



---

**Европейская экономическая комиссия**

Комитет по внутреннему транспорту

**Рабочая группа по тенденциям  
и экономике транспорта**Группа экспертов по последствиям изменения  
климата для международных транспортных сетей  
и узлов и адаптации к ним**Тринадцатая сессия**

Женева, 22 и 23 июня 2017 года

Пункт 4 предварительной повестки дня

**Обсуждение заключительного доклада Группы экспертов****Обзор последних тенденций и прогнозов в области  
изменения климата, отражающихся на транспортном  
секторе в регионе ЕЭК (Часть I)****Записка секретариата\*****I. Мандат**

1. Настоящий документ был подготовлен с учетом результатов/видов деятельности в рамках направления деятельности 2: «Тенденции и экономика транспорта (включая евро-азиатские транспортные связи)» программы работы подпрограммы по транспорту на 2016–2017 годы (ECE/TRANS/2016/28/Add.1, пункт 2.2) и круга ведения Группы экспертов по последствиям изменения климата для международных транспортных сетей и узлов и адаптации к ним Европейской экономической комиссии Организации Объединенных Наций (ЕЭК ООН) (ECE/TRANS/2015/6), утвержденным Комитетом по внутреннему транспорту 24–26 февраля 2015 года (ECE/TRANS/248, пункт 34).

**II. Изменение климата: последние тенденции и прогнозы**

2. Изложенная в настоящем документе информация касается в первую очередь климатических факторов, изменчивость и изменение которых могут серьезно сказаться на транспорте. Часть этой информации (тенденции/прогнозы климатических факторов до 2013 года) была представлена в предыдущем докладе ЕЭК (ЕЭК, 2013 год); в настоящем докладе (его проекте) основное вни-

---

\* Настоящий документ был представлен с опозданием ввиду несвоевременного получения материалов из других источников.



мание уделено самому последнему по времени 6-летнему периоду (2011–2016 годы), а также последним прогнозам изменчивости и изменения климата (ИИК)<sup>1</sup>.

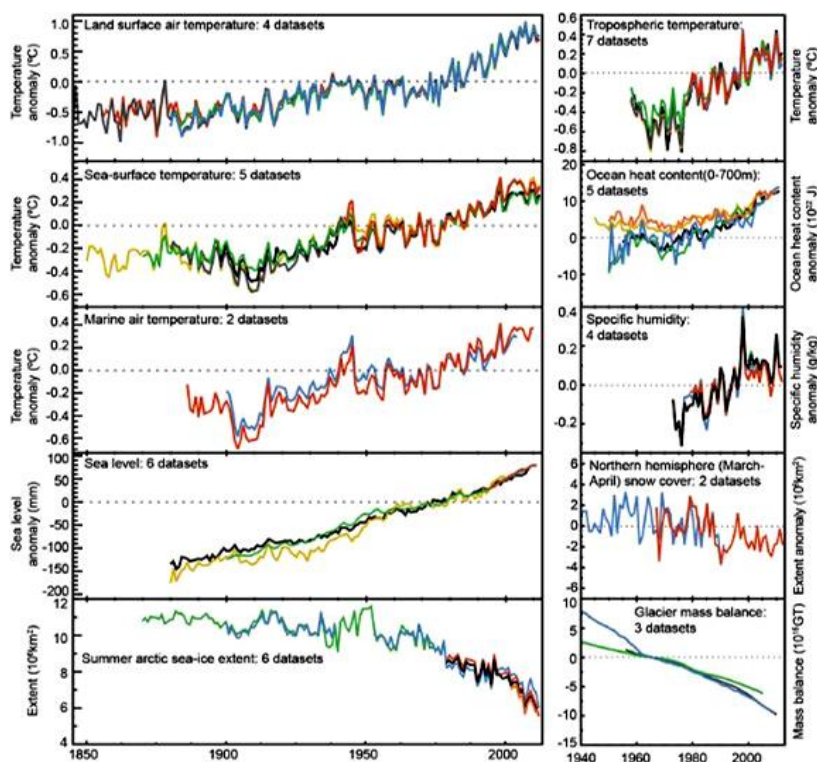
## А. Тенденции изменения климата

3. Существуют убедительные свидетельства потепления климата на планете начиная с XIX века, которые подкреплены независимыми научными наблюдениями, полученными в разных средах (от верхних слоев атмосферы до толщи океана). Тем не менее в дискуссиях по изменению климата чаще всего рассматривается вопрос о повышении температуры поверхности суши, которая является лишь одним из показателей изменения климата наряду с другими, к числу которых относятся изменения, например, температуры атмосферы/океанов, уровня моря, осадков и ледников, снежного покрова и ледяного покрова морей (диаграмма 1).

Диаграмма 1

### Изменение климатических факторов

(Каждая строка соответствует независимо полученной оценке. В каждой панели все наборы данных приведены к норме за единый период наблюдений (МГЭИК, 2013 год))



4. В последние десятилетия наблюдается повышение температуры в тропосфере. В результате поглощения более 80% избыточной энергии, образовавшейся вследствие увеличения выбросов в 1970-х годах, значительно повысилось теплосодержание Мирового океана (МГЭИК, 2013 год; Melillo et al., 2014; Dieng et al., 2017); это привело к повышению уровня моря под воздействием стерического эффекта, который считается основным фактором повышения уровня моря (ПУМ) (Hanna et al., 2013). Вместе с тем за последние несколько

<sup>1</sup> Следует отметить, что под изменчивостью и изменением климата (ИИК) понимается изменчивость и устойчивое изменение климатических условий по сравнению с базисным периодом, т.е. первым периодом, когда начали вестись точные наблюдения (1850–1860 годы), либо периодами, когда была возведена используемая сегодня инфраструктура (например, 1961–1990 или 1986–2005 годы).

десятилетий сократилась площадь ледников и ледяного покрова морей. Со времени начала спутниковых наблюдений (в 1979 году) площадь ледяного покрова в Северном Ледовитом океане уменьшилась более чем на 40%; это особенно заметно в конце ежегодного сезона таяния (в сентябре) (Melillo et al., 2014; NOAA, 2017a). В течение последних 20 лет происходит постоянное снижение запасов ледникового льда, а начиная с 1950-х годов в Северном полушарии (СП) также происходит сокращение площади снежного покрова, присутствующего в весенний период (МГЭИК, 2013 год; НЦДСЛ, 2017 год).

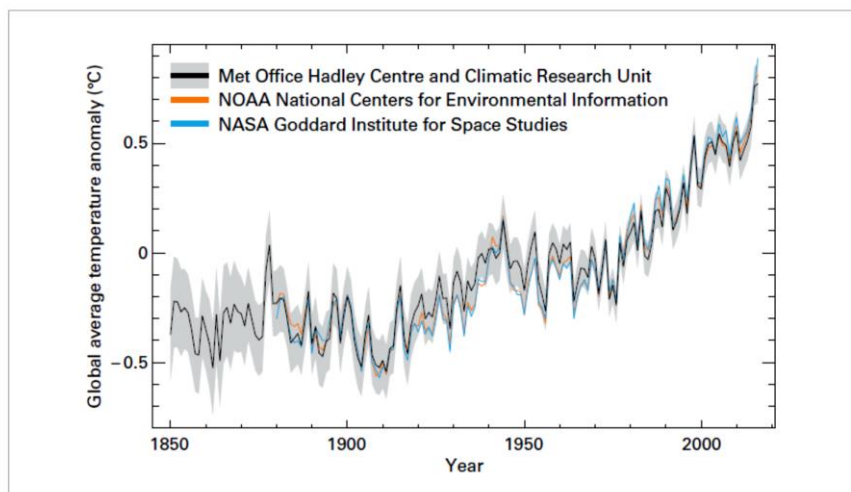
### 1.1.1 Температура и осадки

5. Средняя глобальная приземная температура является наиболее широко используемым показателем изменения климата, поскольку от нее напрямую зависят i) планетарный энергетический баланс (Fourier, 1827) и увеличение объема кумулятивных выбросов парниковых газов (ПГ) (МГЭИК, 2013 год), а также ii) многочисленные климатические последствия и факторы риска (Arnell et al., 2014). Хотя в каждый последующий год (или десятилетие) не всегда теплее, чем в предыдущий, уже сложилась долгосрочная тенденция к потеплению (диаграмма 2). Наибольшее потепление пришлось на последние 35 лет (НАСА, 2016 год).

Диаграмма 2

#### Аномалии глобальной средней температуры за период 1850–2016 годов по сравнению с базисным периодом 1961–1990 годов на основе 3 крупных наборов данных<sup>2</sup>

(Неопределенности в наборе данных HadCRU (Центр «Хедли» метеослужбы Соединенного Королевства) выделены серым цветом (Источник: ВМО, 2017 год))



6. 2016 год оказался самым теплым годом за все время инструментальных наблюдений, побив предыдущие рекорды 2015 и 2014 годов, причем полученные данные подтверждают наметившуюся с 1970-х годов устойчивую тенденцию к глобальному потеплению в сочетании с выборочной, стабильной и краткосрочной изменчивостью температуры (Rahmstorf et al., 2017). Он стал третьим подряд годом, когда глобальная средняя температура земной поверхности устанавливала новый рекорд, и пятым по счету среди годов-рекордсменов с начала XXI века (NOAA, 2017b).

<sup>2</sup> В аналитическом исследовании ВМО (2017 год) использовались самые последние версии 3 наборов данных: GISTEMP, NOAA-GlobalTemp и HadCRUT, ведущихся NOAA, Национальным управлением США по аэронавтике и исследованию космического пространства (НАСА) и Центром «Хедли» метеослужбы Соединенного Королевства. Совокупный массив данных охватывает период с 1880 года (ВМО, 2017 год; [http://library.wmo.int/opac/doc\\_num.php?explnum\\_id=3414](http://library.wmo.int/opac/doc_num.php?explnum_id=3414)).

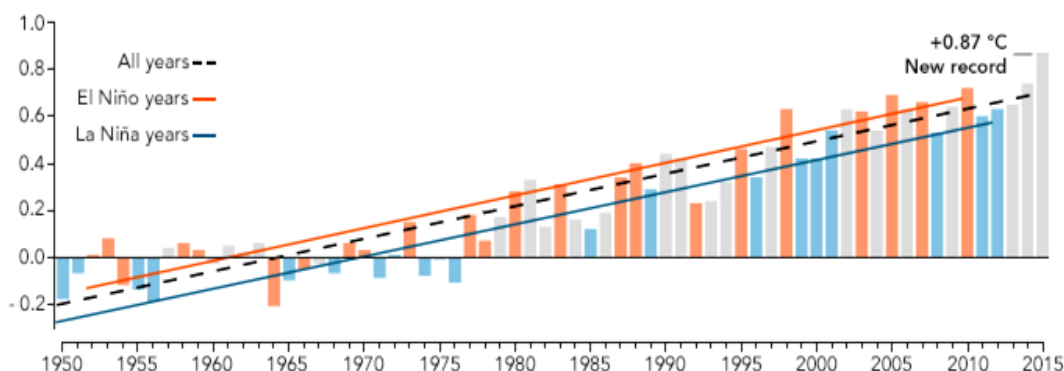
7. Потепление климатической системы является неоспоримым; все наблюдения свидетельствуют об увеличении глобальной средней температуры воздуха у поверхности и температуры Мирового океана (МГЭИК, 2007 год; 2013 год). За период с конца XIX века средняя температура поверхности Земли возросла на  $1,1\text{ }^{\circ}\text{C}$ , причем данное изменение в значительной мере обусловлено повышением концентраций ПГ в атмосфере. Глобальная средняя температура поверхности суши и Мирового океана в 2015 году на  $0,76 \pm 0,09\text{ }^{\circ}\text{C}$  превысила средний показатель 1961–1990 годов (с 94-процентной точностью; НАСА, 2016 год), тогда как третье место среди мировых рекорсменов по температуре занял 2014 год (MetOffice, 2014).

