выбросы.»

4.2 Варианты преодоления разрыва в уровне выбросов 2020

UNEP, Международное энергетическое агентство^u и другие организации предоставили четкие рекомендации относительно того, как преодолеть Разрыв в уровне выбросов 2020:

- 1) Увеличить мировую долю возобновляемых источников энергии с современных 10% до 15% к 2020 г. Это поможет закрыть разрыв на 4 ГтСО₂. Дальнейшее увеличение доли до 20% позволит полностью закрыть разрыв.
- 2) Активизировать повышение энергоэффективности, которое бы имело серьезное влияние на мировую энергетику и тенденции климата и отсрочило бы установление высокого уровня выбросов с 2017 до 2022 г.
- 3) Сократить субсидии на ископаемые виды топлива для уменьшения глобальных выбросов на 2 ГтСО₂ до 2020 г.
 - Ликвидация субсидий сокращает спрос на ископаемое топливо и выбросы.
 - Субсидии на потребление ископаемого топлива во всем мире составили \$409 млрд. В 2010 г. и могут вырасти до \$660 млрд. В 2020 г.

^t UNEP (2010) «The Emissions Gap Report. Are the Copenhagen Accord Pledges Sufficient to Limit Global Warming to 2° C or 1.5° C? A preliminary assessment», United Nations Environment Programme, Nairobi, Kenya; UNEP (2011) «Bridging the Emissions Gap. A UNEP Synthesis Report», United Nations Environment Programme, Nairobi, Kenya; UNEP (2012) «Bridging the Emissions Gap 2012. A UNEP Synthesis Report», United Nations Environment Programme, Nairobi, Kenya.

^u МЭА (2011) «Перспективы мировой энергетики 2011», Париж, Франция

- Субсидии на возобновляемые источники энергии составили всего лишь \$66 млрд. В 2010 г.
- 4) В контексте международных переговоров:
- Реализация максимальных обязательств из интервала, заявленного странами^v. Это сократит разрыв на 2 ГтCO₂экв.
 - Минимизация использования кредитов ЗИЗИЛХ и кредитов на излишки выбросов. Это сократит разрыв приблизительно на 3 ГтCO₂экв.
 - Минимизация использования излишков единиц установленного количества с киотского периода 2008-2012 гг. Это сократит разрыв на 1.8 ГтCO₂экв.
 - Избежание двойного подсчета разрешений на выбросы и улучшение дополнительности проектов МЧР. Это сократило бы разрыв почти на 1,5 ГтCO₂экв.
 - Сокращение выбросов от международных морских и авиаперевозок.

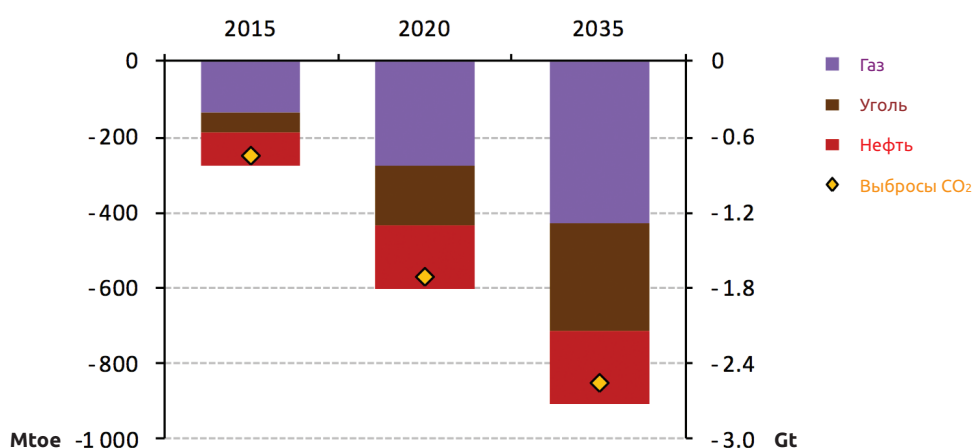


Рисунок 13. Влияние свертывания субсидий на потребление ископаемых видов топлива на глобальное потребление энергии и выбросы CO₂, 2012-2035. Источник: «Совместный отчет МЭА, ОПЕС, ОЭСР и Всемирного банка о субсидиях на ископаемое топливо и других энергетических субсидиях: Обновление обязательств G20 и Питсбурге и Торонто» Подготовлен для встречи Министров финансов и руководителей центральных банков G20 (Париж, 14-15 октября 2011 г.) и саммита G20 (Канны, 3-4 ноября 2011 г.)

4.2.1 Взаимодополняющие меры

В обсуждении Разрыва в уровне выбросов, несколькими источниками было сделано предположение, что «взаимодополняющие меры» могли бы помочь закрыть разрыв, включая меры по непродолжительным климатообразующим факторам (НКФ), таким как метан, гидрофторуглероды и углерод. Что касается метана и ГУФ, важная информация о «взаимодополняющих мерах» состоит в том, являются ли эти меры дополнением к сокращениям, достигнутым при реализации обязательств, и ведут ли они в целом к более значительным сокращениям выбросов. Если да, то «взаимодополняющие меры» помогут, при этом не должно быть возражений против включения таких более глубоких сокращений выбросов метана или ГУФ в общие обязательства по сокращению выбросов и тем самым увеличения общего уровня обязательств.

С другой стороны, сокращение выбросов сажи и сопутствующих загрязнителей воздуха имеет очень неопределенное воздействие на климат и его долгосрочная климатическая выгода в лучшем случае частична в дополнение к тому, что достигнуто в случае развития по сценарию низких выбросов углерода (см. Раздел 3.1.1). Уже имеются крупные выгоды от сокращения выбросов загрязнителей воздуха в результате системного преобразования сектора энергетики для достижения низкоуглеродного сценария развития, поскольку свертывание деятельности и технологий, основанных на ископаемых видах топлива, исключают совместно выбрасываемые загрязнители. Учитывая крупные выгоды для здоровья и прочие выгоды от улучшения качества воздуха, это снижает чистые затраты на меры по сокращению выбросов CO₂^{85,86}.

^v Некоторые страны заявляют про верхнюю и нижнюю грань обязательства при различных условиях соглашения. (ред. дополнение)

Напротив, более быстрые сокращения выбросов загрязнителей воздуха, кроме тех, которые достигнуты лишь вследствие энергосистемного преобразования, дают относительно мало для снижения потепления, даже когда исключить сравнительно быстрые мероприятия по выбросам SOx. Тем не менее, такие значительные сокращения выбросов загрязнителей воздуха все же имеют выгоды для здоровья и т.д.

