

СПЕЦИАЛЬНЫЙ ДОКЛАД МЕЖПРАВИТЕЛЬСТВЕННОЙ ГРУППЫ ЭКСПЕРТОВ ПО ИЗМЕНЕНИЮ КЛИМАТА “ГЛОБАЛЬНОЕ ПОТЕПЛЕНИЕ НА 1.5°C”

А.А. Гладильщикова¹⁾, Т.М. Дмитриева²⁾, С.М. Семенов^{1,3)}

¹⁾ Институт глобального климата и экологии имени академика Ю.А. Израэля, Россия, 107258, Москва, ул. Глебовская, 20Б; *SergeySemenov1@yandex.ru*

²⁾ Федеральная служба по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды, Россия, 125993, Москва, ГСП-3, Нововаганьковский пер., 12

³⁾ Институт географии РАН, Россия, 119017, Москва, Старомонетный пер., 29

Реферат. Заключению климатического Парижского соглашения (2015 г.) предшествовали дискуссии о приемлемой глобальной температурной цели, т.е. том пределе, который не должна превосходить средняя глобальная температура воздуха в приповерхностном слое. В соглашение была включена глобальная цель +2°C над доиндустриальными уровнями, но было также обозначено стремление к более амбициозной цели +1.5°C. При этом 21-я Конференция сторон Рамочной конвенции ООН об изменении климата обратилась с запросом к Межправительственной группе экспертов по изменению климата (МГЭИК) подготовить специальный доклад о глобальном потеплении на 1.5°C, возможных последствиях превышения этого уровня, а также осуществимости удержания глобального потепления на этом уровне. Такой доклад был подготовлен МГЭИК и принят в октябре 2018 г. Согласно этому докладу, при потеплении сверх 1.5°C возникают существенные негативные последствия для природных и социально-экономических систем. Однако удержание антропогенного глобального потепления в XXI веке ниже 1.5°C (хотя бы и с временным превышением) связано с дополнительными инвестициями порядка процентов мирового ВВП.

Ключевые слова. Парижское соглашение, изменение климата, глобальная температурная цель, последствия потепления, издержки предотвращения.

GLOBAL WARMING OF 1.5°C: A SPECIAL REPORT OF THE INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE

A.A. Gladilshchikova¹⁾, T.M. Dmitrieva²⁾, S.M. Semenov^{1,3)}

¹⁾ Yu. A. Izrael Institute of Global Climate and Ecology, 20B, Glebovskaya str., 107258, Moscow, Russia; *SergeySemenov1@yandex.ru*

²⁾ Federal Service for Hydrometeorology and Environmental Monitoring, 12, Novovagan'kovskiy per., 125992, Moscow, Russia

³⁾ Institute of Geography of the Russian Academy of Sciences, 29, Staromonetny lane, 119017, Moscow, Russia

Abstract. The Paris Agreement (2015) was preceded by discussions about

acceptable global temperature goal, i.e., the limit, which should not be exceeded by the mean global air temperature in the surface layer. The global target of + 2°C above the pre-industrial levels was adopted, but also an aspiration for a more ambitious goal of +1.5°C was mentioned. At the same time, the 21st Conference of the Parties to the UN Framework Convention on Climate Change requested the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) to prepare a special report on global warming of 1.5°C, the possible consequences of exceeding this level, and the feasibility of keeping the global warming below or at this level. Such a report was prepared by the IPCC and adopted in October 2018. According to this report, with warming in excess of 1.5°C, there are significant negative consequences for natural and socio-economic systems. However, the retention of anthropogenic global warming in the 21st century below or at 1.5°C (albeit a temporary excess) is associated with additional investments of the order of percent of global GDP.

Keywords. Paris Agreement, climate change, global temperature goal, effects of warming, costs of prevention.

Введение

Идея ограничения антропогенного воздействия на климатическую систему Земли возникла в последнюю четверть XX века. Она отражала нарастающую обеспокоенность научного сообщества, общественности и правительств по поводу очевидного глобального потепления и некоторых его негативных последствий для природных и хозяйственных систем, для здоровья населения. Это привело к принятию в 1992 году под эгидой ООН на «Саммите Земли» в Рио-де-Жанейро первого многостороннего международного климатического соглашения – Рамочной конвенции ООН об изменении климата (РКИК ООН). Статья 2 так определила цель этого соглашения (Рамочная Конвенция..., 1992):

«Конечная цель настоящей Конвенции и всех связанных с ней правовых документов, которые может принять Конференция Сторон, заключается в том, чтобы добиться во исполнение соответствующих положений Конвенции, стабилизации концентраций парниковых газов в атмосфере на таком уровне, который не допускал бы опасного антропогенного воздействия на климатическую систему. Такой уровень должен быть достигнут в сроки, достаточные для естественной адаптации экосистем к изменению климата, позволяющие не ставить под угрозу производство продовольствия и обеспечивающие дальнейшее экономическое развитие на устойчивой основе.»