8. С начала XXI века происходит замедление темпов роста глобальной средней температуры поверхности по сравнению с прогнозами глобальных климатических моделей. За период 2003–2013 годов глобальная температура поверхности как суши, так и Мирового океана повышалась медленнее, чем в предшествующие десятилетия (Dieng et al., 2017). Такое явное замедление темпов роста (т.н. «прерывание глобального потепления») отчасти было отнесено на счет неопределенностей в моделировании с использованием традиционных наборов данных, относящихся к внешнему воздействию на климат, в частности в результате извержений вулканов, изменений, затрагивающих стратосферный водяной пар, промышленных аэрозолей, перераспределения тепла в Мировом океане, солнечной активности и межгодовой–десятилетней изменчивости океанских циклов (например, явлений «Эль-Ниньо» и «Ла-Нинья») (МГЭИК, 2013 год; MetOffice, 2014; Fyfe et al., 2016; Yan et al., 2016). Однако недавние исследования (см., например, Cowtan and Way, 2014; Karl et al, 2015; Simmons et al., 2017) поставили под сомнение тенденцию к снижению – ввиду «прерывания глобального потепления» – роста температуры в связи с тем, что в наборах данных о температурах поверхности могут быть ошибки, а также на том основании, что повторный анализ исправленных/обновленных данных указывает на последние глобальные температурные тренды, превышающие значения, о которых сообщалось в выполненных ранее исследованиях (см., например, МГЭИК, 2007 год; 2013 год).

### Диаграмма 3

#### Среднегодовые температуры по сравнению с их средними значениями в 1951–1980 годах

(Синие и красные гистограммы указывают на годовые аномалии температуры в годы явлений «Эль-Ниньо» и «Ла-Нинья» соответственно. Синими и красными линиями обозначены тенденции; нейтральные годы указаны серым цветом; пунктирная линия показывает общую тенденцию (НАСА, 2016 год))

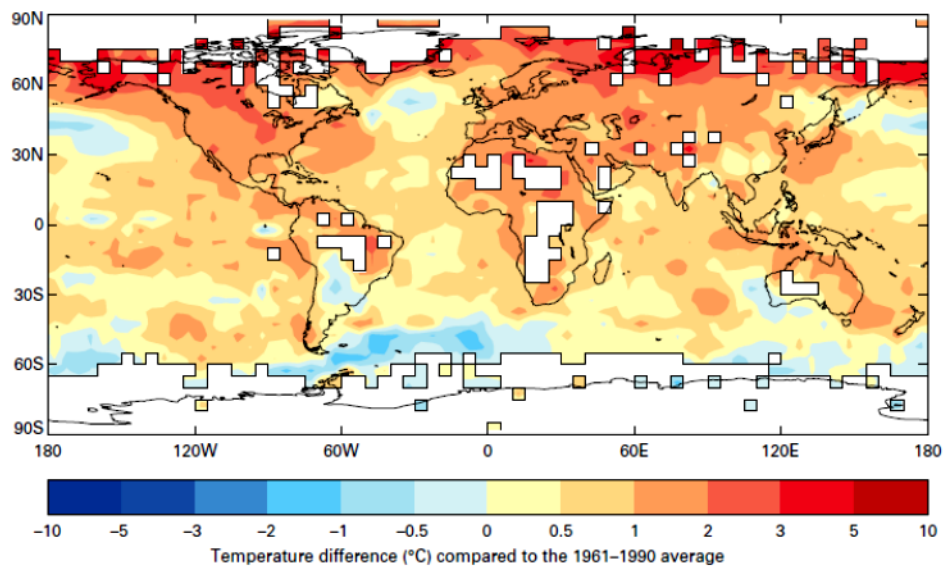


9. Как правило, годы, начинающиеся в ходе «Эль-Ниньо», теплее, чем годы, в которые явление «Эль-Ниньо» не происходит (т.е. нейтральные годы или годы в ходе «Ла-Нинья») (диаграмма 3). На температурные рекорды 2015 и 2016 годов повлияли сильные проявления «Эль-Ниньо» в Тихом океане (НАСА, 2016 год). Хотя 2014 год был нейтральным годом «Эль-Ниньо», по оценкам НОАА, приземные температуры были на  $0,88 \pm 0,20\text{ }^{\circ}\text{C}$  выше, чем в среднем

в 1961–1990 годах (ВМО, 2014 год). В 2016 году рекордные температуры повсеместно отмечались в Северном полушарии (СП), особенно в арктических районах (диаграмма 4). В начале 2016 года глобальная температура примерно на 1,5 °С превысила значения, отмечавшиеся в период, следующий за началом промышленной революции, и на 0,4 °С значение, зарегистрированное в 1998 году (также год мощного явления «Эль-Ниньо») (Simmons et al., 2017)<sup>3</sup>. Беспрецедентное потепление повсеместно отмечалось на Аляске (НЦДСЛ, 2017 год). Самыми высокими в истории наблюдений были и глобальные средние температуры на поверхности моря (ТПМ), причем наибольшие аномалии также пришлись на начало 2016 года (ВМО, 2017 год).

Диаграмма 4

**Пространственное распределение глобальных температурных аномалий в 2016 году (по сравнению с 1961–1990 годами) (ВМО, 2017 год)**



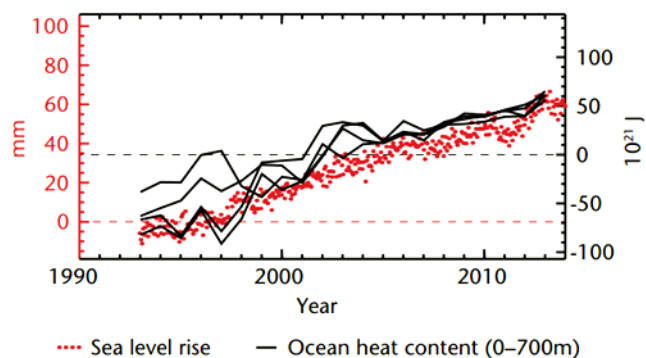
10. Климат зависит от притока и оттока тепла и динамики его аккумуляции в различных составляющих средах земной системы, т.е. в Мировом океане, земной толще и в атмосфере (МГЭИК, 2013 год). Большая часть тепла накапливается в Мировом океане, поскольку он поглощает около 80% тепла, поступающего в климатическую систему, вследствие чего изменения температуры океана являются важным показателем климатических изменений. В последние годы получено достаточно свидетельств, указывающих на потепление океана темпами, которые, согласно оценкам, в 1993–2008 годы составили  $0,64 \text{ Вт} \cdot \text{м}^{-2}$  (Luman et al., 2010), а в период с 2003 по 2013 года  $0,5\text{--}0,65 \text{ Вт} \cdot \text{м}^{-2}$  (Dieng et al., 2017). Начиная с 1961 года наблюдается повышение температуры воды на глубине до 3 000 м (МГЭИК, 2013 год). Существует очевидная корреляция между увеличением теплосодержания Мирового океана и повышением уровня моря (диаграмма 5) предположительно под воздействием стерического эффекта/теплового расширения (НАСА, 2016 год).

<sup>3</sup> Весьма тревожная тенденция, учитывая цель Парижского соглашения 2015 года, состоящую в том, чтобы «удержать» повышение средней глобальной температуры ниже 2 °С сверх доиндустриальных уровней (РКИКООН, 2015 год).

Диаграмма 5

**Среднее повышение уровня Мирового океана и изменение теплосодержания Мирового океана за период 1993–2013 годов**

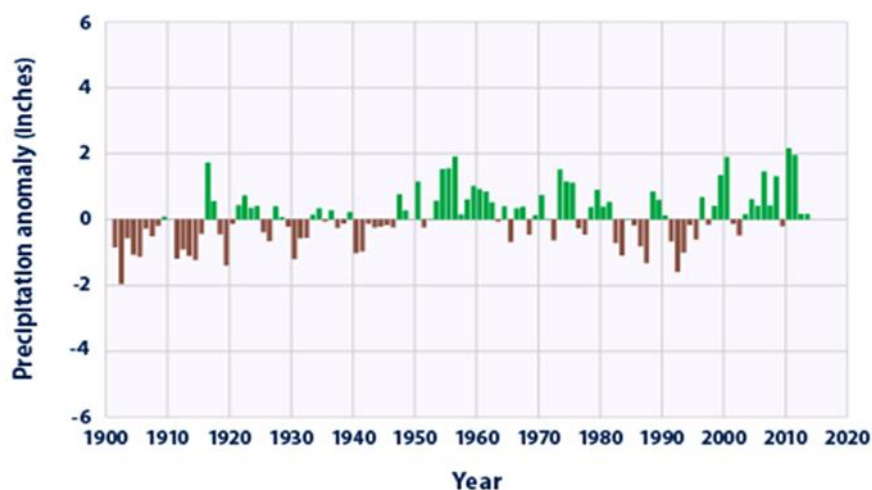
(Данные об уровне моря получены на основе данных исследований по программам TOPEX (1993–2001 годы), Джейсон-1 (2002–2008 годы) и Джейсон-2 (2008–2013 годы) (см. <http://sealevel.colorado.edu/>). Теплосодержание Мирового океана (для верхних 700 м) по сравнению со средними значениями за 1993–2012 годы. Источники данных – CSIRO/ACE CRC; PMEL/JPL/JIMAR; NODC; и EN4.0.2 (MetOffice, 2014))



11. Анализ данных о глобальных осадках на суше указывает на их повышающую тенденцию в XX веке (диаграмма 6), особенно в средних и высоких широтах (с низкой достоверностью до 1951 года, впоследствии – со средней степенью достоверности). Однако когда анализ охватывает только средние широты СП, степень уверенности относительно тенденций в области осадков после 1951 года становится высокой. Как правило, данные о глобальных осадках указывают на смешанные долгосрочные тенденции (МГЭИК, 2013 год) при сильной региональной изменчивости.

Диаграмма 6

**Общие ежегодные глобальные осадки, выпавшие на поверхность суши в 1901–2013 годах, по сравнению с 1901–2000 годами (ЕРА, 2015)**

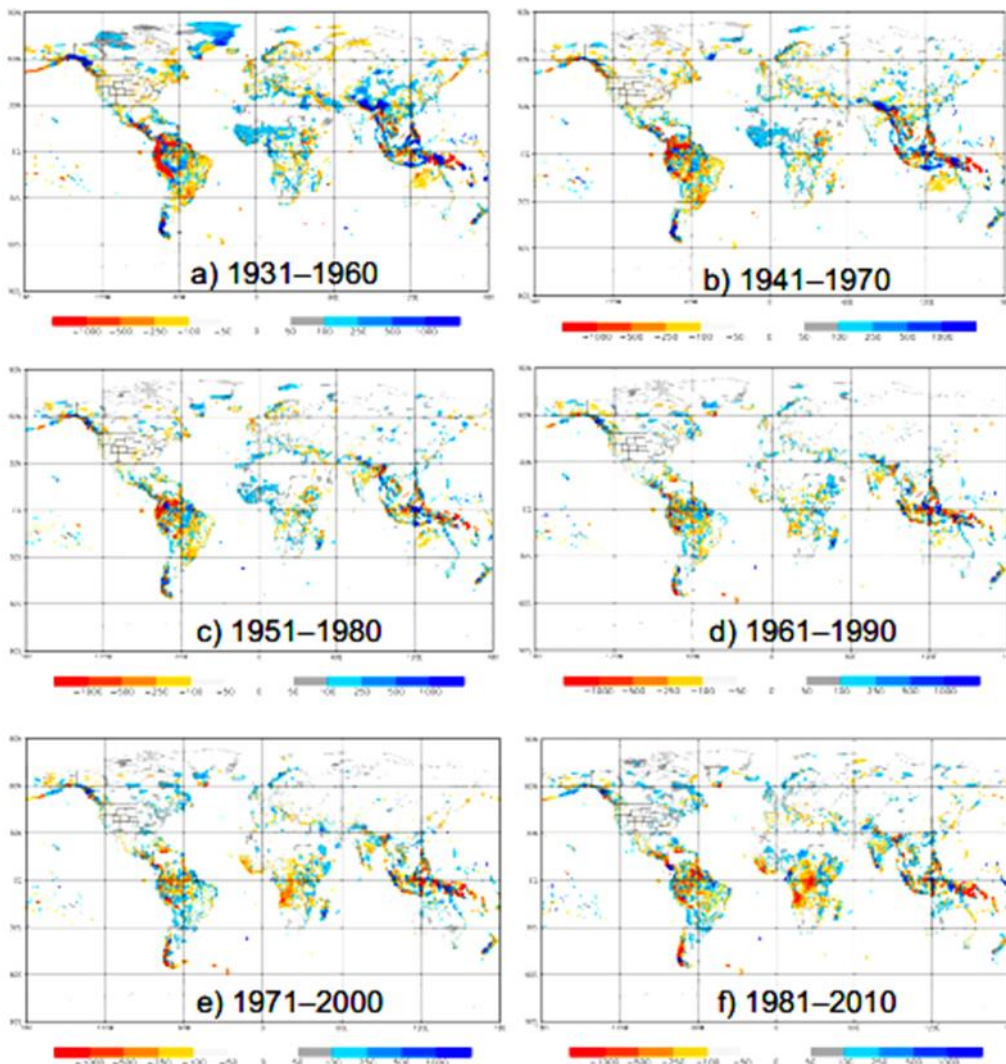


12. Во многих частях Европы и Северной Америки увеличились интенсивность и/или частота сильных осадков, тогда как в Средиземноморье и некоторых частях Африки наблюдается увеличение частоты и интенсивности засух (МГЭИК, 2013 год). Как показывают результаты исследования Schneider et al. (2017), проведенного с применением к полученным от 75 100 метеорологических станций Глобального центра по климатологии осадков (ГЦКО) данным усредненных погодных поправок, среднегодовое количество осадков в период 1951–2000 годов составляло порядка 855 мм (за исключением Антарктики); они также свидетельствуют о том, что потепление примерно на 1 °C сверх доинду-

стриальных уровней может сопровождаться увеличением глобальных осадков на 2–3%.