Несмотря на то, что некоторые дополняющие меры могут оказаться полезными в дополнение к текущим обязательствам, с точки зрения реализации эффективных стратегий сокращения выбросов был использован очень бесполезный аргумент, например, что такие меры могут быть реализованы, чтобы «выиграть время» и выяснить, какие меры принимать в отношении CO₂. Однако картина ясна в отношении энерго-экономических мероприятий необходимых для сокращения выбросов CO₂, поэтому нет нужды выигрывать время, чтобы «выяснить» это. Более того, климатические модели показывают, что даже задержка всего лишь на 10 лет в сокращении выбросов CO₂ ведет к потеплению после 2050 г., которое количественно больше, чем любое сокращение непродолжительных климатообразующих факторов, сейчас или в будущем^w, (см. Рисунок 6). Без значительных сокращений CO₂ рассматриваемые здесь цели не могут быть достигнуты. Об этом важно помнить поскольку в некоторых случаях существует путаница относительно роли выбросов не связанных с CO₂ в сдерживании потепления на уровне 1,5° или 2°C.

4.2.2 Разрыв в амбициях или разрыв в участии?

Без сомнения, усилия необходимые для преодоления глобального разрыва в уровне выбросов потребуют политической воли всех стран. Тем не менее, неприкрытая реальность разрыва в уровне выбросов побудила некоторые делегации РКИК ООН, включая США, выдвинуть аргумент, почему разрыв в уровне выбросов не является ключевой проблемой: *вместо «разрыва в амбициях» существует «разрыв в участии»: необходимые глобальные сокращения выбросов к 2020 г. будут достигнуты, если стороны, не взявшие на себя обязательства по сокращению выбросов, сделают это.*

На стороны, которые все еще не установили для себя цели по сокращению выбросов, приходится около 20% мировых выбросов. Максимум, вклад для преодоления Разрыва в уровне выбросов 2020 в размере около 1 ГтCO₂экв. можно ожидать в случае полного участия этих сторон, если они возьмут обязательства с максимальным уровнем в текущих заявленных амбициях уже участвующих сторон Приложения I, даже с соблюдением суровых правил отчетности. Ясно, что «Разрыв в амбициях» составляющий 6-11 ГтCO₂экв. – это гораздо более обширная проблема, чем «Разрыв в участии» максимально оцениваемый на уровне 1 ГтCO₂экв.

Хорошим примером для сравнения являются США, на долю которых приходится около 16% современных выбросов. Текущее обязательство США на 2020 г. составляет 17% ниже 2005 г., что равняется около 3% ниже 1990 г. Это значительно меньше диапазона сокращения выбросов в 25-40%, оцененного в 4-м экспертном отчете МГЭИК, который требуется от стран Приложения I, а также выше их обязательства -7% ниже уровней 1990 г. связанных с Киотским протоколом, который США подписали в 1997 г., но так и не ратифицировали. По сравнению с текущим обязательством США на 2020 г. (17% ниже уровня 2005 г.), глобальный Разрыв в уровне выбросов был бы сокращен на 1-2 ГтCO₂экв. лишь одним только повышением обязательства США по снижению выбросов до 25-40% ниже уровня 1990 г.

^w Б. Харе, М. Шеффер, Дж. Роджели, Н. Хьоне, К. Блок, К. Ван дер Лун и Н. Харрисон (Hare, B., M. Schaeffer, M. Rocha, J. Rogelj, N. Hohne, K. Blok, K. van der Leun and N. Harrison (2012) «Преодоление разрыва в уровне выбросов 2020: проблемы, варианты и стратегии», Берлин, Германия, Climate Analytics and Ecofys.

4.3 2030-2050 и далее

После 2020 г. сокращения выбросов должны происходить интенсивнее, как видно из Рисунка 7. Для достижения уровня 2°C (с вероятностью около 60%) к 2050 году мировые выбросы должны быть сокращены приблизительно на 50% ниже уровня 1990 г., включая выбросы от вырубки лесов, международного морского и авиационного транспорта (еще называют «бункерное топливо»). Климатические прогнозы для такого пути развития показаны на Рисунках 4 и 9-12 синей линией.

В случае сценария 1,5°C сокращения должны быть более активными. Насколько активнее зависит от того, насколько быстро требуется, чтобы потепление упало ниже 1,5°C. В случае варианта с 50% шансами достижения пика ниже 1,5°C, глобальные сокращения выбросов к 2050 году должны составлять около 80% от уровней 1990 г. а пик мировых выбросов должен произойти в течение следующих 5 лет. Последнее подразумевает отсутствие гибкости в отношении задержки участия некоторых стран. Этот путь не превышения 1,5°C проиллюстрирован зеленой линией на Рисунках 4 и 9-12.

С другой стороны, можно рискнуть и временно превысить 1,5°C и снизить до 1,5°C вскоре после 2100 г. Очевидно, что это более рискованно, поскольку зависит от наших текущих наилучших оценок обратимости курса потепления климатической системы. Некоторые механизмы могут помешать этому: в недавнем исследовании выдвигается предположение, что преодоление порога крупномасштабного распада гидратов метана океанского ложа может вызвать структурное высвобождение метана в количестве достаточном для того, чтобы не произошло падение потепления ниже 2°C на многие столетия или даже тысячелетия⁸⁷, даже если антропогенные выбросы будут устранены. Также в течение отрезка времени превышения лимита потепления может произойти превышение важных критических точек, как показано в Разделе 2. Некоторые могут оказаться устойчивыми к временному преодолению порога потепления, однако в отношении других обратимость, в лучшем случае, сомнительна, а потери в биологическом разнообразии, например, являются невозполнимыми с точки зрения временных рамок человечества. Если принять такие риски, один иллюстративный вариант потребовал бы к 2050 году глобальных сокращений сравнимых с вариантом 2°C (50% к 2050 году), однако чтобы компенсировать высокие выбросы до 2050 года, глобальные темпы извлечения CO₂ из атмосферы после 2050 должны быть на самой границе того, что в данное время считается осуществимым в отношении разворачивания и потенциала технологий УХУЭБ – и поддерживать по крайней мере в течение столетия. Поэтому такой вариант не только рискован с точки зрения климатической системы, но и с точки зрения осуществимости и потенциала технологий по удалению CO₂.

5 Роль Европы в варианте потепления на 1,5°C

5.1 Страны Приложения I в сравнении со странами, не входящими в Приложение I

Как объясняется в разделе 4.3, к 2050 году для достижения лимита 1,5°C в долгосрочной перспективе глобальные выбросы следует сократить, по крайней мере, на 50%, а для обеспечения менее рискованного варианта, вероятно на 80% ниже уровня 1990 г.

Несмотря на важность уровней 2020 г., уровни в середине столетия играют важную роль в достижении порога 1,5 или 2°C. Для двух концов этого глобального диапазона снижения выбросов к 2050 г., в таблицах 1 и 2 мы показали, что выбросы стран Приложения I следует снизить до 85-95% ниже уровня 1990 г., допуская, что развитые (Приложение I) и развивающиеся (не входящие в Приложение I) страны достигнут одинаковых выбросов на душу населения к 2050 году, в качестве очень простого мерил справедливости. Очевидно, что данный показатель не учитывает исторической ответственности и прочие более сложные соображения справедливости, которые в некоторых случаях подразумевали льготы на отрицательные выбросы для развитых стран⁸⁹. Некоторые из таких более изощренных соображений также подразумевали бы принятие некоторыми развивающимися странами (например, «новыми промышленно развитыми странами» и «быстро индустриализирующимися странами») обязательств по более значительным сокращениям выбросов ниже уровня 1990 г. к 2050 году, тогда как, например, наименее развитые страны были бы освобождены от этого⁹⁰.