Отметим, что в этом соглашении ничего не было сказано о конкретных уровнях стабилизации. В ходе подготовки и обсуждения этого соглашения выяснилось, что проблема имеет огромную научную составляющую, и что есть серьезный дефицит соответствующей научной информации. В связи с этим в 1987-1988 гг. решениями Всемирной метеорологической организации (ВМО) и Программы ООН по окружающей среде (ЮНЕП) была организована Межправительственная группа экспертов по изменению климата (МГЭИК).

Эти решения были впоследствии утверждены Генеральной Ассамблеей ООН. Подробную информацию можно найти в статье (Гладильщикова, Семенов, 2017). Основная задача МГЭИК – информировать, прежде всего, правительства и международный переговорный процесс, о наблюдаемых и будущих антропогенных изменениях глобального климата, их последствиях для природных и социально-экономических систем, о возможностях адаптации и смягчения влияния человечества на климат Земли. Такая информация предоставляется МГЭИК в форме научных докладов, обобщающих данные, имеющиеся в научной литературе.

В последующие годы попытки обосновать опасные (предельно-допустимые, критические) уровни антропогенного увеличения глобального содержания парниковых газов в атмосфере, оставаясь в рамках чисто биогеохимического или экологического подходов, не привели к результату. Ведь основные парниковые газы, поступающие в атмосферу при хозяйственной деятельности, – углекислый газ CO_2 , метан CH_4 и закись азота N_2O – не обладают прямым негативным эффектом¹. Поэтому в научных обсуждениях возможные критерии опасности увеличения содержания парниковых газов в атмосфере все более связывались с вызываемым этим усилением парникового эффекта и соответствующим глобальным потеплением (Izrael, Semenov, 2006).

Этот подход к проблеме был постепенно воспринят политическими кругами и стал использоваться в международном переговорном процессе по климату. Обсуждения на рабочих заседаниях 15-й Конференции сторон РКИК ООН² (Копенгаген, Дания, 7-18 декабря, 2009 г.) и 16-й Конференции сторон РКИК ООН (Канкун, Мексика, 29 ноября 2010 - 10 декабря 2010 г.) привели к выработке глобальной температурной цели: не превышение доиндустриального уровня глобальной температуры в приповерхностном слое атмосферы более, чем на 2°C.

Эта глобальная цель была официально закреплена Парижским соглашением, принятым 12 декабря 2015 г. в Париже, Франция, на 21-й Конференции сторон РКИК ООН (Парижское соглашение, 2015). Однако и при предварительных обсуждениях, и собственно при обсуждении Парижского соглашения некоторые страны сочли эту глобальную цель недостаточно амбициозной и настаивали на ограничении возможного глобального потепления 1.5°C по отношению к доиндустриальному уровню. Это было отражено в п. 1 Статьи 2 соглашения (см. 1а):

«1. Настоящее Соглашение, активизируя осуществление Конвенции, включая ее цель, направлено на укрепление глобального реагирования на

¹ Метан, хотя и считается в России загрязняющим веществом, но его негативное воздействие проявляется при концентрациях, намного превышающих наблюдаемые и ожидаемые в обозримом будущем глобальные уровни.

² Конференция Сторон (КС) РКИК ООН – высший орган РКИК ООН.

угрозу изменения климата в контексте устойчивого развития и усилий по искоренению нищеты, в том числе посредством:

а) удержания прироста глобальной средней температуры намного ниже 2°C сверх доиндустриальных уровней и приложения усилий в целях ограничения роста температуры до 1.5°C, признавая, что это значительно сократит риски и воздействия изменения климата;

б) повышения способности адаптироваться к неблагоприятным воздействиям изменения климата и содействия сопротивляемости к изменению климата и развитию при низком уровне выбросов парниковых газов таким образом, который не ставит под угрозу производство продовольствия;

с) приведения финансовых потоков в соответствие с траекторией в направлении развития, характеризующегося низким уровнем выбросов и сопротивляемостью к изменению климата».