Диаграмма 7

**Разница между среднегодовым количеством осадков, выпавших на поверхность суши за различные 30-летние периоды: а) 1931–1960 годы; б) 1941–1970 годы; в) 1951–1980 годы; г) 1961–1990 годы; д) 1971–2000 годы и е) 1981–2010 годы, по сравнению с климатологией осадков ГЦКО применительно к 1951–2000 годам (Meyer-Christoffer et al., 2015)**



13. Наибольшие различия по сравнению с периодом 1951–2000 годов отмечались в 1931–1960 и 1941–1970 годах; если в Западной Африке выпадало больше дождевых осадков, то в Юго-Восточной Азии, и особенно в Индонезии, – меньше (диаграмма 7). В Европе и Северной Америке количество осадков уменьшилось на юге и увеличилось на севере. В Испании за последние 20 лет характер выпадения осадков, судя по всему, претерпел кардинальные изменения: увеличилась продолжительность засушливых периодов, годовой уровень дождевых осадков снизился почти на 15%, а частота выпадения проливных дождей уменьшилась (Valdez-Abellan et al., 2017).

14. Если брать последние 30-летние периоды, то наблюдается уменьшение количества осадков, выпадающих в августе, сентябре и октябре, что может быть обусловлено более частыми явлениями «Эль-Ниньо – Южное колебание», отмечаемыми в последние десятилетия, а также ослаблением летних муссонов в Индийском океане и Юго-Восточной Азии (Schneider et al., 2017). В 2016 году

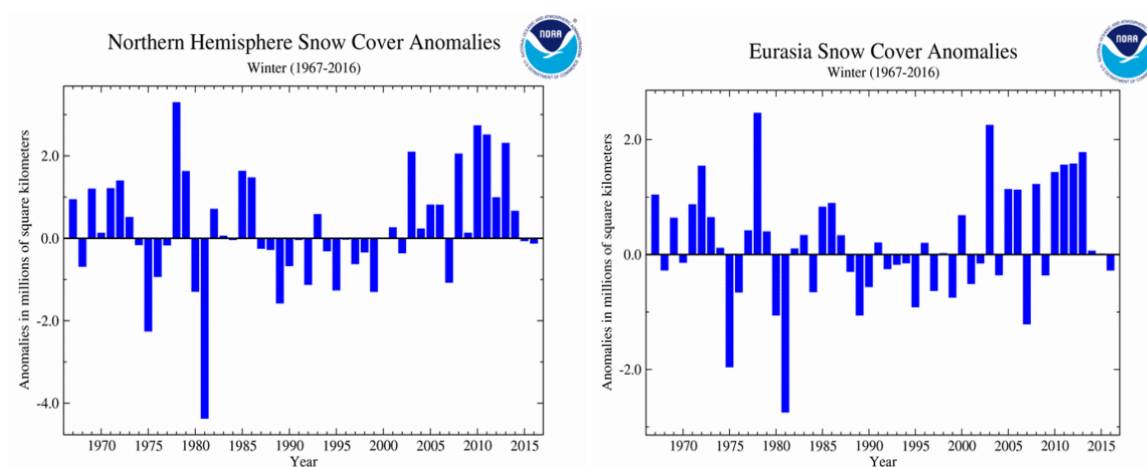
сильное влияние на глобальные осадки оказал переход от условий «Эль-Ниньо» в начале года к нейтральным условиям либо слабым проявлениям «Ла-Нинья» во второй половине года. Следствием этого явились сильные сезонные колебания. В ряде регионов период после окончания явления «Эль-Ниньо» характеризовался обильными дождевыми осадками, в силу чего общегодовые показатели заметно превысили средний уровень. В Индонезии и Австралии, испытавших на себе влияние негативного Индоокеанского диполя (ИОД), на обширных площадях отмечались осадки, превышающие 90-ый процентиль (исторический – 10% всех лет – рекорд по дождевым осадкам). Этот год был дождливым и во многих высокоширотных районах СП.

### 1.1.2 Снег и морской лед

15. Тенденция к потеплению также затрагивает и криосферу. Июньский показатель снежного покрова в Северном полушарии (СП) (т.е. около 98% снежного покрова в мире) в период 1967–2012 годов за десятилетие снижался на 11,7% (ЕАОС, 2015а). Однако эта тенденция не является единообразной. В некоторых регионах (например, в Альпах и Скандинавии) глубина снежного покрова неуклонно уменьшается в низинах, но при этом увеличивается в горах, тогда как в других горных районах (например, в Карпатах, Пиренеях и на Кавказе) какие-либо стабильные тренды не прослеживаются (ЕАОС, 2012 год). Согласно данным исследований, за последние несколько десятилетий в Арктическом регионе сложилась тенденция к сокращению площади и продолжительности присутствия снежного покрова.

Диаграмма 8

**Площадь снежного покрова в зимний период в Северной Америке (слева) и Евразии (справа) (НОАА, 2017а)**



16. В Северном полушарии за 50 лет наблюдений площадь снежного покрова (ПСП) в зимний период претерпела незначительные изменения (НОАА, 2017а). В 2016 году ПСП в зимний период (декабрь 2015 года – февраль 2016 года) была на 120 000 км<sup>2</sup> ниже среднего показателя за 1981–2010 годы, однако в январе 2016 года по Северной Америке прокатился ряд снежных буранов, что привело к значительному увеличению месячного показателя площади снежного покрова, которая оказалась примерно на 810 000 км<sup>2</sup> больше среднего значения за 1981–2010 годы (диаграмма 8). В Евразии ПСП зимой 2015/16 года была на 270 000 км<sup>2</sup> ниже среднего показателя, что стало рекордом с зимнего периода 2006/07 годов. Аналогично Северной Америке, в Евразии ПСП в декабре и феврале была ниже среднего показателя, а в январе – больше среднего значения.

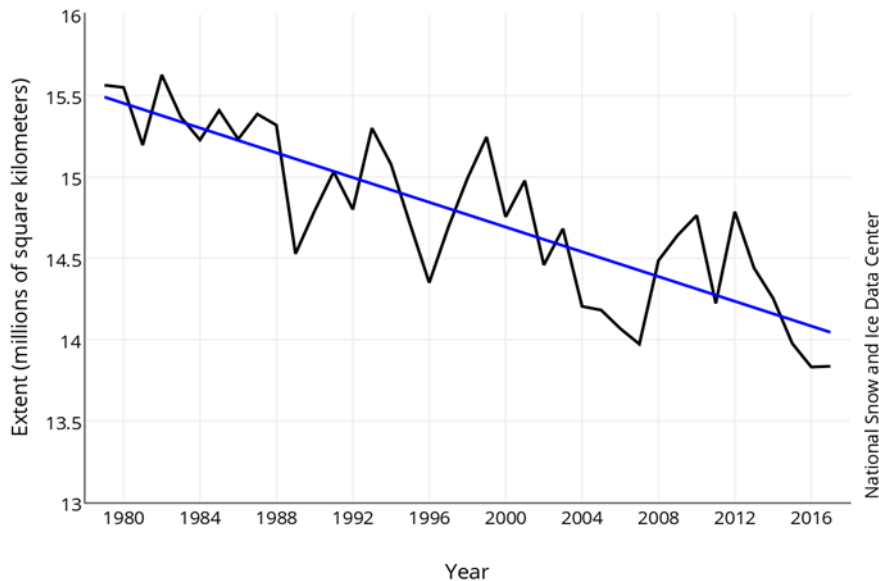
17. Сокращается площадь морского ледового покрытия в Арктике (диаграмма 9). Как правило, она увеличивается в сезон холодов, достигая своего максимума в марте–апреле, а затем сокращается в теплое время года, причем мини-



мум приходится на сентябрь. В Антарктике же площадь морского ледового покрытия, как правило, сокращается при наступлении в Южном полушарии теплого времени года, причем минимум приходится на февраль–март (т.е. конец лета) и увеличивается в сезон холодов, достигая своего максимума в сентябре. Минимальная площадь морского ледового покрытия в Арктике с 1979 года сократилась почти на 40%, причем большинство сентябрьских рекордов (минимальные значения) приходится на последнее десятилетие.

Диаграмма 9

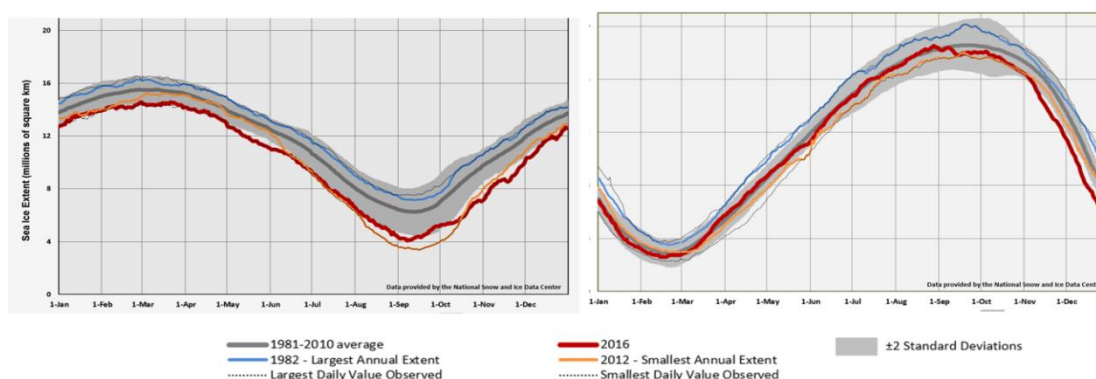
**Тенденция изменения месячного (апрель) показателя площади ледового покрытия арктических морей в 1979–2017 годах (НЦДСЛ, 2017 год)**



18. В ноябре 2016 года площадь ледового покрытия арктических и антарктических морей сократилась до рекордно низких показателей; ледовые условия оказались настолько необычными, что получили название аномального события типа «черный лебедь» (НЦДСЛ, 2017 год). В течение каждого месяца 2016 года площадь морского ледового покрытия в Арктике была ниже среднего значения. Для семи же месяцев в 2016 году были зарегистрированы рекордно низкие показатели (диаграмма 10). Если брать в среднем за весь год, то площадь ледового покрытия арктических морей оказалась на 12,6% ниже среднего значения.

19. В 2016 году общегодовой максимум по площади морского ледового покрытия в Арктике соответствовал самому низкому значению, зарегистрированному для большинства арктических районов за время спутниковых наблюдений; важное исключение составляли Лабрадорское море, Баффинов залив и Гудзонов залив. Максимальная площадь морского ледового покрытия была на 1,12 млн км<sup>2</sup>, а минимальная – соответственно на 2,08 млн км<sup>2</sup> ниже среднего показателя за 1981–2010 годы. В обширных зонах открытого океана, которые в середине сентября обычно скованы льдом, отмечалась минимальная площадь ледового покрытия (например, крупные участки в море Бофорта, Чукотском море, море Лаптевых и Восточно-Сибирском море). В первые восемь месяцев 2016 года площадь морского ледового покрытия в Антарктике приближалась к средним значениям. В начале сентября 2016 года площадь ледового покрытия антарктических морей начала быстро сокращаться и в оставшуюся часть года находилась едва ли не на рекордно низком уровне (диаграмма 10).