5.2 Неужели сокращений выбросов «Дорожной карты ЕС» к 2050 г. достаточно?

«Дорожная карта снижения выбросов углерода и энергопотребления до 2050 г.» Европейской Комиссии – документ⁹¹, в котором подробно описаны сценарии достижения обязательства ЕС по сокращению выбросов парниковых газов на 80-95% ниже уровня 1990 г. к 2050 году. Тем не менее, как указывается в сопроводительном документе⁹², по этому сценарию достигается сокращение лишь на 80% к 2050 году. Как уже отмечалось выше, страны Приложения I как группа нуждается в сокращении выбросов до уровня 85-95% ниже 1990 г. к 2050 году, таким образом, обязательство ЕС в принципе согласуется с целью 1,5°C, однако сокращения достигаемые в рамках Энергетической дорожной карты несколько не достигают цели. С учетом более сложных соображений справедливости, обязательство ЕС, наверняка, должно быть более амбициозным. Это значит, что само обязательство ЕС, а также сокращение выбросов, совместимое с 1,5°C, должно полагаться на продолжительную торговлю углеродными квотами.

х Включая такие страны как Аргентина, Бразилия, Китай, Индия, Индонезия, Мексика и Южная Африка

Таблица 1

Сокращение глобальных выбросов до 50% ниже уровня 1990 г. к 2050 году налагает ограничение на выбросы как стран Приложения I, так и стран, не входящих в Приложение I. Только если выбросы стран Приложения I сократятся до 85% ниже уровня 1990 г., выбросы на душу населения двух групп сойдутся к 2050 году.

	2050	2050	2050	2050	2050
Сокращение выбросов стран Приложения I с 1990 г.	60%	80%	85%	95%	100%
Глобальные сокращения выбросов с 1990 г.	50%	50%	50%	50%	50%
Сокращения выбросов стран, не входящих в Приложение I, с 1990 г.	30%	0%	<i>рост</i> на 7%	<i>рост</i> на 22%	<i>рост</i> на 29%
Выбросы стран Приложения I на душу населения, т CO ₂ экв./чел.	5.5	2.8	2.1	0.7	0.0
Выбросы стран, не входящих в Приложение I, на душу населения, т CO ₂ экв./чел.	1.4	2.0	2.1	2.4	2.5

Таблица 2

Аналогично Таблице 1 по глобальным выбросам на 80% ниже уровня 1990 г. к 2050 году, налагающая ограничения на выбросы как стран Приложения I, так и стран, не входящих в Приложение I. Только в том случае, если выбросы Приложения-I сократятся на 95% ниже уровня 1990 г., выбросы на душу населения двух групп сойдутся к 2050 году.

	2050	2050	2050	2050	2050
Сокращения выбросов Приложения I с 1990 г.	60%	80%	85%	95%	100%
Глобальные сокращения выбросов с 1990 г.	80%	80%	80%	80%	80%
Сокращения выбросов стран, не входящих в Приложение I с 1990 г.	107%	78%	70%	56%	48%
Выбросы стран Приложения I на душу населения тCO ₂ экв./чел.	5.5	2.8	2.1	0.7	0.0
Выбросы стран, не входящих в Приложение I на душу населения тCO ₂ экв./чел.	(0.1)	0.4	0.6	0.9	1.0

6 Выводы

В данном отчете мы показали, что долгосрочная глобальная цель содействует международным переговорам и стимулирует разработку программных мероприятий сокращения выбросов по всему миру. Оценка адекватности долгосрочной цели 1,5, или 2°C зависит от уровня последствий, связанных с такими уровнями потепления.

В течении прошлого столетия и в частности последних нескольких десятилетий наблюдались признаки антропогенного изменения климата разнообразные по своему характеру, включая таяние льдов в Арктике, экстремально высокие сезонные температуры, экстремальные засухи в Средиземноморье, упадок популяций коралловых рифов и отрицательное влияние на урожаи сельскохозяйственных культур. Повышение на 1,5°C к 2100 году поможет предотвратить некоторые из самых отрицательных последствий, но по-прежнему представляет серьезную проблему в мировом масштабе, особенно в наименее развитых странах, малых островных развивающихся государствах и Африке. При потеплении от 1,5 до 2°C, прогнозируется ухудшение негативных последствий и существует риск достижения критических точек. При потеплении на 2°C, серьезные и обширные засухи будут происходить в ближайшие 30-90 лет во многих густонаселенных районах, включая южные регионы, такие как Европа, Австралия и большая часть Африки, Северной и Южной Америки. Дефицит воды и тепловая нагрузка отрицательно скажутся на урожайности в регионах, подверженных засухе, ставя под угрозу продовольственную безопасность. 10-15% видов экосистем к югу от Сахары окажутся под угрозой исчезновения, а прогнозируемое сокращение осадков в амазонских лесах может привести к существенному отступлению леса. Из-за окисления океана, рост коралловых рифов станет затруднен при концентрации CO₂ 450 частей на миллион. Этот уровень может быть достигнут к 2050 г. В случае потепления на 2°C. К 2100 году уровень моря поднимется на 80 см выше уровня 2000 года, что всего лишь на 5 см выше прогнозов сценария 1,5°C, поэтому воздействия окажутся сопоставимыми. Однако долгосрочная стабилизация при потеплении на 2°C предполагает непрерывное повышение уровня моря на протяжении веков, который может достичь 3 м к 2300 году. Порог необратимого таяния ледяного покрова Гренландии в настоящее время оценивается в 1,6°C выше доиндустриального, по сравнению с оценкой 4-го экспертного отчета МГЭИК, составляющей 3,1°C.

Современные тенденции выбросов и обязательства по их сокращению ведут к повышению температуры почти на 4°C к 2100 году. При таких уровнях потепления последствия окажутся наиболее тяжелыми, большинство из которых могут выйти за границу адаптации. Условия некоторых из самых необычных тепловых волн, имеющие место сегодня, станут новой нормой и совершенно новым классом тепловых волн с ранее никогда не наблюдавшимися магнитудами.