Одновременно 21-я Конференция Сторон РКИК ООН обратилась к МГЭИК со следующим запросом (Доклад..., п. 21, 2016):

«... представить в 2018 году специальный доклад о воздействиях глобального потепления на 1.5°C сверх доиндустриальных уровней и о соответствующих траекториях глобальных выбросов парниковых газов...».

МГЭИК положительно восприняла этот запрос и к осени 2018 г. подготовила специальный доклад «Глобальное потепление на 1.5°C» (Global Warming of 1.5°C). Его полное название: «Специальный доклад МГЭИК о воздействиях глобального потепления на 1.5°C над доиндустриальными уровнями и соответствующих траекториях эмиссий парниковых газов в контексте усиления глобального ответа на угрозу изменения климата, устойчивого развития и усилий по искоренению бедности»³. Он был принят на 48-й сессии МГЭИК 6 октября 2018 г. в Инчхоне, Республика Корея.

В этой статье характеризуются некоторые основные выводы специального доклада МГЭИК «Глобальное потепление на 1.5°C». Полный текст доклада можно найти по ссылке <https://www.ipcc.ch/report/sr15/>.

Основные вопросы, рассмотренные в специальном докладе, и его структура

Специальный доклад МГЭИК «Глобальное потепление на 1.5°C» подготовлен на базе тех представлений о процессах изменения глобального климата, их последствиях и возможностях смягчения антропогенного воздействия на климат, которые были выработаны в Пятом оценочном докладе МГЭИК (выпущен в 2013-2014 гг.). Однако специальный доклад углубил понимание соответствующих явлений и процессов в том числе по следующим направлениям:

³) В оригинале: An IPCC special report on the impacts of global warming of 1.5°C above pre-industrial levels and related global greenhouse gas emission pathways, in the context of strengthening the global response to the threat of climate change, sustainable development, and efforts to eradicate poverty.

- какие возникают дополнительно существенные воздействия изменения глобального климата при глобальном потеплении на 1.5 - 2°C по сравнению с 0 - 1.5°C по отношению к доиндустриальным уровням⁴?

- существуют ли в принципе такие реалистичные траектории глобальных эмиссий парниковых газов, которые удерживают глобальное потепление на уровне не более, чем на 1.5°C или же возвращают глобальную температуру на этот уровень или более низкий после временного небольшого превышения?

- какие дополнительные глобальные усилия (технологические, экономические и др.) в области смягчения антропогенного изменения климата потребуются для удержания глобального потепления не более, чем на 1.5°C, по сравнению с ограничением потепления уровнем 2°C?

Характерная особенность этого доклада – рассмотрение не только физических, экологических, экономических и технологических аспектов проблемы удержания глобального потепления на уровне не более чем +1.5°C или же возвращения к такому уровню, но и этических вопросов, вопросов уменьшения неравенства, искоренения бедности и устойчивого развития. В подготовке этого доклада участвовали все три Рабочие группы МГЭИК: Рабочая группа I (Физическая научная основа), Рабочая группа II (Воздействия, адаптация и уязвимость) и Рабочая группа III (Смягчение изменения климата). Специальное внимание было уделено некоторым методам инженерии климата, а именно, возможным технологиям активного удаления углекислого газа из атмосферы.

Доклад состоит из следующих пяти глав:

1. Структура и контекст;
2. Пути смягчения изменения климата, совместимые с целью 1.5°C, в контексте устойчивого развития;
3. Воздействия глобального потепления на 1.5°C на естественные и антропогенные системы;
4. Усиление осуществления глобального ответа на угрозу глобального потепления;
5. Устойчивое развитие, искоренение бедности и уменьшение неравенства.

Кроме этих глав в доклад входят «Техническое резюме» (сжатое изложение результатов в технических терминах, для специалистов) и «Резюме для политиков» (краткое изложение основных выводов в нетехнических терминах). Объем доклада – более 300 страниц. Для удобства восприятия он снабжен разделами «Основные выводы», «Часто задаваемые вопросы» и «Глоссарий». Приводя ниже выдержки из доклада, мы пользуемся «Резюме для политиков» (IPCC, 2018). Эти выдержки будут даваться курсивом, иногда не буквально, а в нашей редакции.

В целом в данном специальном докладе использовались базовые понятия и термины в соответствии с Пятым оценочным докладом (ОД5) МГЭИК (IPCC, 2013; IPCC, 2014a; 2014b; 2014c). Однако некоторые, особенно важные для

⁴ В этом специальном докладе глобальные уровни температуры в приповерхностном слое в 1850-1900 гг. использовались как приближение доиндустриальных.