Диаграмма 10  
**Суточная динамика изменения площади морского ледового покрытия в Арктике (слева) и Антарктике (справа) в 2016 году (НОАА, 2017 год; данные НЦСЛ)**



20. Если брать в среднем за весь год, то площадь ледового покрытия антарктических морей оказалась на 4,2% ниже среднего значения, что является вторым наименьшим показателем за всю историю наблюдений. В августе 2016 года площадь морского ледового покрытия в Антарктике достигла своего максимума, составив 18,44 млн км<sup>2</sup>; впервые с 1979 года было зарегистрировано столь раннее покрытие льдом максимальной площади. Зимой площадь морского ледового покрытия в Арктике сокращается не столь быстрыми темпами, как в летнее время (ВМО, 2016 год). Данные об измерении массы материкового льда в Гренландии приводятся в исследовании Velicogna et al. (2014), согласно которому масштабы потерь составляют  $280 \pm 58$  Гт год<sup>-1</sup> при ускорении  $25,4 \pm 1,2$  Гт год<sup>-1</sup>. В том же исследовании содержатся данные об уменьшении массы льда близлежащих канадских ледников и ледовых шапок в размере  $74 \pm 7$  Гт год<sup>-1</sup> при ускорении, равном  $10 \pm 2$  Гт год<sup>-1</sup> <sup>4</sup>.

### 1.1.3 Уровень моря

21. В последние десятилетия наблюдается значительное повышение среднего уровня моря вследствие: а) теплового расширения океана (ТРО), т.е. изменений объема Мирового океана под воздействием стерических эффектов; б) гляциоэвстазии, т.е. увеличения массы Мирового океана в результате таяния ледяного покрова в Гренландии и Антарктике (ЛПГ и ЛПА), а также ледников и ледовых шапок (ЛЛШ); с) гляцио-изостатической компенсации (ГИК); и d) изменений запасов водных ресурсов суши (см., например, Hanna et al., 2013). По сравнению со стабильными средними показателями, наблюдавшимися в течение предыдущих 2 000 лет, темпы повышения уровня Мирового океана (ПУМ) резко возросли (см., например, Church and White, 2006; Engelhart et al., 2009; Gehrels and Woodworth, 2012; МГЭИК, 2013 год; Horton et al., 2014). С 1860 года уровень Мирового океана повысился примерно на 0,20 м; за тот же период глобальные темпы ПУМ в среднем составляли от 1,3 до 1,8 см за десятилетие (Church et al., 2013; Nau et al., 2015). Однако темпы повышения постепенно ускоряются; с 1900-х годов наметилось ощутимое ускорение темпов повышения уровня моря в масштабах планеты (диаграмма 11). Как и в случае с температурой, долгосрочная повышательная тенденция в изменении уровня моря менялась на протяжении десятилетий. Например, в начале XX столетия и на протя-

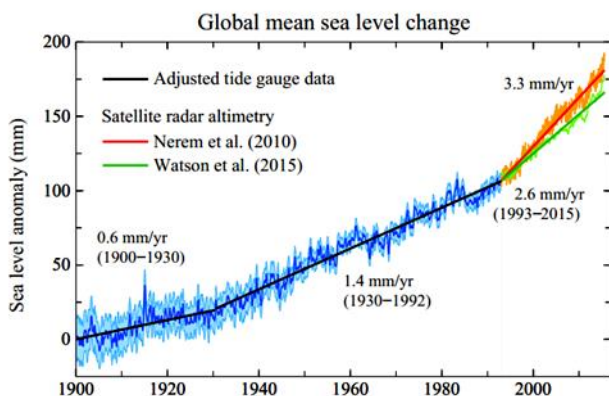
<sup>4</sup> Описанные выше процессы оказали значительное воздействие на повышение уровня Мирового океана. Наблюдения показывают, что таяние льда в Гренландии способствовало повышению его уровня в пределах от 0,09 (-0,02 до 0,20) мм/год<sup>-1</sup> в 1992–2001 годах до 0,59 (0,43 до 0,76) мм/год<sup>-1</sup> в 2002–2011 годах, а вклад потерь материкового льда Антарктики вырос с 0,08 (-0,10 до 0,27) мм/год<sup>-1</sup> в 1992–2001 годах до 0,40 (0,20 до 0,61) мм/год<sup>-1</sup> в 2002–2011 годах. В целом вклад таяния материкового льда в ПУМ в период 1993–2010 годов составляет, согласно оценкам, 0,60 (0,42–0,78) мм/год<sup>-1</sup> (МГЭИК, 2013 год).

жении большей части 1960-х и 1970-х годов его повышение проходило более низкими темпами; в 1930-х и 1950-х же годах темпы повышения уровня моря возросли. В настоящее время, как свидетельствуют спутниковые наблюдения и данные мареографов, начиная с 1993 года наблюдается повышение глобального уровня моря на  $3,3 \pm 0,25$  см в течение десятилетия (Church et al., 2013).

Диаграмма 11

### Оценочное изменение (в мм) уровня моря с 1900 года

(Данные до 1992 года включительно получены с использованием мареографов; они приведены в исследовании Church and White (2011); средняя скорость изменений за 1901–1990 годы, составившая  $1,2 \text{ мм год}^{-1}$ , получена путем умножения значения скорости изменений на 0,78 (Hansen et al., 2016))



22. Тенденции изменения среднего показателя уровня моря и региональная изменчивость климата в конце XX века привели к общемировым изменениям динамики максимальной высоты приливов. Вместе с тем повышение уровня моря вдоль береговой линии характеризуется значительной региональной (географической) неравномерностью (Menendez and Woodworth, 2010). Так, в Европе в последние четыре десятилетия уровень моря повышался вдоль большей части побережья, за исключением северной Балтики (ЕАОС, 2012 год). В некоторых регионах уровень моря повышается быстрее, чем в других. В тропической западной части Тихого океана в период 1993–2015 годов были отмечены самые высокие темпы повышения уровня моря, что, возможно, стало одним из дополнительных факторов, приведших к опустошению ряда районов Филиппин во время штормового нагона, вызванного тайфуном «Хайян» (ноябрь 2013 года).

#### 1.1.4 Экстремальные климатические явления

23. В рамках публичного дискурса изменение климата зачастую ассоциируется с повышением средней глобальной температуры. Однако для жизни общества, экономики и экологии наиболее актуальное значение, как правило, имеют региональные последствия таких экстремальных явлений, как тепловые волны, засухи или наводнения, равно как динамика их изменения (Vogel et al., 2017). Крайне важно понимать и разяснять фактическое влияние подобных явлений на инфраструктуру/хозяйственную деятельность с учетом того или иного заданного целевого значения глобальной температуры (Seneviratne et al., 2016). Изменения средних климатических показателей способны повлечь за собой перемены в частоте, интенсивности, пространственном охвате, продолжительности и времени наступления экстремальных погодных и климатических явлений, которые могут принимать беспрецедентные экстремальные формы. В будущем такие экстремальные явления в свою очередь способны привести к изменению распределения климатических условий; исходя из этого, ожидается, что в будущем средние значения некоторых климатических переменных будут соответствовать крайним значениям переменных, характеризующих современные условия (МГЭИК, 2013 год).

24. Экстремальные явления (например, ураганы, наводнения, засухи и периоды аномальной жары), а также изменения режимов отдельных климатических систем (например, муссонов) (King et al., 2015) в меньших пространственно-временных масштабах могут представлять собой наиболее ощутимую форму климатического воздействия, ибо могут стать причиной внезапных и более тяжелых последствий/стихийных бедствий по сравнению с изменениями средних значений переменных. При этом общество, привыкшее полагаться на предсказуемые долгосрочные климатические закономерности, редко оказывается готовым эффективно противостоять экстремальным погодным явлениям (MetOffice, 2014). В Соединенных Штатах Америки экстремальные гидрометеорологические явления в среднем ежегодно уносят примерно 650 жизней, наносят ущерб, исчисляемый суммой порядка 15 млрд долл. США, и служат основанием для почти 90% всех объявляемых Президентом чрезвычайных положений ввиду стихийных бедствий. К тому же экономика страны примерно на треть (порядка 3 трлн. долл. США в денежном эквиваленте), по всей видимости, зависит от погоды и климата; за период с 1980 года Соединенные Штаты Америки пережили 208 гидрометеорологических катастроф, общий ущерб от которых превысил 1,1 трлн. долл. США (НОАА, 2017с).

25. Динамика многих показателей экстремальных климатических явлений следует за процессом потепления, в том числе это касается повсеместного уменьшения количества морозных дней в районах средних широт и того очевидного факта, что во многих регионах пиковые значения высоких температур растут, а низких – падают (МГЭИК, 2013 год). Данные свидетельствуют об общем изменении частоты экстремальных значений температуры и осадков, оказывающих сильное воздействие, независимо от типа набора данных и используемого метода их обработки (MetOffice, 2014). В самом обозримом будущем в глобальном масштабе прогнозируется небольшое уменьшение среднегодового (4 дня/год для периода 2016–2035 годов и 10 дней/год для периода 2081–2100 годов) количества умеренно теплых дней (т.е. дней с максимальной температурой 18–30 °С и уровнем осадков < 1 мм) (Van der Wiel et al., 2017).

26. Последствия экстремальных явлений трудно предсказать. Они весьма многообразны и могут включать в себя такие явления, оказывающие серьезное – причем сопряженное с материальным ущербом – воздействие на инфраструктуру, как внезапные резкие перепады температур, быстрое отступление морского льда, выпадение аномальных количеств осадков, сильные ураганы, штормовые нагоны, продолжительные засухи, периоды сильной жары и стихийные пожары, а также одновременный сток больших масс воды из тающих ледников и просадка грунта в районах вечной мерзлоты. Кроме того, судя по некоторым данным, экстремальный характер таких явлений, как ураганы в тропических и умеренных широтах, с потеплением климата может еще более усугубиться (Emanuel, 2005; Ruggiero et al., 2010; ВМО, 2014 год; MetOffice, 2014). Так, даже небольшое увеличение (на 5 м/с) скорости приземного ветра при тропических циклонах, вызываемых повышением температуры Мирового океана на 1 °С, способно привести к значительно более частому возникновению наиболее мощных и разрушительных ураганов пятой категории (см., например, Steffen, 2009). Последствия таких экстремальных явлений, в частности для населенных пунктов и инфраструктуры прибрежных районов, могут быть весьма тяжелыми, поскольку одновременно увеличивается вероятность экстремального подъема уровня (ЭПУ) моря из-за штормового нагона и заплеска волн (см., например, Stockdon et al., 2012), а, следовательно, и вероятность затопления побережья, особенно с учетом ожидаемого повышения среднего значения уровня моря (Hallegate et al., 2013).

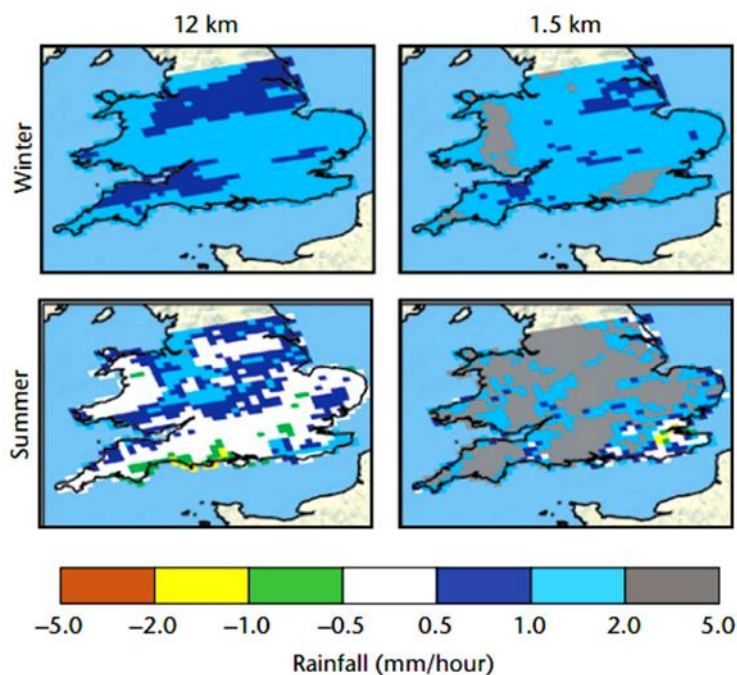
27. Кроме того, повышение интенсивности и частоты и/или изменение режима возникновения сверхсильного волнения (см., например, Ruggiero, 2013; Bertin et al., 2013; Mentaschi et al., 2017) также будут приводить, как минимум временно, к эрозии или затоплению побережья, особенно в условиях повышения среднего значения уровня моря (см., например, Losada et al., 2013; Vousdoukas et al., 2017). Штормовые нагоны воды создают повышенную угрозу

для плотно застроенных береговых районов и прежде всего для низинных районов в устьях таких рек, как Рейн, Дунай и Миссисипи, которые из-за сравнительно сильного ожидаемого повышения в этих районах среднего значения уровня моря считаются наиболее уязвимыми и подверженными береговой эрозии (ЕЭК, 2013 год). Как показывает анализ полученных при помощи мареографов данных об экстремальных подъемах уровня моря/штормовых нагонах, в Южной Европе изменения экстремальных уровней подъема воды обусловлены главным образом повышением среднего значения уровня моря (см., например, Marcos et al., 2011). С большой долей уверенности можно говорить о том, что при неизменном воздействии других факторов повышение уровня моря будет и в дальнейшем приводить к береговой эрозии и/или наводнениям в тех районах побережья, которые подвержены им в настоящее время (Hallegatte et al., 2013; Vousdoukas et al., 2017). Прогнозируемое увеличение экстремального подъема уровня (ЭПУ) моря чревато серьезной угрозой для прибрежных стран. Степень их безопасности и уязвимости зависит от эффективности естественных и искусственных барьеров, защищающих побережье от затопления; иными словами, от способности берега служить своего рода буфером и абсорбировать энергию океана за счет гашения высоты и разрушения волн (см., например, Vousdoukas et al., 2012).