Это будет иметь серьезное, пока еще не определенное количественно, влияние на сельскохозяйственное производство и человеческое здоровье. Срок наступления потепления критичен, поскольку ожидается, что население мира будет расти до второй половины XXI столетия. По причине окисления океана, кораллы во всем мире, вероятно, начнут растворяться при концентрации CO₂ свыше 550 частей на миллион CO₂ (данный уровень будет достигнут к 2050 г. В случае сценария 4°C). Предполагается, что леса Амазонии сократятся до 25% от их первоначального размера, а почти 30% других тропических лесов (в центральной Суматре, Сулавези, Индии и Филиппинах) угрожает сокращение площадей. В Африке, 25-42% растений могут потерять весь пригодный ареал до 2085 г. Изменение климата может выступить катализатором стремительных сдвигов в динамичных, вышедших из равновесия экосистемах, таких как внезапное исчезновение лесов или региональная потеря сельскохозяйственной продуктивности по причине опустынивания. Последствия таких сдвигов были бы далеко идущими, начиная от серьезной потери биологического разнообразия и уменьшения растительного покрова до потери экосистемных функций. Потепление на 4°C к 2100 г., вероятно, приведет к стабилизации температур на уровне 6°C выше доиндустриального уровня в течение нескольких следующих столетий. Не существует никакой геолого-историче-

ской аналогии стремительного потепления, прогнозируемого в случае несмягченного изменения климата, и, справедливости ради, стоит отметить, что это приведет к широкомасштабному вымиранию видов в экосистемах, которое произошло 55 миллионов лет назад в ходе палеоцен-неоценового теплового максимума, когда был достигнут такой уровень потепления при меньшем темпе.

Потепление можно ограничить 1,5°C и ниже. Гипотетически, если бы в одночасье прекратились все выбросы, задержки в климатической системе и резкие изменения в атмосферном радиационном прогреве позволили бы потеплению продолжать расти до предполагаемого уровня 1,2°C выше доиндустриального, до того как начнется постепенное снижение температуры. В очень долгосрочной перспективе, предел потепления в 1,5°C требует, чтобы суммарные концентрации парниковых газов плюс воздействие аэрозолей были ниже уровня 400 чмн CO₂ экв. Поскольку мгновенное прекращение всех выбросов в мировом масштабе очевидно невозможно, любое смягчение воздействия, целью которого является 1,5°C и ниже, обязательно предусматривает профиль распределения концентрации с пиком и снижением. Энерго-экономические модели в состоянии достичь требуемого низкого уровня выбросов также без расширения использования атомной энергии, но это принципиально зависит от:

- Раннего и глобального сокращения выбросов, начиная с 2013 г. и далее, и достижения глобального пика выбросов к 2020 г.
- Быстрого расширения и возможности технической реализации крупномасштабных проектов в сфере биоэнергетики, а также наличия лесных поглотителей
- Высоких темпов повышения энергоэффективности
- Наличия технологий улавливания и хранения углерода (УХУ).

Ограниченные реальными выбросами до 2010 года и энерго-экономическим потенциалом сокращения выбросов до 2020-х годов, сценарии потепления на 1,5°C в обязательном порядке требуют отрицательных выбросов CO₂ во второй половине XXI века. Чем позже произойдет пик выбросов, тем больше следует извлечь CO₂ из атмосферы, начиная приблизительно с 2050-х годов. Поскольку биомасса берет углерод из атмосферы посредством фотосинтеза, улавливая CO₂ из энергетических систем биомассы и сохраняя его под землей, она фактически вырабатывает полезные формы энергии для общества (электричество), одновременно извлекая CO₂ из атмосферы, так происходит отрицательная эмиссия. Извлечение CO₂ также помогает ограничить окисление океанов. Так называемые «непродолжительные климатообразующие факторы» не помогают в долгосрочной перспективе, но могут замедлить краткосрочное потепление. Меры не связанные с CO₂ не следует интерпретировать как средство «выиграть время» с целью задержки сокращения CO₂. Вероятность превышения потепления на 2°C в XXI столетии более чем удваивается с 20% до 50%, если сокращение CO₂ задержится всего лишь на 10 лет, с компенсацией в ближайшем будущем посредством сокращений НКФ. Учитывая медленное удаление CO₂ из атмосферы, этот эффект будет длиться столетиями.

Международные обязательства по сокращению выбросов на 2020 г. являются неадекватными, однако остаются варианты преодолеть «Разрыв в уровне выбросов»:

- 1) Увеличить мировую долю возобновляемых источников энергии с текущих 10% до 15% к 2020 г. Это поможет закрыть разрыв на 4 ГтCO₂.
 - Дальнейшее увеличение доли до 20% позволит полностью закрыть разрыв.
- 2) Активизировать повышение энергоэффективности, что играет ключевую роль
- 3) Сократить субсидии на ископаемые виды топлива для уменьшения глобальных выбросов на 2 ГтCO₂ до 2020 г:
 - Ликвидация субсидий сокращает спрос на ископаемое топливо и выбросы
 - Субсидии на потребление ископаемого топлива во всем мире составили \$409 млрд. В 2010 г. и могут вырасти до \$660 млрд. В 2020 г.
 - Субсидии на возобновляемые источники энергии составили всего лишь \$66 млрд. В 2010 г.

4) в контексте международных переговоров:

- Реализация максимальных обязательств из интервала, заявленного странами^у. Это сократит разрыв на 2 ГтСО₂экв.
- Минимизация использования кредитов ЗИЗИЛХ и кредитов на излишки выбросов. Это сократит разрыв приблизительно на 3 ГтСО₂экв.
- Минимизация использования излишков единиц установленного количества с киотского периода 2008-2012 гг. Это сократит разрыв на 1.8 ГтСО₂экв.
- Избежание двойного подсчета разрешений на выбросы и улучшение дополнительности проектов МЧР. Это сократило бы разрыв почти на 1,5 ГтСО₂экв.
- Сокращение выбросов от международных морских и авиационных перевозок

К 2050 году глобальные выбросы следует сократить по крайней мере на 50% и, вероятно, для обеспечения менее рискованного варианта развития событий, на 80% ниже уровня 1990 г. для достижения лимита 1,5°C в долгосрочной перспективе. Несмотря на важность уровней 2020 г., уровни в середине столетия играют важную роль для достижения порога в 1,5 или 2°C. Для двух концов глобального диапазона снижения выбросов на 50-80%, выбросы стран Приложения I следует сократить до 85-95% ниже уровня 1990 г., допуская, что развитые (Приложение I) и развивающиеся (не входящие в Приложение I) страны достигнут одинаковых выбросов на душу населения к 2050 году, в качестве очень простого мерил справедливости. Не взирая на то, что обязательство ЕС по сокращению выбросов парниковых газов на 80-95% ниже уровня 1990 г. к 2050 году согласуется с вариантом 1,5°C, опубликованные сценарии для «Энергетической дорожной карты» ЕС достигают максимального сокращения выбросов на 80%.

