



---

**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****Семнадцатая сессия**

Женева, 24 и 25 апреля 2019 года

Пункт 4 предварительной повестки дня

**Обсуждение заключительного доклада Группы экспертов****Изменчивость и изменение климата: тенденции  
и прогнозы\*****Представлено консультантом****I. Введение**

1. В настоящем документе представлен обзор недавних тенденций в отношении различных климатических факторов и их изменчивости, которые могут повлиять на транспортную отрасль, а также обзор последних прогнозов относительно изменения этих факторов в XXI веке. На своей шестнадцатой сессии Группа экспертов просила представить это исследование на семнадцатой сессии в качестве официального документа.

**II. Изменчивость и изменение климата: последние  
тенденции и прогнозы<sup>1</sup>**

2. Изложенная в настоящем документе информация касается в первую очередь климатических факторов и угроз, изменчивость и изменение которых могут сказаться на транспортных сетях региона Европейской экономической комиссии (ЕЭК);

---

\* В данном документе без изменений воспроизводится текст, переданный секретариату.

<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. доиндустриальной эпохой, либо периодами, когда была возведена используемая в настоящее время инфраструктура (например, периодами 1961–1990, 1986–2005 или 1981–2010 годов).

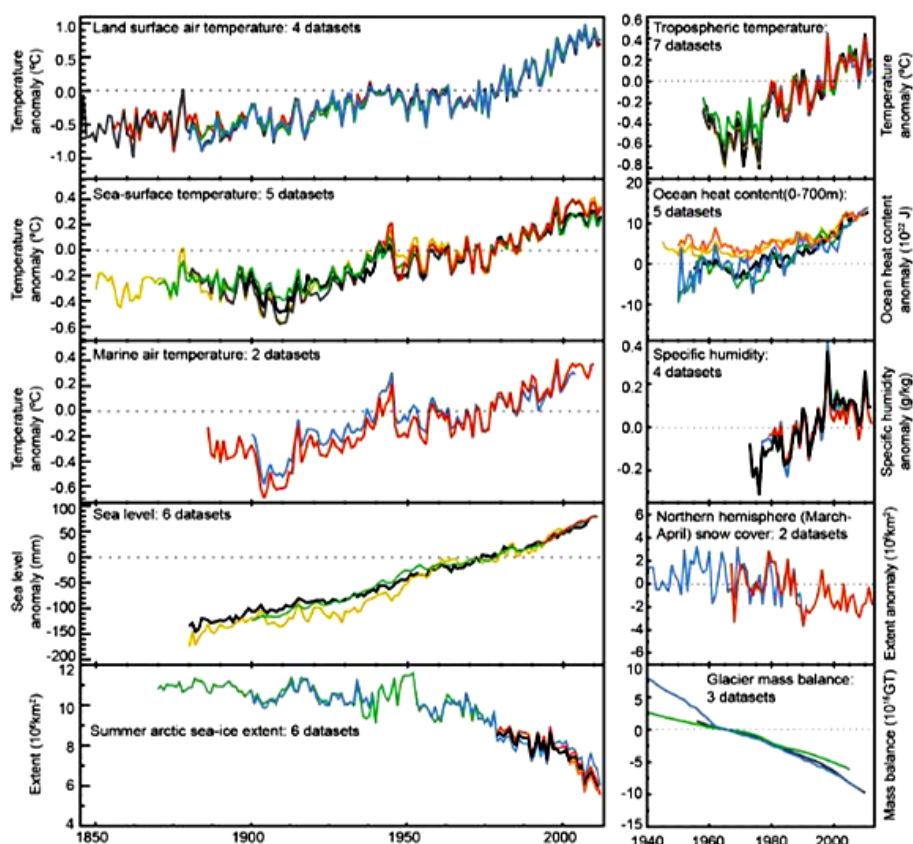


к их числу относятся изменение показателей температуры, осадков (дождей), снежного покрова, ледяного покрова и высоты уровня моря, а также экстремальные явления. Данные по этим климатическим факторам, охватывающие период до 2013 года, были представлены в предыдущем докладе ЕЭК (ECE, 2013). В настоящем докладе основное внимание уделено данным по последним тенденциям и прогнозам.

3. Существуют убедительные доказательства того, что начиная с 1850-х годов на нашей планете происходит повышение температуры, которое наблюдается в самых разных средах – от верхних слоев атмосферы до океанских глубин. Тем не менее в дискуссиях по ИИК чаще всего рассматривается вопрос о повышении температуры поверхности суши, что является лишь одним из показателей изменения климата наряду с другими, к числу которых, в частности, относятся изменение температуры атмосферы и океанов, уровня моря, осадков и ледников, снежного покрова и ледяного покрова морей (см. диаграмму 1). В целом динамика климатических показателей, которые на сегодняшний день лучше фиксируются и являются более понятными, указывает на наличие существенного (и в некоторых случаях ускоряющегося) изменения климата. По-видимому, степень негативного воздействия различных опасных факторов, связанных с климатом, на транспортную инфраструктуру и перевозки будет возрастать (ECE, 2013).

Диаграмма 1

**Изменение климатических факторов. На каждом горизонтальном графике представлены оценки, полученные независимо одна от другой. Все наборы данных в каждой колонке представлены для одного и того же периода наблюдений (IPCC, 2013)**



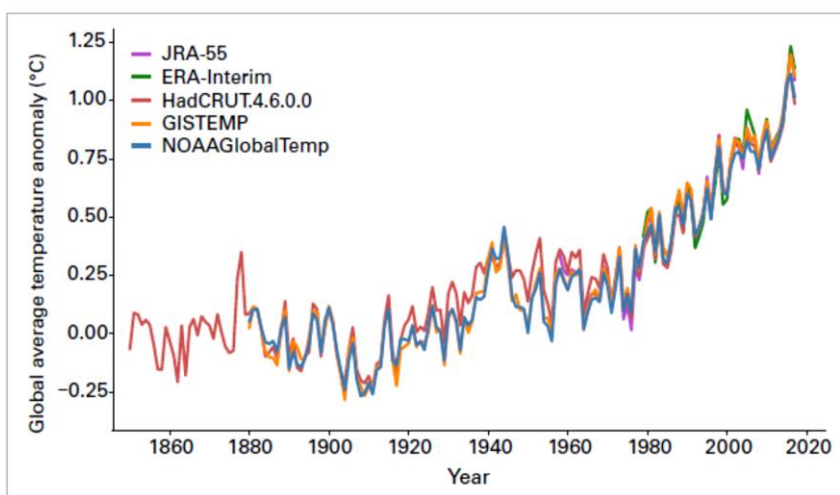
## A. Температура

### 1. Тенденции

4. Повышение температуры, по-видимому, происходит во многих частях оболочек Земли (см. диаграмму 1). Средняя глобальная приземная температура воздуха является наиболее широко используемым показателем ИИК, поскольку она напрямую связана как с факторами изменения климата, такими как увеличение объема кумулятивных выбросов парниковых газов (ПГ) и энергетический баланс Земли (IPCC, 2013), так и с многочисленными последствиями и факторами риска (Arnell et al., 2014). Хотя каждый последующий год (или десятилетний период) не всегда теплее предыдущего, в последние десятилетия, безусловно, наблюдается тенденция к потеплению (см. диаграмму 2).

Диаграмма 2

**Аномальные значения глобальных средних температур по сравнению с базовыми показателями за 1850–1900 годы, представленные для пяти глобальных наборов данных (источник: UK Met Office Hadley Centre). По отдельным данным (по данным повторного анализа ERA-Interim и JRA-55) 2017 год был вторым наиболее теплым годом (WMO, 2018)**



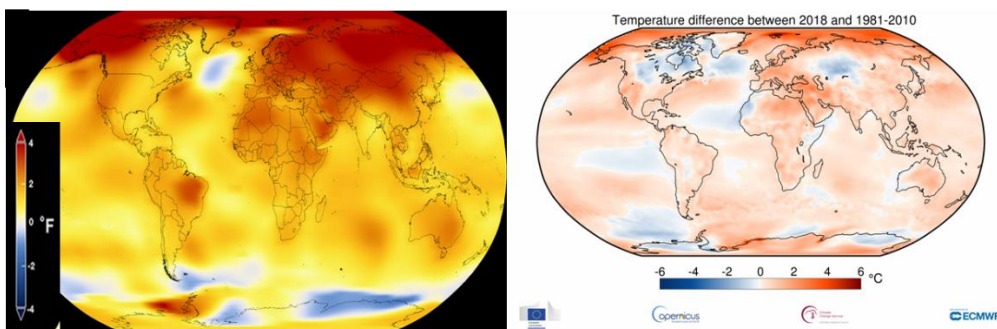
5. Потепление климатической системы является неоспоримым: все наблюдения свидетельствуют об увеличении глобальной средней температуры поверхности Земли, вероятнее всего, в результате роста концентрации ПГ в атмосфере (IPCC, 2007; 2013). Средняя температура за пятилетний период 2013–2017 годов (см. диаграмму 3), которая дает представление о динамике температур в более долгосрочной перспективе, была на 0,4 °C выше, чем средняя температура за период 1981–2010 годов, и на 1,0 °C выше доиндустриальных значений: она оказалась самой высокой за всю историю наблюдений. Среднегодовые температуры также находятся под влиянием различных климатических колебаний, и в особенности под влиянием явления Эль-Ниньо – Южное колебание (ЭНЮК). Годы, когда проявляется Эль-Ниньо, оказываются теплее, чем нейтральные годы или годы, когда проявляется явление Ла-Нинья.

6. Сильное проявление Эль-Ниньо наблюдалось в 2015–2016 годах. 2016 год, когда средняя глобальная температура была примерно на 1,1 °C выше, чем в доиндустриальную эпоху, стал самым теплым годом за всю историю наблюдений (NOAA, 2017a). Широкое распространение рекордно высоких температур наблюдалось в Северном полушарии (NSIDC, 2017), а глобальная температура в начале 2016 года была примерно на 1,5 °C выше показателей, зарегистрированных

в начале промышленной революции (Simmons et al., 2017)<sup>2</sup>. В обширном Евразийском регионе, а также на Аляске температура в феврале более чем на 5 °C превышала аналогичные средние показатели за период 1981–2010 годов. Температура поверхности моря (ТПМ) также была самой высокой за всю историю наблюдений (NOAA, 2016). В 2015 году, когда воздействие Эль-Ниньо ощущалось только ближе к концу года, также были зарегистрированы рекордно высокие температуры, в результате чего этот год стал вторым наиболее теплым за всю историю наблюдений. Для сравнения, в 2014 и 2017 годах, когда воздействие Эль-Ниньо было нейтральным, приземные температуры были соответственно на 0,88 °C ± 0,2 °C выше средних показателей за 1961–1990 годы (WMO, 2014) и на 1,31 °C выше средних показателей за XX век<sup>3</sup>. 2017 год стал самым теплым за всю историю наблюдений годом, когда действие Эль-Ниньо не проявлялось (и третьим самым теплым годом в целом), в то время как 2018 год, когда в слабой степени проявлялось действие Ла-Нинья, и нейтральный 2014 год стали соответственно четвертым и пятым наиболее теплыми годами за всю историю наблюдений (NASA, 2016, NOAA, 2017b; WMO, 2018). Данные подтверждают наличие устойчивой тенденции к потеплению, наблюдаемой с 1970-х годов, на которую накладываются случайные, стационарные и краткосрочные колебания (Rahmstorf et al., 2017). Что касается региона ЕЭК, то в большинстве его районов в последнее время наблюдается явная тенденция к потеплению (см. диаграмму 3).

Диаграмма 3

**Средние мировые температуры в 2013–2017 годах по сравнению со средними показателями за период 1951–1980 годов (слева) (Институт космических исследований имени Годдарда НАСА, [climate.nasa.gov/news/2671/long-term-warming-trend-continued-in-2017-nasa-noaa/](http://climate.nasa.gov/news/2671/long-term-warming-trend-continued-in-2017-nasa-noaa/)) (слева); аномальные отклонения температуры суши и океана в 2018 году от средних показателей за период 1981–2010 годов (справа)**



7. В 2003–2013 годах наблюдалось заметное замедление темпов роста средней глобальной (поверхностной) температуры (см. диаграмму 2) по сравнению с прогнозами, полученными на основе климатических моделей (Dieng et al., 2017a). Это замедление («перерыв» в глобальном потеплении) объясняется неопределенностью, обусловленной погрешностями наборов данных и процессами, связанными с «внешним» воздействием, например извержениями вулканов, изменениями концентрации в стратосфере водяного пара и промышленных аэрозолей, перераспределением тепла в океане, солнечной активностью и колебаниями циркуляции океана (IPCC, 2013; MetOffice, 2014; Cowtan and Way, 2014; Karl et al, 2015; Fyfe et al., 2016; Yan et al., 2016; Cheng et al., 2019).

8. Климат зависит от притока и оттока тепловой энергии и динамики ее накопления (IPCC, 2013). Большая часть тепловой энергии накапливается в океане, который поглощает основную долю тепла, поступающего в систему (Cheng et al.,

<sup>2</sup> Такое положение дел вызывает тревогу с учетом того, что цель Парижского соглашения 2015 года состоит в том, чтобы «удержать» повышение средней глобальной температуры в пределах 2 °C по сравнению с доиндустриальными уровнями (UNFCCC, 2015, IPCC, 2018).

<sup>3</sup> См. также [www.ncdc.noaa.gov/sotc/global/201713](http://www.ncdc.noaa.gov/sotc/global/201713).

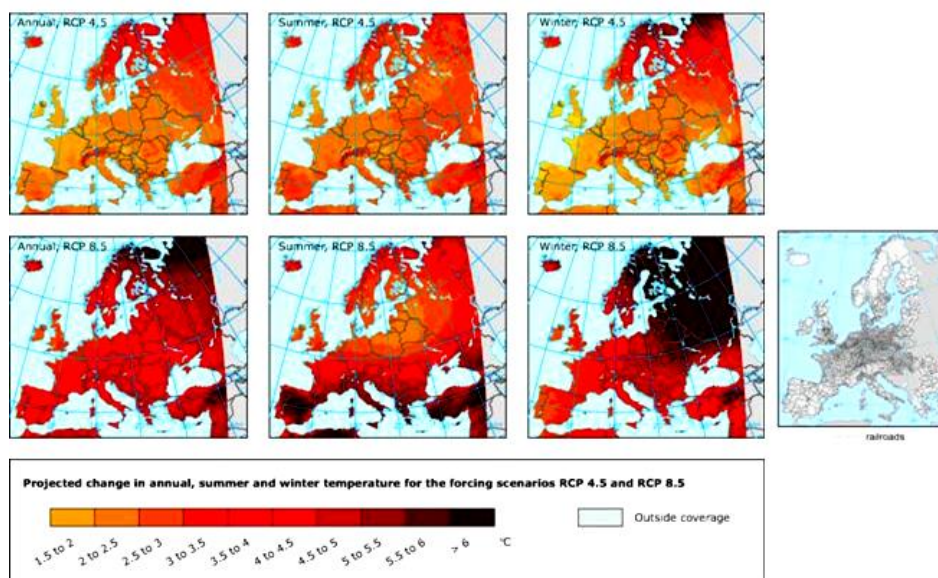
2019a). В последние десятилетия появились данные, свидетельствующие о росте теплосодержания океана, темпы которого за период 2003–2013 годов оцениваются в 0,50–0,65 Вт/м<sup>2</sup> (Dieng et al., 2017a). В течение последних пяти лет (с 2014 по 2018 год) температура верхних слоев океана была самой высокой за всю историю наблюдений (Cheng et al., 2019b).

## 2. Прогнозы

9. Согласно прогнозам, к концу XXI-го века температура атмосферы повысится на 1,0–3,7 °C (средние оценки) в зависимости от сценария изменения концентрации ПГ<sup>4</sup>. Температура океана также будет повышаться (IPCC, 2013). Наиболее сильное повышение температуры поверхности воды ожидается в субтропиках и тропиках, в то время как наиболее заметное повышение температуры на больших глубинах будет происходить в водах Южного океана. Ожидается, что к 2100 году в верхнем 100-метровом слое океана повышение температуры составит от 0,6 °C (РТК 2.6) до 2,0 °C (РТК 8.5), а в верхнем 1 000-метровом слое – от 0,3 °C (РТК 2.6) до 0,6 °C (РТК 8.5). В соответствии со сценарием РТК 4.5, половина поглощаемой океаном энергии будет накапливаться в верхнем 700-метровом слое воды, а 85% этой энергии будет накапливаться в верхнем 2 000-метровом слое (см., например, Cheng et al., 2019a; 2019b).