доклада понятия, были специально уточнены и детализированы. Ниже будут кратко пояснены некоторые понятия и термины, представлены некоторые основные выводы этого доклада.

Концептуальная схема рассматриваемого явления

В докладе уточняется, что понимается под средней глобальной температурой, ее климатическим значением и его изменением.

Так, *под глобальной средней температурой в приповерхностном слое (global mean surface temperature - GMST) понимается оценка средней температуры воздуха над сушей и морским льдом и температуры морской поверхности в районах океана, свободных ото льда. Ее изменения обычно выражаются отклонениями от значений в определенный базовый период. При оценке изменений иногда также используется температура воздуха в приповерхностном слое над сушей и океанами.*

Для климатической оценки GMST обычно используется среднее за тридцатилетие, а если оценка проводится для какого-либо года или десятилетия, то за тридцатилетний период, центр которого совмещен с центром этого года или десятилетия. Такая оценка выражается обычно в отклонении по отношению к доиндустриальному уровню (или какому-то иному базовому уровню). Если 30-тилетний период осреднения захватывает, кроме прошлого и настоящего, также будущее, то для определения будущих значений температуры используются наблюдаемые тренды.

Деятельность человека приводит к изменению GMST. Однако это изменение нельзя непосредственно наблюдать – ведь при наблюдениях фиксируется совместное действие и антропогенных, и естественных факторов. Оценки (вычисления) показывают, что деятельность человека привела к глобальному потеплению (увеличению GMST) примерно на 1.0°C ($0.8 - 1.2^{\circ}\text{C}$) по отношению к доиндустриальным уровням. Это весьма близко к наблюдаемому значению глобального потепления на 0.87°C ($0.75 - 0.99^{\circ}\text{C}$) в 2006-2015 гг., т.е. вклад естественных факторов невелик. При этом наблюдаемое потепление более выражено над сушей, чем над океанами. Некоторые участки (и сезоны) на суше, например, в Арктике теплеют быстрее, чем суша в среднем.

Потепление, вызванное прошлыми антропогенными эмиссиями парниковых газов будет сохраняться продолжительно (века и долее), но вряд ли приведет к глобальному потеплению на 1.5°C . Однако, если темп современного потепления, соответствующий прошлым и текущим антропогенным эмиссиям (парниковых газов, аэрозолей и их химических предшественников), а именно 0.2°C ($0.1 - 0.3^{\circ}\text{C}$) в десятилетие, будет сохраняться, то это приведет к расчетному превышению уровня 1.5°C между 2030 и 2052 годами.

В докладе утверждается, что *достижение и поддержание нулевых антропогенных глобальных нетто-эмиссий CO_2 и уменьшение не связанного с CO_2 радиационного воздействия могли бы остановить глобальное потепление в течение нескольких десятилетий.*

Нетто-эмиссия – разность между потоком с земной поверхности в атмосферу и потоком в обратном направлении. В случае антропогенных потоков первый связан с функционированием мирового хозяйства, а второй – с реализацией специальных проектов, в результате которых усиливается поглощение на земной поверхности и осуществляется долговременное захоронение вещества.

В настоящее время соответствующие методы имеются только для CO_2 . Для него уже сейчас существуют и развиваются соответствующие технологии. Это – улавливание CO_2 из атмосферы с использованием специальных промышленных установок, активизация фотосинтеза океанских растений, усиление улавливания углерода в форме CO_2 и захоронения углерода путем изменений в сельском и лесном хозяйстве. Совокупность этих методов ранее обозначалась CDR – carbon dioxide removal, т.е. «удаление углекислого газа». Однако в настоящее время чаще используется термин «отрицательная эмиссия» (negative emission).

Для других парниковых газов таких технологий пока не существует. Именно в связи с этим в цитированном выше выводе доклада говорится также и о непосредственном сокращении радиационного воздействия остальных парниковых веществ, помимо CO_2 . К ним относятся, прежде всего, метан CH_4 и закись азота N_2O . Снижение их радиационного воздействия произойдет только при снижении уровня их содержания в атмосфере, что, в свою очередь, произойдет, при ограничении антропогенного выброса, за счет естественных процессов их разрушения в ходе химических и фотохимических реакций. Заметим, что для CO_2 такой возможности нет – в вековом масштабе времени он практически не разрушается.

Заметим, что этот вывод доклада об имеющейся возможности ограничить глобальное потепление уровнем 1.5°C имеет глобальный характер. Он касается ограничения глобального поступления парниковых газов в атмосферу, а не вкладов различных стран и регионов в это ограничение.

