

ГЛОБАЛЬНАЯ ЭКОЛОГИЯ

УДК [504.61+504.7]:551.583

В.Н. Малинин

ГЛОБАЛЬНЫЙ ЭКОЛОГИЧЕСКИЙ КРИЗИС И КЛИМАТ

Российский государственный гидрометеорологический университет,
malinin@rshu.ru

V.N. Malinin

GLOBAL ECOLOGICAL CRISIS AND CLIMATE

В статье даются краткое описание глобального экологического кризиса, вызывающих его факторов и оценка влияния ряда климатических процессов на биосферу и человеческое общество. Обсуждаются изменения индекса живой планеты, парниковый эффект как основной фактор глобального потепления, особенности обмена углекислым газом между океаном и атмосферой, экологические последствия роста уровня Мирового океана.

Ключевые слова: *экологический кризис, индекс живой планеты, климат, глобальное потепление, парниковый эффект, обмен углекислым газом между океаном и атмосферой, уровень Мирового океана, опасные гидрометеорологические явления.*

The article gives a brief description of the global ecological crisis, the factors causing it, and assessments of the impact of a number of climatic processes on the biosphere and human society. Changes in the living planet index, the greenhouse effect as the main factor of global warming, peculiarities of carbon dioxide exchange between the ocean and the atmosphere, the ecological consequences of the sea level rise are discussed.

Keywords: *ecological crisis, living planet index, climate, global warming, greenhouse effect, exchange of carbon dioxide between the ocean and the atmosphere, global sea level, dangerous hydro-meteorological phenomena.*

Введение

Безответственное отношение к природе – раковая опухоль в теле человечества, которая через пищу, воду и воздух разъедает его изнутри

Если кратко, то глобальный экологический кризис – это *нарушение равновесия* между человеческим обществом и окружающей его природной средой во всем многообразии последней: с землей, водой, лесами, животным миром, воздухом. Очень большое число людей считает, что равновесие между человеческим обществом и природной средой нарушено, причем уже довольно давно. По сути это означает, что глобальный экологический кризис (ГЭК) на нашей планете не только

наступил, но и продолжает интенсивно развиваться. Это объективная реальность, данная нам в «субъективных ощущениях» и проявляющаяся прежде всего в том, что мы называем *ухудшением качества жизни*, которое обусловлено повсеместным снижением качества потребляемых продуктов питания, питьевой воды и ее дефицитом, загрязнением воздуха, особенно в крупных городах [8]. Есть и более точные показатели ГЭК. В частности, как будет показано ниже, индекс живой планеты, характеризующий биологическое разнообразие Земли, стремительно уменьшается.

Разумеется, полное обсуждение всех аспектов ГЭК невозможно в рамках одной статьи, поэтому цель данной работы состоит лишь в кратком описании ГЭК и факторов, его вызывающих, и в оценке влияния ряда климатических процессов на глобальную биосферу и человеческое общество. В соответствии с этими основными задачами являлись:

- краткое описание ГЭК и факторов, его обуславливающих;
- оценка влияния потепления климата на глобальную биосферу;
- анализ парникового эффекта в атмосфере как основного фактора глобального потепления;
- оценка обмена углекислым газом между океаном и атмосферой;
- анализ экологических последствий роста уровня Мирового океана.

Глобальный экологический кризис и факторы, его обуславливающие

Достаточно очевидно, что чрезмерное вмешательство человека в естественную среду обитания может приводить к деградации и даже к необратимым последствиям, когда ее восстановление замедляется, а затем и останавливается. Вследствие нарушения равновесия происходит стремительное сокращение биологического разнообразия, то есть невосполнимая гибель многих животных и растений. Важным условием существования биосферы является ее разнообразие, которое обеспечивает непрерывный биохимический круговорот вещества и потоков энергии, поддерживая связи атмосферы, литосферы, гидросферы и создавая целостность природной среды. Именно биологическое разнообразие обеспечивает системе устойчивость через множество внутренних и внешних взаимосвязей и взаимодействий.

В биосфере имеется большой набор процессов регулирования с обратной связью и, как следствие, набор циклических процессов, позволяющих ей компенсировать изменяющиеся условия. Однако *масштабы человеческой деятельности и связанного с ней использования ресурсов растут настолько быстро, что окружающая среда, которая всегда обеспечивала условия для нашего развития и роста, уже не в состоянии компенсировать изменяющиеся условия и начинает разрушаться* (WWF. Живая планета – 2016). По существу, в настоящее время антропогенное воздействие человеческой деятельности на природу настолько велико, что подошло к своей критической отметке [17].

По мнению экспертов Всемирного фонда дикой природы (WWF), если нынешние темпы расходования природных ресурсов и уничтожения биосферы не будут уменьшены, уже к 2040 г. нашу планету ждет ГЭК, который может поставить под вопрос выживание человечества. Речь идет прежде всего о невозобновляемых

энергетических ресурсах, воде и пригодной для возделывания сельскохозяйственных культур почве. На наш взгляд, при данной формулировке ГЭК возникает некоторая путаница. Более правильно следует говорить о возможной глобальной экологической *катастрофе*, которая может разразиться к 2040 г. Экологическая катастрофа отличается от экологического кризиса тем, что кризис – это обратимое состояние, где человек выступает активно действующей стороной, а катастрофа – необратимое явление, что означает невозможность возврата глобальной экосистемы к естественным условиям.

ГЭК происходит за счет действия значительного числа разнообразных факторов, которые в упрощенном виде можно разделить на несколько больших групп: экономико-социальные, климатические, геофизические и антропогенные. Деление на указанные группы в определенной степени условно, так как некоторые факторы одновременно могут относиться к разным группам. Например, парниковый эффект является важнейшей причиной современных изменений климата, однако его генезис зависит от совокупности естественных и антропогенных факторов.

К *экономико-социальным факторам* относятся экспоненциальный рост мировой экономики, приводящий к исчерпанию физических возможностей Земли, перенаселенность и неразумная урбанизация территории планеты; физическая и нравственная деградация человека, усиление социального неравенства в обществе. В результате роста мировой экономики происходит увеличение выбросов в атмосферу отходов производства, углекислого газа и других парниковых газов, загрязнения почвы и океана. Например, только за 25 послевоенных лет США повысили объем производства в 2,5 раза, одновременно увеличив в 20 раз загрязнение окружающей среды. С развитием химизации производства растет количество трудноокисляемого мусора, которое уже приближается к общей массе живых организмов биосферы, уступая ей лишь в 2 раза, но зато в 5 раз превышает производство этой биомассы в год. Как образно выразился в своей книге «Экологический кризис» экономист Кеннет Е. Баулдинг, «конечным продуктом экономической жизни является мусор». Что касается перенаселенности планеты, то биологическая численность человеческого вида превышена примерно в 12 000 раз, а социальная (обеспеченность жизненными ресурсами) – в 6 раз [15]. Физическая деградация человека связана с резким ростом числа ранее неизвестных и зачастую неизлечимых болезней, а также алкоголизма, наркомании, заболеваемости СПИДом и др.

Но еще более страшной является нравственная деградация! Отсутствие нравственности и стремление получить материальную прибыль любой ценой – вот в чем корень проблемы. Именно *безответственное и безнравственное отношение к нашей праматери-природе на всех уровнях, от бытового до государственного, в конечном счете бумерангом бьет по самому человечеству и может стать спусковым механизмом его гибели, то есть биологического вырождения*. Крупнейшая в XX в. экологическая катастрофа высыхания Аральского моря полностью обусловлена неразумной человеческой деятельностью. Такого рода примеров можно привести немало. Именно безответственное отношение государственных органов, а также «владельцев заводов, яхт, пароходов» к проблемам экологии – наиболее опасный вид нравственной деградации.

Антропогенные факторы. Пожалуй, ключевыми антропогенными факторами являются использование возобновляемых природных ресурсов в масштабах, превосходящих способность природы к возобновлению, и нарастающее загрязнение вредными для окружающей среды веществами в масштабах от локальных до глобального. К основным видам загрязнения относятся следующие.

- *Выбросы в атмосферу* продуктов сжигания ископаемого топлива (прежде всего углекислого газа) и промышленного производства, которые приводят к усилению парникового эффекта, ухудшению качества атмосферного воздуха, образованию ядовитого смога над крупными городами, выпадению кислотных дождей и к другим негативным явлениям. Достаточно сказать, что в индустриальный период происходит почти экспоненциальный рост концентрации CO_2 в атмосфере, которая с 1800 г. увеличилась примерно на 35 % – с 281 до 400 млн⁻¹, причем такого высокого уровня она не достигала за последние 650 тыс. лет.