Диаграмма 4

**Прогнозируемые изменения годовой (слева), летней (в середине) и зимней (справа) температур воздуха у поверхности земли (в °C) в 2071–2100 годах по сравнению с 1971–2000 годами для сценариев РТК 4.5 (вверху) и РТК 8.5 (внизу). Результаты моделирования получены с использованием РКМ (инициатива EURO-CORDEX) (EEA, 2014a)**



10. Изменение климата не происходит и не будет происходить равномерно. Температуры вблизи полюсов повышаются быстрее, чем на экваторе (см., например, диаграмму 3). Согласно прогнозам, представленным в недавнем докладе МГЭИК (IPCC, 2018), ожидаются значительные межрегиональные климатические различия между нынешними условиями и условиями глобального потепления на 1,5 °C

<sup>4</sup> Начиная с публикации последнего Доклада об оценке МГЭИК ДО5 (2013) прогнозы строятся исходя из сценариев репрезентативных траекторий концентрации (РТК), а не сценариев, содержащихся в СДСВ МГЭИК, которые использовались ранее. Эквивалентные концентрации CO<sub>2</sub> устанавливаются следующим образом: для РТК 8.5 – на уровне 1 370 эквивалентов CO<sub>2</sub> в 2100 году, для РТК 6.0 – на уровне 850 эквивалентов CO<sub>2</sub> в 2100 году, для РТК 4.5 – на уровне 650 эквивалентов CO<sub>2</sub> в 2100 году, для РТК 2.6 – пиковое значение на уровне 490 эквивалентов CO<sub>2</sub> до 2100 года (Moss et al., 2010).

и 1,5–2 °C по сравнению с доиндустриальным периодом, в том числе в отношении роста экстремумов высоких температур в наиболее густонаселенных регионах (высокая степень уверенности). Согласно глобальным моделям, при любых сценариях прогнозируется значительное повышение температуры в регионе ЕЭК, особенно в его северных районах (IPCC, 2013). Моделирование на уровне регионов также указывает на весьма значительное потепление в Европе (см. диаграмму 4), особенно при реализации сценария РТК 8.5. В наибольшей степени это коснется Северо-Восточной Европы и Средиземноморья, что будет иметь серьезные последствия для транспортных сетей региона ЕЭК.

11. В исследовании Vogel et al. (2017), проведенном с использованием моделей CTL и SM20c, был сделан вывод о том, что максимальная суточная температура (МСТ) к концу века также возрастет. В случае использования модели CTL прогнозируемые изменения выражены заметнее, чем в случае использования модели SM20c, и полученные значения увеличения температур в регионе составляют соответственно до 10 °C и до 6 °C.

## **В. Осадки**

### **1. Тенденции**

12. Глобальные данные о количестве дождевых осадков на суше свидетельствуют о наличии тенденции к их увеличению, особенно в средних и высоких широтах (для данных до 1951 года уровень доверия низкий, а в последующем – средний) (EPA, 2015). Если рассматривать только средние широты Северного полушария, то уровень доверия в отношении тенденций, наблюдающихся начиная с 1951 года, оказывается высоким. 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 в Индонезии их выпадало меньше (Meyer-Christoffer et al., 2015). Как показывают результаты исследования Schneider et al. (2017), проведенного с использованием усредненных погодных поправок к полученным от 75 100 метеорологических станций Глобального центра по климатологии осадков (ГЦКО) данным, среднегодовое количество осадков в период 1951–2000 годов составляло порядка 855 мм (без учета Антарктики); эти результаты также свидетельствуют о том, что потепление примерно на 1 °C по сравнению с доиндустриальными уровнями может привести к увеличению глобального количества осадков на 2–3%.

13. В последние годы значительное влияние на выпадение осадков на суше оказывает явление ЭНЮК. Недавнему шестилетнему периоду предшествовал период сильного проявления Ла-Нинья (2011 год – начало 2012 года), который охарактеризовался очень влажными условиями: согласно оценкам НОАА, 2011 год занял второе место по количеству зарегистрированных осадков. В то же время показатели осадков в 2013 и 2014 годах приблизились к их долгосрочному среднему уровню. На больших территориях западной части Соединенных Штатов Америки (США), восточной части Австралии и восточной части Бразилии количество дождевых осадков в период с октября 2012 года по сентябрь 2015 года было меньше 10-го перцентилья, в то же время в некоторых регионах количество осадков превышало 90-й перцентиль (например, в восточной части России). В Европе наблюдался выраженный разрыв между северной и южной частями: в Скандинавии выпало большое количество осадков, а в значительной части Центральной и Юго-Восточной Европы условия были засушливыми. В 2014 году весьма засушливые условия наблюдались также на большей части центральных районов США и в центральной и западных частях Российской Федерации (WMO, 2014; Met Office 2014).

14. В 2016 году на глобальном количестве осадков сказался переход от влияния Эль-Ниньо в начале года к нейтральным условиям или слабому проявлению Ла-Нинья во второй половине года; это привело к наблюдению во многих регионах сезонных контрастов. Выпадение осадков в количествах, превышающих 90-й перцентиль, наблюдалось на огромной территории региона ЕЭК, простирающейся от Казахстана через западную часть Российской Федерации до Финляндии, северной части Швеции

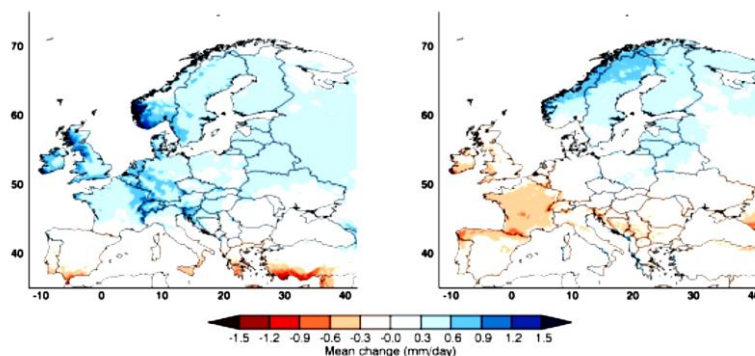
и Норвегии. В то же время на значительной части территории северных и центральных районов Российской Федерации наблюдались засушливые условия, причем на большей части региона между Уральскими горами и озером Байкал и к северу от 55° с. ш. количество выпавших осадков было меньше 10-го перцентиля. На большей части Центральной и Западной Европы количество выпавших за год осадков было близким к среднему показателю, однако первая половина года при этом была весьма влажной, а вторая – засушливой. Ярким примером такого колебания является Бельгия: в некоторых районах этой страны период с января по июнь выдался рекордно влажным (количество осадков на 62% превысило средний уровень), а период с июля по декабрь стал третьим по засушливости за всю историю наблюдений (количество осадков было на 36% ниже среднего показателя) (WMO, 2017). Еще одним примером необычного режима выпадения осадков стала Калифорния, где в течение сезона дождей количество осадков примерно соответствовало среднему уровню (после четырех весьма засушливых лет), а к концу 2016 года оно увеличилось. В 2017 году количество районов, в которых наблюдались значительные аномалии, связанные с количеством выпадающих осадков, было меньше, чем в предыдущие годы, так как к этому времени прекратилось влияние сильного Эль-Ниньо 2015–2016 годов (WMO, 2018).

## 2. Прогнозы

15. Ожидается, что изменение режима выпадения осадков будет носить еще более сложный характер, нежели изменение температурного режима. Так, в одних регионах прогнозируются обильные осадки (средняя степень уверенности), а в других – засухи и дефицит осадков (средняя степень уверенности) (IPCC, 2013; 2018). Изменения режима выпадения осадков ожидаются в европейской части региона ЕЭК, где северные районы в целом будут становиться более влажными, а южные – более сухими (см. диаграмму 5).

Диаграмма 5

**Прогнозируемое на конец века (2071–2100 годы) изменение суточного количества осадков зимой (слева) и летом (справа) по сравнению с нынешним климатом (1981–2010 годы) при реализации сценария РТК 8.5**



16. В то же время, хотя летние периоды могут (в целом) стать более засушливыми, существует вероятность того, что интенсивность ливневых дождей возрастет. Так, результаты моделирования указывают на то, что в Соединенном Королевстве частота сильных ливней, способных вызывать паводки (когда за час выпадает больше 30 мм осадков), к 2100 году может увеличиться почти в пять раз (MetOffice, 2014). Предсказывается также наступление в середине и в конце XXI века ширококомасштабных засух в большинстве районов юго-западной части Северной Америки. Для сравнения, в Центральной Европе, в Средиземноморье и в некоторых районах Северной Америки ожидаются засухи меньшей продолжительности и интенсивности (Milly et al., 2008; IPCC, 2013; Dai, 2013; IPCC, 2018).

## С. Снежный покров, ледяной покров морей и многолетняя мерзлота

### 1. Тенденции

17. Криосферная оболочка Земли включает в себя твердые осадки, снежный покров, ледяной покров морей, озер и рек, ледники, ледниковые шапки, ледяные щиты и почвы многолетней и сезонной мерзлоты. Ниже приводится краткая оценка состояния следующих элементов криосферы: снежный покров, ледяной покров морей, ледники, ледяные щиты и многолетняя мерзлота. Оценка их нынешнего состояния и текущих тенденций, а также их дальнейшей динамики имеет особое значение для транспортных перевозок в арктических районах региона ЕЭК (например, в Российской Федерации, Канаде и США).

18. Начиная с 1950-х годов по всему Северному полушарию площадь снежного покрова (ПСП) в весенний период сокращается (IPCC, 2013; NSIDC, 2017). В течение периода 1967–2012 годов в Северном полушарии, на которое приходится около 98% мирового снежного покрова, сокращение ПСП в июне происходило со скоростью 11,7% за десятилетие (ЕЕА, 2015а). Однако эта тенденция не прослеживается повсеместно. В некоторых регионах (например, в Альпах и Скандинавии) глубина снежного покрова неуклонно уменьшается в низинах, но при этом увеличивается в возвышенных районах, тогда как в других регионах (например, в Карпатах, Пиренеях и на Кавказе) какие-либо стабильные тренды не прослеживаются (ЕЕА, 2012).

19. Несмотря на в целом высокие температуры, в течение недавнего периода отмечались также аномальные холода и снегопады. Длительный период чрезвычайно низких температур затронул Центральную и Западную Европу в начале 2012 года, когда произошло самое сильное начиная с 1987 года похолодание. Зимы 2013–2014 и 2014–2015 годов были также гораздо более холодными, чем обычно во многих центральных и восточных районах США и в южной части Канады, где на протяжении длительных периодов сохранялись низкие температуры: в феврале 2015 года температура воздуха в городах Монреаль, Торонто и Сиракьюс не поднималась выше 0 °С. Кроме того, в прибрежных районах отмечались частые снегопады, а в Бостоне снегопады стали самыми обильными за всю историю наблюдений (WMO, 2016). В 2016 году, несмотря на сильные январские метели в Северной Америке, среднегодовая ПСП в Северном полушарии составила 24,6 млн км<sup>2</sup>, что на 0,5 млн км<sup>2</sup> ниже среднего показателя за 1967–2015 годы (см., например, NOAA, 2017а). В Евразии ПСП в зимний период была на 270 000 км<sup>2</sup> ниже средних значений (WMO, 2017). Вместе с тем в течение большей части 2017 года ПСП в Северном полушарии, особенно на северо-западе России и в Скандинавии, почти соответствовала или даже превышала средний показатель за 1981–2010 годы (WMO, 2018).

20. Площадь ледяного покрова (ПЛП) в Арктике сокращается (см. диаграммы 1 и 6). Как правило, ПЛП увеличивается в сезон холодов, достигая своего максимума в марте–апреле, а затем сокращается в теплое время года, достигая своего минимума в сентябре. В Антарктике, напротив, минимальная ПЛП приходится на февраль–март, а в течение холодного сезона в Южном полушарии она растет, достигая своего максимума в сентябре. Начиная с 1979 года минимальная ПЛП в Арктике сократилась почти на 40%, и на последнее десятилетие пришлось большая часть лет, когда она достигала минимальных значений за время наблюдений (NOAA, 2017а).

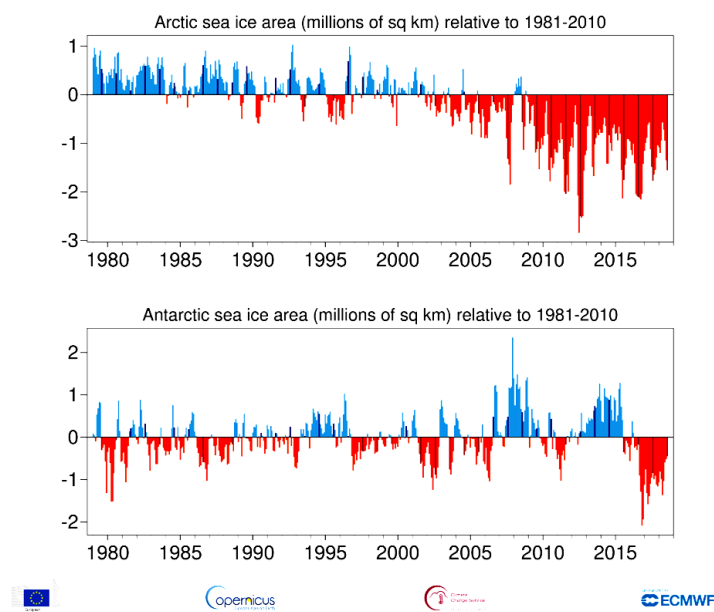
21. На протяжении большей части 2016 года ПЛП в Арктике находилась на рекордно низкой отметке (WMO, 2017). Достигнутый 24 марта сезонный максимум в 14,52 млн км<sup>2</sup> оказался самым низким за всю историю спутниковых наблюдений; заметные исключения в этом отношении наблюдались в Лабрадорском море, а также в заливе Баффина и в Гудзоновом заливе. В Арктике максимальная и минимальная ПЛП были соответственно на 1,12 млн км<sup>2</sup> и на 2,08 млн км<sup>2</sup> ниже среднего показателя за 1981–2010 годы. В Антарктике в первые восемь месяцев 2016 года ПЛП приближалась к средним значениям 1979–2015 годов, достигнув сезонного максимума в 18,44 млн км<sup>2</sup>. Однако после наступления исключительно быстрого весеннего таяния



ПЛП в ноябре составила 14,54 млн км<sup>2</sup> (самый низкий показатель за всю историю наблюдений). Причины резкого сокращения ПЛП в Антарктике в конце 2016 года пока не ясны, и оно описывается как аномалия (NSIDC, 2017). В 2017 году как в Арктике, так и в Антарктике ПЛП была значительно ниже средних показателей 1981–2010 годов. Максимальное значение ПЛП в Арктике (14,42 млн км<sup>2</sup>, зарегистрировано 7 марта) оказалось самым низким из максимальных зимних значений ПЛП за всю историю спутниковых наблюдений. Однако весенне-летнее таяние происходило медленнее, чем в последние годы, и поэтому минимальное значение ПЛП в конце лета (4,64 млн км<sup>2</sup>, зарегистрировано 13 сентября) было примерно на 1,25 млн км<sup>2</sup> больше, чем рекордно низкий показатель 2012 года (WMO, 2018). В арктических районах многолетней мерзлоты (см. диаграмму 7) повышение температуры наблюдается на глубине до 20 м. С 1980 года в большинстве регионов температура увеличилась на 2 °С, что привело к оттаиванию мерзлоты и нанесло значительный ущерб инфраструктуре. В целом начиная с 1930 года мощность слоя многолетней мерзлоты в Северном полушарии сократилась на 0,32 м (IPCC, 2013).

Диаграмма 6

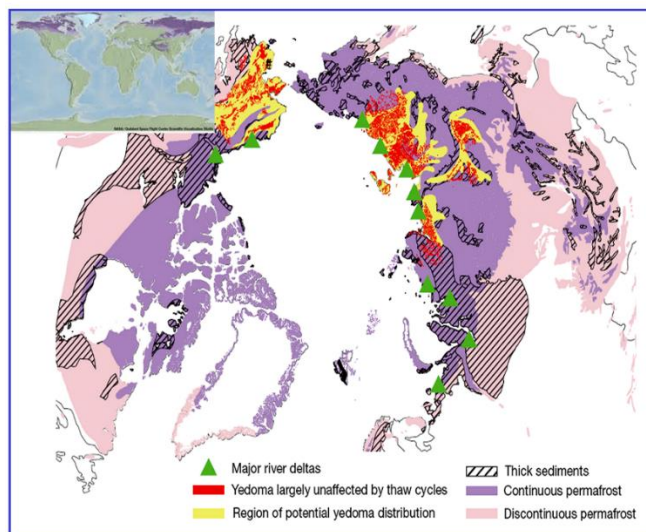
ПЛП в Арктике и Антарктике (P. Taalas, WMO, 2019)



22. Баланс массы (материкового) льда Антарктики и Гренландии имеет исключительно важное значение, поскольку он (среди прочих факторов) влияет на средний показатель повышения уровня моря (ПУМ). В 1960, 1970 и 1980-х годах в отношении баланса массы льда (БМЛ) ледяного щита Гренландии не прослеживалось каких-либо значительных тенденций, однако с начала 1990-х годов он начал сокращаться (в среднем на 3% в год). Это оказало статистически значимое влияние на средний показатель скорости ПУМ (Hansen et al., 2016). Прослеживаемая многолетняя тенденция в отношении материкового льда Антарктики представляется нейтральной. Вместе с тем в последнее время появились тревожные сигналы. Общие потери массы, по-видимому, увеличились с  $40 \pm 9$  Гт/год в 1979–1990 годах и  $50 \pm 14$  Гт/год в 1989–2000 годах до  $166 \pm 18$  Гт/год в 1999–2009 годах и до  $252 \pm 26$  Гт/год в 2009–2017 годах. Вклад таяния этой массы материкового льда в ПУМ в среднем составляет  $3,6 \pm 0,5$  мм за десятилетие, т. е. за период после 1979 года этот вклад в совокупности составил  $14,0 \pm 2,0$  мм (Rignot et al., 2019).