В докладе также утверждается, что *при потеплении на 1.5°C риски для природных и социально-экономических систем в целом больше, чем современные, но меньше, чем при потеплении на 2°C и более. Это, однако, зависит от величины и темпа потепления, географического положения объектов воздействия, уровня развития и уязвимости, выбора путей адаптации.*

Это означает, что современные природные и социально-экономические комплексы устроены так, что увеличение глобальной температуры в среднем приводит к отрицательным последствиям, к возрастанию рисков, хотя последствия вообще говоря, различны для конкретных систем и различных точек географического пространства.

Здесь необходимо отметить, что понятие риска в данном докладе отличается от его бытового понимания. Понятие риска, связанного с каким-то событием, интегрирует два измерения – вероятность этого события и ущерб (или выигрыш), возникающий при реализации этого события. При выполнении оценок климатообусловленных рисков для какого-либо объекта вероятность события определяется, как правило, вероятностью реализации какого-то

состояния климата в соответствии со статистическим распределением значений температуры, осадков и др., в том числе их экстремальных значений. Ущерб (или выигрыш) определяется чувствительностью рассматриваемого объекта к воздействию этого события и возможностью адаптации.

Изменения климата в XXI веке, возможные воздействия и связанные с ними риски

В контексте возможных усилий по ограничению увеличения глобальной температуры уровнем 1.5°C в докладе рассматриваются следующие типы изменений глобальной температуры в нашем веке:

- повышение от современного уровня⁵ на 1.5°C при его непревышении;
- повышение от современного уровня и временное, в течение десятилетий, небольшое (примерно на 0.1°C) превышение уровня 1.5°C с последующим возвращением в нашем веке к уровням не выше его;
- повышение от современного уровня и временное существенное превышение значения 1.5°C с последующим возвращением в нашем веке к уровням не выше его;
- повышение от современного уровня, превышение значения 1.5°C и дальнейший рост до уровня 2°C и выше⁶.

Климатообусловленные риски возрастают при этих вариантах – от первого к последнему – развития событий в XXI веке, причем возможности адаптаций становятся все более ограниченными, а издержки, с ними связанные, возрастают. При этом некоторые последствия могут быть весьма опасными, продолжительными или даже необратимыми. Приведем некоторые примеры (IPCC, 2018, pp. 3-6 – 3-13).

Глобальному потеплению на $1.5 - 2^{\circ}\text{C}$ соответствуют вообще говоря различные изменения регионального климата, зависящие от региона и конкретного параметра. Это особенно проявляется в случае экстремальных значений температуры. Средняя температура таких экстремальных суток в средних широтах в теплый сезон может увеличиваться на 3°C при глобальном потеплении на 1.5°C , а в высоких широтах в холодный сезон – на 4.5°C . Наибольший рост экстремально высоких значений температуры ожидается в центре и на востоке Северной Америки, в центре и на юге Европы, в средиземноморском регионе (включая юг Европы, север Африки и Ближний Восток), в западной и Центральной Азии, на юге Африки. Это в наибольшей степени проявляется в тропиках, где при потеплении уже на 1.5°C число суток с экстремально высокими значениями температуры нарастает, а волны жары ста-

⁵) Почти 0.9°C по отношению к доиндустриальным значениям.

⁶) Для временного превышения в англоязычной научной литературе употребляется термин “overshoot”, буквально – «выброс». Соответственно, приведенные изменения глобального термического режима могут обозначаться терминами «без превышения», «с ограниченным превышением», «со значительным превышением» и «без ограничения».

новятся повсеместными. По сравнению с 1.5°C, при глобальном потеплении на 2°C дополнительно более 100 млн человек будут сталкиваться с таким опасным метеорологическим явлением, как волна жары.

При ограничении глобального потепления уровнем 1.5°C по сравнению с потеплением на 2°C изменения в физических системах будут заметно меньше:

- в Арктике 1 год из 100 будет свободным ото льда против 1 из 10; никаких долгосрочных последствий временного превышения значения 1.5°C не ожидается;

- оттаивание многолетней мерзлоты будет происходить на площади на 2 млн км² меньшей;

- теоретически, потепление в интервале 1.5 - 2°C может привести к проявлению неустойчивости Гренландского и Антарктического ледниковых покровов, вследствие чего уровень Мирового океана может подняться на метры; однако этот процесс может развиваться веками и даже тысячелетиями;

- в некоторых регионах будут меньше риски, связанные с экстремальными осадками, засухами и нехваткой воды, с ограничениями возможностей адаптации; тропические циклоны будут менее интенсивны, хотя на их частоте это не сказывается.