- *Истощение и загрязнение вод суши.* В последние десятилетия отмечается быстрое усиление в пространственной дифференциации водных ресурсов. Там, где их было мало, становится, как правило, еще меньше и наоборот. В новом Докладе ООН о состоянии водных ресурсов мира (2016) говорится, что проблема питьевой воды еще никогда не стояла так остро: от недостатка водных ресурсов сегодня страдают 40 % людей во всем мире, причем более почти 780 млн человек не имеют доступа к чистым источникам питьевой воды. Ожидается, что в период с 2000 по 2050 г. мировой спрос на воду для промышленных целей увеличится на 400 %. ООН предполагает, что к середине XXI в. до 4 млрд человек могут жить, постоянно испытывая нехватку воды. Все это побудило Папу Римского Франциска 24 февраля 2017 г. сказать на конференции по водным ресурсам, что «недостаточные объемы пресной воды в будущем могут стать причиной третьей мировой войны». Это слишком важное заявление, чтобы его игнорировать.

Очень серьезной проблемой является загрязнение вод суши за счет экстенсивного орошения в сельском хозяйстве, неконтролируемых выбросов пестицидов и других химикатов в водоемы, отсутствия надлежащей очистки сточных вод и других факторов, что приводит к огромному превышению количества обычных вредных веществ свыше предельно допустимых концентраций (ПДК). Так, в России почти 90 % сточных вод попадает в водоемы практически без очистки, а 70 % поверхностных вод и до 30 % подземных потеряли питьевое значение и перешли в категории загрязненности «условно чистая» и «грязная». Около 70 % населения РФ употребляют воду, не соответствующую стандартам питьевой воды. В развивающихся странах ситуация еще хуже.

- *Загрязнение почв* из-за выпадения загрязненных осадков, но особенно от использования пестицидов и минеральных удобрений, которые применяются для повышения урожайности сельхозпродукции. При этом с каждым новым годом их требуется все больше и больше, в результате процесс идет по восходящей, и уже сегодня в ряде аграрноразвитых стран (США, Голландии и др.) возникают громадные массивы мертвой почвы, на которой себя хорошо чувствуют лишь генетически модифицированные растения. Растения с нормальной генетикой на такой почве расти и давать полноценное потомство не могут.

- *Загрязнение океана* и изменение свойств океанических вод за счет нефтепродуктов и других отходов промышленного производства, выноса загрязненных

речных вод в моря и океан, захоронения в океанических водах высокотоксичных химических и радиоактивных веществ, окисление водных масс за счет снижения показателя pH , вызванного попаданием в океан углекислого газа из атмосферы Земли. С 1890 г. кислотность океана повысилась на 30 %. Особенно большое влияние на биоресурсы океанических вод оказывают разливы нефти при катастрофах гигантских танкеров и нефтяных платформ. Огромное количество нефти вылилось в Мексиканский залив во время аварии на нефтяной платформе «Бритиш петролеум» 20 апреля 2010 г. Произошла беспрецедентная экологическая катастрофа, которая, возможно, оказала на природу воздействие не меньшее, чем Чернобыль [11]. Однако она не могла оказать существенное влияние на интенсивность Гольфстрима. Дело в том, что вытекающее из Флоридского пролива Флоридское течение обязано своим происхождением Малому Антильскому течению, входящему в Карибское море и далее несущему свои воды в Мексиканский залив, поэтому значительное уменьшение расходов этого течения возможно только при аналогичном уменьшении расходов Малого Антильского течения [11].

Геофизические факторы – землетрясения, извержения вулканов, цунами и др. Хотя указанные факторы носят эпизодический характер, однако они вызывают значительные экономико-экологические последствия, в т. ч. приводят к массовой гибели людей. При землетрясениях происходит нарушение инфраструктуры и разрушение жилищ людей, активизируются гравитационные склоновые процессы: обвалы, осыпи, оползни, сели, нарушается режим поверхностных и подземных вод. Естественно, все это сказывается на биогеоценозах. При этом наиболее крупные землетрясения сопровождаются цунами – длинной океанической волной, обрушивающейся с огромной разрушительной силой на берег.

Сильнейшим землетрясением в истории наблюдений является чилийское землетрясение, его магнитуда составила, по разным оценкам, от 9,3 до 9,5. Землетрясение произошло 22 мая 1960 г., его эпицентр располагался возле города Вальдивия в 435 км южнее Сантьяго. Подземные толчки вызвали мощное цунами, высота волн которого достигала 10 м. Количество жертв составило около 6 тыс. человек, причем основная часть людей погибла именно от цунами. Ущерб в ценах 1960 г. составил более 675 млн долл.

26 декабря 2004 г. произошло землетрясение в Индийском океане, близ западного берега северной части острова Суматра. Землетрясение силой 8,9–9 баллов спровоцировало возникновение цунами, сразу же обрушившегося на острова Суматра и Ява, а затем на побережье Таиланда, Бангладеш, Индии и других стран. Высота волны в некоторых районах достигла 30 м. Общее количество погибших, по разным данным, составляет от 200 до 300 тыс. человек. Более точные цифры не установлены до сих пор, т. к. множество тел было унесено водой. К настоящему моменту именно это цунами считается самым разрушительным. По общим оценкам, ущерб от катастрофы составил порядка 10 млрд долларов США.

В 2011 г. 11 марта огромная 10-метровая волна, передвигавшаяся со скоростью 800 км/ч, захлестнула восточное побережье Японии и привела к гибели или исчезновению свыше 18 тыс. человек. Причиной ее появления стало землетрясение магнитудой 9,0, произошедшее на глубине 32 км восточнее острова Хонсю. Около 452 тыс. оставшихся в живых японцев были перемещены во временные

убежища. Многие проживают в них по сегодняшний день. Землетрясение и цунами вызвали аварию на АЭС «Фукусима», после которой произошли существенные радиоактивные выбросы в атмосферу и Тихий океан. Общий ущерб составил 235 млрд долл.

Что касается извержений вулканов, то они сопровождаются массовыми выбросами в стратосферу пепла и аэрозолей. При особо крупных извержениях (Пинатубо, июнь 1991 г.; Агуанг, март 1963 г. и др.) это может приводить к многомесячному охлаждению атмосферы, которое получило название «ядерная зима». В результате извержений вулканов происходят нарушения инфраструктуры, выпадают кислотные дожди, в почву поступают тяжелые металлы и другие загрязнители, которые оказывают ощутимое воздействие на биосферу. Есть данные, что за последние 500 лет от вулканических извержений на Земле погибло 5 млн человек. Особого внимания заслуживает Йеллоустонский вулкан, который считается супервулканом, поскольку его извержение может кардинально повлиять на климат планеты и стереть с лица Земли свыше 70 % городов США. В начале 2017 г. произошел первый крупный выброс магмы. А 21 июня 2017 г. университет Юта, который осуществляет мониторинг вулкана, сделал официальное заявление: с 12 по 20 июня 2017 г. зарегистрировано 464 землетрясения, причем 15 июня – с магнитудой 4,5. И это уже серьезно, ибо если вулкан проснется по-настоящему, то наступление апокалипсиса неизбежно.

Климатические факторы – глобальное потепление климата, парниковый эффект, сдвиг климатических зон, повышение уровня океана, его окисление, рост стихийных и опасных гидрометеорологических явлений, истощение озонового слоя, из которых главенствующим является глобальное потепление. Именно оно способствует усилению многих неблагоприятных для человечества природных процессов, эколого-социально-экономический ущерб от которых огромен. Краткий перечень их приведен в табл. 1.

Таблица 1

Перечень эколого-социально-экономических ущербов, вызванных глобальными изменениями климата [8]

Вид ущерба	Описание ущерба
Здоровье людей	Гибель людей в результате наводнений, штормов, тайфунов, ураганов, число которых возрастает с потеплением климата
	Повышение уровней заболеваемости и смертности от ишемической болезни сердца, заболеваний органов дыхания, нервной системы, почек и др. в дни с жаркой погодой, количество которых в летний период будет увеличиваться
	Возрастание числа инфекционных и паразитарных заболеваний, связанных с повышением количества осадков, увеличением заболоченных площадей, изменением ареалов природно-очаговых инфекций
	Увеличение числа кишечных инфекций за счет нарушения нормального функционирования водопроводно-канализационных и инженерных сооружений
	Увеличение смертности и заболеваемости населения за счет загрязнения воздуха взвешенными частицами и другими опасными компонентами в результате лесных пожаров

Окончание табл. 1

Вид ущерба	Описание ущерба
Обеспечение продовольствием	Потери плодородия земель за счет водных эрозий, уплотнения почв, опустынивания, минерального голодания, засоления и подтопления, загрязнения
	Перестройка почвенной биоты, снижение общей продуктивности земель
	Недостаток водных ресурсов в засушливых районах
	Рост паводков и наводнений в результате повышения частоты ливневых осадков
	Появление чужеродных видов-гангстеров, небывалое распространение традиционных вредителей сельскохозяйственных культур и микроорганизмов, в т. ч. в регионах, где они раньше не встречались
Инфраструктура и население	Беспрецедентные по масштабам стихийные бедствия, приводящие к жертвам среди населения и к большим разрушениям объектов инфраструктуры вследствие увеличения повторяемости экстремальных засух, наводнений, ураганов и циклонов
	Необходимость создания большого запаса энергоносителей в качестве защиты от экстремальных разбросов температуры
	Разрушение зданий, промышленных предприятий, нарушение деятельности инженерных коммуникаций в результате таяния вечной мерзлоты
	Задымление на больших территориях за счет торфяных и лесных пожаров
	Нарушение экологического равновесия биосферы в целом

Отметим, что есть и другой взгляд на экологические проблемы, отчетливо представленный в работе Г.Т. Фрумина [16], который относит ГЭК к числу научных мифов. Он приводит различные высказывания из работ многих ученых, опровергающих, по его мнению, кризисный характер экологического состояния планеты. В частности, к числу ярых оптимистов относится известный датский ученый Б. Лоборг [19], который считает, что страх перед экологической катастрофой искусственно раздут и не имеет под собой серьезных оснований, поэтому «нет повода для уныния. Мы живем в лучшую эпоху. Все мрачные прогнозы несбыточны. Апокалипсиса не будет».