Диаграмма 7

**Карта приполярной зоны многолетней мерзлоты Северного полушария с отмеченной (желтым и красным) едомой, на которую приходится значительная доля углерода, содержащегося в многолетней мерзлоте (Schuur et al., 2015 doi:10.1038/nature14338)**



23. Согласно оценкам, которые приводятся в исследовании Velicogna et al. (2014), темпы сокращения массы ледового щита Гренландии составляют  $280 \pm 58$  Гт/год, и этот показатель ежегодно увеличивается на  $25,4 \pm 1,2$  Гт. Кроме того, темпы сокращения массы льда в ледниках и ледниковых шапках, расположенных в близлежащей Канаде, составляют  $74 \pm 7$  Гт/год, повышаясь ежегодно на  $10 \pm 2$  Гт. Таяние горных ледников в целом продолжается. В 2015–2016 годах отрицательный баланс массы льда для подавляющего большинства эталонных ледников, по которым имеются данные, был менее значительным, чем в 2014–2015 годах, однако выше среднего показателя за 2003–2015 годы (WMO, 2017). В последние годы масса ледников западной части Северной Америки сократилась на  $117 \pm 42$  Гт, что свидетельствует о четырехкратном увеличении темпов ее сокращения в период между 2009–2018 годами ( $12,3 \pm 4,6$  Гт/год) и 2000–2009 годами ( $2,9 \pm 3,1$  Гт/год). Возможно, это обусловлено зональной динамикой ветров в верхних слоях атмосферы (Menounos et al., 2018).

## 2. Прогнозы

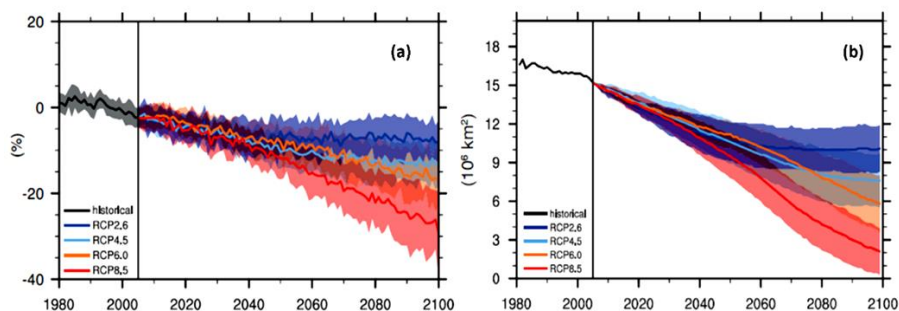
24. Согласно прогнозам, в арктических районах количество осадков в виде снега будет увеличиваться. Во многих районах прогнозируется увеличение максимальной глубины снежного покрова, причем наиболее значительное его увеличение (на 15–30% к 2050 году) ожидается в Сибири. Вместе с тем, согласно прогнозам, из-за преждевременного начала весеннего таяния продолжительность присутствия снежного покрова в большинстве арктических районов будет каждый год сокращаться на 10–20% (AMAP, 2012); таким образом, при реализации сценария РТК 8.5 к 2100 году ПСП в весенний период сократится на 25% (см. диаграмму 8а). Что касается прогнозов в отношении горных ледников, то они также указывают на сокращение к 2100 году ледниковой массы на 10–30% (AMAP, 2012). В недавних исследованиях для ледников Гиндукуша и Гималаев были представлены оценки, предполагающие более значительную потерю их массы (Wester et al., 2019).

25. Кроме того, прогнозы указывают на повышение скорости таяния многолетней мерзлоты из-за роста глобальных температур и изменений, касающихся снежного покрова. Нынешние темпы потепления в европейской части зоны многолетней мерзлоты составляют  $0,04–0,07$  °C/год (ЕЕА, 2015а). Хотя оценка динамики изменения многолетней мерзлоты сопряжена с трудностями (связанными, в том числе, с почвенными процессами, сценариями изменения климата и физическими параметрами

моделей), в зависимости от используемого сценария ожидается, что площадь мерзлоты к концу XXI века сократится на 37–81% (средняя степень уверенности) (см. диаграмму 8b). Такие изменения могут вызвать трудности для развития и обслуживания инфраструктуры в арктических районах (ЕСЕ, 2013), что может оказать сдерживающее влияние на развитие транспортных сетей для освоения новых маршрутов в Северном Ледовитом океане, которое станет возможным в результате прогнозируемого таяния морского льда в Арктике (см. диаграмму 9).

Диаграмма 8

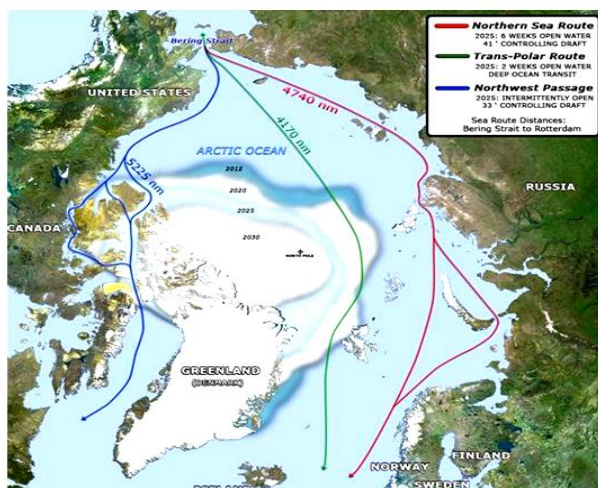
**а) Прогнозируемая ПСП и б) прогнозируемые приповерхностные изменения многолетней мерзлоты для четырех сценариев РТК (на основе ансамбля моделей ПССМ5) (IPCC, 2013)**



26. Данные, полученные на основе ансамбля моделей ПССМ5, позволяют прогнозировать значительное сокращение ПЛП в Арктике, несмотря на значительные межгодовые колебания этого показателя. В период 2081–2100 годов, в зависимости от используемого сценария РТК, прогнозируется сокращение ПЛП на 8–34% (в феврале) и 43–94% (в сентябре) по сравнению со средней ПЛП за 1986–2005 годы (IPCC, 2013).

Диаграмма 9

**Новые морские пути в Арктике (U.S. Climate Resilience Toolkit, 2015)**



27. У жителей арктических районов могут появиться новые социально-экономические возможности, поскольку отступление морского льда облегчит доступ к значительным запасам природных ресурсов (например, к углеводородным месторождениям в море Бофорта и Чукотском море). Ожидается, что к 2025 году в Северном Ледовитом океане будут действовать три крупных судоходных маршрута (см. диаграмму 9). В Российской Федерации уже построено несколько морских портов для обслуживания перевозок сырьевых грузов. В 2017 году грузооборот этих морских портов увеличился в 1,5 раз по сравнению с 2016 годом и достиг 73 млн т; ожидается, что к 2030 году их грузооборот вырастет до 140 млн тонн (Egorshv, 2018). Вместе с тем эксплуатация новых морских путей в Арктике сопряжена с экологическими

рисками и проблемами в сфере развития. ИИК будут оказывать влияние на существующую и будущую инфраструктуру, например из-за таяния многолетней мерзлоты и увеличения интенсивности прибрежного волнения моря, что потребует использования специализированных и инновационных мер адаптации (Egorshv, 2018).

28. Глобальное потепление окажет влияния на Гренландский ледяной щит (ГЛЩ), БМЛ которого в последнее время характеризуется ускоряющейся негативной тенденцией (Velicogna et al., 2014; Hansen et al., 2016). Для сравнения, прогнозы для большинства сценариев МГЭИК указывают на увеличение БМЛ Антарктического ледяного щита (АЛЩ) в связи с увеличением количества осадков в виде снега (вместе с тем см. последние наблюдения, представленные в исследовании Rignot et al., 2019). Следует отметить, что вероятное сокращение БМЛ в Антарктике может привести к увеличению к 2100 году ПУМ более чем на 1 м (De Conto and Pollard, 2016).

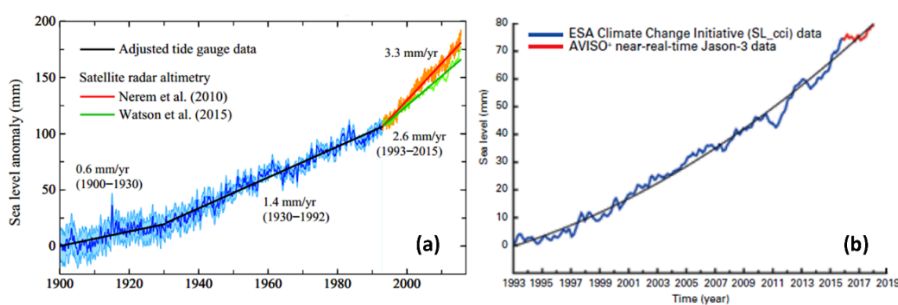
## D. Уровень моря и волнение моря

### 1. Тенденции

29. Наблюдается весьма значительное увеличение теплосодержания океана, который, вероятно, поглотил более 80% избытка энергии, связанного с увеличением выбросов начиная с 1970-х годов (Dieng et al., 2017; Cheng et al., 2019a), что привело к стерическому подъему уровня моря, которое является основным компонентом ПУМ (Hanna et al., 2013). По сравнению с относительно стабильными показателями, наблюдавшимися в течение предыдущих двух тысяч лет, за последние десятилетия темпы ПУМ резко повысились (Church et al., 2013).

Диаграмма 10

**а) Оценка изменения уровня моря (в мм) с 1900 года. Данные за период до 1992 года представляют собой данные измерений мареографов с коэффициентом изменения, умноженным на 0,78, что позволяет получить для 1901–1990 годов среднее значение темпов изменения в 1,2 мм/год (Hansen et al., 2016); б) Средний глобальный уровень моря (с учетом сезонного цикла) за период с января 1993 года по январь 2018 года, на основе данных спутниковой альтиметрии. По данным AVISO (источник: Collecte-Localisation-Satellites (CLS) – Лаборатория геофизических и географических исследований (LEGOS) (WMO, 2018))**



30. С 1860 года уровень Мирового океана повысился примерно на 0,20 м; в течение того же периода глобальные темпы ПУМ в среднем составляли от 1,3 до 1,8 см за десятилетие (Church et al., 2013; Hay et al., 2015). В масштабах десятилетий отмечаются колебания тенденции, связанной с ПУМ. В начале двадцатого века и на протяжении большей части 1960-х и 1970-х годов темпы ПУМ были ниже, в то время как в 1930-х и на протяжении 1950-х годов уровень моря повышался быстрее (см. диаграмму 10). Данные, полученные с помощью спутников и мареографов, указывают на то, что с 1993 года глобальная скорость ПУМ составляет  $3,3 \pm 0,25$  см за десятилетие (Church et al., 2013), а ее повышение в основном объясняется изменениями баланса массы льда, а не стерическими эффектами (Dieng et al., 2017b; Rignot et al., 2019).

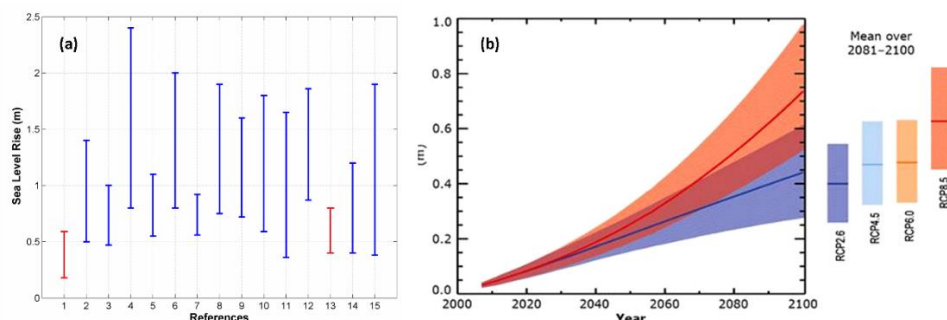
31. ПУМ вдоль береговой линии характеризуется значительной региональной (географической) неравномерностью (Menendez and Woodworth, 2010). Так, в Европе в последние четыре десятилетия уровень моря повышался вдоль большей части побережья, за исключением северной Балтики (ЕЕА, 2012). В некоторых регионах, например, в западной тропической части Тихого океана, уровень моря повышается быстрее. Уровень моря растет более равномерно в Атлантическом и Индийском океанах, причем в большинстве районов обоих этих океанов темпы ПУМ аналогичны глобальному среднему показателю (WMO, 2016).

## 2. Прогнозы

32. Возможности прогнозирования ПУМ на основе данных, описывающих этот процесс, ограничены ввиду неопределенности в отношении реагирования на глобальное потепление, а также колебаний баланса масс ГЛЩ и АЛЩ (Hansen et al., 2016; Rignot et al., 2019), стерических изменений (Cheng et al., 2019a; 2019b), вклада горных ледников (Menounos et al., 2018) и забора грунтовых вод для орошения и накопления воды в резервуарах (Wada et al., 2012).

Диаграмма 11

**а) Прогнозируемое к 2100 году ПУМ. Обозначения: 1 – IPCC (2007а), 0,18–0,59 м; 2 – Rahmstorf et al. (2007); 3 – Horton et al. (2008); 4 – Rohling et al. (2008); 5 – Vellinga et al. (2008); 6 – Pfeffer et al. (2008); 7 – Kopp et al. (2009); 8 – Vermeer and Rahmstorf (2009); 9 – Grinsted et al. (2010); 10 – Jevrejeva et al. (2010); 11 – Jevrejeva et al. (2012); 12 – Mori et al. (2013); 13 – IPCC (2013); 14 – Horton et al. (2014); 15 – Dutton et al. (2015). Разброс отражает различия в использованных гипотезах/подходах. б) Общемировое ПУМ в XXI веке по сравнению с 1986–2005 годами (IPCC, 2013)**



33. Согласно прогнозам МГЭИК, по сравнению с 1986–2005 годами ПУМ в 2081–2100 годах составит 0,26–0,54 м (при реализации сценария РТК 2.6) и 0,45–0,82 м (при реализации сценария РТК 8.5) (IPCC, 2013). Следует отметить, что МГЭИК традиционно представляет консервативные оценки (см. диаграмму 11). Ввиду значительной наблюдаемой (и прогнозируемой) географической неравномерности темпов ПУМ при оценке потенциальных последствий ПУМ на том или ином участке побережья необходимо учитывать тенденции, действующие на региональном уровне. Изменение уровня моря в прибрежных зонах может быть вызвано не только глобальными процессами, но и такими факторами регионального характера, как океаническая циркуляция, региональные различия в темпах таяния ледников, гляциоизостатическая компенсация и проседание осадочных пород в прибрежной зоне (King et al., 2015; Carson et al., 2016; Jevrejeva et al., 2016).

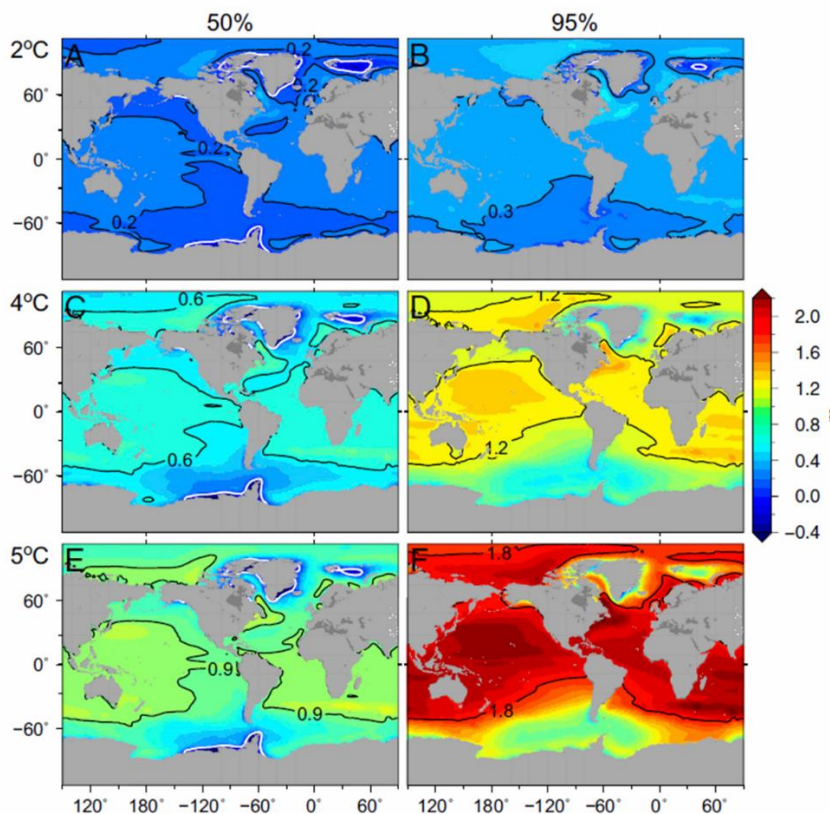
34. ПУМ будет продолжаться и после 2100 года (Jevrejeva et al., 2012), поскольку из-за увеличения теплосодержания океана (Cheng et al., 2019a) его тепловое (стерическое) расширение будет продолжаться в течение (как минимум) еще нескольких веков, при этом динамическое сокращение массы льда в Антарктике и Гренландии также будет продолжаться в отдаленном будущем. Ничем не сдерживаемое повышение средней температуры может привести к неуправляемому ПУМ. Как правило, предлагается использовать глобальное потепление на 2 °C по

сравнению с доиндустриальным уровнем<sup>5</sup> в качестве порога, после превышения которого риски, связанные с изменением климата, станут неприемлемо высокими (см. вместе с тем IPCC, 2018). Если не будут приняты эффективные меры по смягчению последствий, то при реализации сценария РТК 8.5 этот порог, вероятно, будет достигнут примерно в 2050 году.