Реакция биологических систем также будет более умеренная при потеплении на 1.5°C по сравнению с потеплением на 2°C:

- ареалы некоторых биологических видов сместятся/сократятся в меньшей степени; некоторые биологические виды (насекомые – 18%, растения – 16%, позвоночные – 8%) при потеплении на 1.5°C утратят 50% площади своего климатически обусловленного географического ареала, а при потеплении на 2°C – 66%;

- при потеплении на 2°C трансформации экосистем охватывают 13% суши, а при потеплении на 1.5°C вдвое меньшую территорию; при этом уже при потеплении на 1.5°C ожидается инвазия видов растений из пустынных и аридных местообитаний в средиземноморский биом, беспрецедентная за последние 10 000 лет; древесные кустарники вторгаются в тундру;

- при потеплении сверх 1.5°C из существующих в наши дни тепловодных коралловых рифов 70-90% исчезнут;

- увеличение содержания CO₂ в атмосфере приводит к увеличению кислотности верхнего слоя океана; уже наблюдаемые уровень закисления и потепление океана, соответствующие потеплению воздуха в приповерхностном слое на 1.5°C, оказывают воздействия на морские организмы, а также на морскую аквакультуру и рыболовство.

Человек и системы его жизнеобеспечения при потеплении до 1.5°C также оказываются в условиях меньших рисков, чем при потеплении на 2°C:

- число людей, испытывающих недостаток воды, оказывается вдвое меньше;

- при большем потеплении риски для растениеводства в тропической части Африки, на юго-востоке Азии, в Центральной и Южной Америке возрастут; на 7 - 10% уменьшится горное скотоводство;

– в зоне Сахеля, на юге Африки, в Средиземноморье, в Центральной Европе и в бассейне Амазонки риски для продовольственной безопасности будут меньше;

– подъем уровня Мирового океана – особенно важный фактор для небольших островных стран – будет на 0.1 м меньше в результате чего в прибрежных зонах на 10 млн человек меньше окажутся под влиянием связанных с этим негативных последствий;

– число людей, подверженных и климатообусловленным рискам, и бедности, будет на несколько сот миллионов меньше.

При этом возможности адаптации при большем уровне потепления в целом будут более ограниченными, чем при меньшем потеплении.

Совокупность дополнительных рисков (часть которых приведена выше) и ограничения адаптационных возможностей, возникающие при потеплении в интервале 1.5 - 2°C по сравнению с потеплением до 1.5°C, довольно существенные. Какие же необходимы дополнительные усилия по ограничению глобальной эмиссии парниковых газов для того, чтобы избежать этого?

Возможности ограничения глобального антропогенного потепления уровнем 1.5°C

Если не рассматривать возможности ограничения потока солнечного излучения, поглощаемого атмосферой и земной поверхностью⁷, то существуют только два пути ограничить антропогенное потепление:

– уменьшение глобальной антропогенной нетто-эмиссии парниковых газов в атмосферу;

– активное удаление парниковых газов из атмосферы и их долговременное захоронение.

Первый путь связан с совершенствованием технологий во всех секторах экономики, направленных на снижение эмиссий, в том числе путем повышения эффективности использования энергии и более широкого использования возобновляемых источников энергии. Ведь сжигание ископаемого органического топлива, в том числе для нужд энергетики и транспорта, сейчас является основным источником антропогенной эмиссии CO₂ в атмосферу.

Второй путь – инженерия климата. Это и прямое изъятие парниковых газов из атмосферы специальными установками, стимулирование естественных потоков их удаления из атмосферы и такое изменение способов ведения сельского и лесного хозяйства, при котором больше углерода остается в почве или водоемах в устойчивых формах.

В докладе отмечается, что удаление углекислого газа (carbon dioxide removal - CDR) с преимущественным использованием Биоэнергии с улавливанием и захоронением углерода (Bioenergy with Carbon Capture and Storage –

⁷ Эти возможности объединяются термином «Solar Radiation Management». Входят в совокупность методов инженерии климата (Рябошапка, Ревокатова, 2015), но в данном докладе не рассматриваются.

BECCS) и/или облесения и восстановления лесов (Afforestation and Reforestation – AR) являются неперенными и перспективными методами для ограничения глобального потепления. Однако широкое внедрение этих технологий вызывает определенную конкуренцию с традиционным земледелием за земельные ресурсы – ведь и BECCS, и AR требуют земельных ресурсов. Кроме того, они сами по себе оказывают определенное воздействие на региональный климат.