Возможно, апокалипсиса не будет, но явные признаки его наступления наблюдаются уже сегодня. В данном случае оптимизм – опасная штука. Сидеть сложа руки и смотреть, как разгорается лесной пожар, в надежде, что дождь его потушит, – это может закончиться тем, что все сгорит дотла.

Влияние потепления климата на глобальную биосферу

Параметром, характеризующим состояние глобальной биосферы, является индекс живой планеты (ИЖП), который отражает общее состояние биологического разнообразия и рассчитывается на основе собранных данных о популяциях позвоночных видов и усредненной динамики их численности. По сути, ИЖП характеризует экологическое состояние планеты. Он основан на научных данных о состоянии 14 152 популяций 3706 видов позвоночных животных (млекопитающих, птиц, пресмыкающихся, земноводных и рыб), обитающих во всем мире [3].

Развитие ГЭК приводит к стремительному сокращению биологического разнообразия, то есть невозможной гибели многих животных и растений. Средняя

численность популяций животных демонстрирует тревожную тенденцию к снижению. Динамика ИЖП с 1970 по 2012 г. указывает на 58 %-е снижение средней численности позвоночных (рис. 1). За период чуть больше 40 лет численность популяций позвоночных видов снизилась более чем вдвое. Согласно имеющимся данным средние темпы снижения составляют около 2 % в год, причем признаки замедления этого процесса пока отсутствуют [7]. Правда, надо отдать должное, что поставленная цель Конвенцией по биологическому разнообразию [1] снижения темпов ИЖП к 2010 г. в принципе была достигнута. В течение 2005–2012 гг. биологическое разнообразие практически не снижалось.

Наибольшей потенциальной угрозой для биоразнообразия в ближайшие десятилетия является изменение климата. Существует несколько причин, по которым растениям и животным сложнее приспосабливаться к глобальному потеплению. Одна из них заключается в чрезвычайной стремительности темпов изменений. Ожидается, что в текущем столетии средние глобальные температуры будут повышаться быстрее, чем в какой-либо другой период истории планеты, по крайней мере за прошедшие 10 тыс. лет. Многие виды просто не смогут достаточно быстро адаптироваться к новым условиям или переместиться в районы, более подходящие для их выживания [1]. В связи с этим значительный интерес представляет оценка влияния глобальной температуры воздуха на ИЖП. Впервые такая оценка была сделана аспирантом автора в работе [14]. Значения ИЖП брались за период 1970–2005 гг. из доклада [4], в котором указывается, что ИЖП рассчитывался по данным популяций 1686 видов позвоночных животных во всех регионах мира, то есть по значительно меньшему объему информации, чем в последующем докладе [3]. Коэффициент корреляции между глобальной температурой и ИЖП составил $r = 0,91$, то есть температура воздуха описывает чуть более 80 % изменчивости ИЖП. Сравнение ИЖП из разных докладов показало наличие почти одинаковых трендов и высокого коэффициента корреляции ($r = 0,95$).

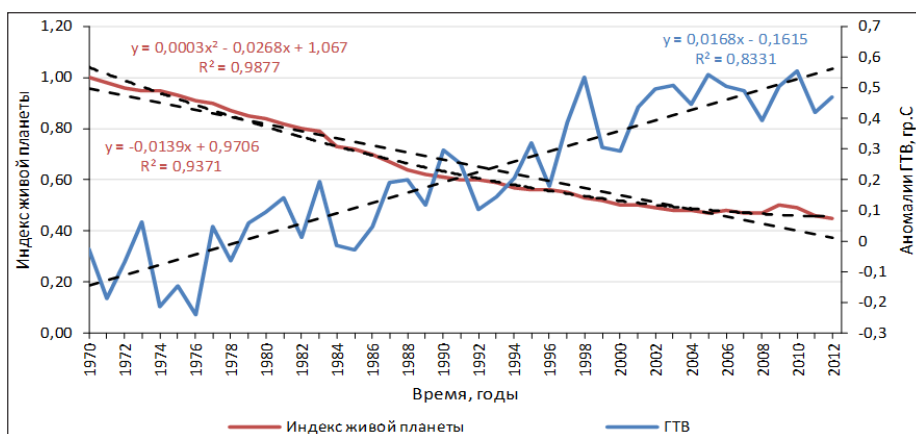


Рис. 1. Межгодовой ход индекса живой планеты и аномалий глобальной температуры воздуха за период 1970–2012 гг.

В данной работе выполнено уточнение характера связи между ИЖП [3] и аномалиями глобальной температуры воздуха (ΔГТВ) [27]. На рис. 1 приведен межгодовой ход ИЖП и ΔГТВ за период 1970–2012 г. Нетрудно видеть, что между ними отмечается ярко выраженная отрицательная связь, которая характеризуется коэффициентом корреляции $r = 0,89$. Это означает, что почти 80 % изменчивости ИЖП приходится на долю глобальной температуры воздуха, остальные 20 %, очевидно, связаны с антропогенной деятельностью.

Отметим, что линейный тренд описывает почти 94 % изменчивости ИЖП, а нелинейный – 99 %. Используя уравнение линейного тренда, легко определить год, когда ИЖП станет равным нулю. Это 2044 г., когда может наступить экологический коллапс. Из уравнения тренда для ΔГТВ следует, что в 2044 г. ΔГТВ = 1,11 °С. Используя линейную связь между ИЖП и ΔГТВ, легко получить, что в 2044 г. ИЖП = 0,04. Это близко соответствует предыдущей оценке.

Однако реализация такого сценария и наступление экологического коллапса в 40-х годах текущего столетия представляются все же маловероятными. Биологическое разнообразие обеспечивает глобальной биосферной системе устойчивость через множество внутренних и внешних взаимосвязей и взаимодействий, то есть способность к самовосстановлению. Слабейшие организмы вымирают, сильные – в конечном счете приспосабливаются к новым условиям. Как видно из рис. 1, снижение ИЖП начиная с 2004 г. почти прекратилось, глобальная биосфера, по-видимому, уже адаптируется к изменениям климата. Об этом свидетельствует и оценка ИЖП по нелинейному тренду, которая в 2044 г. может составить ИЖП = 0,34. С высокой долей вероятности можно говорить о том, что линейный спад ИЖП закончился, начался этап стабилизации ИЖП в диапазоне 0,30 – 0,40.

Парниковый эффект и глобальное потепление

Как известно, суть парникового эффекта (ПЭ) состоит в том, что атмосферные газы (водяной пар, углекислый газ, метан, закись азота и др.) задерживают часть длинноволнового излучения от поверхности Земли и рассеивают его в разные стороны, в результате чего происходит нагревание атмосферы, причем преимущественно ее нижних слоев. В отсутствие парниковых газов приповерхностная температура воздуха была бы на 33 °С меньше, то есть климат Земли был бы практически непригоден для существования человеческого общества.

В общем случае парниковый эффект можно представить суммой природного и антропогенного компонентов, то есть $ПЭ = ПЭ_{\text{прир}} + ПЭ_{\text{антр}}$. Естественный ПЭ вызван рядом природных факторов: процессами крупномасштабного взаимодействия океана и атмосферы и извержениями вулканов, вследствие чего в атмосферу выбрасывается значительное количество CO_2 и других парниковых газов. Антропогенный ПЭ обусловлен выбросами в атмосферу CO_2 и других газов за счет различных видов человеческой деятельности. До настоящего времени *корректное разделение ПЭ на естественный и антропогенный компоненты не представляется возможным*. Однако, по мнению экспертов Межправительственной группы экспертов по изменению климата (МГЭИК), антропогенный ПЭ доминирует. Главный аргумент – экспоненциальный рост выбросов в атмосферу углекислого газа, который создает ПЭ. Но главным парниковым газом является атмосферный

водяной пар, вклад которого в ПЭ составляет примерно 50 %, еще 25 % приходится на облачность, только 20 % – на углекислый газ и 5 % – на остальные парниковые газы [26].