35. Вероятностные прогнозы ПУМ для повышения температуры на уровне 2 °С и выше показывают, что для более чем 90% мировой береговой линии повышение превысит глобальную оценку в 0,2 м, причем вдоль атлантического побережья Северной Америки ожидается подъем до 0,4 м (см. диаграмму 12). Для сравнения, при повышении температуры на 5 °С – что близко к верхнему пределу прогнозируемого к 2100 году повышения температуры (IPCC, 2013) – ПУМ достигнет 0,9 м (медианное значение), при этом для 80% береговой линии значение ПУМ превысит глобальный показатель на уровне верхнего предела 95-го перцентиля, который составляет 1,8 м (Jevrejeva et al., 2016). Палеоклиматические, инструментальные и модельные исследования показывают, что под воздействием сочетания глобальных и региональных факторов на определенных участках побережья ПУМ может расти относительно быстрыми темпами (см., например, Cronin, 2012).

Диаграмма 12

**Региональные прогнозы уровня моря при условии роста температуры в соответствии со сценарием РТК 8.5 на 2 °С (А и В), на 4 °С (С и D) и на 5 °С (Е и F) по сравнению с показателями за 1986–2005 годы. На рисунках А, С и Е показаны медианные (50%) прогнозы, а на рисунках В, D и F – прогнозы верхних пределов (95%). Черными контурами отмечено ПУМ (в метрах), а белые контуры соответствуют нулевым значениям ПУМ (Jevrejeva et al., 2016)**

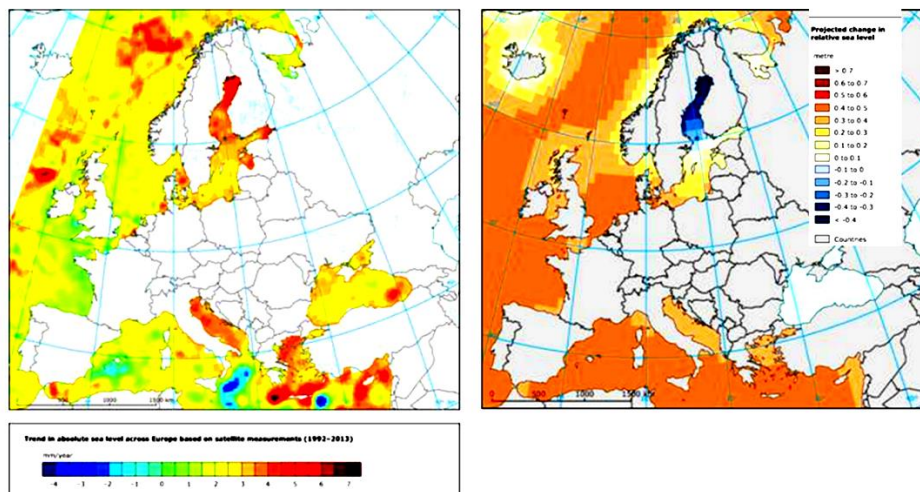


<sup>5</sup> Цель Парижского соглашения 2015 года, касающаяся сдерживания роста температуры ([unfccc.int/process/#:a0659cbd-3b30-4c05-a4f9-268f16e5dd6b](http://unfccc.int/process/#:a0659cbd-3b30-4c05-a4f9-268f16e5dd6b)).

36. В Европе как текущие тенденции, так и будущие прогнозы указывают на наличие значительных региональных колебаний ПУМ (см. диаграмму 13). В исследовании Katsman et al. (2011) для побережья Нидерландов приводится оценка ПУМ к 2100 году на уровне 0,40–1,05 м при реализации возможного сценария максимального уровня выбросов, в то время как для Средиземноморского региона прогнозируется ПУМ до 0,8 м (Hinkel et al., 2014; Jevrejeva et al., 2016). Помимо ПУМ влияние на транспортную инфраструктуру/перевозки в прибрежных районах зависит также от других факторов/угроз, таких как средние показатели и экстремумы волнения моря и штормового нагона. В исследовании Samus et al. (2017) были представлены глобальные мультимодельные прогнозы характеристик волнового режима (в частности, значимая высота волн,  $H_s^6$ ) в условиях изменения климата (см. диаграмму 14), призванные помочь в оценке воздействия ИИК на прибрежную транспортную инфраструктуру (Asariotis et al., 2017).

Диаграмма 13

**Слева: тенденции изменения абсолютного уровня моря в европейских морях, выявленные с помощью спутниковых измерений (1992–2013 годы) (ЕЕА, 2014b). Справа: прогнозируемое (на основе ансамбля моделей ПССМ5) изменение относительного уровня моря в 2081–2100 годах по сравнению с 1986–2005 годами при реализации сценария умеренного уровня выбросов РТК 4.5. Прогнозы для Черного моря отсутствуют (ЕЕА, 2014c)**

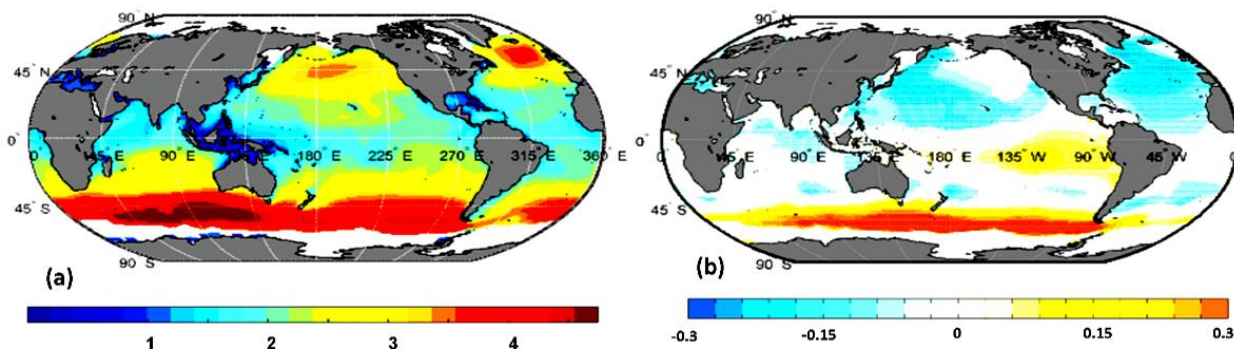


37. Согласно прогнозам, среднегодовое значение  $H_s$  будет расти в Южном океане и в восточной части Тихого океана и снижаться в Северной Атлантике, северо-западной части Тихого океана и в Индийском океане, причем показатель роста будет примерно в четыре раза превышать показатель снижения. В сочетании с ПУМ эти прогнозы указывают на то, что в некоторых районах морские порты могут пострадать из-за повышенной уязвимости их (низких) волнорезов (Samus et al., 2017).

<sup>6</sup> Годовая значимая высота волн ( $H_s$ ) – это средняя высота одной трети самых высоких волн, зарегистрированных в той или иной точке в отдельный год.

Диаграмма 14

а) Полученная на основе нескольких моделей среднегодовая значимая высота волн (в метрах) в период 1979–2005 годов; б) Полученные на основе нескольких моделей прогнозируемые изменения среднегодовой значимой высоты волн в 2070–2100 годах по сравнению с периодом 1979–2005 годов при реализации сценария РТК 8.5. Штриховкой обозначены участки, в случае которых величина среднего значения по ансамблю моделей превышает среднеквадратическое отклонение между моделями (Camus et al., 2017)



## Е. Экстремальные климатические явления

38. При обсуждении в широких кругах изменение климата зачастую ассоциируется с повышением средней глобальной температуры. Однако для транспортной отрасли, равно как и для жизни общества, экономики и окружающей среды, гораздо актуальнее могут быть региональные условия и изменения, касающиеся экстремальных климатических явлений (Vogel et al., 2017). Изменения средних значений 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 формы. Такие экстремальные явления в свою очередь способны в будущем привести к изменению распределения средних значений климатических показателей (IPCC SREX, 2012). Широкий спектр экстремальных явлений включает внезапные резкие перепады температур, быстрое отступление морского льда, выпадение аномально большого количества осадков, сильные ураганы, штормовой нагон, продолжительные засухи, периоды сильной жары и стихийные пожары, а также одновременный сток больших масс воды из тающих ледников и просадку грунта в районах многолетней мерзлоты. Все эти явления по-отдельности и в сочетании друг с другом могут оказывать серьезное и сопряженное с материальным ущербом воздействие на транспортную инфраструктуру и перевозки.

39. Воздействие экстремальных явлений, а также изменений характера отдельных климатических систем, например муссонов (King et al., 2015), может достигать своего максимума в условиях небольших пространственно-временных масштабов, поскольку они могут приводить к внезапным и более серьезным последствиям и стихийным бедствиям, нежели изменения, касающиеся средних показателей климатических факторов. Общество, привыкшее к предсказуемым долгосрочным климатическим закономерностям, редко оказывается готовым эффективно противостоять экстремальным погодным явлениям (MetOffice, 2014). Большинство стихийных бедствий вызваны экстремальными гидрометеорологическими явлениями, такими как



наводнения и ураганы, на долю которых приходится соответственно около 44% и 28% от всех стихийных бедствий, зарегистрированных в 1998–2017 годах (Taalas, 2019). В США, где значительная часть экономики (около 3 трлн долл. США) чувствительна к колебаниям погоды/климата, на их долю приходится 90% всех объявленных президентом США бедствий (NOAA, 2017c).

40. В последние годы регион ЕЭК, а также транспортная инфраструктура и перевозки в этом регионе подверглись воздействию многочисленных экстремальных явлений, некоторые из которых привели к весьма серьезным разрушениям/потерям: ураган «Сэнди» в Карибском бассейне и США (2012 год), засухи в южных и центральных районах США (2012 и 2013 годы), наводнения в Центральной Европе (май–июнь 2013 года) и сезон ураганов 2017 года (раздел П.Е.3). К счастью, тенденция к резкому росту экономических потерь не сопровождается резким ростом человеческих жертв (NOAA, 2017c). Вместе с тем в 2013 году тайфун «Хайян» («Йоланда») на Филиппинах и ливневые паводки на севере Индии привели к гибели 13 600 человек, а в мае–июне 2015 года в результате сильной жары в Индии и Пакистане погибли более 3 700 человек<sup>7</sup>. С точки зрения экономических потерь, в период с 1980 по 2016 год на каждый год приходилось в среднем 5,5 случая стихийных бедствий, ущерб от которых превышал 1 млрд долл. США (с поправкой на ИПЦ), тогда как в 2012–2016 годы количество таких стихийных бедствий в среднем составляло 10,6 случая в год (NOAA, 2017c).

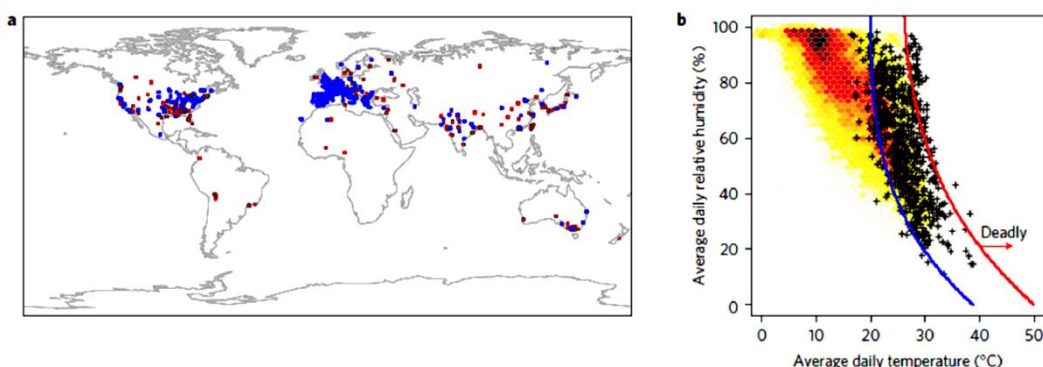
41. В отношении многих экстремальных климатических явлений прослеживаются изменения, согласующиеся с глобальным потеплением, в том числе это касается повсеместного уменьшения количества морозных дней в районах, расположенных в средних широтах, и того очевидного факта, что во многих регионах наблюдается повышение экстремумов высоких и низких температур (IPCC SREX, 2012). Кроме того, независимо от типа набора данных и используемого метода их обработки, отмечается общее изменение частоты наблюдаемых экстремальных значений температур и количества осадков на суше, сопряженных с сильным воздействием (MetOffice, 2014). В самом обозримом будущем (в глобальном масштабе) прогнозируется небольшое уменьшение количества дней в году, характеризующихся умеренными условиями (т. е. дней с максимальной температурой в диапазоне 18–30 °C и количеством осадков менее 1 мм): на 4 дня/год для периода 2016–2035 годов и на 10 дней/год для периода 2081–2100 годов (Van der Wiel et al., 2017).

42. Следует отметить, что во многих случаях угроза, связанная с экстремумами того или иного климатического фактора, может усугубляться одновременным воздействием другой угрозы (или нескольких угроз), например при одновременном наступлении морского наводнения и разливе реки (Forzieri et al., 2016). Примером комбинированной угрозы, которая может иметь очень серьезные последствия для здоровья/безопасности персонала и пассажиров на большинстве видов транспорта, является сочетание экстремальной жары с высокой относительной влажностью, которое выражается индексом духоты (Monioudi et al., 2018). Недавние исследования (Mora et al., 2017) указывают на существование смертельно опасного порога сочетания температуры воздуха на поверхности Земли и относительной влажности воздуха, при превышении которого организм человека не справляется с терморегуляцией (см. диаграмму 15). В настоящее время около 30% населения планеты ежегодно по меньшей мере в течение 20 дней подвергается воздействию погодных условий, превышающих этот смертельно опасный порог, и, согласно прогнозам, в течение XXI века эта ситуация значительно ухудшится (см. раздел П.Е.1).

<sup>7</sup> За последние годы наиболее тяжелым в плане человеческих жертв экстремальным климатическим явлением стала засуха 2010–2011 годов в Сомали, которая вызвала в 2010–2012 годах в этой стране голод, унесший жизни, как считается, более чем 258 000 человек (WMO, 2016).

Диаграмма 15

**Периоды сильной жары, сопряженные с человеческими жертвами (1980–2014 годы).** а) Районы, в которых наличие связи между жарой и уровнем смертности было подтверждено (красные квадраты), и районы, где проводился анализ отдельных периодов сильной жары (синие квадраты). б) Среднесуточная температура приземного слоя воздуха и его относительная влажность в одних и тех же районах в периоды сильной жары, сопряженные с человеческими жертвами (черные кресты), и в аналогичные по продолжительности периоды, выбранные случайным образом (т. е. не привязанные к событиям, сопряженным с человеческими жертвами); цветовое обозначение: от красного до желтого). Голубая линия представляет собой порог, наиболее точно разделяющий между собой события, сопряженные и не сопряженные с человеческими жертвами; красная линия соответствует порогу формирования с 95-процентной вероятностью условий, сопряженных с опасностью для жизни (Mora et al., 2017)



### 1. Температурные экстремумы – периоды сильной жары: тенденции и прогнозы

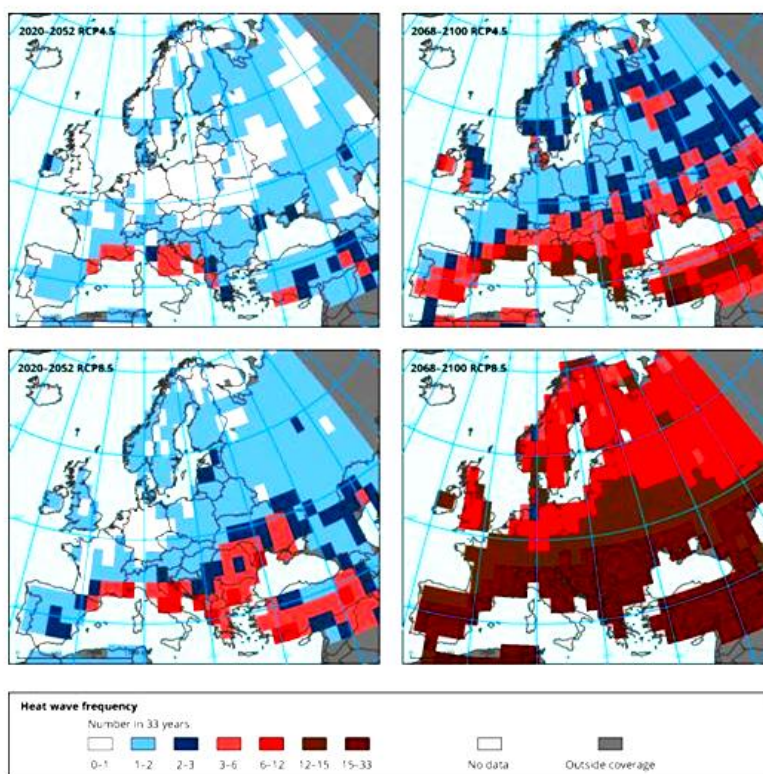
43. Имеющиеся данные указывают на повышение частоты и интенсивности периодов сильной жары (см., например, Beniston and Diaz, 2004; IPCC, 2013): за период с 1920-х годов отношение наблюдаемых в течение месяца экстремумов температуры воздуха к их ожидаемым значениям в условиях неизменного климата увеличилось в три раза (Cotton and Rahmstorf, 2012). За последнее десятилетие в большинстве районов Северной Америки количество аномально жарких дней и ночей, по-видимому, увеличилось, а количество аномально холодных дней и ночей, а также заморозков в дневное время – уменьшилось (ECE, 2013). На фоне продолжающегося роста средних температур практически не вызывают сомнений полученные с помощью моделирования прогнозы относительно увеличения частоты и продолжительности периодов жарких дней и ночей и уменьшения количества холодных дней и ночей (IPCC, 2013). Периоды сильной жары нередко сопровождаются сильной засухой (как, например, во время периода сильной жары 2003 года в Европе). В ряде регионов происходит усиление интенсивности засух, и эта тенденция, согласно прогнозам, в XXI веке будет сохраняться и, возможно, усиливаться (IPCC, 2013).