#### Диаграмма 12

##### **Будущие изменения сильных дождевых осадков, рассчитанные на основе моделей с разрешением в 12 км (слева) и 1,5 км (справа), зимой (вверху) и летом (внизу)**

(Обе модели указывают на увеличение почасовой интенсивности осадков в зимний период, но модель с разрешением в 1,5 км также указывает на значительное усиление интенсивности кратковременных дождей в летнее время. Изменения указаны для 2100 года в соответствии со сценарием репрезентативных траекторий концентрации (РТК) 8,5, предусматривающим высокий уровень выбросов (MetOffice, 2014))



28. Одной из самых заметных тенденций, по всей видимости, является учащение и усиление ливневых дождей. Именно с этим в первую очередь связано общее повышение уровня осадков, наблюдаемое в последние 50 лет. Согласно прогнозам, полученным на основе климатических моделей, в текущем столетии эта тенденция сохранится (Karl et al., 2009). Согласно прогнозу на основе модели с высокой разрешающей способностью (MetOffice, 2014), хотя к 2100 году летом в Соединенном Королевстве станет суше, интенсивность летних ливневых дождей усилится (диаграмма 12). Учащение ливневых дождей в XXI веке

ождается во многих регионах мира, особенно в высоких и тропических широтах, а в зимнее время также и в средних широтах Северного полушария. Со средней степенью достоверности прогнозируется более частое выпадение проливных дождей даже в тех регионах, где общий уровень осадков предположительно будет снижаться (ЕЭК, 2013 год).

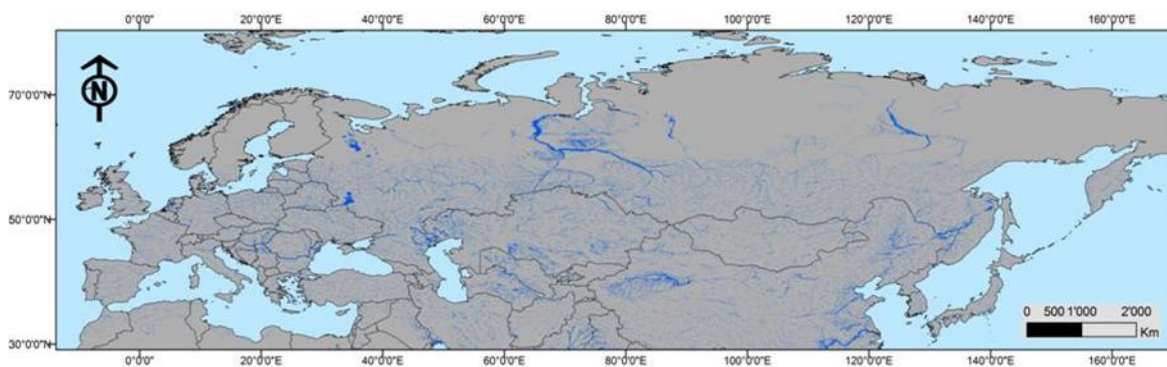
29. Речные паводки повсеместно являются причиной наибольшей опасности, связанной с погодой (King et al., 2015). В период 1980–2014 годов речные паводки стали причиной 41% всех страховых случаев, 27% случаев гибели людей и 32% случаев утраты имущества (Munich Re, 2015). Речные паводки обусловлены как естественными, так и социально-экономическими причинами. Естественные причины обусловлены гидрологическим циклом, на который влияют изменения температуры и уровней осадков, а также таяние ледников/снежного покрова, тогда как социально-экономические причины связаны с изменениями в землепользовании и схемами управления речными бассейнами, а также застройкой пойменных долин (ЕАОС, 2010 год). В регионе ЕЭК угроза наводнений присутствует постоянно.

30. Тенденции, наблюдаемые в настоящее время в странах Евразии, свидетельствуют о существенной опасности наводнений (один раз в 100 лет), особенно в Центральной и Восточной Европе, в Центральной Азии и в бассейнах крупных сибирских рек, текущих в северном направлении (диаграмма 13). При этом изменения, касающиеся экстремальных гидрологических явлений и их последствий, более изучены на региональном и местном уровнях; большинство проведенных исследований посвящены механизму возникновения и последствиям наводнений, вызываемых, в частности, большей интенсивностью проливных дождей. В целом в Европе наблюдается увеличение годового стока рек на севере континента и его уменьшение на юге (ЕАОС, 2012 год), и эта тенденция предположительно сохранится и в будущем в связи с ожидаемыми изменениями режима осадков (ЕАОС, 2015с). К 2050 году с вероятностью как минимум 50% можно прогнозировать, что только в результате изменения климата на всей территории Африки к югу от Сахары количество погибших в результате наводнений увеличится на 50%; для Азии аналогичной рост этого показателя можно прогнозировать с вероятностью 30–70%; согласно прогнозам, к 2100 году соответствующие риски только усилятся (King et al., 2015).

Диаграмма 13

**Существующая опасность наводнений, наблюдаемых один раз в 100 лет, в евразийском регионе ЕЭК, рассчитанная с помощью глобальной ГИС-модели по временным рядам данных о стоке рек (вероятность – 95%)**

(Разрешающая способность модели DEM – 90 метров. Районы севернее 60° северной широты охвачены не полностью (Источники: ЮНЕП-ГРИД и МСУОБ ООН, 2008 год). (ЕЭК, 2013 год))



31. В горных районах также ожидается увеличение количества оползней/обвалов под воздействием проливных дождей (например, Karl et al., 2009). Соответствующие прогнозы указывают на то, что к концу века ущерб от наводнений, например в Европе, значительно возрастет, при этом в северных районах

он, как правило, будет выше, чем в южных (Alfieri et al. 2015). Кроме того, имеются данные, свидетельствующие об учащении и усилении волн аномальной жары (см., например, Beniston and Diaz, 2004; МГЭИК, 2013 год); в целом за период с 1920-х годов показатель превышения наблюдаемых в течение месяца экстремальных высоких значений температуры воздуха над теми, которых можно было бы ожидать при неизменном климате, увеличился в три раза (Soumou и Rahmstorf, 2012). В глобальном масштабе при продолжении роста средних температур практически не вызывают сомнений модельные прогнозы относительно увеличения частоты/температурной амплитуды жарких дней и ночей и уменьшения количества холодных дней и ночей (МГЭИК, 2013 год). С большой долей уверенности можно утверждать, что по сравнению с 1950-ми годами общее количество необычно холодных дней и ночей в глобальном масштабе уменьшилось, а общее число необычно жарких дней и ночей – увеличилось (в тех районах суши, по которым имеется достаточно данных). Так, в большинстве районов Северной Америки необычно жарких дней и ночей, по-видимому, стало больше, а необычно холодных дней и ночей, а также заморозков в дневное время – меньше (ЕЭК, 2013 год). Волны жаркой погоды нередко сопровождаются сильными засухами (как, например, волна жаркой погоды в Европе летом 2003 года). В целом в ряде регионов происходит усиление интенсивности засух, и такая тенденция, согласно прогнозам, в XXI веке продолжится (и, возможно, усилится) (МГЭИК, 2013 год).

### 1.1.5 Период 2011–2016 годов

#### *Температура и осадки*

32. Последний шестилетний период (2011–2016 годы) был самым теплым в истории наблюдений. Температуры более чем на 1 °C превышали средний показатель за 1961–1990 годы (на большей части Европы, Северной Азии и юго-запада США), а в отдельных частях Российской Арктики средние значения были превышены более чем на 3 °C. 2016 год был самым теплым годом за все время наблюдений (средняя температура 1901–2000 годов, составившая 14,0 °C, была превышена на 1,1 °C) и превзошел предыдущие рекорды температур (2015 и 2014 годы), когда средняя температура земной поверхности достигла небывало высокого уровня (диаграмма 14).

33. В 2016 году глобальная средняя температура была на  $0,83 \pm 0,10$  °C выше среднего показателя за базисный период 1961–1990 годов и примерно на 1,1 °C выше по сравнению с доиндустриальным периодом. Он стал самым теплым за все время наблюдений годом по температуре поверхности как суши, так и океана, причем для обоих полушарий. Средние температуры за пятилетний период также достигли рекордных значений, и в 2012–2016 годах они на 0,65 °C превысили средний показатель 1961–1990 годов. Динамика изменения глобальных температур согласуется с тенденцией к потеплению, составляющему  $0,1$  °C– $0,2$  °C за десятилетие (ВМО, 2017 год). Практически на всей территории Евразии температура намного превышала средние значения. Примечательны также сезонные аномалии: в Северной Америке (2012 год) и Европе (2014 год) наблюдались самые теплые весны, а самое жаркое лето – в Северной Америке, которое пришлось на 2012 год. 2015 год явился первым годом, когда глобальная средняя температура на 1 °C или более превысила средний показатель за 1880–1899 годы, и эта тенденция продолжилась в 2016 году (НОАА, 2017b). Подводя итог, следует отметить, что самые теплые годы пришлось на период после 1998 года (диаграмма 14).

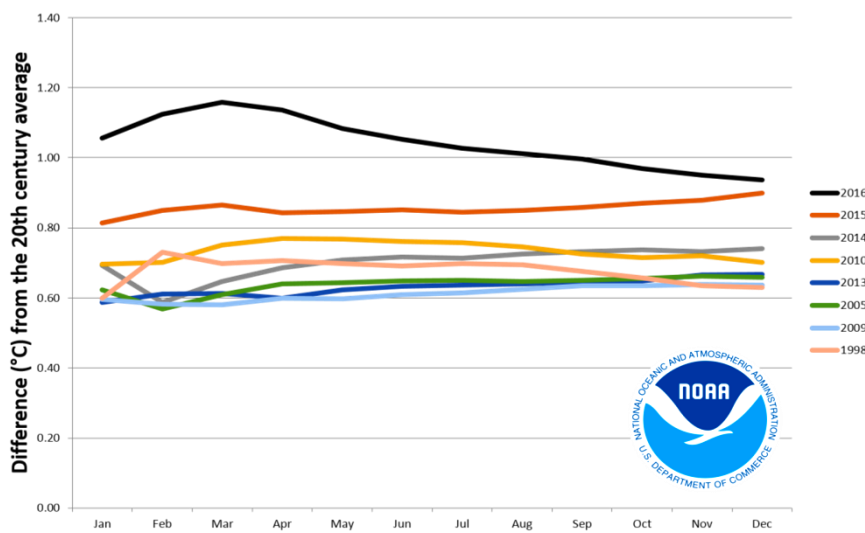
34. Причина краткосрочной изменчивости глобальной температуры может быть связана с такими явлениями, как «Эль-Ниньо» (или «Ла-Нинья»), которые могут приводить к нагреванию или охлаждению тропической части Тихого океана. Явление «Эль-Ниньо» наблюдалось на протяжении 2015 года и в первой половине 2016 года. Проведенные исследования свидетельствуют о непосредственном воздействии явления «Эль-Ниньо» в период 2015–2016 годов; так, нагревание тропической части Тихого океана (диаграмма 15) привело к увели-

чению в 2016 году глобальной годовой температурной аномалии почти на 0,1 °C (НОАА, 2017b).