При количественной оценке возможностей ограничения содержания углекислого газа в атмосфере удобно использовать понятие углеродного бюджета. Он определяется с использованием понятия «нулевая нетто-эмиссия» (net-zero CO₂ emission): это положение, *когда глобальная антропогенная эмиссия CO₂ уравновешена глобальным антропогенным его изъятием в пределах определенного периода.*

Такое изъятие и длительное хранение в геологических резервуарах, наземных и океанских экосистемах, в составе произведенных продуктов (например, изделий из дерева) может осуществляться путем стимулирования геохимического и биологического стока, а также прямого захвата из атмосферы специальными установками с последующим химическим превращением в нелетучие вещества и утилизацией или долговременным захоронением.

Общий углеродный бюджет определяется в докладе как *такое значение кумулятивной глобальной антропогенной нетто-эмиссии CO₂ за период с доиндустриальных времен до того момента, когда глобальная антропогенная нетто-эмиссия CO₂ станет нулевой, что соответствующее глобальное потепление ограничивается заданным уровнем с учетом воздействия других антропогенных эмиссий.* Остаточный углеродный бюджет – часть общего, оставшаяся, считая с заданного момента времени.

В докладе проанализированы научные публикации, в которых исследовались траектории глобальных антропогенных нетто-эмиссий в XXI веке, совместимые с целью отсутствия превышения или же ограниченного превышения глобальной температурой уровня 1.5°C. В модельных расчетах это реализовывалось при сокращении глобальной антропогенной нетто-эмиссии CO₂ от уровня 2010 г. на 45% к 2030 г. при достижении нулевой нетто-эмиссии к 2050 г. Для глобальной цели 2°C эмиссии к 2030 г. сокращаются на 20%, а нулевая нетто-эмиссия достигается к 2075 г. При этом сокращения эмиссии других парниковых газов для глобальных температурных целей 1.5°C и 2°C существенны и сходны.

Чтобы ограничить глобальное потепление уровнем 1.5°C, необходимо оставаться в пределах углеродного бюджета. С доиндустриальных времен по 2017 г. из общего углеродного бюджета, соответствующего 1.5°C, израсходовано примерно 2200 ± 320 ГтCO₂. Остаточный углеродный бюджет 420 - 570 ГтCO₂ с вероятностью 66% обеспечивает ограничение роста глобальной температуры уровнем 1.5°C. Современный темп эмиссии CO₂ сокращает этот бюджет со скоростью 42 ± 3 ГтCO₂ в год. Ясно, что при сохранении современных выбросов CO₂ в ближайшие десятилетия остаточный углеродный бюджет будет исчерпан.

Сумма обещаний стран – участниц Парижского соглашения (т.е. вкладов в сокращение эмиссий, определяемых на национальном уровне, nationally determined contributions - NDCs) не обеспечивает ограничения роста глобальной температуры в XXI веке уровнем 1.5°C даже при условии существенного сокращения глобальных эмиссий после 2030 г.

И, наконец, для ограничения глобального потепления уровнем 1.5°C предполагаются ежегодные инвестиции в первую половину XXI века относящиеся к энергетике, дополнительные к тем, что соответствуют существующей климатической политике, в размере около 1 трлн долларов США⁸, что составляет около 1% мирового ВВП.

Заключение

Основные выводы специального доклада МГЭИК «Глобальное потепление на 1.5°C» в самом общем виде можно суммировать следующим образом:

– при глобальном потеплении на 1.5-2°C по сравнению с потеплением до 1.5°C возникают заметные и существенные дополнительные риски для природных и социально-экономических систем; эти риски, однако, количественно измеряется в разных единицах, что препятствует общей, суммирующей оценке предотвращенного ущерба при сдерживании потепления на более низком уровне;

– ограничение потепления в XXI веке уровнем 1.5°C технологически возможно; однако это потребует срочного (до 2030 г.) сокращения почти в половину глобальной антропогенной нетто-эмиссии CO₂ и доведение ее к середине века до нуля; при этом антропогенные эмиссии остальных парниковых газов необходимо также существенно сократить;

– такие ограничения связаны с дополнительными ежегодными инвестициями, которые в первую половину XXI века будут сравнимы с 1% мирового ВВП;

– откладывание мер по сокращению глобальной антропогенной нетто-эмиссии парниковых газов сократят возможности как в области митигации, так и адаптации.