44. Периоды сильной жары были зарегистрированы в Европе в 2012, 2013 и 2014 годах. В Австрии температура воздуха впервые поднималась до 40 °C и выше. В июле–августе 2013 года продолжительные периоды сильной жары наблюдались во многих частях Восточной Азии (WMO, 2014). В мае–июне 2015 года в Индии и Пакистане отмечалась сильная жара (температура воздуха достигала 45 °C и выше), сопровождавшаяся многочисленными человеческими жертвами (WMO, 2016). В Западной и Центральной Европе наиболее интенсивный период сильной жары после 2003 года был зарегистрирован в начале июля 2015 года, когда в Испании, Франции и Швейцарии были побиты все температурные рекорды; несколько недель спустя и в Германии была зарегистрирована рекордная температура 40,3 °C. В 2017 году также наблюдались многочисленные периоды сильной жары, затронувшие Турцию и Кипр (конец июня – начало июля), Испанию и Марокко (середина июля), Италию и Балканы (начало августа). Наиболее высокие за всю историю наблюдений значения

температуры воздуха были зарегистрированы в Турции (1 июля в Анталии температура воздуха достигла 45,4 °С), в Испании (13 июля в Кордове было 46,9 °С, а 12 июля в Гранаде 45,7 °С) и в Италии (4 августа в Пескаре было 41,0 °С, 5 августа в Кампобассо температура достигла 38,4 °С, а в Триесте – 38,0 °С). В Долине Смерти (США) была зарегистрирована самая высокая в стране средняя температура июля (41,9 °С). Рекордно высокие температуры также наблюдались в сентябре в Калифорнии (41,1 °С в Сан-Франциско) (WMO, 2018).

Диаграмма 16

**Медианные значения прогнозируемого числа периодов сильной жары (на основе ансамбля моделей) в краткосрочной (2020–2052 годы) и долгосрочной (2068–2100 годы) перспективах при реализации сценариев РТК 4.5 и РТК 8.5 (ЕЕА, 2015b)**



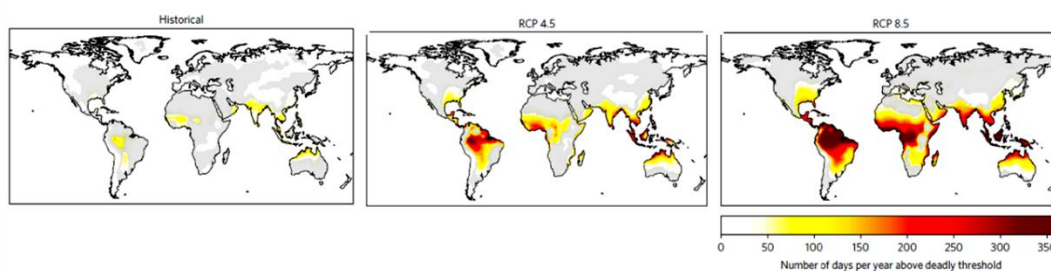
45. К концу XXI века ожидается повышение экстремумов высоких и низких температур в зимний период, при этом частота, длительность и интенсивность явлений будет зависеть от антропогенного воздействия (IPCC, 2013). Ожидается, что наиболее выраженные изменения в отношении экстремальных (сезонных) проявлений жары будут наблюдаться в субтропических регионах и в умеренных широтах, тогда как частота похолоданий будет уменьшаться во всех регионах. В целом, согласно всем сценариям изменения климата, ожидается, что в будущем летние периоды гораздо чаще будут весьма жаркими (Coutou and Robinson, 2013).

46. Вероятно также, что частота периодов сильной жары (продолжительных периодов чрезмерно высоких температур), в частности в Европе, будет увеличиваться, в основном за счет повышения температуры в летний сезон. Согласно сценарию РТК 8.5, существует вероятность того, что в большинстве районов суши жаркие периоды с текущим периодом повторяемости в 20 лет будут происходить в два раза чаще (во многих регионах они могут повторяться даже через каждые один–два года), в то время как холодные периоды с текущим периодом повторяемости в 20 лет станут менее частыми (IPCC, 2013). В значительной части региона ЕЭК прогнозируется большое увеличение частоты периодов сильной жары, особенно при реализации сценария РТК 8.5 (см. диаграмму 16).

47. Ожидается, что в условиях нынешнего климата периоды сильной жары, подобные по своей интенсивности жаре 2003 года, будут случаться примерно один раз за столетие; в начале 2000-х годов период повторяемости таких событий, по оценкам, должен был бы составлять примерно несколько тысяч лет. Одно атрибутивное исследование указывает на то, что под воздействием антропогенного фактора вероятность наступления таких событий увеличилась по крайней мере вдвое (MetOffice, 2014). Другие исследования показывают, что вероятность наступления периодов экстремально высоких температур, подобных жаркому периоду в Российской Федерации в 2010 году, к 2050 году может увеличиться в 5–10 раз (Dole et al., 2011).

Диаграмма 17

**Сопряженные с опасностью для жизни климатические условия в 2100 году для различных сценариев изменения уровней выбросов. Под такими условиями понимается количество дней в году, характеризующихся превышением температурно-влажностного порога, сверх которого воздействие климатических условий представляет опасность для жизни (см. диаграмму 10) (на основе средних значений за период с 1995 по 2005 год (исторический эксперимент) и средних значений за период с 2090 по 2100 год при реализации сценариев РТК 4.5 и РТК 8.5). Результаты получены на основе мультимодельных медианных значений. Области, обозначенные серым, соответствуют районам с высокой степенью неопределенности (среднеквадратическое отклонение для нескольких моделей превышает прогнозируемое среднее значение) (Mora et al., 2017)**



48. Как уже обсуждалось выше, сочетание экстремально высокой температуры и высокой относительной влажностью воздуха, т. е. высокий индекс духоты, может иметь весьма серьезные последствия для здоровья и безопасности персонала и пассажиров на большинстве видов транспорта. Прогнозы (Mora et al., 2017) указывают на значительное превышение к концу XXI-го века опасного для жизни порога (см. диаграмму 15), которое будет особенно выраженным при нынешнем сценарии «обычного ведения дел» (РТК 8.5), при этом будут непосредственно затронуты юго-запад США и средиземноморская часть региона ЕЭК (см. диаграмму 17).

## 2. Провлинные дожди и сильные засухи: тенденции и прогнозы

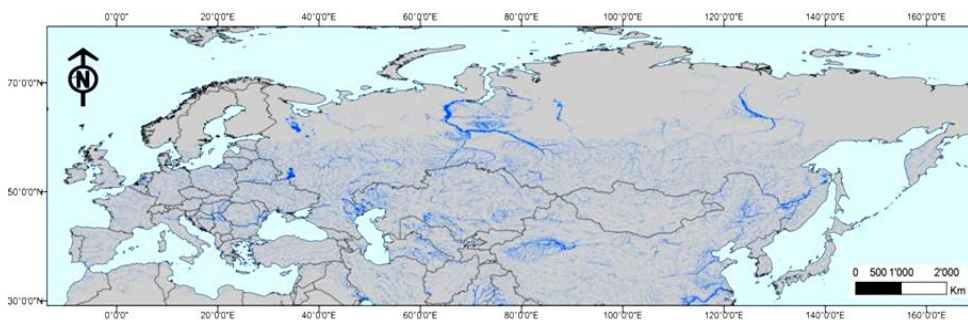
49. Судя по всему, одной из четко выраженных тенденций является увеличение частоты и интенсивности выпадения осадков (ливневых дождей). В значительной степени результатом этого увеличения стал наблюдаемый последние 50 лет рост общего количества осадков, и прогнозы, полученные на основе климатических моделей, показывают, что эти тенденции будут сохраняться и в XXI веке. В горных районах также происходит увеличение количества оползней и обвалов, связанных с воздействием сильных ливневых дождей (Karl et al., 2009).

50. Речные паводки, вызванные обильными осадками, представляют собой наиболее серьезную и широко распространенную угрозу (King et al., 2015). В период 1980–2014 годов речные паводки стали причиной 41% всех случаев, связанных с материальными потерями, 27% случаев, связанных с гибелью людей, и 32% случаев экономических потерь (Munich Re, 2015). Недавние наводнения, вызванные чрезвычайно сильными ливнями во время ураганов «Харви» (в 2017 году) и «Флоренс» (в 2018 году), стали особенно разрушительными в южных и восточных районах США.

Речные паводки вызываются как естественными, так и социально-экономическими факторами. Естественные факторы зависят от гидрологического цикла, на который влияют изменения температуры и количества осадков, а также таяние ледников и снежного покрова, тогда как социально-экономические факторы связаны с изменениями в землепользовании, планами управления речными бассейнами, а также освоением затопляемых речных пойм (ЕЕА, 2010).

Диаграмма 18

**Наблюдаемый в настоящее время в евразийском регионе ЕЭК уровень угрозы наводнений (вероятность наступления 95%) с периодом повторяемости в 100 лет, рассчитанный с помощью глобальной ГИС-модели по временным рядам стока рек. Разрешение цифровой модели – 90 м. Районы севернее 60° с. ш. охвачены не полностью (источники: UNEP-GRID и UNISDR, 2008). (ECE, 2013)**



51. В регионе ЕЭК угроза наводнений присутствует постоянно. Тенденции, прослеживаемые в настоящее время в странах Евразии, свидетельствуют о наличии серьезной угрозы наводнений (с периодом повторяемости в 100 лет), особенно в Центральной и Восточной Европе, в Центральной Азии и в бассейнах крупных сибирских рек, текущих в северном направлении (см. диаграмму 18). В целом в Европе наблюдается увеличение годового стока рек на севере и его уменьшение на юге (см., например, ЕЕА, 2012), и эта тенденция предположительно будет сохраняться и в будущем (Alfieri et al., 2018), что обусловлено прогнозируемыми изменениями режима осадков (ЕЕА, 2015с).

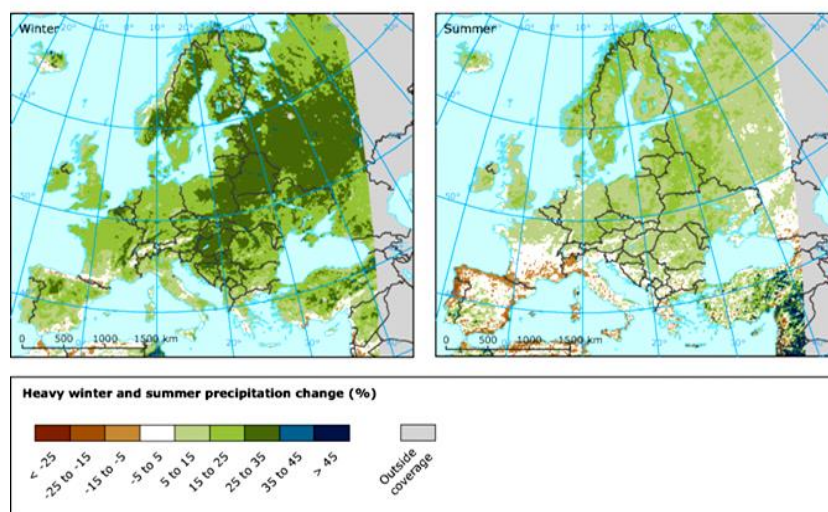
52. В 2012 и 2013 годах в Северной Америке произошли сильные засухи. В июле 2012 года было официально объявлено, что засухой охвачено 64,5% территории США, что стало самой крупной площадью распространения засухи за весь период с 1930-х годов. Общее количество дождевых осадков в 2011–2016 годах было на 30% ниже нормы, что привело к экономическим потерям на уровне приблизительно 60 млрд долл. США. Продолжительные засухи наблюдались также в Австралии и южной части Африки, тогда как количество дождевых осадков, выпавших в сезон муссонных дождей в Индии (июнь–сентябрь), было примерно на 10% ниже нормы как в 2014, так и в 2015 годах (WMO, 2016). В 2017 году во многих районах Средиземноморья, равно как и в некоторых районах Центральной Европы, также наблюдались сильные засухи. В Италии был зарегистрирован самый засушливый за всю историю наблюдений период с января по август (количество дождевых осадков было на 26% ниже среднего показателя 1961–1990 годов), в Испании была самая засушливая осень, а в Португалии – третий наиболее засушливый год за всю историю наблюдений. Seriously пострадало также Восточное Средиземноморье. Сильные засухи наблюдались и в Северной Америке. Зимой 2016–2017 годов в Калифорнии шли проливные дожди, однако во второй половине года вновь установилась засушливая погода (WMO, 2017; 2018). На 2017 год пришлось большое число стихийных пожаров, особенно в Португалии и на северо-западе Испании, в Хорватии, Франции и Италии, а также в западной части Северной Америки. Общий экономический ущерб от стихийных пожаров в Калифорнии за указанный год оценивается в 18 млрд долл. США, а общая площадь охваченных пожарами районов в соседних штатах была на 53% выше среднего показателя 2007–2016 годов, что лишь немного меньше рекордного показателя 2015 года (WMO, 2018). В 2018 году также

наблюдалось увеличение количества стихийных пожаров, в частности в Калифорнии и Греции.

53. Связанные с водным циклом экстремальные явления (проливные дожди, наводнения и засухи) уже сейчас наносят значительный ущерб. По мере повышения температуры среднее количество осадков в разных районах будет существенно варьировать. Согласно сценарию РТК 8.5, вполне вероятно, что к концу XXI века количество осадков увеличится в районах суши, расположенных в высоких и умеренных широтах, и уменьшится в субтропических засушливых и полусушливых районах. В значительной части регионов умеренных широт и влажных тропических регионов интенсивность экстремальных явлений, связанные с выпадением осадков, возрастет (IPCC, 2013). В Центральной и Северо-Восточной Европе, согласно прогнозам, к концу века интенсивность ливневых осадков существенно увеличится (на 25%) (см. диаграмму 19). Климатические модели высокого разрешения указывают на то, что с изменением климата интенсивность экстремального выпадения сезонных дождевых осадков также может возрасти (MetOffice, 2014). Например, в Соединенном Королевстве, где летние периоды в целом станут более засушливыми, вероятность обильных летних ливней (когда за час выпадает больше 30 мм осадков) может увеличиться почти в пять раз (MetOffice, 2014).