35. Температуры на поверхности моря (ТПМ) за тот же период в большинстве океанов, за исключением некоторых районов в Южном океане и на востоке южной части Тихого океана, превышали среднюю. В подповерхностном слое также наблюдались плюсовые температуры, при этом согласно 5 различным наборам данных (НОАА, 2016 год) комплексное теплосодержание океанов в слое от 0 до 700 м в 2013 и в 2014 годах было выше, чем когда-либо ранее. В конце 2013 года в океанских водах наблюдались две заметные температурные аномалии: i) на востоке северной части Тихого океана имелся крупный район с весьма теплой водой (> 2 °C выше средней температуры); и ii) на востоке северной части Атлантического океана наблюдалась стойкая тенденция к сохранению температур на поверхности моря ниже нормальных.

Диаграмма 14

**Период 2011–2016 годов стал самым теплым в истории наблюдений; температуры в этот период на 0,57 °C превысили средние температуры за 1961–1990 годы и на 0,51 °C – за 2006–2010 годы. Температуры на суше более чем на 1 °C превысили средние значения за 1961–1990 годы на большей части Европы, юго-западе США и в азиатской части Российской Федерации, а также в большинстве районов к северу от 60° северной широты (НОАА, 2017b).**



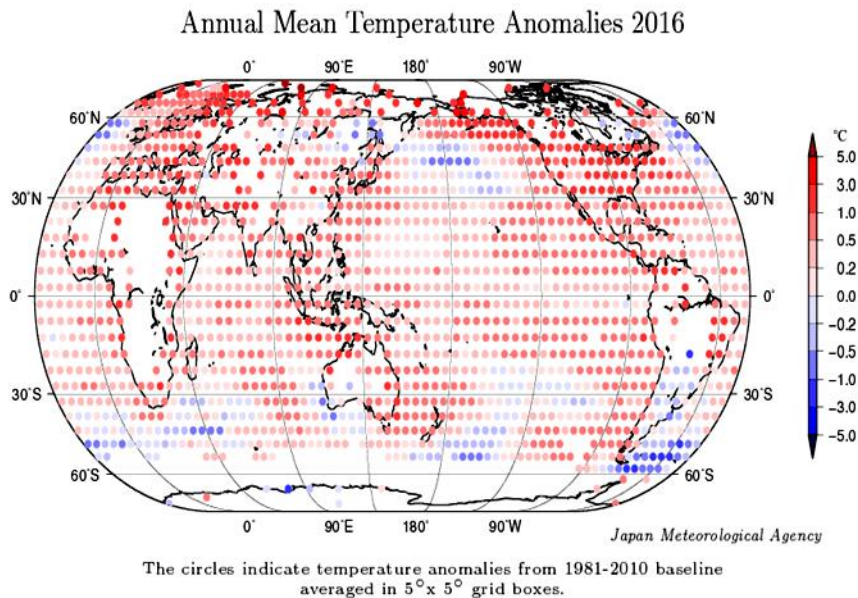
36. В начале и конце периода 2011–2016 годов на выпадение осадков на сушу сильно влияло явление «Эль-Ниньо – Южное колебание» (ENSO), при этом на протяжении значительной части 2011 года и в начале 2012 года наблюдались условия «Ла-Нинья», а в 2015 году и начале 2016 года отмечалось сильное влияние явления «Эль-Ниньо». Согласно оценкам НОАА, 2011 год занимал второе место по уровню зарегистрированных в мире осадков, тогда как показатели 2012, 2013 и 2014 годов приближались к долгосрочному среднему уровню. Главной особенностью этого шестилетнего периода является сохранение устойчивых многолетних дождевых аномалий в ряде регионов, большинство из которых проявились по окончании явления «Ла-Нинья» в 2012 году. В 2016 году сильное влияние на глобальные осадки оказал переход от условий «Эль-Ниньо» в начале года к нейтральным условиям либо слабым проявлениям «Ла-Нинья» во второй половине года. Следствием этого явились сильные сезонные колебания (хотя общегодовые показатели и приближались к среднему уровню), отмечавшиеся во многих регионах. В других же регионах период после окончания явления «Эль-Ниньо» характеризовался обильными дождевыми осадками, в силу чего общегодовые показатели заметно превысили средний уровень (ВМО, 2017 год).



37. В трех регионах (восточная половина Бразилии, западная часть Соединенных Штатов, часть Восточной Австралии) имелись крупные районы, в которых дождевые осадки в октябре 2012 года – сентябре 2015 года были меньше 10-го перцентиля, при этом существовали регионы, в которых осадки превышали 90-й перцентиль (например, в восточной части России). Что касается Европы, то между северной и южной частями наблюдался явный разрыв: в Скандинавии выпадало большое количество осадков, а в значительной части Центральной и Юго-Восточной Европы климат был весьма засушливым. В период 2012–2014 годов крупные ежегодные аномалии в осадках наблюдались реже, притом значительные аномалии были отмечены в северо-восточной части Европы, частях Китая и Аргентины (2012 год), а также юго-восточной части Европы (2014 год); в регионе ЕЭК весьма засушливые условия наблюдались на значительной территории в центральной части Соединенных Штатов, а также в центральной (2012 год) и западных частях России (2014 год).

Диаграмма 15

**Температурные аномалии в 2016 году (Метеорологическое агентство Японии (МАЯ), 2017 год)**



38. Во многих высокоширотных районах СП 2016 год был дождливым. Осадки, превышающие 90-й перцентиль, отмечались на огромной территории: от Казахстана с захватом западной части Российской Федерации до Финляндии, северной части Швеции и Норвегии. В то же время на значительной территории в северной и центральной частях Российской Федерации наблюдались засушливые условия, причем в большинстве районов между Уральскими горами и озером Байкал и к северу от 55° северной широты дождевые осадки были меньше 10-го перцентиля. На западном побережье Южной Америки, где в годы мощного явления «Эль-Ниньо» обычно выпадают сильные тропические ливни, в начале 2016 года прошли лишь локальные дожди (сезонное распределение осадков приближалось к среднему показателю). Еще одним нетипичным регионом стала Калифорния, где в сезон 2015–2016 годов количество осадков примерно соответствовало среднему уровню (после 4 весьма засушливых лет), а к концу года возросло.

39. На большей части Центральной и Западной Европы количество осадков приближалось к среднему показателю, при этом первая половина года была весьма дождливой, а вторая – засушливой. Зима 2015/16 года оказалась дождливой во всей Западной Европе, а в случае Соединенного Королевства этот год занял второе место по уровню зарегистрированных осадков. Весьма дождливыми в западных и центральных районах Европы оказались также май и июнь,

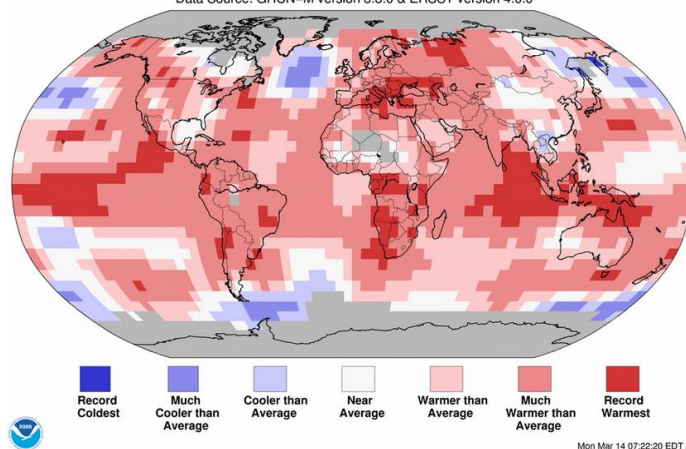
став причиной сильных наводнений во Франции и Германии. Период же с июля по сентябрь был засушливым, причем во Франции июль/август побили рекорд по жаре. Исключительно бедным на осадки оказался и декабрь; во многих районах их выпало меньше 20% нормы. В низменной части Швейцарии декабрь стал самым бедным на осадки месяцем, заняв третье место за всю историю наблюдений. Ярким примером высокой изменчивости нормы выпадения осадков в 2016 году является Бельгия; так, в Юкле январь–июнь выдались рекордно дождливыми (количество осадков на 62% превысило средний уровень), а период с июля по декабрь стал третьим по засушливости за всю историю наблюдений (на 36% ниже среднего показателя) (ВМО, 2017 год).

### ПРИМЕР: февраль 2016 года – самый теплый февраль за всю историю регистрации температур

Средняя температура поверхности суши/океана в феврале 2016 года была самой высокой из всех, когда-либо зарегистрированных в феврале месяце – на 1,21 °C выше по сравнению со средней температурой в XX веке, которая равнялась 12,1 °C (что на 0,33 °C превосходит предыдущий рекорд, установленный в 2015 году) (НОАА, 2016d). В сентябре 2015 года – феврале 2016 года в целом было отмечено шесть наиболее сильных отклонений от месячной температуры, когда-либо зарегистрированных в мире.

В обширном регионе Северного полушария, простирающемся из Центральной России в Восточную Европу (а также Аляску), в феврале были зарегистрированы температуры, на 5 °C превышающие средние температуры за период 1981–2010 годов. В ряде районов Азии было прохладнее, чем в среднем, в том числе в части Дальнего Востока России.

Land & Ocean Temperature Percentiles Feb 2016  
NOAA's National Centers for Environmental Information  
Data Source: GHCN-M version 3.3.0 & ERSST version 4.0.0



Температурные аномалии на суше и в океане в феврале 2016 года в сравнении со средней температурой в мире (НОАА, 2016d)

#### Снег и лед

40. Криосфера как часть системы планеты Земля включает твердые осадки, снежный покров, ледяной покров морей, ледяной покров озер и рек, ледники, ледовые шапки, материковый лед, районы вечной мерзлоты и сезонномерзлые грунты. Криосфера обеспечивает наличие ряда наиболее полезных показателей изменения климата, оставаясь между тем одним из наименее изученных доменов, составляющих систему планеты Земля. Насчитывается не менее 30 криосферных параметров, которые (в идеале) должны подлежать измерению. Измерение многих из них производят на поверхности, однако пространственный охват, как правило, остается слабым. С другой стороны, измерение отдельных параметров на протяжении вот уже ряда лет производят из космоса. К числу основных криосферных элементов, по которым в 2016 году проводилась оцен-

ка, относятся снежный покров, ледяной покров морей, ледники и материковый лед.

41. Несмотря на в целом высокие температуры в течение шестилетнего периода, в Северном полушарии отмечались также аномальные холода и снегопады. В феврале 2012 года в Европе наблюдался продолжительный период чрезвычайных холодов. Во многих частях Центральной и Западной Европы это был наиболее холодный период с 1985 или 1987 года: в большей части Центральной Европы температуры непрерывно держались ниже 0 °С на протяжении двух недель или более, хотя рекордно низких температур зарегистрировано не было. Это явление привело также к выпадению в ряде мест, особенно в некоторых частях Восточной Италии, чрезвычайно большого количества снега. Март 2013 года в значительной части Европы также был особенно холодным, и в ряде районов наблюдались сильные метели. Зимы 2013/14 года и 2014/15 года были гораздо более холодными, чем обычно во многих центральных и восточных районах Соединенных Штатов и Южной Канады, где на протяжении длительных периодов во всем регионе сохранялись низкие температуры (хотя рекордно низких температур отмечено не было). Холода были особенно сильными в феврале 2015 года, когда в Монреале, Торонто и Сиракузах температура не поднялась выше 0 °С. В прибрежных районах часто шел снег, и в Бостоне было зарегистрировано выпадение рекордного количества снежных осадков за сезон (ВМО, 2016 год).