^у Некоторые страны заявляют про верхнюю и нижнюю грань обязательства при различных условиях соглашения. (ред. дополнение)

Ссылки

- 1 Vieweg, M., Hare, B., Hohne, N., Schaeffer, M., Rogelj, J., Larkin, J., Fekete, H. & Schlessner, C.-F. 2° be or not 2° be. Climate Action Tracker Update, 30 November 2012. (Climate Analytics, PIK, Ecofys, 2012).
- 2 Schaeffer, M., Kram, T., Meinshausen, M., van Vuuren, D. P. & Hare, W. L. Near-linear cost increase to reduce climate-change risk. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 105, 20621-20626, doi:10.1073/pnas.0802416106 (2008).
- 3 Diffenbaugh, N. & Giorgi, F. Climate change hotspots in the CMIP5 global climate model ensemble. *Climatic Change* 114, 813-822, doi:10.1007/s10584-012-0570-x (2012).
- 4 Stott, P. A., Stone, D. A. & Allen, M. R. Human contribution to the European heatwave of 2003. *Nature* 432, 610-614 (2004).
- 5 Coumou, D. & Rahmstorf, S. A decade of weather extremes. *Nature Climate Change* 2, 491-496 (2012).
- 6 Coumou, D., Robinson, A. & Rahmstorf, S. Global increase in record-breaking monthly-mean temperatures. *Climatic Change* Published online 12 January 2012 (2013).
- 7 Hansen, J., Sato, M. & Ruedy, R. Perception of climate change. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, doi:10.1073/pnas.1205276109 (2012).
- 8 Karoly, D. J., Braganza, K., Stott, P. A., Arblaster, J. M., Meehl, G. A., Broccoli, A. J. & Dixon, K. W. Detection of a Human Influence on North American Climate. *Science* 302, 1200-1203, doi:10.1126/science.1089159 (2003).
- 9 Stott, P. A., Jones, G. S., Christidis, N., Zwiers, F., Hegerl, G. & Shiogama, H. Single-step attribution of increasing frequencies of very warm regional temperatures to human influence. *Atmospheric Science Letters* 12, 220-227 (2011).
- 10 Christidis, N., Stott, P. A. & Brown, S. J. The Role of Human Activity in the Recent Warming of Extremely Warm Daytime Temperatures. *Journal of Climate* 24, 1922-1930, doi:10.1175/2011jcli4150.1 (2011).
- 11 Hoerling, M., Eischeid, J., Perlwitz, J., Quan, X., Zhang, T. & Pegion, P. On the Increased Frequency of Mediterranean Drought. *Journal of Climate* 25, 2146-2162 (2012).
- 12 Trigo, R. M., Gouveia, C. M. & Barriopedro, D. The intense 2007-2009 drought in the Fertile Crescent: Impacts and associated atmospheric circulation. *Agricultural and Forest Meteorology* 150, 1245-1257 (2010).
- 13 Dai, A. Increasing drought under global warming in observations and models. *Nature Climate Change*, Published online 05 August (2012).
- 14 Li, Y., Ye, W., Wang, W. & Yan, X. Climate change and drought: a risk assessment of crop-yield impacts. *Clim. Res.* 39, 31-46 (2009).
- 15 Sheffield, J., Wood, E. F. & Roderick, M. L. Little change in global drought over the past 60 years. *Nature* 491, 435-438, doi:http://www.nature.com/nature/journal/v491/n7424/abs/nature11575.html -supplementary-information (2012).
- 16 Lobell, D. B., Sibley, A. S. & Ortiz-Monasterio, J. I. Extreme heat effects on wheat senescence in India. *Nature Climate Change* 2, 186-189 (2012).
- 17 Lobell, D. B., Schlenker, W. & Costa-Roberts, J. Climate trends and global crop production since 1980. *Science* 333, 616-620 (2011).
- 18 Barriopedro, D., Fischer, E. M., Luterbacher, J., Trigo, R. M. & García-Herrera, R. The Hot Summer of 2010: Redrawing the Temperature Record Map of Europe. *Science* 332, 220-224 (2011).
- 19 NOAA. National Climatic Data Center (NCDC), State of the Climate: Global Hazards for August 2011. <http://www.ncdc.noaa.gov/sotc/hazards/2011/8> (2011c).
- 20 World-Bank. Severe Droughts Drive Food Prices Higher, Threatening the Poor. World Bank -Press release (2012).
- 21 Wright, B. International Grain Reserves And Other Instruments to Address Volatility in Grain Markets. (World Bank, New York, USA, 2009).
- 22 Mundi. <http://www.indexmundi.com/agriculture/?commodity=wheat&graph=exports>.
- 23 Hoegh-Guldberg, O. & Smith, G. J. The effect of sudden changes in temperature, light and salinity on the population density and export of zooxanthellae from the reef corals *Stylophora pistillata* Esper and *Seriatopora hystrix* Dana. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.* 129, 279-303 (1989).
- 24 Eakin, C. M. & etal. Caribbean Corals in Crisis: Record Thermal Stress, Bleaching, and Mortality in 2005. *Plos ONE* 5, 1-9 (2010).
- 25 Frieler, K., Meinshausen, M., Golly, A., Mengel, M., Lebek, K., Donner, S. D. & Hoegh-Guldberg, O. Limiting global warming to 2°C is unlikely to save most coral reefs. *Nature Climate Change* advance online publication 16 September 2012, doi:http://www.nature.com/nclimate/journal/vaop/ncurrent/abs/nclimate1674.html -supplementary-information (2012).