Диаграмма 19

**Прогнозируемые изменения в отношении ливневых осадков (в %) в зимние и летние периоды в период 2071–2100 годов по сравнению с периодом 1971–2000 годов при реализации сценария РТК 8.5 (на основе средних значений, полученных по ансамблю региональных климатических моделей (РКМ), включенных в модели общей циркуляции (МОЦ)) (ЕЕА, 2015с)**

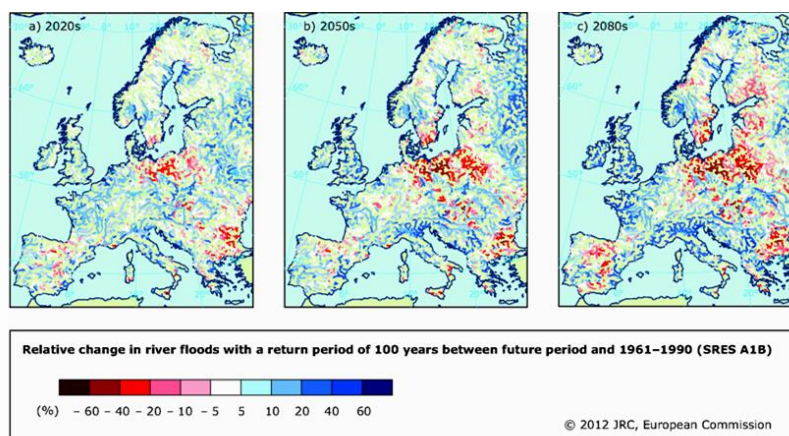


54. Наиболее серьезную угрозу для транспортной инфраструктуры, а также для населения по всему миру представляют речные паводки (ЕСЕ, 2013). Имеется достаточно документальных свидетельств увеличения числа случаев экстремально большого стока рек (Feijen et al., 2010), однако рост масштабов ущерба и потерь может быть также связан с повышением уязвимости людей и инфраструктуры в поймах рек (IPCC, 2013). К концу XXI века прогнозируется значительное потенциальное увеличение количества речных паводков в большинстве районов Европы (см. диаграмму 20). Недавние исследования (Alfieri et al., 2015) указывают на то, что глобальное потепление будет также связано со значительным увеличением риска речных паводков в большинстве районов Центральной и Западной Европы (для Восточной Европы единая модель отсутствует). Суперансамбль моделей позволяет оценить ущерб от наводнений, ожидаемых при повышении температуры на 1,5 °C по сравнению с доиндустриальной эпохой, в 15 млрд евро в год, что более чем в два раза превышает средний ущерб за 1976–2005 годы. Ожидается, что масштабы

ущерба в результате речных паводков будут в целом более значительными на севере, чем на юге (Alfieri et al., 2015; 2018).

Диаграмма 20

**Относительные изменения частоты паводков с периодом повторяемости в 100 лет: а) в 2020-е годы, б) в 2050-е годы и с) в 2080-е годы по сравнению с периодом 1961–1990 годов при реализации сценария A1B СДСВ (что приблизительно соответствует сценарию РТК 6.0) (ЕЕА, 2012)**



55. Согласно прогнозам, из-за ИИК более чем на 50% возрастет число людей, пострадавших от наводнений с текущим периодом повторяемости в 30 лет. Существует по крайней мере 50-процентная вероятность того, что к 2050 году только в связи с изменением климата число жителей Африки к югу от Сахары, которым грозит опасность наводнения, увеличится на 50%, а вероятность того, что такое же увеличение произойдет и в Азии, составляет 30–70%. К 2100 году уровень опасности еще более возрастет. Демографические изменения уже сами по себе приведут к увеличению числа людей, затронутых наводнениями. При реализации сценария РТК 8.5 за 100 лет их число во всем мире значительно возрастет (примерно в 5–6 раз). Что касается региона ЕЭК, то здесь, согласно прогнозам, к 2050 году последствия наводнений (см. выше) будут в целом менее значительными, нежели в других регионах; вместе с тем в некоторых регионах ЕЭК (например, в США) к 2100 году ожидается ухудшение ситуации (King et al., 2015).

### 3. Ураганы и сильные ветра: тенденции и прогнозы

56. Имеются данные, свидетельствующие о том, что под воздействием изменения климата интенсивность ураганов и волнения моря может достичь более экстремальных уровней (см., например, Emanuel, 2005; Ruggiero et al., 2010; WMO, 2014). Хотя ежегодное количество тропических штормов со временем и не изменилось (WMO, 2018), их интенсивность и последствия, судя по всему, усилились, вероятно, в результате увеличения количества тепла в океане и температуры его поверхности (Trenberth et al., 2018). Так, воздействие на население и транспортную инфраструктуру в прибрежной зоне может быть весьма значительным, в частности из-за повышения экстремальных уровней моря (ЭУМ) и усиления его волнения (Vousdoukas et al., 2018; Mounioudi et al., 2018). Следует отметить, что штормы могут приводить к формированию комбинированных угроз (например, в случае ущерба, нанесенного речным паводком и наводнением в прибрежных районах, а также сильным ветром).

57. В 2017 году был зарегистрирован наибольший экономический ущерб, вызванный экстремальными гидрометеорологическими явлениями (WMO, 2018), в основном из-за весьма активного сезона ураганов в Северной Атлантике, крупных муссонных наводнений на полуострове Индостан и сильных засух в Восточной Африке. В 2018 году также имели место крупные тропические ураганы, причем формирование некоторых из них происходило весьма стремительно. К их числу относятся ураганы «Флоренс» и «Майкл» в Атлантическом океане, сильные тайфуны

«Джеби» и «Мангут» (самый сильный шторм 2018 года со скоростью ветра до 287 км/час), а также «Трами» в Тихом океане. Некоторые из этих ураганов вызвали значительные наводнения, особенно «Флоренс» (Северная Каролина и Южная Каролина на юго-востоке США), а также «Оливия» и «Лейн» (Гавайи). Под влиянием урагана «Лейн» прошел второй по количеству выпавших осадков ливень (после «Харви»), вызванный тропическим циклоном в США, начиная с 1950 года (Cheng et al., 2019b).

58. Хотя общее число тропических циклонов в 2017 году (84) было близко к среднему многолетнему значению, некоторые из них (главным образом в Северной Атлантике) были особенно свирепыми. Три исключительно разрушительных урагана сформировались в Северной Атлантике в конце августа – в сентябре и вызвали разрушения в прибрежных районах на юге США, а также на нескольких островах Карибского бассейна, включая заморские территории государств – членов ЕЭК (например, Пуэрто-Рико, Британские Виргинские острова, а также Сен-Мартен и Синт-Мартен).

Диаграмма 21

**Ущерб транспортной инфраструктуре, нанесенный ураганами в 2017 году.**

**а) Ураган «Харви»: затопление шоссе в центральной части Хьюстона (США)**

([www.pbs.org/newshour/science/hurricane-harvey-became-extreme](http://www.pbs.org/newshour/science/hurricane-harvey-became-extreme)). **б) Ураган**

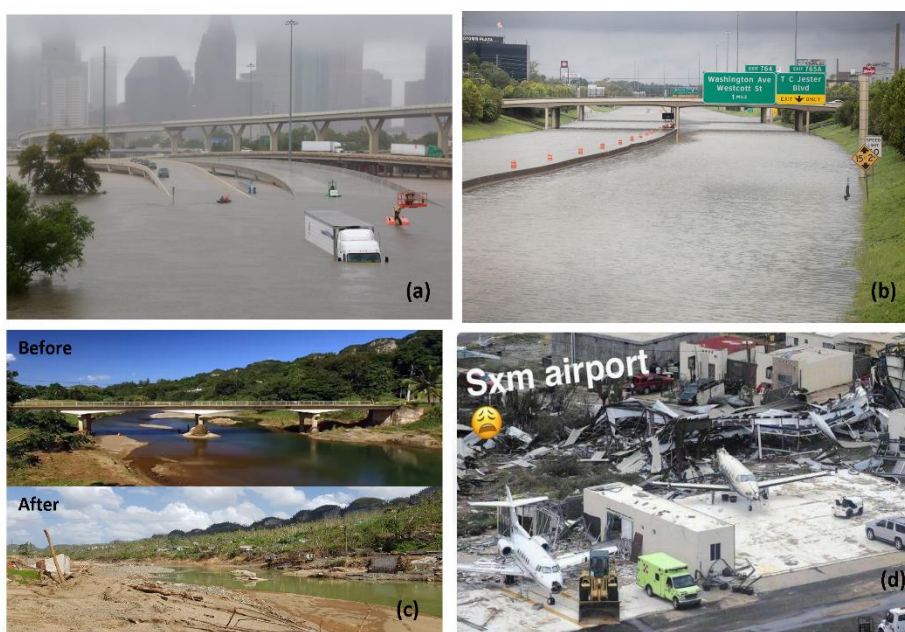
**«Харви»: шоссе в Хьюстоне** ([www.vox.com/science-and-health/2017/8/28/16211392/100-500-year-flood-meaning](http://www.vox.com/science-and-health/2017/8/28/16211392/100-500-year-flood-meaning)). **в) Ураган «Мария»: мост в Пуэрто-Рико**

(<https://coastalresiliencecenter.unc.edu/2018/10/lessons-learned-from-hurricanes-irma-and-maria/>).

**д) Международный аэропорт Принцессы Юлианы**

(Синт-Мартен), разрушенный ураганом «Ирма» (сентябрь 2017 года)

([sxmgovernment.com/2017/09/07/new-photos-hurricane-irmas-destruction-of-st-maartens-princess-juliana-international-airport/](http://sxmgovernment.com/2017/09/07/new-photos-hurricane-irmas-destruction-of-st-maartens-princess-juliana-international-airport/))



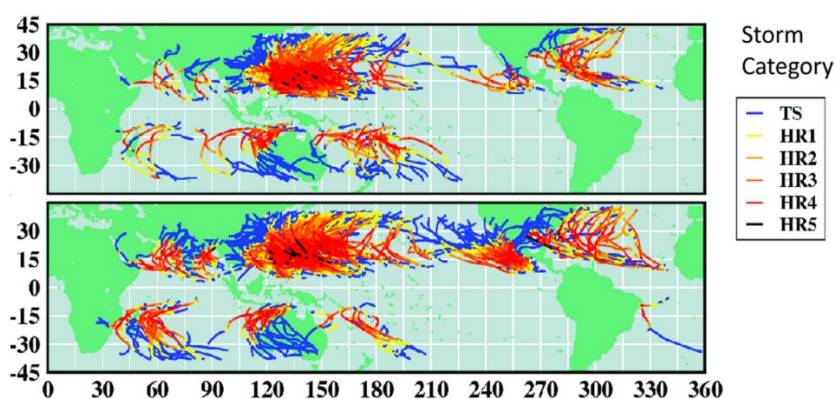
59. Ураган «Харви» достиг берегов суши в Южном Техасе в виде урагана категории 4 и в течение нескольких дней, почти не меняя своего положения, оставался над Хьюстоном, что привело к продолжительным ливням и сильным наводнениям (см. диаграмму 21): количество осадков, выпавших в период с 25 августа по 1 сентября 2017 года, составило 1 539 мм (годовая вероятность превышения такого количества осадков – менее 1 на 1 000). В исследовании Trenberth et al. (2018) указывается, что вероятность наступления такого события под действием антропогенного изменения



климата увеличилась в 3 раза. Затем последовали ураганы «Ирма» (категория 5 на начало сентября) и «Мария» (категория 5 на середину сентября). Проходя над участками суши, ураган «Ирма» нанес огромный ущерб многим островам Карибского бассейна (Барбуда, Сен-Мартен/Синт-Мартен, Ангилья, Сент-Китс и Невис, острова Теркс и Кайкос, Виргинские острова, южные Багамские Острова и Куба). Ураган «Мария» сначала обрушился на Доминику (общий объем разрешений и потерь, согласно оценкам, составил 1,3 млрд долл. США, или 224% ВВП), а затем переместился в направлении Пуэрто-Рико, где привел к серьезным и широкомасштабным человеческим потерям и ущербу. В результате этих ураганов погибло более 320 человек, и, по оценкам Национального центра экологической информации (НЦЭИ) США, они вошли в пятерку самых разрушительных в плане экономических потерь в США ураганов (вместе с «Катриной» 2005 года и «Сэнди» 2012 года): оцененный ущерб от «Харви» составил 95 млрд долл. США, от «Марии» – 70 млрд долл. США и «Ирмы» – 81 млрд долл. США (Taalas, 2019).

Диаграмма 22

**Вверху: нынешняя частотность ураганов категорий 4 и 5 (244). Внизу: частотность ураганов категорий 4 и 5 (313) при глобальном повышении температуры на 2 °С по сравнению с доиндустриальным периодом (в 2100 году, при реализации сценария РТК 4.5) (Taalas, 2019)**



60. В 2012–2015 годах проявления мощных ветров и торнадо в США были ниже средних показателей 1991–2010 годов, однако в Европе прошло несколько бурь, вызванных тропическими циклонами. В 2013 году значительный ущерб в Дании был вызван крайне сильными ветрами (со скоростью до 53,5 м/с). В Нидерландах и Соединенном Королевстве был зарегистрирован наиболее сильный штормовой нагон начиная с 1953 года. В Соединенном Королевстве зима 2013–2014 годов была самой влажной за всю историю наблюдений, а кроме того отмечались сильные повреждения в результате воздействия ветра и береговая эрозия (WMO, 2016). В 2016 году количество торнадо в США было ниже среднего многолетнего показателя (985 случаев торнадо, что на 10% меньше среднего показателя за период после 1990 года). Вместе с тем в Техасе шквалы с градом нанесли ущерб более чем на 5 млрд долларов США (WMO, 2017; NSIDC, 2017). В 2017 году Центральная и Восточная Европа также пережили сильные грозовые бури. В Москве 29 мая 2017 года в результате воздействия ветра, скорость которого превышала 100 км/ч, был нанесен широкомасштабный ущерб (при этом не менее 11 человек погибли). Необычно сильные ураганы обрушились также на Инсбрук в Австрии (где 30 июля скорость порывов ветра достигала 165 км/ч) и на южные районы Финляндии (12 августа). В 2017 году интенсивность сезона торнадо в США была выше среднего уровня (1 406 случаев торнадо, что на 12% выше средних показателей 1991–2010 годов). Сильный шторм «Зевс» обрушился на Францию в начале марта (скорость порывов ветра в Бретани достигала 193 км/ч), а в конце октября сильные ураганы прошли также по Австрии и Чешской Республике с порывами ветра более 170 км/ч (WMO, 2018).

61. Ураганы и бури трудно предсказывать. Однако, поскольку в результате увеличения количества тепла и температуры в верхних слоях океана тропические и нетропические ураганы (которые обычно сопровождаются чрезвычайно сильными ветрами, дождями и наводнениями в прибрежных районах) становятся интенсивнее, ожидается, что в будущем ситуация будет ухудшаться. Существуют признаки того, что небольшое повышение температуры на  $1^{\circ}\text{C}$  в верхних слоях океана может приводить к увеличению скорости штормового ветра до  $5\text{ м/с}$ , а также к увеличению частоты наиболее разрушительных циклонов (категории 5) (Steffen, 2009). Это может иметь серьезные последствия для прибрежной (и внутренней) транспортной инфраструктуры (см., например, Becker et al., 2013). В недавних исследованиях также содержатся прогнозы, указывающие на то, что к концу XXI века даже при реализации сценария умеренного потепления частотность наиболее интенсивных тропических штормов увеличится (см. диаграмму 22).

#### 4. Экстремальные уровни моря и экстремальное волнение: тенденции и прогнозы

62. Прибрежная транспортная инфраструктура может пострадать от береговой эрозии и наводнений, вызванных экстремально сильным волнением и ЭУМ (см., например, Ranasinghe, 2016; Rueda et al., 2017). ЭУМ рассчитываются как сумма среднего уровня моря (СУМ), высоты астрономического прилива ( $\eta_{tide}$ ) и эпизодического повышения уровня прибрежных вод ( $\eta_{CE}$ ) в результате штормового нагона и заплеска. В силу этого обусловленные климатом изменения любого из вышеперечисленных компонентов будут влиять и на ЭУМ.

63. Рост среднего показателя ПУМ, равно как и усиление штормового нагона, ведет к увеличению ЭУМ (Marcos et al., 2011). Зарегистрированные изменения интенсивности и частоты и/или режима возникновения экстремально сильного волнения (см., например, Ruggiero, 2013; Bertin et al., 2013; Pérez et al., 2014; Mentaschi et al., 2017) также влияют и будут оказывать влияние на ЭУМ, поскольку более высокие волны приводят к более сильному прибрежному заплеску. ЭУМ и экстремально сильное волнение представляют собой наиболее серьезную угрозу для прибрежных районов и связанных с ними транспортных перевозок и транспортной инфраструктуры, и уже сейчас в результате воздействия этих явлений во многих прибрежных районах наблюдается эрозия и/или наводнения (Losada et al., 2013). С высокой степенью уверенности можно ожидать, что при прочих равных условиях из-за ускорения темпов ПУМ в будущем эти угрозы возрастут (Hallegatte et al. 2013; Vousdoukas et al., 2017).

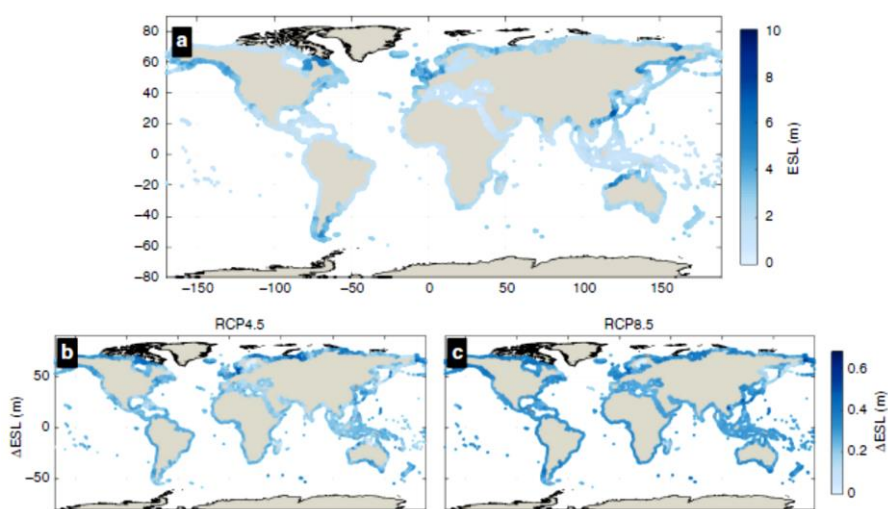
64. ЭУМ характеризуются значительным разбросом значений между регионами, при этом большие участки северного побережья региона ЕЭК (например, западное и восточное побережье Канады, Северное море и восточное побережье России) характеризуются весьма высокими значениями ЭУМ по сравнению со средиземноморским и черноморским побережьем (см. диаграмму 23а). ЭУМ могут быть источником повышенной опасности в случае плотно застроенных прибрежных районов, расположенных в низинах, например в устьях рек, которые из-за свойственных таким районам сравнительно высоких показателей ПУМ считаются очагами береговой эрозии и наибольшей уязвимости (ECE, 2013).