Несмотря на признание еще в 1990 г. факта, что именно водяной пар является самым сильным парниковым газом [23], с подачи экспертов МГЭИК происходит игнорирование роли влагосодержания атмосферы (ВА) в современных изменениях климата и считается, что ВА является только их откликом. Причина, по которой водяной пар не учитывается как климатический фактор, состоит в том, что «*прямые выбросы водяного пара от антропогенной деятельности создают пренебрежимо малый вклад в радиационный форсинг*» [22]. Именно антропогенная ангажированность является лейтмотивом всей деятельности экспертов МГЭИК [10]. По их мнению, только человеческая деятельность влияет на современные колебания климата и ничего более. В последнем Пятом отчете МГЭИК [21] делается вывод: «*в высшей степени вероятно (extremley likely, 95–100 %), что влияние человека является доминирующей причиной наблюдаемого потепления с середины XX столетия*».

С этим трудно согласиться. Действительно, изменения ВА в соответствии с уравнением глобального атмосферного баланса влаги определяются разностью глобальных величин испарения и осадков или в первом приближении разностью испарения и осадков над Мировым океаном. Поэтому именно процессы взаимодействия океана с атмосферой, формирующие изменчивость составляющих вертикального влагообмена, являются главными факторами формирования межгодовых колебаний ВА, в т. ч. его тренда. Через ПЭ влагосодержание может оказывать воздействие на климатические процессы. Поскольку изменения ВА не вписываются в антропогенную деятельность, то эксперты МГЭИК вынуждены их игнорировать.

Рассмотрим степень взаимосвязи влагосодержания атмосферы над Мировым океаном (BA_{MO}) с другими глобальными характеристиками системы «океан – атмосфера»: температурой воздуха приземного слоя ($T_{B_{MO}}$), температурой поверхностного слоя воды ($T_{PO_{MO}}$) и испарения (E_{MO}) [12]. Все перечисленные характеристики усреднялись во времени (1 год) и по пространству (Мировой океан в целом). В табл. 2 представлены уравнения трендов, оценки коэффициентов детерминации и индекса тренда для характеристик системы «океан – атмосфера» за период 1988–2012 гг. Введение индекса тренда позволяет определить сравнительную значимость трендов для характеристик, имеющих разную размерность. Он представляет собой отношение размаха тренда к его среднему значению и выражается в процентах, то есть

$$I_{тр} = a_1 n / 100 X_{cp},$$

где a_1 – угловой коэффициент тренда; n – длина временного ряда ($n = 25$ лет); X_{cp} – среднее значение тренда.

По сути, индекс тренда – некий аналог коэффициента вариации, используемого для сравнения изменчивости характеристик, имеющих разную размерность. При этом на индекс тренда накладываются те же ограничения, что и на коэффициент вариации. Интерпретация индекса вытекает из определения тренда. Если, например, индекс одного тренда превышает индекс другого вдвое, то это означает,

что скорость изменения данной характеристики превышает скорость изменения другой характеристики тоже вдвое.

Таблица 2

Оценки уравнений трендов, коэффициентов детерминации и индекса тренда для характеристик системы «океан – атмосфера» за период 1988–2012 гг. [12]

Характеристика	Уравнение тренда	Коэффициент детерминации	Индекс тренда, % $a_1 n / 100 X_{cp}$
BA_{MO}	$0,0333 t + 27,94$	$R^2 = 0,57$	2,93
TB_{MO}	$0,0091 t + 18,59$	$R^2 = 0,45$	1,22
TPO_{MO}	$0,0111 t + 19,98$	$R^2 = 0,58$	1,38
E_{MO}	$0,0845 x + 118,05$	$R^2 = 0,13$	1,77

Все тренды, указанные в табл. 2, являются значимыми по критерию Стьюдента при уровне значимости $\alpha = 0,05$. При этом максимальный коэффициент детерминации отмечается для TPO_{MO} , а наименьший – для испарения. Индекс тренда максимален для влагосодержания атмосферы и более чем в 2 раза превышает индекс для ТПО и ТВ. Данный результат представляется очень важным, ибо он опровергает вывод экспертов МГЭИК о том, что «увеличение концентрации водяного пара является ключевым следствием, но не причиной процесса глобального потепления и, следовательно, полностью обусловлено положительной обратной связью между ними».

Обратимся к рис. 2, на котором представлена зависимость средних годовых значений BA_{MO} от аномалий глобальной температуры воздуха ($\Delta TB_{гл}$) за период 1988–2012 гг., по данным [27], которая свидетельствует об очень высокой линейной корреляции между ними ($r = 0,95$). В принципе, несложно рассчитать как прямое уравнение регрессии $BA_{MO} = f_1(\Delta TB_{гл})$, так и обратное $\Delta TB_{гл} = f_2(BA_{MO})$, которые будут иметь одинаковую точность. Линейное уравнение регрессии между BA_{MO} и $\Delta TB_{гл}$, рассчитанное методом наименьших квадратов, имеет вид

$$BA_{MO} = 28,20 + 2,22 \Delta TB_{гл}. \quad (1)$$

Коэффициент детерминации этого уравнения $R^2 = 0,90$, а средняя квадратическая ошибка оценки BA составляет $\sigma_{BA} = 0,10$ мм, то есть является малой величиной. Из данной формулы видно, что при повышении $\Delta TB_{гл}$ на 1 градус BA_{MO} растет на 2,22 мм, или на 7,8 %.

Нетрудно показать, что температура воздуха, теплосодержание океана, испарение, BA , концентрация CO_2 , ледовитость полярных районов, изменения альбедо, уровень Мирового океана – это процессы, которые протекают согласованно, и изменения одного из них через обратные связи в системе «океан – атмосфера» вызывают изменения других. Поэтому *формирование глобального потепления обусловлено не антропогенной деятельностью, а процессами крупномасштабного взаимодействия между океаном и атмосферой, и регулируется системой положительных и отрицательных обратных связей, причем положительные связи преобладают*. Главная роль в этом принадлежит обратной положительной связи между температурой воздуха и влагосодержанием. При этом сложно утверждать, что является причиной, а что следствием.

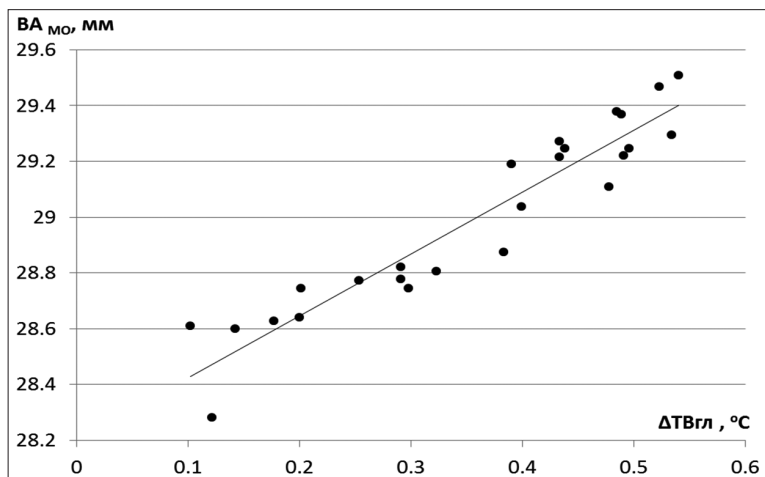


Рис. 2. График статистической связи между средними годовыми значениями BA_{MO} и $\Delta TV_{гг}$ за период 1988–2012 гг. (по данным [10])

С одной стороны, с повышением глобальной температуры воздуха происходит некоторый рост ВА, с другой – рост ВА через парниковый эффект ведет к росту температуры. В реальных условиях рост концентрации CO_2 и ВА происходит согласованно и в одной фазе, поэтому их воздействие на $TV_{гг}$ осуществляется совместно. Отсюда следует определенный дуализм в «поведении» атмосферного водяного пара, который является не только откликом на изменения климата, но и в определенной степени климатообразующим фактором. Однако если бы не было дополнительного углекислого «покрывала» в атмосфере, формирующегося за счет антропогенной деятельности, то климатическая система испытывала бы циклические колебания. По сути, *рост концентрации CO_2 – это фактор усиления обратной положительной связи между температурой воздуха и влажностью, не допускающий движения климатической системы в сторону похолодания.*

Важным следствием глобального потепления является разбалансированность климатической системы, сопровождающаяся быстрым ростом аномальных условий опасных гидрометеорологических явлений (ОГЯ), наносящих значительный эколого-экономический ущерб. Например, общий ущерб мировой экономике в 2010 г. за счет ОГЯ по расчетам швейцарской страховой компании Swiss Re составил 218 млрд долл. Согласно мировым статистическим данным количество опасных природных чрезвычайных ситуаций возрастает ежегодно в среднем на 4,0 %, а экономические потери от них – на 10,4 %.