- 26 Parry, M. L., Canziani, O. F., Palutikof, J. P., van der Linden, P. J. & Hanson, C. E. *Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change.* (Cambridge University Press, 2007).
- 27 Scheff, J. & Frierson, D. Twenty-first-century multimodel Subtropical precipitation declines are mostly Midlatitude shifts. *Journal of Climate* 25, 4330-4347 (2012).
- 28 Orłowski, B. & Seneviratne, S. I. Global changes in extreme events: regional and seasonal dimension. *Climatic Change* 110, 669-696 (2012).
- 29 Climate Adaptation working group. *Shaping climate-resilient development. A framework for decision-making* 164 (2009).
- 30 Schaeffer, M., Hare, W., Rahmstorf, S. & Vermeer, M. Long-term sea-level rise implied by 1,5°C and 2°C warming levels. *Nature Climate Change* Published online 24 June 2012 (2012).
- 31 Mirza, M. Climate change, flooding in South Asia and implications. *Regional Environmental Change* 11, 95-107, doi:10.1007/s10113-010-0184-7 (2011).
- 32 Nicholls, R. J., Hoozemans, F. M. J. & Marchand, M. Increasing flood risk and wetland losses due to global sea-level rise : regional and global analyses. *Global Environmental Change* 9, S69-S87 (1999).
- 33 Diffenbaugh, N. & Giorgi, F. Climate change hotspots in the CMIP5 global climate model ensemble. *Clim. Change* 114, 813-822 (2012).
- 34 Fung, F., Lopez, A. & New, M. Water availability in +2°C and +4°C worlds. *Philosophical transactions. Series A, Mathematical, physical, and engineering sciences* 369, 99-116 (2011).
- 35 Dai, A. Increasing drought under global warming in observations and models. *Nature Clim. Change* Published online 05 August 2012, <http://www.nature.com/nclimate/journal/vaop/ncurrent/abs/nclimate1633.html-supplementary-information>» (2012).
- 36 Schlenker, W. & Lobell, D. B. Robust negative impacts of climate change on African agriculture. *Environmental Research Letters* 5, 014010 (2010).
- 37 Rotter, R. P., Carter, T. R., Olesen, J. E. & Porter, J. R. Crop-climate models need an overhaul. *Nature Climate Change* 1, 175-177 (2011).
- 38 Zelazowski, P., Malhi, Y., Huntingford, C., Sitch, S. & Fisher, J. B. Changes in the potential distribution of humid tropical forests on a warmer planet. *Philosophical transactions. Series A, Mathematical, physical, and engineering sciences* 369, 137-160 (2011).
- 39 Robinson, A., Calov, R. & Ganopolski, A. Multistability and critical thresholds of the Greenland ice sheet. *Nature Climate Change* 2, 429-432, doi:<http://www.nature.com/nclimate/journal/v2/n6/abs/nclimate1449.html-supplementary-information>» (2012).
- 40 Coumou, D. & Robinson, A. Increase of extreme heat waves in a two- to four-degrees warmer world. (in prep.).
- 41 Schellnhuber, H. J., Coumou, D., Martin, M. A., Perrette, M. & Robinson, A. *Preparing for a 4°C World – Analysis of Regional Sea-Level Rise and Extreme Heat Waves.* (World Bank, New York, USA, 2012).
- 42 Arnell, N. W., van Vuuren, D. P. & Isaac, M. The implications of climate policy for the impacts of climate change on global water resources. *Global Environmental Change* 21, 592-603 (2011).
- 43 Boko, M., Niang, I., Nyong, A., Vogel, C., Githeko, A., Medany, M., Osman-Elasha, B., Tabo, R. & Yanda, P. in *Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* (eds M.L. Parry, O.F. Canziani, J.P. Palutikof, P.J. van der Linden, & C.E. Hanson) 433-467 (Cambridge, UK, 2007).
- 44 Gerten, D., Heinke, J., Hoff, H., Biemans, H., Fader, M. & Waha, K. Global Water Availability and Requirements for Future Food Production. *Journal of Hydrometeorology* 12, 885-899 (2011).
- 45 Thornton, P. K., Jones, P. G., Ericksen, P. J. & Challinor, A. J. Agriculture and food systems in sub-Saharan Africa in a 4C+ world. *Philosophical Transactions of the Royal Society A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences* 369, 117-136 (2011).
- 46 Ben Mohamed, A. Climate change risks in Sahelian Africa. *Regional Environmental Change* 11, 109-117, doi:10.1007/s10113-010-0172-y (2011).
- 47 Bellard, C., Bertelsmeier, C., Leadley, P., Thuiller, W. & Courchamp, F. Impacts of climate change on the future of biodiversity. *Ecology letters*, 365-377 (2012).
- 48 New, M., Liverman, D., Schroeder, H., Schroder, H. & Anderson, K. Four degrees and beyond: the potential for a global temperature increase of four degrees and its implications. *Philosophical Transactions of the Royal Society A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences* 369, 6-19 (2011).
- 49 Silverman, J., Lazar, B., Cao, L., Caldeira, K. & Erez, J. Coral reefs may start dissolving when atmospheric CO₂ doubles. *Geophysical Research Letters* 36, L05606, doi:10.1029/2008GL036282 (2009).
- 50 Midgley, G. & Thuiller, W. Potential responses of terrestrial biodiversity in Southern Africa to anthropogenic climate change. *Regional Environmental Change* 11, 127-135, doi:10.1007/s10113-010-0191-8 (2011).

- 51 Lewis, S. Tropical forests and the changing earth system. *Philos Trans R Soc Lond B BiolSci.* 361, 195-210 (2006).
- 52 Scholze, M., Knorr, W., Arnell, N. W. & Prentice, I. C. A climate-change risk analysis for world ecosystems. *Proc. Nat. Ac. Sc.* 103, 13116-13120 (2006).
- 53 Barnosky, A. D. & al.; e. Approaching a state shift in Earth's biosphere. *Nature* 486, 52-58 (2012).
- 54 Reich, P. B., Tilman, D., Isbell, F., Mueller, K., Hobbie, S., Flynn, D. F. B. & Eisenhauer, N. Impacts of Biodiversity Loss Escalate Through Time as Redundancy Fades. *Science* 336, 589-592 (2012).
- 55 Urban, M. C., Tewksbury, J. J. & Sheldon, K. S. On a collision course: competition and dispersal differences create no-analogue communities and cause extinctions during climate change. *Proc. R. Soc. B*, 1471-2954 (2012).
- 56 Schaeffer, M. & van Vuuren, D. Evaluation of IEA ETP 2012 emission scenarios. (Climate Analytics, Berlin, Germany, 2012).
- 57 Ridgwell, A. & Schmidt, D. N. Past constraints on the vulnerability of marine calcifiers to massive carbon dioxide release. *Nature Geoscience* 3, 196-200, doi:http://www.nature.com/ngeo/journal/v3/n3/supinfo/ngeo755_S1.html (2010).
- 58 Thomas, E. in *Large Scale Ecosystem Perturbation: Causes and Consequences: Geological Society of America Special Paper 424* (eds S. Monechi, R. Coccioni, & M.R. Rampino) 1-23 (Geological Society of America, 2007).
- 59 Nicholls, R., Marinova, N., Lowe, J., Brown, S., Vellinga, P., de Gusmao, D., Hinkel, J. & Tol, R. Sea-level rise and its possible impacts given a 'beyond 4°C world' in the twenty-first century. *Philos Transact A Math Phys Eng Sci.* 369, 161-181 (2011).
- 60 Brecht, H., Dasgupta, S., Laplante, B., Murray, S. & Wheeler, D. The Journal of Environment & Development. Sea-Level Rise and Storm Surges : High Stakes for a Small Number of Developing Countries 21, 120-138 (2012).
- 61 Hinkel, J., Brown, S., Exner, L., Nicholls, R., Vafeidis, A. & Kebede, A. Sea-level rise impacts on Africa and the effects of mitigation and adaptation: an application of DIVA. *Regional Environmental Change* 12, 207-224 (2011).
- 62 Bender, M. A., Knutson, T. R., Tuleya, R. E., Sirutis, J. J., Vecchi, G. A., Garner, S. T. & Held, I. M. Modeled Impact of Anthropogenic Warming on the Frequency of Intense Atlantic Hurricanes. *Science* 327, 454-458, doi:10.1126/science.1180568 (2010).
- 63 Peduzzi, P., Chatenoux, B., Dao, H., De Bono, A., Herold, C., Kossin, J., Mouton, F. & Nordbeck, O. Global trends in tropical cyclone risk. *Nature Clim. Change* 2, 289-294, doi:http://www.nature.com/nclimate/journal/v2/n4/abs/nclimate1410.html -supplementary-information» (2012).
- 64 Meehl, G. A., Stocker, T. F., Collins, W. D., Friedlingstein, P., Gaye, A. T., Gregory, J. M., Kitoh, A., Knutti, R., Murphy, J. M., Noda, A., Raper, S. C. B., Watterson, I. G., Weaver, A. J. & Zhao, Z.-C. in *Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* (ed S. Solomon, D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K.B. Averyt, M. Tignor and H.L. Miller) (Cambridge University Press, 2007).
- 65 Tanzil, J., Brown, B., Tudhope, A. & Dunne, R. Decline in skeletal growth of the coral *Porites lutea* from the Andaman Sea, South Thailand between 1984 and 2005. *Coral Reefs* 28, 519-528 (2009).
- 66 De'ath, G., Lough, J. M. & Fabricius, K. E. Declining Coral Calcification on the Great Barrier Reef. *Science* 323, 116-119, doi:10.1126/science.1165283 (2009).
- 67 Cooper, T. F., De'Ath, G., Fabricius, K. E. & Lough, J. M. Declining coral calcification in massive *Porites* in two nearshore regions of the northern Great Barrier Reef. *Global Change Biology* 14, 529-538, doi:10.1111/j.1365-2486.2007.01520.x (2008).
- 68 Fischlin, A., Midgley, G. F., Price, J. T., Leemans, R., Gopal, B., Turley, C., Rounsevell, M. D. A., Dube, O. P., Tarazona, J. & Velichko, A. A. in *Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* (eds O.F. Canziani M.L. Parry, J.P. Palutikof, & P.J. van der Linden and C.E. Hanson) 211-272 (Cambridge University Press, 2007).
- 69 Zeebe, R. E. History of Seawater Carbonate Chemistry, Atmospheric CO₂, and Ocean Acidification. *Annual Review of Earth and Planetary Sciences* 40, 141-165, doi:doi:10.1146/annurev-earth-042711-105521 (2012).
- 70 Cao, L. & Caldeira, K. Atmospheric CO₂ stabilization and ocean acidification. *Geophysical Research Letters* 35, L19609 (2008).
- 71 Veron, J. E. N., Hoegh-Guldberg, O., Lenton, T. M., Lough, J. M., Obura, D. O., Pearce-Kelly, P., Sheppard, C. R. C., Spalding, M., Stafford-Smith, M. G. & Rogers, A. D. The coral reef crisis: The critical importance of=350 ppm CO₂. *Marine Pollution Bulletin* 58, 1428-1436 (2009).
- 72 Hare, W., Cramer, W., Schaeffer, M., Battaglini, A. & Jaeger, C. Climate hotspots: key vulnerable regions, climate change and limits to warming. *Regional Environmental Change* 11, 1-13, doi:10.1007/s10113-010-0195-4 (2011).