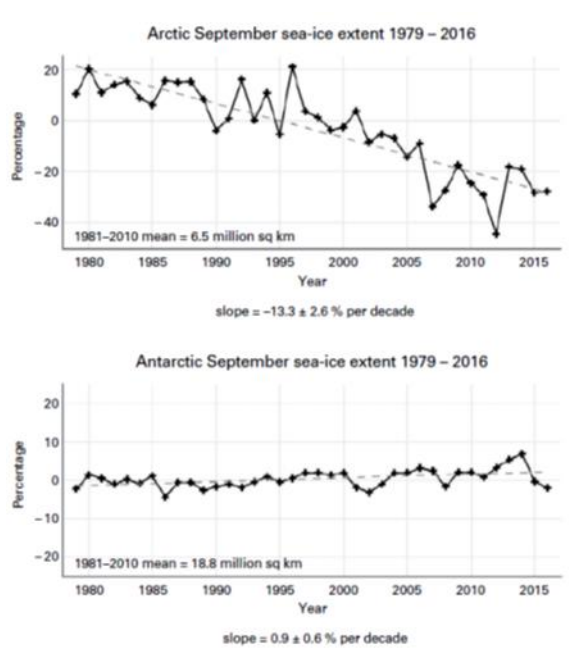
42. В Северном полушарии в 2016 году среднегодовой размер площади снежного покрова составлял 24,6 млн км<sup>2</sup>, что на 0,5 млн км<sup>2</sup> ниже среднего показателя за 1967–2015 годы; это весьма схоже с картиной, наблюдавшейся в 2015 году (см. также диаграмму 8). Если в январе площадь снежного покрова была больше среднего значения, то в период с февраля по июнь она оказалась значительно ниже среднего показателя (разброс со знаком минус составлял 2,4–3,3 млн км<sup>2</sup>). В апреле средняя площадь снежного покрова достигала своего исторического минимума, на втором месте шел март, на третьем – февраль и июнь, а на четвертом – май. Осенью же площадь снежного покрова была – как и в предыдущие три года – больше среднего значения. По сентябрю и по каждому месяцу в период с октября по декабрь отмечались позитивные аномалии. Применительно к Южному полушарию, где (за исключением Антарктики) снег – не считая высокогорных районов – обычно редок, сопоставимых данных о снежном покрове не имеется. В Австралии на станции Спенсерс-Крик в Снежных горах глубина снежного покрова на пике сезона была несколько ниже среднего показателя, однако обильные осадки в сентябре и октябре и пониженные по сравнению со средними значениями температуры позволили закрыть сезон довольно поздно (ВМО, 2017 год).

43. В 2016 году площадь морского ледового покрытия в Арктике была существенно ниже среднего значения, находясь на протяжении значительной части года на рекордно низких уровнях. Сезонный максимум в 14,52 млн км<sup>2</sup> (по состоянию на 24 марта) оказался самым низким аналогичным показателем, отмечавшимся за период 1979–2016 годов, т.е. за время спутниковых наблюдений (диаграмма 16), и чуть ниже показателя 2015 года. В мае и июне площадь морского ледового покрытия вновь сократилась до рекордно низких показателей, однако в результате сравнительно медленного таяния льда в летний период сезонный минимум (4,14 млн км<sup>2</sup>) не достиг рекорда 2012 года. Осенью 2016 года замерзание воды происходило медленно. В ноябре средняя площадь ледового покрытия составила 9,08 млн км<sup>2</sup>, что на 0,8 млн км<sup>2</sup> меньше по сравнению с прежней рекордно низкой отметкой. В Антарктике в первые восемь месяцев 2016 года площадь морского ледового покрытия приближалась к средним значениям 1979–2015 годов, достигнув к концу августа сезонного максимума в 18,44 млн км<sup>2</sup>; это стало самым ранним временем наступления сезонного максимума за всю историю наблюдений. Таяние льда в весенний период происходило исключительно быстро, и в ноябре средняя площадь ледового покрытия составила 14,54 млн км<sup>2</sup>, значительно превысив исторический минимум (на 1,0 млн км<sup>2</sup> меньше прежнего рекордно низкого показателя). Причины, обу-

словившие резкое сокращение площади морского льда в конце 2016 года, еще не уяснены, хотя одним из факторов вполне могли оказаться местные ветры (ВМО, 2017 год).

Диаграмма 16

**Приходящаяся на сентябрь площадь морского ледового покрытия а) в Арктике и б) в Антарктике: доля от долгосрочного среднего значения за базисный период 1981–2010 годов (источник: ВМО на основе данных Американского национального центра данных по снегу и льду) (ВМО, 2017 год)**



44. Поскольку площадь морского ледового покрытия в Арктике и Антарктике сократилась до рекордно низких показателей, в ноябре общая площадь ледового покрытия Мирового океана также оказалась значительно ниже среднего значения. Если на протяжении большей части года она была ниже среднего значения за 1979–2015 годы более чем на 1 млн км<sup>2</sup>, то в ноябре площадь льда сократилась до рекордной отметки свыше 4 млн км<sup>2</sup> ниже среднего, что является беспрецедентной аномалией; в декабре ситуация несколько выправилась.

45. В течение последних лет (2011–2016 годы) в Арктике продолжилось сокращение площади морского льда, темпы которого превысили среднее значение за 1981–2010 годы, особенно в случае зимнего максимума. Напротив, площадь ледового покрытия антарктических морей в сентябре 2014 года составила 20,16 млн км<sup>2</sup>, т.е. была на 1,45 млн км<sup>2</sup> больше среднего значения за 1981–2010 годы и достигла наибольшего значения за время спутниковых наблюдений. В результате аномально медленного замерзания воды зимой 2015 года площадь ледового покрытия весной того же года оказалась практически на уровне средних значений (максимальное значение в начале октября составило 18,83 млн км<sup>2</sup>, т.е. лишь на 0,7% превысило среднее значение за 1981–2010 годы (ВМО, 2017 год)).

46. В течение последних лет также продолжилось ухудшение состояния горных ледников; наряду с этим в арктических районах вечной мерзлоты наблюдалось повышение температуры грунта на глубину до 20 метров. С 1980 года в большинстве регионов температура в толще вечной мерзлоты увеличилась на 2 °С, что нанесло значительный ущерб инфраструктуре; с 1930 года мощность слоя вечной мерзлоты в СП снизилась на 0,32 м (МГЭИК, 2013 год). Если брать период 2011–2016 годов, то площадь снежного покрова также оказалась существенно ниже среднего показателя. Для аномалий в изменении площади снеж-

ного покрытия в СП характерна сильная сезонная изменчивость, но ее общий средний показатель за пятилетний период близок к среднему показателю за 1981–2010 годы. Наибольшее сезонное аномальное изменение пришлось на зиму 2013 года, когда площадь снежного покрова в течение всей зимы значительно превысила норму (ВМО, 2014 год).

47. Согласно данным Всемирной службы мониторинга ледников, в 2016 году продолжалось таяние горных ледников. В случае эталонных ледников, по которым имеются данные за 2015/16 год, средний баланс массы составлял – 858 мм, причем лишь один из 26 ледников характеризовался положительным балансом массы. Такой дефицит среднего баланса массы является не столь критичным по сравнению с 2014/15 годом, но выше среднего показателя за 2003–2015 годы. За 12-месячный период (по август 2016 года) темпы таяния материкового льда в Гренландии примерно соответствовали средним показателям последних лет. В этот период баланс массы ледяного/снежного покрова приближался к средним значениям за 1990–2013 годы; приращение выше средних показателей в холодные месяцы компенсировалось таянием также с превышением средних показателей в летний период. Было отмечено самое крупное с 2012 года сокращение площади ледников (ВМО, 2017 год).

#### *Повышение уровня моря*

48. В 2011–2016 годах средний уровень моря продолжал повышаться. Этот период начался с того, что уровень Мирового океана был примерно на 10 мм ниже по сравнению с долгосрочным трендом (возможно по причине сильного влияния явления «Ла-Нинья»); однако к середине 2012 года средний уровень стал повышаться. Значительное повышение произошло в начале 2015 года (по мере развития в 2015/16 году явления «Эль-Ниньо»), когда уровни моря примерно на 10 мм превышали долгосрочный тренд.

49. Тренд ПУМ (повышения уровня моря), наблюдавшийся в течение всего периода наблюдений со спутников (1993–2015 годы – 3 мм год<sup>-1</sup>), превышает средний тренд 1900–2010 годов (1,7 мм год<sup>-1</sup>). Имеются данные, указывающие на то, что увеличился вклад в ПУМ от таяния материкового льда (особенно ледяного покрова Гренландии (ЛПГ) и западной части Антарктики (ЛПЗА)). Вклад таяния ЛПГ в повышение уровня Мирового океана в 2011–2013 годах (которые включают 2012 год, характеризовавшийся экстремальной скоростью таяния льдов) составлял приблизительно 1,0 мм/год, что значительно превышает расчетное значение в 0,6 мм год<sup>-1</sup> за период 2002–2011 годов (МГЭИК, 2013 год).

50. Что касается Тихого океана, то в период 1993–2014 годов в нем наблюдались существенные региональные различия, которые, как считается, объяснялись явлениями «Эль-Ниньо» и «Ла-Нинья». В западной части Тихого океана в отличие от восточной были отмечены самые высокие в мире темпы ПУМ за этот период (в отдельных местах более 10 мм год<sup>-1</sup>). Уровень моря повышался более равномерно в Атлантическом и Индийском океанах; при этом в большинстве районов обоих океанов наблюдались коэффициенты, аналогичные глобальному среднему уровню. В 2015/16 году, на которые приходилось явление «Эль-Ниньо», произошло значительное повышение глобального уровня моря, составившее в период с ноября 2014 года по февраль 2016 года примерно 15 мм, что заметно превышает установившийся после 1993 года тренд в 3 мм год<sup>-1</sup>.

#### *Экстремальные явления в период 2011–2016 годов*

51. В 2011–2016 годах было отмечено много экстремальных погодных и климатических явлений, таких как волны жары и холода, тропические циклоны, наводнения, засухи и сильные штормы. Некоторые из этих явлений причинили значительный ущерб/вызвали большие потери; к ним относятся, например, наводнение в Юго-Восточной Азии 2011 года, ураган «Сэнди» в Карибском бассейне и Соединенных Штатах (2012 год), засухи в южной и центральной ча-

сти Соединенных Штатов (2012 и 2013 годы) и наводнение в Центральной Европе в мае–июне 2013 года (рис. 17).

Рис. 17

**Ущерб, нанесенный европейским дорогам в результате наводнения в июне 2013 года: а) Автострада № 8 в Грабенштатте, Южная Германия (Matthias Schrader, АП); б) Тироль, Австрия (Kerstin Joensson, АП)**

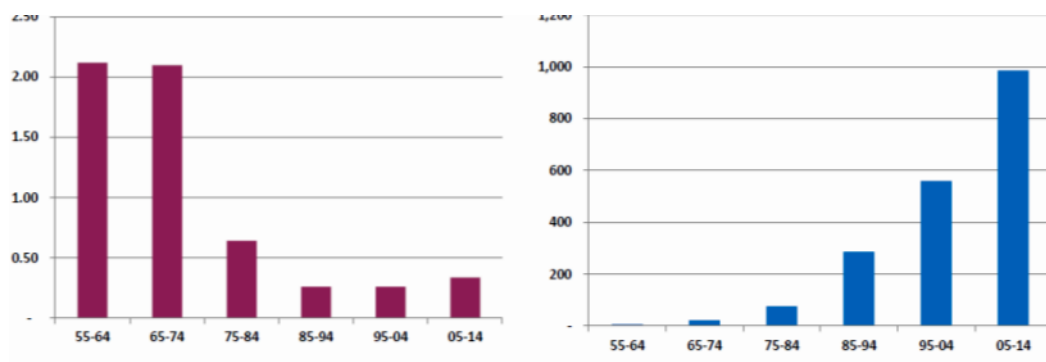


52. К счастью, в статистике гибели людей не находит отражения тенденция к увеличению размера экономических потерь (диаграмма 18). Что касается человеческих жертв, то внезапные наводнения в южной части Бразилии и Юго-Восточной Азии привели к гибели 1 700 человек (2011 год), тогда как тайфун «Хайян» (Йоланда) на Филиппинах и наводнения в северной части Индии унесли жизни 13 600 человек (2013 год). Более 3 700 человек погибли в результате волн жары в Индии и Пакистане (май–июнь 2015 года). Наиболее летальным экстремальным явлением явилась засуха в Африканском Роге в 2010–2011 годах, которая, возможно, была причиной голода с конца 2010 года по начало 2012 года в Сомали, унесшего жизни еще 258 000 человек (ВМО, 2016 год).

Диаграмма 18

**Человеческие жертвы (слева) и экономический ущерб в разбивке по десятилетиям**

(сумма ущерба в млрд долл. США в оценке 2013 года (НОАА, 2017с))



53. В целом, применительно к периоду 1980–2016 годов в среднем за год каждое экстремальное явление обходилось в 5,5 млрд долл. США (с учетом ИПП), при среднегодовом показателе за последние 5 лет (2012–2016 годы) в 10,6 таких явлений (НОАА, 2017с).