Научная информация, представленная в этом докладе, не содержит рекомендаций. Это – научные данные к сведению политиков и их советников по климату. В ходе дальнейших обсуждений в рамках международного переговорного процесса по климату им предстоит сопоставить возможный ущерб при потеплении на 2°C по сравнению с потеплением на 1.5°C с издержками, возникающими при осуществлении мер по ограничению потепления уровнем 1.5°C, и наметить дальнейшие шаги в мировой климатической политике. Эти обсуждения начнутся уже на следующей Конференции Сторон (КС-24) РКИК ООН, которая состоится в Катовице, Польша, 3-14 декабря 2018 г.

⁸) Доллары США 2010 года.

Список литературы

Гладильщикова А.А., Семенов С.М. 2017. Межправительственная группа экспертов по изменению климата (МГЭИК): цикл Шестого оценочного доклада. – Фундаментальная и прикладная климатология, № 2, с. 13-25. Doi: 10.21513/2410-8758-2017-2-13-25.

Доклад Конференции Сторон о работе ее двадцать первой сессии, состоявшейся в Париже с 30 ноября по 13 декабря 2015 года. Добавление. Часть вторая: Меры, принятые Конференцией Сторон на ее двадцать первой сессии. Рамочная конвенция об изменении климата. (Distr.: General 29 January 2016 Russian Original: English), 42 с. – Электронный ресурс. URL: <https://unfccc.int/resource/docs/2015/cop21/rus/10a01r.pdf>.

Парижское соглашение. Организация Объединенных Наций. 2015. 32 с. – Электронный ресурс. URL: https://unfccc.int/sites/default/files/russian_paris_agreement.pdf.

Рамочная Конвенция Организации Объединенных Наций об изменении климата организация объединенных наций. 1992. FCCC/INFORMAL/84 GE.05-62222 190705 280705, 30 с. – Электронный ресурс. URL: http://www.un.org/ru/documents/decl_conv/conventions/climate_framework_conv.shtml.

Рябошапко А.Г., Ревокатова А.П. 2015. Потенциальная роль удаления CO₂ из атмосферы методами инженерии климата в стабилизации его концентрации на приемлемом уровне. – Москва, ИГКЭ, 86 с. ISBN 978-5-9907116-1-7.

IPCC, 2013. Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Stocker, T.F., D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S.K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex and P.M. Midgley (eds.)]. – Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 1535 p.

IPCC, 2014a. Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Part A: Global and Sectoral Aspects. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Field, C.B., V.R. Barros, D.J. Dokken, K.J. Mach, M.D. Mastrandrea, T.E. Bilir, M. Chatterjee, K.L. Ebi, Y.O. Estrada, R.C. Genova, B. Girma, E.S. Kissel, A.N. Levy, S. MacCracken, P.R. Mastrandrea, and L.L. White (eds.)]. – Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 1132 p.

IPCC, 2014b. Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Part B: Regional Aspects. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Barros, V.R., C.B. Field, D.J. Dokken, M.D. Mastrandrea, K.J. Mach, T.E. Bilir, M. Chatterjee, K.L. Ebi, Y.O. Estrada, R.C. Genova, B. Girma, E.S. Kissel, A.N. Levy, S. MacCracken, P.R. Mastrandrea, and L.L. White (eds.)]. – Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 688 p.

IPCC, 2014c. Climate Change 2014: Mitigation of Climate Change. Contribution of Working Group III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Edenhofer, O., R. Pichs-Madruga, Y. Sokona, E. Farahani, S. Kadner, K. Seyboth, A. Adler, I. Baum, S. Brunner, P. Eickemeier, B. Kriemann, J. Savolainen, S. Schlüner, C. von Stechow, T. Zwickel and J.C. Minx (eds.)]. – Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 1435 pp.

IPCC, 2018. Global warming of 1.5°C. IPCC special report on the impacts of global warming of 1.5°C above pre-industrial levels and related global greenhouse gas emission pathways, in the context of strengthening the global response to the threat of climate change, sustainable development, and efforts to eradicate poverty. 2018. Available at: <http://report.ipcc.ch/sr15/>.

Izrael Yu.A., Semenov S.M. 2006. Critical Levels of Greenhouse Gases, Stabilization Scenarios, and Implications for the Global Decisions. – In: Avoiding Dangerous Climate Change /Schellnhuber H.J., Cramer W., Nakicenovic N., Wigley T. and Yohe G. (Eds). – Cambridge University Press, pp. 73-79.

Статья поступила в редакцию: 05.11.2018 г.

После переработки: 16.11.2018 г.