- 73 Rogelj, J., Chen, C., Nabel, J., Macey, K., Hare, W., Schaeffer, M., Markmann, K., Hohne, N., Krogh Anderson, K. & Meinshausen, M. Analysis of the Copenhagen Accord pledges and its global climatic impacts, a snapshot of dissonant ambitions. *Environmental Research Letters* 5, 034013 (2010).
- 74 Weaver, A. J., Zickfeld, K., Montenegro, A. & Eby, M. Long term climate implications of 2050 emission reduction targets. *Geophys. Res. Lett.* 34, L19703, doi:10.1029/2007gl031018 (2007).
- 75 Shindell, D., Kuylenstierna, J. C. I., Vignati, E., van Dingenen, R., Amann, M., Klimont, Z., Anenberg, S. C., Muller, N., Janssens-Maenhout, G., Raes, F., Schwartz, J., Faluvegi, G., Pozzoli, L., Kupiainen, K., HVdglund-Isaksson, L., Emberson, L., Streets, D., Ramanathan, V., Hicks, K., Oanh, N. T. K., Milly, G., Williams, M., Demkine, V. & Fowler, D. Simultaneously Mitigating Near-Term Climate Change and Improving Human Health and Food Security. *Science* 335, 183–189, doi:10.1126/science.1210026 (2012).
- 76 UNEP. Near-term Climate Protection and Clean Air Benefits: Actions for Controlling Short-Lived Climate Forcers. A UNEP Synthesis Report. 82 (United Nations Environment Programme (UNEP), Nairobi, Kenya, 2011).
- 77 UNEP. Integrated Assessment of Black Carbon and Tropospheric Ozone. Summary for Decision Makers. 36 (United Nations Environment Programme (UNEP), Nairobi, Kenya, 2011).
- 78 IEA. World Energy Outlook 2011. (International Energy Agency (IEA), Paris, France, 2011).
- 79 van Vliet, J., van den Berg, M., Schaeffer, M., van Vuuren, D., den Elzen, M., Hof, A., Mendoza Beltran, A. & Meinshausen, M. Copenhagen Accord Pledges imply higher costs for staying below 2°C warming. *Climatic Change*, 1-11, doi:10.1007/s10584-012-0458-9 (2012).
- 80 Forster, P., Ramaswamy, V., Artaxo, P., Berntsen, T., Betts, R., Fahey, D. W., Haywood, J., Lean, J., Lowe, D. C., Myhre, G., Nganga, J., Prinn, R., Raga, G., M., S. & Van Dorland, R. in *Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* (ed S. Solomon, D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K.B. Averyt, M.Tignor and H.L. Miller) (Cambridge University Press, 2007).
- 81 Clarke, L., Edmonds, J., Krey, V., Richels, R., Rose, S. & Tavoni, M. International climate policy architectures: Overview of the EMF 22 International Scenarios. *Energy Economics* 31, S64-S81 (2009).
- 82 Bauer, N., Brecha, R. J. & Luderer, G. Economics of nuclear power and climate change mitigation policies. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, doi:10.1073/pnas.1201264109 (2012).
- 83 Bernie, D., Lowe, J., Tyrrell, T. & Legge, O. Influence of mitigation policy on ocean acidification. *Geophysical Research Letters* 37, doi:10.1029/2010gl043181 (2010).
- 84 Cazenave, A. & Llovel, W. Contemporary Sea Level Rise. *Annual Review of Marine Science* 2, 145-173, doi:doi:10.1146/annurev-marine-120308-081105 (2010).
- 85 McCollum, D. L., Krey, V. & Riahi, K. An integrated approach to energy sustainability. *Nature Clim. Change* 1, 428-429 (2011).
- 86 McCollum, D. L., Krey, V., Riahi, K., Kolp, P., Grubler, A., Makowski, M. & Nakicenovic, N. Climate policies can help resolve energy security and air pollution challenges. In review for *Climatic Change* (2012).
- 87 Archer, D., Buffett, B. & Brovkin, V. Ocean methane hydrates as a slow tipping point in the global carbon cycle. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 106, 20596-20601, doi:10.1073/pnas.0800885105 (2009).
- 88 Meinshausen, M., Meinshausen, N., Hare, W., Raper, S. C. B., Frieler, K., Knutti, R., Frame, D. J. & Allen, M. R. Greenhouse-gas emission targets for limiting global warming to 2°C. *Nature* 458, 1158-1162, doi:http://www.nature.com/nature/journal/v458/n7242/supinfo/nature08017_S1.html (2009).
- 89 Baer, P., Athanasiou, T. & Kartha, S. *The Right to Development in a Climate Constrained World: The Greenhouse Development Rights Framework*. (Ecoequity, 2007).
- 90 den Elzen, M. G. J., Hohne, N., Brouns, B., Winkler, H. & Ott, H. E. Differentiation of countries' future commitments in a post-2012 climate regime: An assessment of the South-North Dialogue Proposal. *Environmental Science and Policy* 10, 185-203, doi:10.1016/j.envsci.2006.10.009 (2007).
- 91(I) European Commission. Energy Roadmap 2050. Communication from the commission to the European parliament, the council, the European economic and social committee and the committee of the regions. (Brussels, Belgium, 2011).
- 91(II) European Commission. Roadmap for moving to a competitive low carbon economy in 2050. Communication from the commission to the European parliament, the council, the European economic and social committee and the committee of the regions. (Brussels, Belgium, 2011).
- 92 European Commission. Commission staff working paper. Executive summary of the impact assessment. Accompanying the document «Communication from the commission to the European parliament, the council, the european economic and social committee and the committee of the regions. Energy roadmap 2050». (Brussels, Belgium, 2011).