65. Глобальные прогнозы указывают на то, что, несмотря на региональные колебания, в течение XXI века ЭУМ будут расти повсеместно (см. диаграммы 23b и 24c). Что касается компонента ЭУМ, связанного со штормовым нагоном, то при всех рассматриваемых сценариях прогнозы, составленные для Европы, предсказывают более высокие уровни штормового нагона для атлантического и балтийского побережья (и расположенных там портов) (Vousdoukas et al., 2016a; Vousdoukas et al., 2017). В Северном море, где уровень штормового нагона уже является одним из самых высоких в Европе, прогнозируется его увеличение, особенно вдоль восточного побережья. Прогнозируется усиление штормового нагона на атлантическом побережье Соединенного Королевства и Ирландии, главным образом из-за непрерывного увеличения его экстремума в зимний период. Для сравнения, исследования, проведенные в Средиземном море, указывают на небольшие изменения в будущем или их отсутствие, при этом вероятность снижения частоты и

интенсивности экстремальных явлений скорее всего (Conte and Lionello, 2014; Androulidakis et al. 2015) или в основном находится в пределах  $\pm 5$ -процентного диапазона (Vousdoukas et al., 2016a). Это согласуется с тенденциями, прослеживаемыми в исторической перспективе (Menéndez and Woodworth 2010). В Северной Адриатике, побережье которой является объектом более пристального изучения в связи с тем, что там расположен сильно уязвимый район Венеции, каких-либо статистически значимых изменений в высоте штормового нагона не ожидается (Mel et al. 2013, см. также Lionello et al. (2012)).

#### Диаграмма 23

**Текущие мировые ЭУМ и их изменения, обусловленные изменением климата. На картах представлены медианные значения ЭУМ с текущим периодом повторяемости в 100 лет, а также а) прогнозируемые к 2100 году изменения в отношении ЭУМ с периодом повторяемости в 100 лет, выраженные с помощью медианного значения, полученного для сценариев РТК 4.5 б) и РТК 8.5 в) (Vousdoukas et al., 2018)**

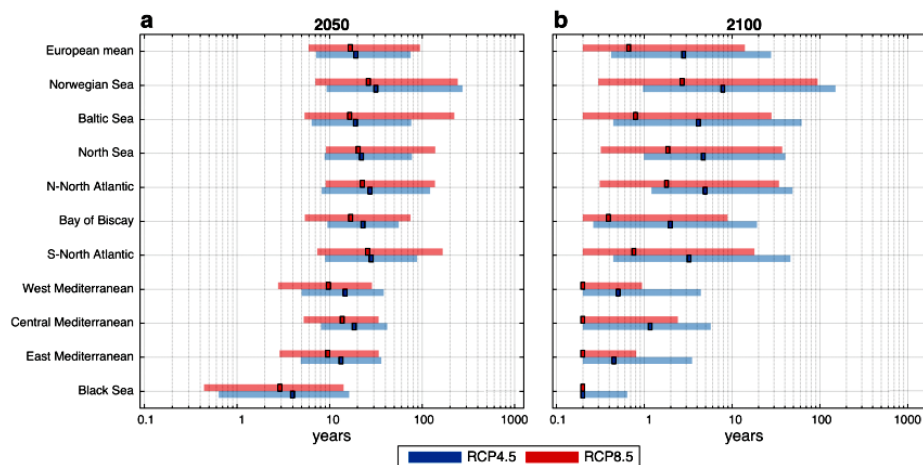


66. Усредненные по всему побережью Европы ЭУМ с текущим периодом повторяемости в 100 лет, согласно прогнозам, к 2050 году будут происходить примерно каждые 11 лет, а к 2100 году при реализации сценариев РТК 4.5 и РТК 8.5 соответственно каждые 3 года и каждый год (см. диаграмму 24). Таким образом, 5 млн европейцев (и обслуживающая их транспортная инфраструктура), подверженные в настоящее время угрозе затопления один раз в 100 лет, к концу века, возможно, будут подвергаться угрозе затопления практически ежегодно (Vousdoukas et al., 2016b; 2017). В некоторых регионах будет наблюдаться еще более значительное увеличение частотности экстремальных явлений, особенно вдоль побережья Средиземного и Черного морей, где прогнозируется учащение ЭУМ с текущим периодом повторяемости в 100 лет.

67. Следует отметить, что во всем мире вдоль береговой линии, высота которой не превышает 5 м над уровнем моря, проживает более 200 млн человек; согласно оценкам, к концу XXI века этот показатель увеличится до 400–500 млн человек. Рост уязвимости (населения и материальных объектов), вызванное ИИК повышение уровня моря, а в некоторых регионах и значительное проседание грунта в прибрежных районах из-за отвода вод и забора грунтовых вод в прибрежной зоне приведут к увеличению в той или иной степени риска наводнений. Например, повышение относительного уровня моря на один метр может привести к увеличению частоты прибрежных наводнений с текущим периодом повторяемости в 100 лет почти в 40 раз в Шанхае, почти в 200 раз в Нью-Йорке и почти в 1 000 раз в Колкате (ВМО, 2014).

Диаграмма 24

Период повторяемости в прибрежной зоне Европы ЭУМ с текущим периодом повторяемости в 100 лет в 2050 году а) и 2100 году б) при реализации сценариев РТК 4.5 и РТК 8.5. Темно окрашенные ячейки соответствуют среднему значению по группе, а цветные полоски указывают на вариативность между моделями (от наиболее благоприятных к наименее благоприятным сценариям) (Vousdoukas et al., 2017)



68. В исследовании Hallegatte et al. (2013) указывается, что в 136 крупнейших прибрежных городах в течение примерно 50 ближайших лет: i) ущерб может возрасти с 6 млрд до 52 млрд долл. США/год – по причине роста населения и увеличения количества материальных объектов, ii) ежегодные потери могут приблизиться к отметке в 1 трлн долл. США/год или превысить ее, если системы защиты от наводнений не будут модернизированы, iii) даже в случае модернизации этих систем сохранится вероятность роста масштабов потерь, поскольку из-за ПУМ интенсивность наводнений может возрасти. В этой связи возникает вопрос о том, существуют ли потенциальные пороговые значения, при превышении которых нынешние и прогнозируемые тенденции роста населения и увеличения количества материальных объектов в прибрежных районах могут быть обращены вспять (King et al., 2015).

69. Что касается экстремально высоких волн, то, согласно недавно полученным результатам моделирования с использованием сценария РТК 8.5, к концу XXI века в большинстве прибрежных районов южной умеренной зоны, за исключением восточной части Австралии, южной Атлантики и субэкваториальной тропической восточно-тихоокеанской зоны, прогнозируется увеличение на 30% потоков энергии на взволнованной поверхности (ПЭВ) с периодом повторяемости в 100 лет (Mentaschi et al., 2017). В то же время, согласно прогнозам, в обширных прибрежных районах Северного полушария будет наблюдаться отрицательная динамика, за исключением северо-восточной части Тихого океана и Балтийского моря, где динамика будет положительной (с увеличением ПЭВ до 30%).

## Г. Механизм усиливающего воздействия

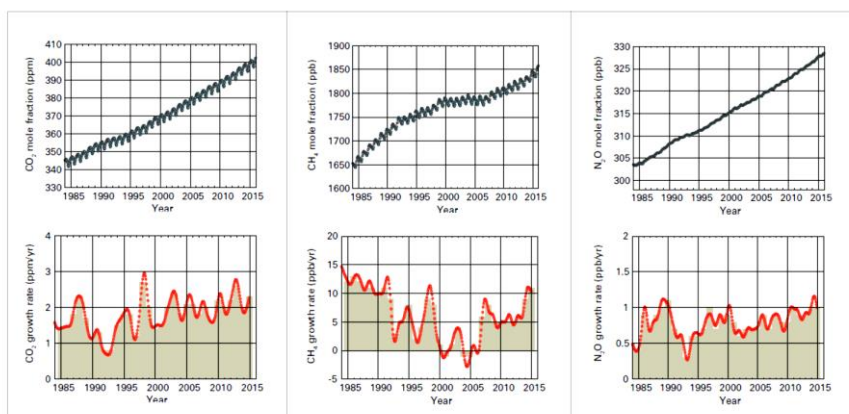
70. Одной из основных причин наблюдаемого повышения теплосодержания планеты считается увеличение концентрации в атмосфере парниковых газов (ПГ), которые усиливают парниковый эффект – хорошо задокументированный и понятный физический процесс, протекающий в оболочке Земли начиная с XIX века (см., например, Canadell et al., 2007). ПГ поглощают тепловую энергию, отраженную поверхностью Земли, и таким образом способствуют ее накоплению в океане, суше и атмосфере (IPCC, 2013). Без парникового эффекта средняя температура на Земле составляла бы около  $-19^{\circ}\text{C}$ , т. е. была бы примерно на  $34^{\circ}\text{C}$  ниже, чем в настоящее

время. Парниковый эффект наблюдается на всех планетах, в атмосфере которых присутствуют газы, поглощающие тепловую энергию. Так, чрезвычайно высокие температуры на поверхности Венеры обусловлены высокой концентрацией в атмосфере этой планеты ПГ.

71. Значительное влияние оказывает водяной пар, который является ПГ, встречающимся в изобилии. Глобальное потепление увеличивает накапливаемость в атмосфере водяного пара; таким образом, повышение концентрации водяного пара не только зависит от изменений глобальной температуры, вызываемых повышением концентраций других ПГ, но и усиливает их (см., например, Richardson et al., 2009; Shakun et al., 2012). За последние десятилетия концентрации в атмосфере  $\text{CO}_2$ ,  $\text{CH}_4$  и других ПГ весьма существенно увеличились (см. диаграмму 25), вероятно, в результате антропогенной деятельности (IPCC, 2013).

Диаграмма 25

**Верхний ряд: Средняя глобальная молярная доля (мера концентрации)  $\text{CO}_2$  в частях на миллион (слева),  $\text{CH}_4$  в частях на миллиард (в центре) и  $\text{N}_2\text{O}$  в частях на миллиард (справа) в период с 1984 по 2016 год. Нижний ряд: Темпы роста, отражающие увеличение среднегодовых значений молярных долей  $\text{CO}_2$  (слева),  $\text{CH}_4$  (в центре) и  $\text{N}_2\text{O}$  (справа) (WMO, 2018)**

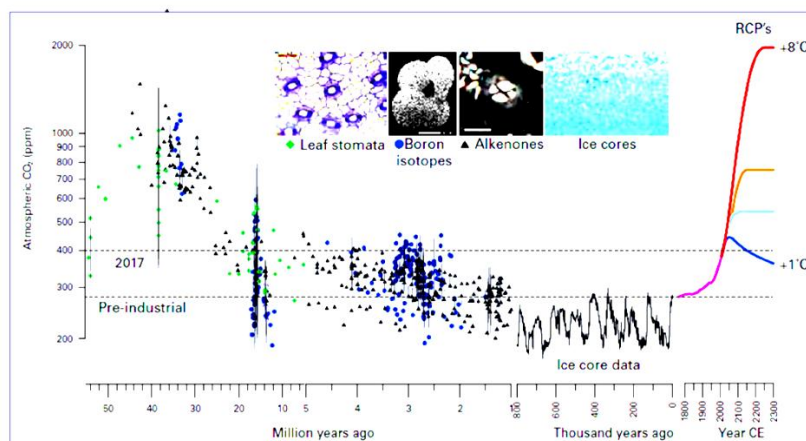


72. Измерения концентрации  $\text{CO}_2$  в атмосфере и обнаруженных в толще ледников пузырьках воздуха свидетельствуют о том, что с 1800 года концентрация ПГ увеличилась на 40%, причем основная часть этого увеличения приходится на период начиная с 1970-х годов, когда произошел рост глобального энергопотребления (ЕЕА, 2015а). Данные анализа ледяных кернов и другие данные указывают на то, что в настоящее время концентрация  $\text{CO}_2$  достигла самых высоких показателей по крайней мере за последние 2 млн лет (см. диаграмму 26), и 9 мая 2013 года она преодолела отметку в  $400 \text{ млн}^{-1}$  (NOAA, 2015).

73. Несмотря на некоторые меры, принимаемые с целью смягчения последствий изменения климата, общемировые выбросы ПГ в течение последних десятилетий непрерывно росли (см. диаграммы 26 и 27). Начиная с 2014 года темпы роста концентрации  $\text{CO}_2$  и  $\text{N}_2\text{O}$  были несколько выше средних темпов роста концентрации этих газов в 1995–2014 годах. Что касается концентрации  $\text{CH}_4$ , то после периода незначительных изменений в 1999–2006 годах она тоже начала расти (NOAA, 2015; WMO, 2016). Согласно проведенным оценкам, в атмосфере может накапливаться приблизительно 44% от общего объема антропогенных выбросов  $\text{CO}_2$ , а океан и биосфера суши поглощают оставшиеся 56% (WMO, 2014, 2016).

### Диаграмма 26

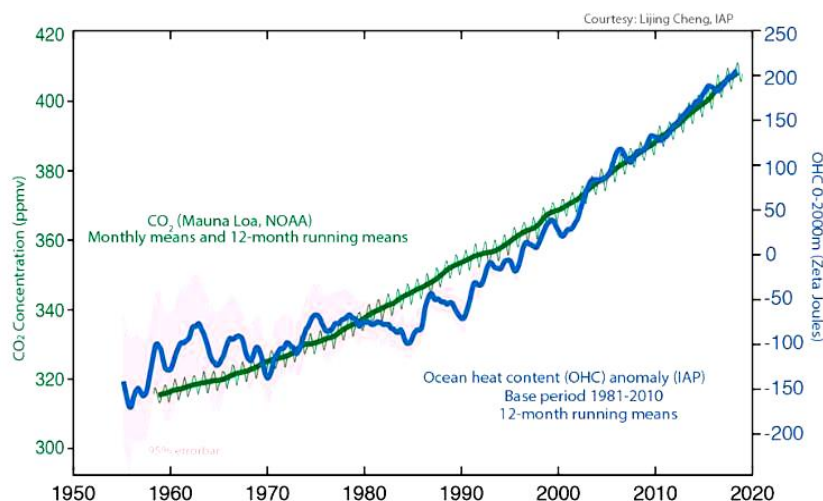
Реконструкция содержания в атмосфере  $\text{CO}_2$  за последние 55 млн лет на основе косвенных данных (синие круги – изотопы бора, черные треугольники – алкеноны, зеленые ромбы – устьичные щели). Розовым цветом показаны данные прямых измерений, охватывающих последние 800 000 лет, которые были получены с использованием антарктических ледовых кернов и современных инструментов. Будущие оценки приводятся для сценариев РТК 8.5 (красный), РТК 6 (оранжевый), РТК 4.5 (голубой) и РТК 2.6 (синий). Условные обозначения: СЕ – наша эра (WMO, 2018)



74. Кроме того, концентрация  $\text{CO}_2$ , по-видимому, в значительной степени коррелирует с накоплением тепловой энергии в океане (см. диаграмму 27), которое также становится все более серьезной проблемой для населенных пунктов и инфраструктуры прибрежных районов ввиду подтвержденной связи между накоплением тепла в океане и ПУМ.

### Диаграмма 27

Динамика теплосодержания океана (на глубине до 2 000 м) и концентрации в атмосфере углекислого газа (источник: L. Cheng)



75. Разбивка совокупного объема антропогенных выбросов ПГ за 2010 год показывает, что 76% из них приходится на  $\text{CO}_2$  (65% в результате сжигания ископаемого топлива и промышленной деятельности и 11% в результате землепользования), 16% – на  $\text{CH}_4$ , 6% – на  $\text{N}_2\text{O}$  и 2% – на фтористые газы (IPCC, 2014). Анализ совокупных выбросов  $\text{CO}_2$  за период 1971–2010 годов, обусловленных сжиганием топлива, показал, что основными факторами, подпитывающими

тенденцию к повышению выбросов, являются демографический рост и модели потребления и производства (IPCC, 2014). Оценка выбросов CO<sub>2</sub> в увязке с доходами стран свидетельствует о том, что выбросы стран с доходом выше среднего (например, Китая и Южной Африки) в период 1990–2010 годов удвоились, почти достигнув уровня выбросов стран с высоким доходом. Значительное увеличение выбросов CO<sub>2</sub> было также отмечено в странах с уровнем дохода ниже среднего (IPCC, 2014).