54. В Европе летом 2012, 2013 и 2014 годов были зарегистрированы сильные тепловые волны. В Австрии температуры впервые достигали 40 °C и выше. В июле–августе 2013 года продолжительные периоды аномальной жары наблюдались во многих частях Восточной Азии. Особенно интенсивные тепловые волны в этот период были зарегистрированы в мае и июне 2015 года в Индии и Пакистане в периоды, предшествовавшие муссонным дождям; температуры поднимались до 45 °C и выше. В Западной и Центральной Европе наиболее

сильные тепловые волны в период после 2003 года были зарегистрированы в первой половине июля 2015 года в Испании, Франции и Швейцарии, при этом были побиты все температурные рекорды; несколькими неделями позже температура в 40,3 °C была зарегистрирована также в Германии.

55. В период 2011–2016 годов случилось несколько засух. В Северной Америке (Соединенных Штатах и северной части Мексики) сильные засухи наблюдались в 2011, 2012 и 2013 годах. В июле 2012 года было официально объявлено, что засуха наблюдается на 64,5% территории Соединенных Штатов, т.е. засухой был охвачен самый крупный район за весь период с 1930-х годов. Общее количество дождевых осадков в 2011–2016 годах было также на 30% ниже нормы, что привело к общим экономическим потерям в размере приблизительно 60 млрд долл. США. Сильные продолжительные засухи наблюдались также в Австралии и южной части Африки, тогда как количество дождевых осадков в сезон муссонных дождей в Индии (июнь–сентябрь) было примерно на 10% ниже нормы как в 2014, так и в 2015 годах. В апреле и мае 2016 года Индию накрыла мощная волна аномальной жары. В городе Пхалоди была зарегистрирована рекордно высокая температура – 51,0 °C. Погибли 160 человек 330 млн пострадали.

56. Большие разрушения причинили сильные ветры и торнадо. Количество циклонов, характеризующихся высокой скоростью ветра, за шестилетний период увеличилось. Особенно беспокойными были Тихий океан в его северо-западной части в 2013 и 2015 годах и Северная Атлантика – в 2011 году. В 2011 году в США был зарегистрирован один из рекордных по количеству торнадо сезонов: по их общему количеству он занял третье место. Однако в 2012–2015 годах активность торнадо была ниже по сравнению со средним уровнем 1991–2010 годов. Что касается ураганов, то в октябре 2012 года на Карибский бассейн и восточное побережье Соединенных Штатов обрушился ураган «Сэнди», который нанес значительный ущерб, т.е. от сильных наводнений пострадали прибрежные районы, вода поднялась до очень высоких, рекордных уровней, и была затоплена большая территория (МГЭИК, 2013 год). В Соединенных Штатах и странах Карибского бассейна погибли 233 человека, тогда как общие экономические потери оценивались в 67 млрд долл. США. Тропические циклоны также оказывают сильное негативное воздействие на Азию (например, тайфуны «Хайян» (Йоланда) и «Ваши» (Сендон)), причем циклон «Патриция» был самым сильным из когда-либо зарегистрированных циклонов, при котором скорость ветра в Мексике достигала 322 км/ч.

57. За этот же период по Европе несколько раз прошли бури, связанные с внетропическими циклонами. В 2013 году в Дании наблюдались рекордно сильные ветры (53,5 м/с), которые нанесли громадный ущерб (также в Германии, Нидерландах, Соединенном Королевстве, Франции и Швеции). В этот же период в Нидерландах и Соединенном Королевстве были зарегистрированы наиболее сильные штормы за период с 1953 года. Зимой 2013/14 года в Соединенном Королевстве прошла серия штормов, в результате чего эта зима побила рекорд по дождевым осадкам, при этом ветер нанес большой ущерб и произошла значительная эрозия берегов (ВМО, 2016 год).

58. В 2016 году сильные грозы и мощные торнадо причинили во многих частях мира серьезный урон. Наиболее трагичным случаем стал торнадо, обрушившийся на Яньчэнь, китайская провинция Цзянсу, когда смерч унес 99 жизней. Этот торнадо оказался одним из самых разрушительных за всю историю наблюдений в Китае, причем регион одновременно подвергся сильному наводнению. В Соединенных Штатах вот уже пятый год подряд активность торнадо была ниже по сравнению с долгосрочным средним уровнем; по предварительным оценкам, количество торнадо составило 985, что примерно на 10% ниже среднего показателя за период после 1990 года. Однако отмечались и другие сильные грозы. В Техасе совокупный ущерб от двух мощных бурь с градом составил свыше 5 млрд долл. США. В Брабанте (Нидерланды) прошел сильный град, убытки от которого оцениваются в 500 млн евро. Во многих частях СП

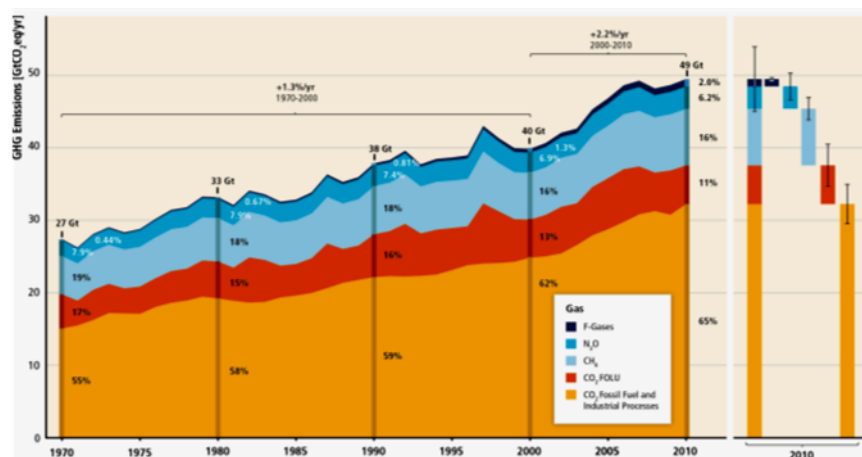
наблюдались ливневые паводки, причем наиболее значимые случаи были отмечены в Хьюстоне (Техас) и Тунисе. Необычайно ранние сильные снегопады накрыли в начале ноября Скандинавию. Обильные ранние снегопады случились и в Японии, при этом в ноябре в Токио впервые с момента начала в 1875 году официальных наблюдений выпал измеримый уровень снега (ВМО, 2017 год; НЦДСЛ, 2017 год).

### 1.1.6 Механизм форсинга

59. Главной причиной наблюдаемого увеличения теплосодержания планеты считается повышение концентраций в атмосфере парниковых газов (ПГ). Эти газы увеличивают «парниковый эффект», который является хорошо задокументированным и понятным физическим процессом системы Земли, известным с XIX века (см., например, Canadell et al., 2007). Изменения в атмосферной концентрации ПГ влияют на силу «парникового эффекта». Водяной пар представляет собой широко распространенный ПГ и вносит наибольший вклад в повышение «естественного» эффекта. Что касается деятельности человека, то пока еще не доказано, что она оказывает значительное прямое воздействие на чистые глобальные потоки водяного пара в атмосферу и из нее (см., например, Richardson et al., 2009), хотя на местном уровне они, возможно, влияют на такие потоки, например в результате обезлесения и работы крупных ирригационных систем. Тем не менее, поскольку способность атмосферы задерживать водяной пар в значительной степени зависит от температуры, находящийся в атмосфере водяной пар регулируется температурой Земли, которая повышается по мере глобального потепления. Таким образом, водяной пар не только зависит от изменений глобальной температуры под влиянием других факторов, например таких, как повышение концентраций других ПГ, но и увеличивает их (см., например, Richardson et al., 2009).

Диаграмма 19

**Общие годовые антропогенные выбросы ПГ за период 1970–2010 годов (МГЭИК, 2014 год)**



60. ПГ в атмосфере поглощают тепло, отражающееся от поверхности Земли, и таким образом способствуют сохранению большего объема тепла в океане, суше и атмосфере. Без «парникового эффекта» средние температуры на Земле составляли бы около  $-19^{\circ}\text{C}$  (т.е. средняя температура на Земле была бы примерно на  $34^{\circ}\text{C}$  холоднее, чем в настоящее время). «Парниковый эффект» наблюдается на всех планетах, на которых в атмосфере имеются газы, поглощающие тепло. Например, самая высокая температура (около  $440^{\circ}\text{C}$ ) на поверхности Венеры объясняется высокой концентрацией ПГ в ее атмосфере. Наблюдающееся увеличение теплосодержания Земли, вероятно (по крайней мере, частично), объясняется увеличением атмосферных концентраций парниковых газов (ПГ), которые поглощают тепло, отражающееся от поверхности Земли (МГЭИК, 2013 год). Как представляется, за последнее время концентрации



CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> и других ПГ в атмосфере весьма существенно увеличились, вероятно, в результате деятельности человека (см., например, Caldeira, 2009). Увеличивается количество доказательств наличия связи между концентрацией ПГ и климатом. Например, совпадающие колебания концентраций CO<sub>2</sub> и температуры, согласно данным, полученным в результате изучения ледяных кернов в Антарктиде, указывают на тесную связь между CO<sub>2</sub> и климатом в ледниковый период плейстоцена, точный характер которой, тем не менее, неясен (см., например, Shakun et al., 2012).

Диаграмма 20

**Общие антропогенные выбросы ПГ в 1970, 1990 и 2010 годах в разбивке по экономическим секторам и группам стран с различными доходами (МГЭИК, 2014 год)**



61. Изменения CO<sub>2</sub> в атмосфере и обнаруженных в толще ледников пузырьках воздуха свидетельствуют о том, что с 1800 года концентрация ПГ увеличилась на 40%, при этом основная часть этого увеличения приходится на период после 1970-х годов, когда ускорились темпы роста глобального потребления энергии (ЕАОС, 2015а). Кроме того, замеры содержания ледяных кернов указывают на то, что в настоящее время концентрации CO<sub>2</sub> являются самыми высокими за последние 800 000 лет – максимальное значение в 400 млн<sup>-1</sup> было достигнуто 9 мая 2013 года (НОАА, 2015 год). Несмотря на увеличение количества мер, принимаемых с целью смягчения изменения климата, общие антропогенные выбросы ПГ в мире непрерывно росли в течение периода 1970–2010 годов, достигнув наивысшего уровня за всю человеческую историю в 2000–2010 годах (диаграмма 19); эта тенденция продолжалась в 2011–2016 годах (ВМО, 2016 год).

62. В 2011–2014 годах темпы роста концентрации CO<sub>2</sub> и N<sub>2</sub>O были несколько выше по сравнению со средними темпами роста в 1995–2014 годах. Что касается концентрации CH<sub>4</sub>, то после периода незначительных изменений в 1999–2006 годах она также возросла (ВМО, 2016 год). За 2014 и 2015 годы среднегодовые концентрации ПГ увеличились; в 2014 году концентрации CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> и N<sub>2</sub>O составляли соответственно 397 млн<sup>-1</sup>, 1 833 млрд<sup>-1</sup> и 327,1 млрд<sup>-1</sup> (НОАА, 2015 год). Приблизительно 44% от общих выбросов CO<sub>2</sub> в результате человеческой деятельности в период с 2004 года по 2013 год скорее всего остались в атмосфере, при этом остальные 56% перешли в океаны и биосферу суши (ВМО, 2014 год, 2016 год).

63. Разбивка общих антропогенных выбросов ПГ в 2010 году показала, что на CO<sub>2</sub> приходится 76% (65% в результате сжигания ископаемого топлива/промышленной деятельности и 11% в результате землепользования), на CH<sub>4</sub> – 16%, N<sub>2</sub>O – 6% и фтористые газы – 2% выбросов (МГЭИК, 2014 год). Анализ общих выбросов CO<sub>2</sub> в результате сжигания топлива в период 1971–2010 годов показал, что основными факторами, способствующими повышательной тенденции, являются рост народонаселения и модели потребления/производства (МГЭИК, 2014 год). Оценки выбросов CO<sub>2</sub> в увязке с доходами стран свидетельствуют о том, что выбросы стран с доходами выше средних (например, Китая и Южной Африки) в период 1990–2010 годов удвоились, почти достигнув уровня стран с высокими доходами (как, например, Соединенные Штаты и большинство стран ЕС) (диаграмма 20). Значительное увеличение выбросов CO<sub>2</sub> было также отмечено в странах со средними и ниже средних доходами (МГЭИК, 2014 год).

---