Приложение 1: Страны, призывающие ограничить потепление на уровне 1,5°C или 2°C выше доиндустриального

Предоставлено Кирстенем Мейси

В течении многих лет Европейский Союз призывает ограничить глобальное потепление 2°C по сравнению с доиндустриальной эпохой. В 2008 году, Альянс малых островных государств (AOSIS) и наименее развитые страны призвали к тому, чтобы данный лимит не превысил 1,5°C по сравнению с доиндустриальными уровнями. С тех пор многие другие Стороны соглашаются с этим ограничением. Ниже приводится список всех стран, которые призывают к соблюдению лимита потепления на 1,5°C или 2°C выше доиндустриального уровня.

Страны, призывающие удержать потепление ниже 1,5°C, составляют в целом 107 стран, на долю которых приходится 7% выбросов CO₂ связанных с энергетикой и промышленностью и около 26% мирового населения в 2005 году.

Страны, призывающие удержать потепление ниже 2°C, составляют в целом 45 стран, на долю которых приходится 81% выбросов CO₂ связанных с энергетикой и промышленностью и около 64% мирового населения в 2005 году^z

В общем эти группы составляют 152 страны.

Группа стран, поддерживающих 1.5°C

1	Афганистан	26	Куба	49	Кирибати
2	Алжир	27	Демократическая республика Конго	50	Лаос, Народная демократическая республика
3	Ангола	28	Джибути	51	Лесото
4	Антигуа и Барбуда	29	Доминика	52	Либерия
5	Багамские о-ва	30	Доминиканская республика	53	Ливия
6	Бангладеш	31	Сальвадор	54	Мадагаскар
7	Барбадос	32	Египет	55	Малави
8	Белиз	33	Экваториальная Гвинея	56	Мальдивские о-ва
9	Бенин	34	Эритрея	57	Мали
10	Бутан	35	Эфиопия	58	Маршалловы о-ва
11	Боливия	36	Фиджи	59	Мавритания
12	Ботсвана	37	Габон	60	Маврикий
13	Буркина Фасо	38	Гамбия	61	Микронезия, Федеративные штаты
14	Бурунди	39	Гана	62	Марокко
15	Камбоджа	40	Гренада	63	Мозамбик
16	Камерун	41	Гватемала	64	Мьянма
17	Кабо Верде	42	Гвинея	65	Намибия
18	ЦАР	43	Гвинея-Биссау	66	Науру
19	Чад	44	Гаяна	67	Непал
20	Колумбия	45	Гаити	68	Никарагуа
21	Коморские о-ва	46	Гондурас	69	Нигер
22	Народная республика Конго	47	Ямайка	70	Нигерия
23	о-ва Кука	48	Кения	71	Ниуэ
24	Коста-Рика				
25	Кот д'Ивуар				

^z Источники:

Выбросы - PRIMAP Baseline Reference: PRIMAP3 (2009) Potsdam Real-time Integrated Model for probabilistic Assessment of emissions Paths (PRIMAP), www.primap.org

Население – ООН (2008) «Перспективы мирового населения: База данных населения в редакции 2008 года», <http://esa.un.org/unpp>.

72	Пакистан	85	Соломоновы о-ва	97	Тонга
73	Палау	86	Сомали	98	Тринидад и Тобаго
74	Панама	87	Южная Африка	99	Тунис
75	Папуа-Новая Гвинея	88	Шри-Ланка	100	Тувалу
76	Перу	89	Сент-Китс и Невис	101	Уганда
77	Филиппины	90	Сент-Люсия	102	Объединенная республика Танзания
78	Руанда	91	Сент-Винсент и Гренадины	103	Вануату
79	Самоа	92	Судан	104	Вьетнам
80	Сан-Томе и Принсипи	93	Суринам	105	Йемен
81	Сенегал	94	Свазиленд	106	Замбия
82	Сейшельские о-ва	95	Тимор	107	Зимбабве
83	Сьерра-Леоне	96	Того		
84	Сингапур				

Группа стран, поддерживающих 2°C

1	Аргентина	17	Венгрия	33	Новая Зеландия
2	Австралия	18	Исландия	34	Норвегия
3	Австрия	19	Индия	35	Польша
4	Бельгия	20	Индонезия	36	Португалия
5	Бразилия	21	Ирландия	37	Румыния
6	Болгария	22	Италия	38	Российская Федерация
7	Канада	23	Япония	39	Словакия
8	Китай	24	Казахстан	40	Словения
9	Кипр	25	Южная Корея	41	Испания
10	Чехия	26	Латвия	42	Швеция
11	Дания	27	Ливан	43	Швейцария
12	Эстония	28	Литва	44	Великобритания
13	Финляндия	29	Люксембург	45	Соединенные штаты Америки
14	Франция	30	Мальта		
15	Германия	31	Мексика		
16	Греция	32	Нидерланды		

«Современные тенденции выбросов и заявленные странами обязательства по их сокращению ведут к повышению температуры почти на 4°C к 2100 году. При таких уровнях потепления последствия окажутся наиболее тяжелыми, большинство из которых могут выйти за границу адаптации.»

«С точки зрения геофизики потепление можно снизить до уровня ниже 1,5°C. Энерго-экономические модели могут достичь требуемых низких уровней выбросов без расширения ядерной энергетики, однако это принципиально зависит от:

- Раннего и глобального сокращения выбросов, начиная с 2013 г. и далее, и достижения глобального пика выбросов к 2020 г.;*
- Быстрого расширения и возможности технической реализации крупномасштабных проектов в сфере биоэнергетики, а также наличия лесных поглотителей;*
- Высоких уровней повышения энергоэффективности;*
- Наличия технологий улавливания и хранения углерода (УХУ).»*

«Вероятность превышения потепления на 2°C в XXI столетии более чем удваивается с 20% до 50%, если сокращения CO₂ будут отложены всего лишь на 10 лет»

«Задержка с принятием мер по сокращению выбросов – ложная экономия: на каждый \$1 инвестиций, не сделанных до 2020 г., потребуется потратить дополнительные \$4,3 после 2020 г., дабы компенсировать возросшие выбросы.»

Мишель Шеффер, Бил Хейр,
Марсиа Роча, Джерри Рогел

Адекватность и выполнимость долгосрочного глобального лимита в 1,5°C

Киев 2013