Как известно, на верхней границе атмосферы радиационный баланс равен нулю, то есть приток энергии от Солнца равен его оттоку в космос. Однако вследствие ПЭ нижние слои атмосферы нагреваются, а нижняя стратосфера, наоборот, охлаждается. В результате происходит рост вертикального градиента плотности воздуха, усиливающий вертикальные движения в атмосфере, которые носят преимущественно турбулентный характер. Одновременно с этим из-за повышения

приповерхностной температуры воздуха усиливается конвекция. Дополнительно следует учитывать и фактор урбанизации общества. Как известно, города являются «островами тепла», температура воздуха в них, особенно в зимний период, выше, чем на окружающих территориях. Это создает условия для подъема более теплого воздуха вверх, то есть происходит усиление конвекции.

В результате действия указанных процессов возрастает турбулентность атмосферы, проявляющаяся в виде синоптических и мезомасштабных вихрей (крупномасштабные наводнения, засухи, тропические ураганы, тайфуны, штормовые циклоны, смерчи, торнадо и т. п.), наблюдающихся в разных странах мира. Дополнительным фактором, способствующим росту этих процессов, является уменьшение меридионального градиента плотности воздуха «экватор – полюс», обусловленного быстрым ростом температуры воздуха в северной полярной области. Кроме того, в последние десятилетия отмечается ослабление североатлантического и тихоокеанского колебаний. Вследствие этого происходит ослабление зональной и усиление меридиональной циркуляции в Северном полушарии. *Усиление меридиональной циркуляции – это важнейшее условие формирования крупных погодных аномалий.*

Рассмотренные выше процессы действуют в одном направлении, усиливая мощность и частоту различных погодно-климатических аномалий. Например, для территории России только за 17 лет (1996–2012 гг.) рост ОГЯ происходил со скоростью 188/10 лет, в результате чего их число увеличилось более чем в 2 раза [2]. По данным работы [7] за период 1991–2014 гг. их рост составлял 15 явлений в год. Распределение суммарного числа опасных явлений и неблагоприятных условий погоды по их видам с использованием данных [18] представлено на рис. 3.

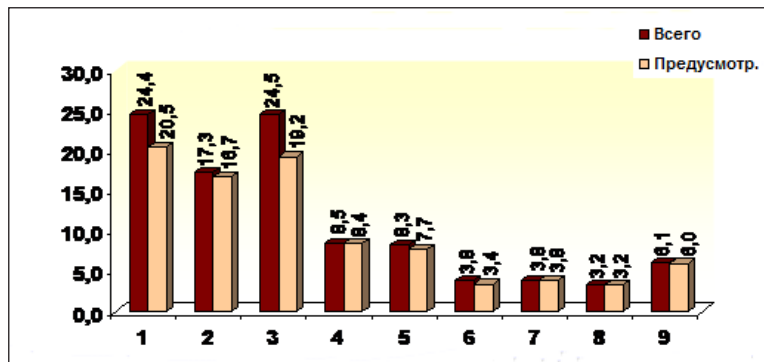


Рис. 3. Доля числа случаев опасных гидрометеорологических явлений по их видам за период 1991–2014 гг. [7], где 1 – сильный ветер, ураган, шквал, смерч, пыльные бури; 2 – сильная метель, сильный снег, налипание мокрого снега, гололед, гололедица; 3 – сильный дождь, продолжительный дождь, ливень, град, гроза; 4 – мороз, заморозки, сильная жара, резкое повышение/понижение температуры; 5 – весеннее половодье, дождевой паводок, наводнение, нагонные явления; 6 – лавина, сель; 7 – засуха атмосферная/почвенная, суховеи; 8 – чрезвычайная пожарная опасность; 9 – сильный туман, тягун, сильное волнение и др.

Из рис. 3 видно, что более 24 % всех явлений приходится на первую группу, состоящую из пяти характеристик (сильный ветер, ураган, шквал, смерч, пыльные бури), и третью группу (сильный дождь, продолжительный дождь, ливень, град, гроза). При этом характеристики и явления указанных двух групп наиболее трудно прогнозируемы (оправдываемость прогнозов составляет 83,5 и 78,0 % соответственно). Если рассматривать виды экономической деятельности, понесшие значительные социально-экономические потери от ОГЯ на территории России, то с большим отрывом лидируют электроэнергетика, сельское хозяйство и автотранспорт [7]. Достаточно очевидно, что при продолжающихся темпах глобального потепления будет происходить дальнейший рост мощности и частоты погодно-климатических аномалий, в т. ч. экстремальных аномалий.

Обмен углекислым газом между океаном и атмосферой

Мировой океан является самым крупным резервуаром углерода на планете: его запасы более чем в 50 раз превосходят запасы углерода в атмосфере и в 15 раз – запасы углерода в экосистемах суши. В среднем Мировой океан поглощает 80 млрд т $C \cdot год^{-1}$, а выделяет в атмосферу 78,4 млрд т $C \cdot год^{-1}$ [21], то есть он является активным поглотителем углекислого газа, тем самым ослабляя антропогенный парниковый эффект, обусловленный выбросами от сжигания ископаемого топлива и производства цемента, которые составляют примерно 8,3 млрд т $C \cdot год^{-1}$ [21].

В последние годы появились новые оценки результирующего потока CO_2 на границе раздела «океан – атмосфера». В обзорной работе [25] приводятся климатологические оценки годового потока CO_2 , полученные как в результате прямых измерений, так и на основе математического моделирования углеродного цикла. Разброс оценок CO_2 находится в пределах от 1,8 до 2,4 Pg $C \cdot год^{-1}$ при среднем значении 2,1 Pg $C \cdot год^{-1}$ ($Pg \cdot C \cdot год^{-1} = 10^{15} \text{ г} \cdot C \cdot год^{-1} = 1 \text{ млрд т} \cdot C \cdot год^{-1} \approx 0,25 \text{ моль} \cdot C \cdot м^2 \cdot год^{-1}$). Однако межгодовая изменчивость потока CO_2 , особенно в глобальном масштабе, исследована значительно хуже, поскольку до последнего времени отсутствовали обобщенные систематические данные за длительный период времени со всей акватории Мирового океана. Такая возможность появилась в результате создания глобального архива потоков углекислого газа в узлах географической сетки с пространственным разрешением 4° широты $\times 5^\circ$ долготы с 1982 г., находящегося в свободном доступе на сайте AOML NOAA (<http://cwgcom.aoml.noaa.gov/erddap/griddap/aomlcarbonfluxes.graph>) [20]. На основе данного архива в работе [5] был выполнен расчет глобального результирующего потока CO_2 за период 1982–2011 гг. (рис. 4).

Из рис. 4 видно, что рассматриваемый период можно разделить на два относительно однородных промежутка времени с разнонаправленными тенденциями: первому из них (1982–1996 гг.) свойственно возрастание потока CO_2 из атмосферы в океан, в то время как второму (1997–2011 гг.) – уменьшение потока CO_2 . В первом случае величина тренда составляет $Tr = -0,016$ млрд т $C \cdot год^{-2}$, причем тренд описывает 24 % дисперсии исходного ряда, во втором случае $Tr = 0,022$ млрд т $C \cdot год^{-2}$ при коэффициенте детерминации $R^2 = 0,39$, то есть оценки величин тренда довольно близки друг к другу. Если в ближайшие годы указанная тенденция сохранится, то 1997 г. можно будет считать переломным, после

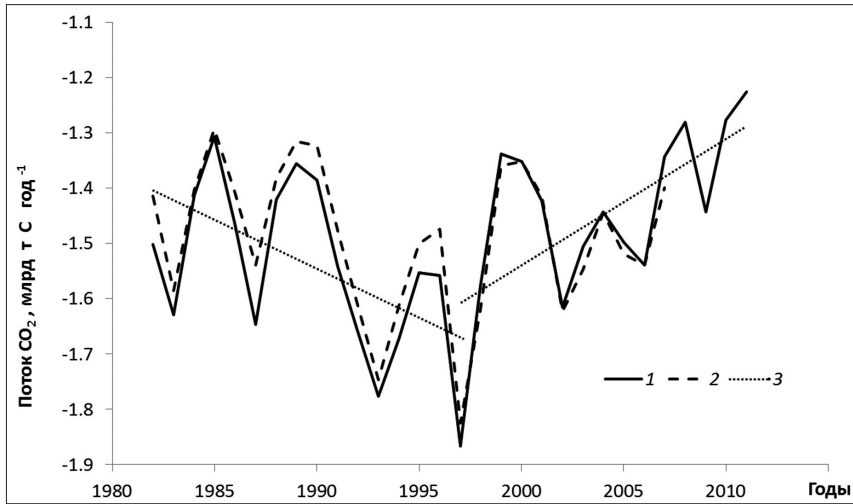


Рис. 4. Межгодовой ход результирующего глобального потока CO_2 на границе раздела «океан – атмосфера» за период 1982–2011 гг. в млрд т $\text{C} \cdot \text{год}^{-1}$:
1 – по данным [5]; 2 – по данным [24]; 3 – линейный тренд

которого *Мировой океан начинает превращаться в климатической системе из стабилизатора парникового эффекта в его ускоритель.*

Как известно, наиболее важным фактором, определяющим не только величину, но и направление потока CO_2 на поверхности океана, является температура поверхности океана (ТПО). От ТПО почти полностью зависит растворимость углекислого газа в морской воде. С повышением температуры воды растворимость CO_2 снижается, а с понижением – повышается. От пространственного распределения температуры зависит жизнедеятельность морских организмов, за счет которой возникают мощные источники и стоки CO_2 . Их действие обусловлено процессами поглощения CO_2 при фотосинтезе и, наоборот, его выделением при окислении органического вещества.

В связи с этим в работе [6] осуществлена оценка влияния ТПО на обмен углекислым газом с атмосферой в различных пространственно-временных масштабах. Для этого использовались спутниковые суточные данные о ТПО с 1 января 1982 г. по 31 декабря 2012 г. в узлах географической сетки $0,25 \times 0,25^\circ$ из архива NOAA NCDC OISSTv.2 (<http://iridl.ldeo.columbia.edu/SOURCES/.NOAA/.NCDC/.OISST/.version2/>), важным достоинством которого является однородность временных рядов и высокая оперативность их получения. Суточные данные о ТПО вначале усреднялись за календарный месяц, а затем – по 4-градусным широтным зонам Мирового океана с учетом площадей.

На рис. 5 приводится распределение выборочных коэффициентов корреляции r между среднеширотными среднегодовыми значениями ТПО и потоком CO_2 на границе раздела «океан – атмосфера». Нетрудно видеть, что величина коэффициента корреляции r и его знак сильно варьируют в зависимости от широты. Если для тропических и субтропических широт обоих полушарий в основном

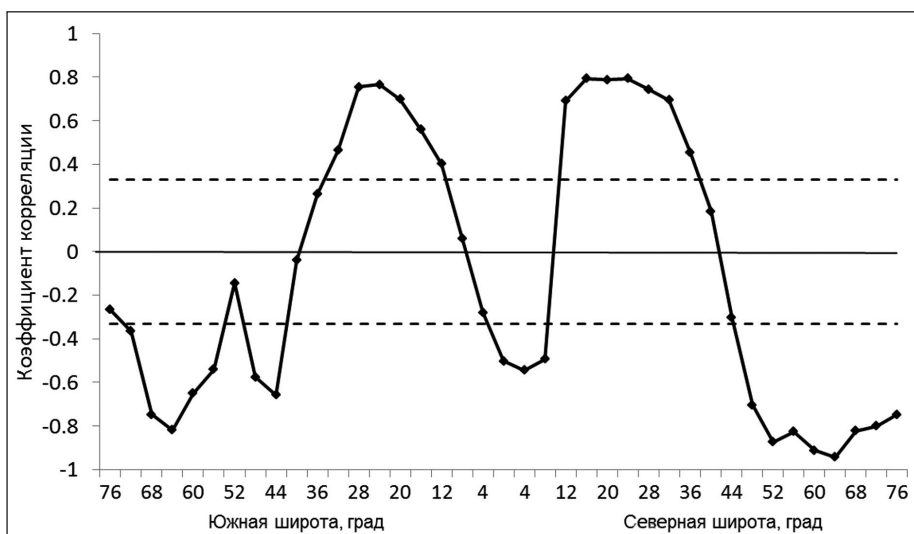


Рис. 5. Распределение выборочных коэффициентов корреляции r между среднеширотными среднегодовыми значениями ТПО и потоком CO_2 на границе раздела «океан – атмосфера», где пунктирные линии обозначают уровень значимости r при $\alpha = 0,05$ ($|r_{кр}| = 0,35$)

характерны высокие положительные коэффициенты корреляции (r достигает 0,8), то в экваториальном поясе, а также в умеренных и высоких широтах коэффициенты корреляции имеют уже отрицательный знак. Наибольшие (по абсолютной величине) отрицательные оценки r отмечаются в приполярных широтах. Абсолютный максимум наблюдается в широтной зоне 62–66° с. ш. ($r = -0,94$).

Учитывая знакопеременный характер потока CO_2 , в табл. 3 представлена интерпретация значимых коэффициентов корреляции. В целях простоты они рассматриваются относительно повышения ТПО. Как видно из табл. 3, реакция потоков углекислого газа на границе раздела «океан – атмосфера» на изменение ТПО имеет противоположные тенденции. С одной стороны, в умеренных и высоких широтах обоих полушарий при росте ТПО происходит увеличение потока CO_2

Таблица 3

Интерпретация значимых корреляционных связей среднеширотных среднегодовых значений ТПО и потока CO_2 на границе раздела «океан – атмосфера»

Широтная зона	Изменение ТПО	Изменение потока CO_2
78–42° с. ш.	Рост ТПО	Увеличение потока CO_2 в океан
38–14° с. ш.	Рост ТПО	Уменьшение потока CO_2 в океан
6° с. ш. – 10° ю. ш.	Рост ТПО	Уменьшение потока CO_2 в атмосферу
10–18° ю. ш.	Рост ТПО	Увеличение потока CO_2 в атмосферу
18–38° ю. ш.	Рост ТПО	Уменьшение потока CO_2 в океан
42–78° ю. ш.	Рост ТПО	Увеличение потока CO_2 в океан

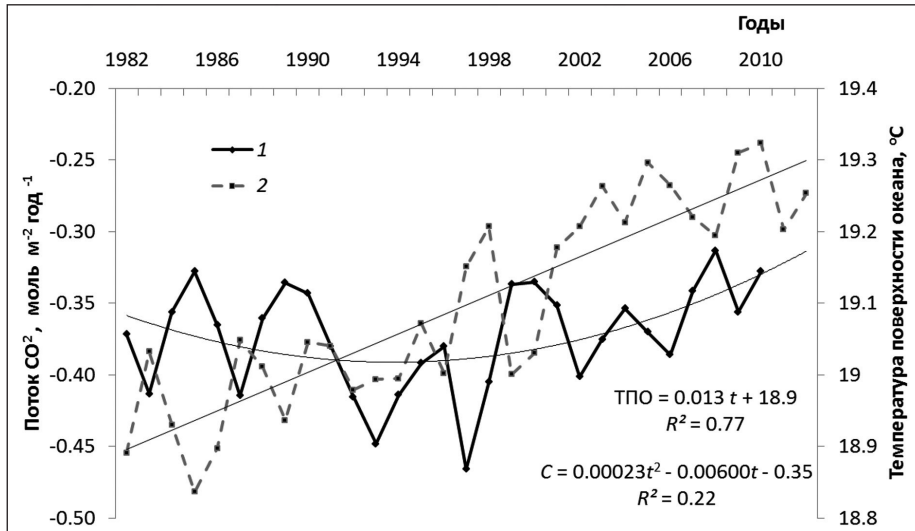


Рис. 6. Межгодовой ход результирующего потока CO_2 на границе раздела «океан – атмосфера» (1) и глобальных значений ТПО (2) за период 1982–2011 гг. Приведены уравнения тренда, где t – время

в океан, а в экваториальной зоне 6° с. ш.– 10° ю. ш. – уменьшение потока CO_2 в атмосферу. С другой – в тропических и субтропических широтах при росте ТПО поток CO_2 в океан уменьшается, а в зоне 10 – 18° ю. ш. поток CO_2 в атмосферу увеличивается. Достаточно очевидно, что распространенное мнение о безусловном усилении поглощения CO_2 океаном при уменьшении температуры воды не соответствует действительности [6]. Связь между CO_2 и температурой воды носит значительно более сложный характер. Особенно неожиданным является рост CO_2 при повышении ТПО в высоких широтах.

На рис. 6 представлен межгодовой ход глобальных значений ТПО и результирующего потока CO_2 на границе раздела «океан – атмосфера». Нетрудно видеть, что между этими рядами отмечается сложный характер связи. Так, если глобальному ряду ТПО присущ мощный линейный тренд (коэффициент детерминации $R^2 = 0,77$), показывающий рост ТПО со скоростью $0,013^\circ\text{C}\cdot\text{год}^{-1}$, то потоку CO_2 – нелинейный тренд, в соответствии с которым до 1997 г. $F\text{CO}_{2(\text{gl})}$ из атмосферы в океан увеличивался, а после него стал интенсивно уменьшаться. Если же рассматривать эти временные ряды в отклонениях от тренда, то проявляется отчетливая тенденция их противоположных колебаний (коэффициент корреляции $r = -0,49$). При этом положительной аномалии ТПО соответствует усиление поглощения CO_2 океаном, что связано с особенностями межгодовой изменчивости ТПО и потока CO_2 в умеренных и высоких широтах обоих полушарий и в экваториальной зоне (см. табл. 3).

Эколого-экономические последствия роста уровня Мирового океана

Важнейшим индикатором глобального климата является уровень Мирового океана (УМО), изменения которого определяют как многие гидродинамические

процессы в самом океане, так и характер его взаимодействия с атмосферой. Известно, что в течение XX в. происходил довольно быстрый рост уровня Мирового океана со скоростью примерно 1,7–1,8 мм/год. Однако в последние три десятилетия на основе альтиметрических данных установлено, что рост УМО заметно повысился и составляет уже 3,2 мм/год.

В РГГМУ впервые разработан комплекс методов долгосрочного прогноза УМО: на длительную перспективу (столетие), на ближнюю перспективу (несколько десятилетий) и на текущий период (несколько лет) [9]. Такое деление обусловлено, с одной стороны, физическими закономерностями колебаний УМО и влиянием на них уровнеформирующих факторов, а с другой – практическими запросами потребителей. На длительную перспективу (на конец XXI в.) предложена простая статистическая модель прогноза УМО. Она основана на использовании результатов моделирования глобальной температуры воздуха с помощью комплекса численных моделей общей циркуляции атмосферы и океана (МОЦАО). Основанием для этого послужило наличие хорошо выраженной линейной зависимости глобальных оценок аномалий $T_{\text{пл}}$, заимствованных из архива HadCRUT3, и значений УМО, рассчитанных по футшточным (береговым) наблюдениям. Методом наименьших квадратов за период 1960–2005 гг. было рассчитано линейное уравнение регрессии

$$h_{\text{УМО}}(\text{мм}) = 221,0 + 107,1 \Delta T_{\text{пл}}. \quad (2)$$

Коэффициент детерминации $R^2 = 0,73$, стандартная ошибка модели $\sigma_{y(x)} = 14,7$ мм.

Данное уравнение использовано для оценки возможных изменений УМО в зависимости от изменений глобальной температуры воздуха, соответствующих шести основным сценариям выбросов парниковых газов, принятых в Четвертом, и четырем сценариям в Пятом отчете МГЭИК [21, 22]. Было установлено, что для всех сценариев Четвертого отчета [22] оценки возможного роста УМО по статистической модели имеют очень малые расхождения с результатами численного моделирования климата на основе МОЦАО, но несколько занижены с оценками Пятого отчета [21]. Это связано с тем, что в последнем отчете МГЭИК рост УМО составляет 19,0 см/°С, а в предыдущем отчете – только 8,9 см/°С. По фактическим данным рост УМО за последние 50 лет составляет 10,7 см/°С. Достоинство статистической модели (2) состоит в том, что она требует минимум исходной информации.

Таблица 4

Возможные оценки изменений глобальной приповерхностной температуры воздуха и уровня Мирового океана на конец XXI в. (2090–2099 гг.) по сравнению с концом XX в. (1980–1999 гг.)

Сценарий выбросов СДСВ	Ансамбль из 16 моделей общей циркуляции атмосферы и океана [21]		Статистическая модель (2)
	Вероятный диапазон роста температуры на конец 2090–2099 гг., °С	Вероятный диапазон роста УМО на конец 2090–2099 гг., м	Вероятный диапазон роста УМО на конец 2090–2099 гг., м
RCP2.6	0,3–1,7	0,26–0,55	0,03–0,18
RCP4.5	1,1–2,6	0,32–0,63	0,12–0,28
RCP6.0	1,4–3,1	0,33–0,63	0,15–0,33
RCP8.5	2,6–4,8	0,45–0,82	0,28–0,51

В принципе, приведенные в табл. 4 прогнозы УМО можно рассматривать как «оптимистические», ибо существуют «пессимистические» прогнозы роста УМО, в соответствии с которыми он может повыситься на 1–2 м к концу столетия, если начнет разрушаться ледниковый щит Западной Антарктиды. Но даже реализация «оптимистических» прогнозов грозит громадным ущербом для инфраструктуры прибрежных территорий, где проживают многие сотни миллионов жителей Земли. Вполне возможно, что в зоне возможных наводнений могут оказаться дополнительно от 20 до 300 млн человек. В частности, в Англии к 2080 г. в 5 раз больше людей окажутся под влиянием наводнений от штормовых нагонов при росте морского уровня всего на 38 см по сравнению с 1990 г. Повышение морского уровня имеет несколько прямых и косвенных неблагоприятных последствий, которые можно разделить на три (экономические, экологические и социальные) группы (табл. 5), причем косвенные последствия могут усиливать прямые последствия в несколько раз [13]. Изучение их в глобальном и региональном масштабах представляет важнейшую задачу. Достаточно подробно эколого-экономические последствия повышения УМО в XXI в. рассматриваются в работе [13].

Таблица 5

Классификация неблагоприятных последствий от роста морского уровня [13]

Группа	Прямые последствия	Косвенные последствия
Экономические	Снижение эффективности прибрежной инфраструктуры, построенной над водой (доки, пирсы, дамбы и т. п.) вследствие близости к уровню воды, или ее затопление. Ухудшение качества земель вследствие интрузии соленых вод	Нарушение нормального режима хозяйственной деятельности вне зоны разрушений из-за нарушения функционирования энергетических, транспортных и других коммуникаций и предприятий-смежников, а также из-за непредвиденного отвлечения средств на восстановительные работы
Экологические	Затопление низменных прибрежных участков суши, пляжей, в т. ч. практически постоянное затопление участков суши, которые уходили под воду только во время приливов, а также повышение уровня грунтовых вод. Вторжение соленой воды как в пресноводные эстуарии, так и в прибрежные водоносные слои, угрожающее водообеспеченности населения прибрежных районов. Усиление эрозии береговых утесов вследствие проникновения в них морской воды. Сокращение функциональной зоны заболоченных земель, которые служили в качестве защиты от наводнений и фильтрами для грунтовых вод. Повышение интенсивности и частоты крупных штормовых нагонов, не без оснований считающиеся одним из самых опасных последствий изменения климата	Загрязнение окружающей среды при разрушении стихией предприятий, на которых используются или производятся опасные для здоровья людей и природы материалы
Социальные	Вынужденная миграция населения, появление так называемых климатических беженцев	Потеря доверия людей к способности руководства защитить их от бедствий и усиление социальных разногласий

Из анализа отрицательных последствий роста УМО следует, что в большей степени пострадают такие отрасли хозяйственной деятельности, как туризм, сельское хозяйство, транспортное сообщение, а также рекреация, аквакультура. Под сильной угрозой окажутся прибрежные среды обитания и экологическая обстановка в целом.

Указанные последствия повышения морского уровня крайне неблагоприятны в силу следующих фактов. В мире приблизительно 2 млн км² территорий находятся ниже 2 м над средней верхней границей прилива. Именно эта пограничная зона между землей и океаном характеризуется особенно разнообразными экосистемами и именно ее предпочитает для своей жизни человек. По данным на 1995 г., около 60 млн человек проживали на землях, находящихся менее 1 м выше уровня моря и 275 млн – менее 5 м. Восемь из десяти крупнейших городов мира находятся на низменных прибрежных территориях, в т. ч. Нью-Йорк и Токио, а темпы роста численности населения в таких зонах в два раза превышают среднемировой показатель.

К концу XXI в. в прибрежных зонах, расположенных не выше 1 м над уровнем моря, будут проживать уже 130 млн, а в зонах не выше 5 м – 410 млн человек. Например, в США в прибрежной зоне, составляющей около 17 % всей территории страны, проживает более половины ее населения. В 2003 г. примерно 153 млн человек (53 % населения) насчитывалось в 673 прибрежных округах США, увеличившись с 1980 г. на 33 млн человек.

Что касается Российской Федерации, то в приморских районных муниципальных образованиях проживает 12,6 млн человек (данные на 01.01.2007 г.), что составляет примерно 9 % всего населения страны. Наибольшее число людей, живущих в низменных районах, приходится на следующие страны: Китай, Индия, Бангладеш, Вьетнам, Индонезия, Япония, Египет, США, Таиланд и Филиппины. При этом наибольшая доля населения, проживающего в низменных районах, сосредоточена в таких странах, как Суринам, Голландия, Багамы, Вьетнам, Гайана, Бангладеш, Джибути, Белиз, Египет и Гамбия. Повышение морского уровня только на 40 см в Бенгальском заливе приведет к затоплению 11 % прибрежной зоны Бангладеш и возникновению 7–10 млн беженцев. К сожалению, многие страны, наиболее чувствительные к повышению уровня моря, не имеют достаточных ресурсов для подготовки к его последствиям.

Заключение

Если исходить из понятия ГЭК, то можно определенно утверждать, что он есть и углубляется. Выше было показано, что ГЭК зависит от большого числа факторов разнообразной природы, которые можно объединить в четыре основные группы: экономико-социальные, климатические, геофизические и антропогенные. Естественно, они неравнозначны и действуют на разных масштабах: от локального до глобального. Однако построить какую-то иерархическую систему факторов по степени их влияния на человеческое общество практически невозможно. У специалистов в области экологии на этот счет разные, подчас диаметрально противоположные, суждения.

Тем не менее можно с уверенностью утверждать, что глобальное потепление, обусловленное в основном действием естественных и частично антропогенных

факторов, оказывает сильное воздействие на все стороны жизни человеческого общества и, несомненно, на формирование и развитие ГЭК. Индикатором ГЭК может служить индекс живой планеты, который свидетельствует о стремительном сокращении биологического разнообразия, то есть о невосполнимой гибели многих животных и растений. За период 1970–2010 гг. он уменьшился более чем вдвое. Если ИЖП будет уменьшаться такими же темпами, то уже в 2044 г. может наступить экологический коллапс, когда ИЖП станет равным нулю. Впрочем, при условии адаптации глобальной биосферы к внешним условиям в ближайшие десятилетия более реальной представляется определенная стабилизация ИЖП в диапазоне 0,30–0,40.

Достаточно очевидно, что ПЭ является основным фактором современных изменений климата, причем корректное разделение ПЭ на естественный и антропогенный компоненты не представляется возможным. При этом формирование глобального потепления обусловлено не антропогенной деятельностью, а процессами крупномасштабного взаимодействия между океаном и атмосферой и регулируется системой положительных и отрицательных обратных связей с преобладанием положительных связей. Главной является обратная положительная связь между температурой воздуха и его влагосодержанием. Роль углекислого газа состоит в том, что рост его концентрации представляет фактор усиления обратной положительной связи между температурой воздуха и влагосодержанием, не допускающий движения климатической системы в сторону похолодания.

Существенное влияние на ПЭ оказывает Мировой океан, который является активным поглотителем углекислого газа, тем самым ослабляя антропогенный парниковый эффект. Однако начиная с 1997 г. наметилась тенденция к уменьшению поглощения углекислого газа Мировым океаном и это не может не тревожить. Показан сложный знакопеременный характер влияния ТПО на обмен CO₂ с атмосферой, причем распространенное мнение о безусловном усилении поглощения CO₂ океаном при уменьшении температуры воды не соответствует действительности.

В настоящее время УМО растет со скоростью 3,2 мм/год, причем очень вероятно его ускорение. Поэтому к концу столетия по сравнению с его началом он может увеличиться на 50 см и даже более. Это грозит громадным ущербом для инфраструктуры прибрежных территорий, где проживают многие сотни миллионов жителей Земли, и переселением десятков миллионов человек в глубь территории. Возможный ущерб от прямых и косвенных неблагоприятных последствий роста УМО оценить нереально, но он будет исчисляться в триллионах долларов.

Литература

1. *Биоразнообразие* и изменение климата. Международный день биоразнообразия. – Секретариат Конвенции о биологическом разнообразии, 2007. – Интернет-ресурс. Режим доступа: http://www.biodiversity.ru/programs/climate_and_biodiversity/pub/biodiversity_and_climate.pdf.
2. *Второй* оценочный доклад Росгидромета об изменениях климата и их последствиях на территории Российской Федерации. – М.: Росгидромет, 2014. – 1003 с.
3. *Доклад* WWF «Живая планета 2016» // WWF. 2016. Living Planet Report 2016: Summary. WWF, Gland, Switzerland. 36 с.

4. Доклад «Живая планета – 2008». – WWF Intl / WWF России, 2008. – 48 с. – Интернет-ресурс. Режим доступа: <http://www.wwf.ru/resources/publ/book/311/>.
5. Карлин Л.Н., Малинин В.Н., Образцова А.А. Пространственно-временные изменения потока CO₂ в системе океан – атмосфера // Изв. РГО. 2012. Т. 144. Вып. 5. – С. 27–36.
6. Карлин Л.Н., Малинин В.Н., Гордеева С.М. О влиянии температуры поверхности океана на обмен углекислым газом с атмосферой // Океанология. – 2015. Т. 5, № 1. – С. 16–25.
7. Коршунов А.А., Шаймарданов В.М., Шаймарданов М.З. Об организации обслуживания потребителей данными об опасных гидрометеорологических явлениях и неблагоприятных условиях погоды // Учен. зап. РГГМУ. – 2017. № 46. – С. 100–110.
8. Кравчук М.А., Краснов Ю.И., Малинин В.Н. Глобальный экологический кризис: стратегия выживания // Общество. Среда. Развитие. – 2009. № 1. – С. 194–205.
9. Малинин В.Н. Уровень океана: настоящее и будущее. – СПб.: РГГМУ, 2012. – 260 с.
10. Малинин В.Н. Влагосодержание атмосферы и парниковый эффект // Общество. Среда. Развитие. – 2014. № 3. – С. 139–145.
11. Малинин В.Н. Гольфстрим и климат Европы // Общество. Среда. Развитие. – 2012. № 1. – С. 214–220.
12. Малинин В.Н., Гордеева С.М. Изменчивость влагосодержания над океаном по спутниковым данным // Исследование Земли из космоса. 2015. № 1. – С. 3–11.
13. Малинина Ю.В. К оценке возможного ущерба от возможного повышения уровня океана в XXI столетии // Учен. зап. РГГМУ. – 2010. № 14. – С. 162–176.
14. Орлеанская Е.С. Изменение глобальной экосистемы в период потепления климата // Общество. Среда. Развитие. – 2011. № 1. – С. 223–227.
15. Реймерс Н.Ф. Экология. Теории, законы, правила, принципы и гипотезы. – М.: Россия молодая, 1994. – 366 с.
16. Фруммин Г.Т. Глобальные экологические проблемы: путь к катастрофе или миф? // Общество. Среда. Развитие. – 2009. № 3. – С. 101–113.
17. [Электронный ресурс]. http://studme.org/54478/ekonomika/mezhdunarodnye_ekonomicheskie_otnosheniya_free.
18. Чрезвычайные ситуации в России, обусловленные погодными условиями. [Электронный ресурс] URL: <http://meteo.ru/pogoda-i-klimat/150-chs-v-rosii>.
19. Bjorn Lomborg. The Skeptical Environmentalist: Measuring the Real State of the World. – Cambridge : Cambridge University Press, 2001. – 540 p.
20. ERDDAP: AOML Monthly Global Carbon Fluxes dataset. – URL: <http://cwcgom.aoml.noaa.gov/erddap/griddap/aomlcarbonfluxes.graph>, free.
21. IPCC. Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change / Eds. Stocker T.F., Qin D., Plattner G.-K., Tignor M., Allen S.K., Boschung J., Nauels A., Xia Y., Bex V., Midgley P.M. – Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA: Cambridge University Press, 2013. – 1535 p.
22. IPCC. Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change / Solomon, S., D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K.B. Averyt, M. Tignor and H.L. Miller (eds.). – Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA: Cambridge University Press, 2007. – 996 p.
23. IPCC. Climate Change 1990: The IPCC Scientific Assessment. Report prepared for IPCC by Working Group I. / Edited by J.T. Houghton, G.J. Jenkins, J.J. Ephraums. – Cambridge, Great Britain, New York, NY, USA and Melbourne, Australia: Cambridge University Press, 1990. – 410 p.
24. Park G.-H., Wanninkhof R., Doney S.C. et al. Variability of global net seaair CO₂ fluxes over the last three decades using empirical relationships // Tellus. 2010. № 62B (5). P. 352–368.
25. Sabine C.L., Feell R.A. The oceanic sink for carbon dioxide // Greenhouse Gas Sinks / Eds. Reay D. et al. – UK, Oxfordshire: CABI Publishing, 2007. – P. 31–49.
26. Schmidt G.A., Ruedy R.A., Miller R.L., Lacis A.A. Attribution of the present-day total greenhouse effect // Journal of Geophysical Research. – 2010, vol. 115. – P. 1–6. – D20106, doi:10.1029/2010JD014287.
27. Temperature data (HadCRUT3 and CRUTEM3) / Climatic Research Unit, University of East Anglia, UK. – Интернет-ресурс. Режим доступа: <http://www.cru.uea.ac.uk/cru/data/temperature/>, free.