## G. Справочная литература

Alfieri L., Feyen L., Dottori F. and Bianchi A., 2015. Ensemble flood risk assessment in Europe under high end climate scenarios. *Global Environmental Change* 35,199-212. (doi:10.1016/j.gloenvcha.2015.09.004)

Alfieri L., Dottori F., Betts R., Salamon P., Feyen L., 2018. Multi-model projections of river flood risk in Europe under global warming. *Climate* 6, 16 doi:10.3390/cli6010016

AMAP, 2012. Arctic Climate Issues 2011: Changes in Arctic Snow, Water, Ice and Permafrost. SWIPA 2011. Overview Report

Androulidakis Y.S., Kombiadou K.D., Makris C.H., Baltikas V.N. and Krestenitis Y.N. 2015 Storm surges in the Mediterranean Sea: Variability and trends under future climatic conditions. *Dynamics of Atmospheres and Oceans* 71, 56–82.

Arnell N. et al 2014. Global-scale climate impact functions: the relationship between climate forcing and impact. *Climate Change* (134), 475–87.

Asariotis R., Mohos-Naray V., Benamara H., 2017. Port Industry Survey on Climate Change Impacts and Adaptation. UNCTAD Research Paper No. 18, UNCTAD/SER.RP/2017/18. 37 pp plus Appendices.

[https://unctad.org/en/PublicationsLibrary/ser-rp-2017d18\\_en.pdf](https://unctad.org/en/PublicationsLibrary/ser-rp-2017d18_en.pdf)

Becker A., Acciaro A., Asariotis R., Cabrera E. et al., 2013. A note on climate change adaptation for seaports: A challenge for global ports, a challenge for global society. *Climatic Change*, 120, 683-695.

Beniston M. and Diaz H.F. 2004. The 2003 heat wave as an example of summers in a greenhouse climate? Observations and climate model simulations for Basel, Switzerland. *Global and Planetary Change* 44, 73–81.

Bertin X., Prouteau E. and Letetrel C. 2013. A significant increase in wave height in the North Atlantic Ocean over the 20th century. *Global and Planetary Change* 106, 77–83.

Camus P., Losada I.J., Izaguirre C., Espejo A., Menéndez M., Pérez J., 2017. Statistical wave climate projections for coastal impact assessments. *Earth's Future* 5, 918–933. <https://doi.org/10.1002/2017EF000609>

Canadell J.G., Le Quere C., Raupach M.R. et al. 2007. Contributions to accelerating atmospheric CO<sub>2</sub> growth from economic activity, carbon intensity, and efficiency of natural sinks. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 104, 18866-18870.

Carson M., Kohl A., Stammer D. et al., 2016. Coastal sea level changes, observed and projected during the 20th and 21st century. *Climatic Change* 134, 269-281. (doi: 10.1007/s10584-015-1520-1).

Cheng L., Abraham J., Hausfather Z., Trenberth K.E., 2019a. How fast are the oceans warming? Observational records of ocean heat content show that ocean warming is accelerating. *Science* 363 (6423), 128–129.

Cheng L., Zhu J., Abraham J. et al., 2019b. Continues Record Global Ocean Warming. *Advances in Atmospheric Sciences* 36 (3), 249–252. doi.org/10.1007/s00376-019-8276-x.

Church J.A., Clark P.U., Cazenave A., et al., 2013. Sea level change. In *Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. (T.F. Stocker, Qin D., Plattner G.-K. et al. [eds]) Cambridge; UK 1137–1216.

- Conte, D. and Lionello, P. 2014. Storm Surge Distribution Along the Mediterranean Coast: Characteristics and Evolution, *Procedia -Social and Behavioral Sciences* 120, 110–115. (ISSN 1877-0428).
- Coumou, D. and Rahmstorf, S. 2012. A decade of weather extremes. *Nature Climate Change* 29, 491-496. (doi:10.1038/nclimate1452).
- Coumou D. and Robinson A., 2013. Historic and future increase in the global land area affected by monthly heat extremes. *Environmental Research Letters* 8 (3) [iopscience.iop.org/article/10.1088/1748-9326/8/3/034018/meta](http://iopscience.iop.org/article/10.1088/1748-9326/8/3/034018/meta).
- Cowan K. and Way R. G. 2014. Coverage bias in the HadCRUT4 temperature series and its impact on recent temperature trends. *Q.J.R. Meteorol. Soc.* 140, 1935–1944. (doi: 10.1002/qj.2297)
- Cronin T.M., 2012. Rapid sea-level rise. *Quaternary Science Reviews* 56, 11–30.
- Dai A., 2013. Increasing drought under global warming in observations and models. *Nature Climate Change* 3, 52–58.
- De Conto R.M. and Pollard D., 2016. Contribution of Antarctica to past and future sea-level rise. *Nature* 531, 591-596. (doi: 10.1038/nature17145)
- Dieng H.B., A. Cazenave, B. Meyssignac, K. von Schuckmanc and H. Palanisamy, 2017a. Sea and land surface temperatures, ocean heat content, Earth's energy imbalance and net radiative forcing over the recent years. *Int. J. Climatol.* (2017), 12 pp., doi: 10.1002/joc.4996
- Dieng H. et al., 2017b. New estimate of the current rate of sea level rise from a sea level budget approach. *Geophysical Research Letters*, 44, doi: 10.1002/2017GL073308.
- Dole et al., 2011. Was there a basis for anticipating the 2010 Russian heat wave? *Geophysical Research Letters* 38, L06702.
- Dutton A., Carlson A.E., Long A. J. et al., 2015. Sea-level rise due to polar ice-sheet mass loss during past warm periods. *Science* 349, 6244 <https://marine.rutgers.edu/pubs/private/Science-2015-Dutton-pdf>
- ECE, 2013. *Climate Change Impacts and Adaptation for International Transport Networks*, United Nations Economic Commission for Europe, New York and Geneva, 2013, 248 pp. [www.unece.org/fileadmin/DAM/trans/main/wp5/publications/climate\\_change\\_2014.pdf](http://www.unece.org/fileadmin/DAM/trans/main/wp5/publications/climate_change_2014.pdf)
- EEA, 2010. *The European environment: State and outlook 2010, Adapting to climate change*. European Environmental Agency, Copenhagen. (ISBN 978-92-9213-159-3).
- EEA, 2012. *Climate change, impacts and vulnerability in Europe 2012. An indicator-based report*. European Environmental Agency (EEA), Copenhagen, Denmark, 300 pp. (ISBN 978-92-9213-346-7)
- EEA, 2014a. Projected changes in annual, summer and winter temperature. [Online image]. European Environment Agency (EEA). Available from: [www.eea.europa.eu/data-and-maps/figures/projected-changes-in-annual-summer-1](http://www.eea.europa.eu/data-and-maps/figures/projected-changes-in-annual-summer-1) [Accessed 01/03/2016].
- EEA, 2014b. Trend in absolute sea level in European Seas based on satellite measurements (1992–2013). [Online image]. European Environment Agency (EEA). Available from: [www.eea.europa.eu/data-and-maps/figures/sea-level-changes-in-europe-october-1992-may-1](http://www.eea.europa.eu/data-and-maps/figures/sea-level-changes-in-europe-october-1992-may-1) [Accessed 01/03/2016].
- EEA, 2014c. Projected change in relative sea level. [Online image]. European Environment Agency (EEA). Available from: [www.eea.europa.eu/data-and-maps/figures/projected-change-in-sea-level](http://www.eea.europa.eu/data-and-maps/figures/projected-change-in-sea-level) [Accessed 01/03/2016].
- EEA, 2015a, *Global megatrends assessment: Extended background analysis complementing the SOER 2015 'Assessment of global megatrends'*. European Environmental Agency, Copenhagen. (ISSN 1725-2237).



- EEA, 2015b. Number of extreme heat waves in future climates under two different climate forcing scenarios. Available from: [www.eea.europa.eu/data-and-maps/figures/number-of-extreme-heat-waves](http://www.eea.europa.eu/data-and-maps/figures/number-of-extreme-heat-waves) [Accessed 13/07/2015].
- EEA, 2015c. Projected changes in heavy precipitation (in per cent) in winter and summer from 1971–2000 to 2071–2100 for the RCP8.5 scenario based on the ensemble mean of different regional climate models (RCMs) nested in different general circulation models (GCMs). Available from: [www.eea.europa.eu/data-and-maps/figures/projected-changes-in-20-year-2](http://www.eea.europa.eu/data-and-maps/figures/projected-changes-in-20-year-2) [accessed 21/03/2016].
- Egorshev S., 2018. Presentation at the ECE Expert Group 18 and 19 December 2019, Geneva.a. [www.unece.org/fileadmin/DAM/trans/doc/2018/wp5/2\\_Russian\\_Federation\\_Mr\\_Egorshev\\_Climate\\_Change\\_18-19\\_December\\_2018.pdf](http://www.unece.org/fileadmin/DAM/trans/doc/2018/wp5/2_Russian_Federation_Mr_Egorshev_Climate_Change_18-19_December_2018.pdf)
- Emanuel K. 2005. Increasing destructiveness of tropical cyclones over the past 30 years. *Nature* 436, 686–688.
- EPA, 2015. Precipitation Worldwide, 1901–2013 [Online image]. Available from: <https://www3.epa.gov/climatechange/science/indicators/weather-climate/precipitation.html> [Accessed 03/02/2016].
- Feyen L., Dankers R. and Bodis K., 2010. Climate warming and future flood risk in Europe. *Climatic Change*.
- Forzieri G., Feyen L., Russo S. et al. 2016. Multi-hazard assessment in Europe under climate change. *Climatic Change* 137, 105 - 119. <https://doi.org/10.1007/s10584-016-1661-x>.
- Fourier J. J., 1827. MEMOIRE sur les temperatures du globe terrestre et des espaces planetaires Memoires d l'Academie Royale des Sciences de l'Institute de France VII, pp. 570–60.
- Fyfe J.C., Meehl G.A., England M.H. et al., 2016. Making sense of the early-2000s warming slowdown. *Nature Climate Change* 6, 224–228, doi:10.1038/nclimate2938.
- Grinsted A., Moore J.C. and Jervejeva S., 2010. Reconstructing sea level from paleo and projected temperatures 200 to 2100 AD. *Climate Dynamics* 34, 461–472.
- Hallegatte S., Green C., Nicholls R. J. and Corfee-Morlot J., 2013. Future flood losses in major coastal cities, *Nature Climate Change* 3, 802–806. (doi:10.1038/NCLIMATE1979)
- Hanna E. et al., 2013. Ice sheet mass balance and climate change. *Nature* 498, 51–59.
- Hansen J., Sato M., Hearty P. et al., 2016. Ice melt, sea level rise and superstorms: Evidence from paleoclimate data, climate modeling, and modern observations that 2°C global warming could be dangerous. *Atmos. Chem. Phys.* 16, 3761–3812 (doi:10.5194/acp-16-3761-2016).
- Hay C.C., Morrow E., Kopp R.E. and Mitrovica J.X., 2015. Probabilistic reanalysis of twentieth-century sea-level rise. *Nature* 517, 481–484.
- Hinkel J., Lincke D., Vafeidis A.T. et al., 2014. Coastal flood damages and adaptation costs under 21st century sea-level rise, *Proceedings of the National Academy of Sciences USA*, 111, 3292–3297.
- Horton R., Herweijer C, Rosenzweig C, Liu J, Gornitz V, and Ruane AC, 2008. Sea level rise projections for current generation CGCMs based on the semi-empirical method. *Geophysical Research Letters* 35 DOI:10/1029/2007GL032486.
- Horton, B.P., Rahmstorf, S., Engelhart, S.E. and Kemp, A.C. 2014. Expert assessment of sea-level rise by AD 2100 and AD 2300. *Quaternary Science Reviews*, 84, 1–6.
- IPCC, 2007. *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, KB Averyt, M Tignor and HL Miller (eds)). Cambridge University Press, Cambridge, UK and New York, NY, USA, 996 pp.

IPCC, 2013. *Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Stocker T.F., Qin D., Plattner G.-K. et al. (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.

IPCC, 2014. *Summary for policy makers. In: Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Part A: Global and Sectoral Aspects. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Field C.B., Barros V.R Dokken D.J., et al. (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, pp. 1-32.

IPCC, 2018: *Summary for Policymakers. In: Global warming of 1.5°C. An IPCC Special Report on the impacts of global warming of 1.5°C above pre-industrial levels and related global greenhouse gas emission pathways, in the context of strengthening the global response to the threat of climate change, sustainable development, and efforts to eradicate poverty* [V. Masson-Delmotte V., Zhai P., Pörtner J.O. et al. (eds.)]. World Meteorological Organization, Geneva, Switzerland 32 pp. [www.ipcc.ch/site/assets/uploads/sites/2/2018/07/SR15\\_SPM\\_High\\_Res.pdf](http://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/sites/2/2018/07/SR15_SPM_High_Res.pdf)

IPCC SREX, 2012. *Managing the Risks of Extreme Events and Disasters to Advance Climate Change Adaptation* [Field C.B., Barros V., Stocker T.F. et al. (eds.)]. A Special Report of Working Groups I and II of the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). Cambridge University Press, Cambridge, UK, and New York, NY, USA. 582 pp.

Jevrejeva S., Moore J.C. and Grinsted A., 2010. How will sea level respond to changes in natural and anthropogenic forcings by 2100? *Geophysical Research Letters* 37. DOI: 10.1029/2010GL042947.

Jevrejeva S., Moore J.C. and Grinsted A. 2012. Sea level projections to AD2500 with a new generation of climate change scenarios. *Global and Planetary Change* 80–81, 14–20. (doi:10.1016/j.gloplacha.2011.09.006).

Jevrejeva S., Jackson L.P., Riva R.E.M., Grinsted A., Moore J.C., 2016. Coastal sea level rise with warming above 2°C. *Proc. Natl. Acad. Sci.* 113, 13342 LP-13347. <https://doi.org/10.1073/pnas.1605312113>.

Karl T.R., Melillo J. T. and Peterson T. C. 2009. *Global Climate Change Impacts in the United States*. Cambridge University Press, 189 pp.

Karl T.R., Arguez A., Huang, B. et al., 2015. Possible artifacts of data biases in the recent global surface warming hiatus, *Science*, 348, pp. 1469–1472.

Katsman C.A., Sterl A., Beersma J.J. et al., 2011. Exploring high end scenarios for local sea level rise to develop flood protection strategies for a low-lying delta. The Netherlands as an example. *Climatic Change* 109 (3-4), 617–645. (doi:10.1007/s10584-011-00375)

King D., Schrag D., Dadi Z., Ye Q. and Ghosh A. 2015. *Climate Change: A Risk Assessment*. Centre for Science and Policy, University of Cambridge. ([www.csap.cam.ac.uk/media/uploads/files/1/climate-change--a-risk-assessment-v9-spreads.pdf](http://www.csap.cam.ac.uk/media/uploads/files/1/climate-change--a-risk-assessment-v9-spreads.pdf))

Kopp R., Simons F., Mitrovica J., Maloof A. and Oppenheimer M., 2009. Probabilistic assessment of sea level during the last interglacial stage. *Nature* 462, 863–867. (doi:10.1038/nature08686).

Lionello P., Galati M.B. and Elvini E. 2012. Extreme storm surge and wind wave climate scenario simulations at the Venetian littoral. *Phys Chem Earth Parts A/B/C* 40–41, 86–92.

Losada I.J., Reguero B.J., Mendez F.G., et al., R. 2013. Long-term changes in sea level components in Latin America and the Caribbean. *Global and Planetary Change* 104, 34–50.

Marcos M., Jorda G., Gomis D. and Perez B. 2011. Changes in storm surges in southern Europe from a regional model under climate change scenarios. *Global and Planetary Change* 77(3–4), 116–128. (doi:10.1016/j.gloplacha.2011.04.002)

- Mel R., Sterl A. and Lionello P. 2013. High resolution climate projection of storm surge at the Venetian coast. *Nat Hazards Earth System Science* 13, 1135–1142.
- Menendez M. and Woodworth P.L. 2010. Changes in extreme high water levels based on a quasi-global tidegauge data set. *Journal of Geophysical Research*, 115, C10011. (doi:10.1029/2009JC005997).
- Menounos, B., Hugonnet R., Shean D. et al., 2018. Heterogeneous Changes in western North American glaciers linked to decadal variability in zonal wind strength. *Geophysical Research Letters* 45, <https://doi.org/10.1029/2018GL08094>.
- Mentaschi L., M. I. Vousdoukas E. Voukouvalas A. Dosio, and L. Feyen, 2017. Global changes of extreme coastal wave energy fluxes triggered by intensified teleconnection patterns. *Geophys. Res. Let.* 44, 2416–2426, doi:10.1002/2016GL072488.
- MetOffice, 2014. *Climate risk An update on the science*. Met Office, Handley Center, Devon, UK, 9 pp.
- Meyer-Christoffer A., Becker A., Finger P. et al., 2015. *GPCC Climatology Version 2015 at 0.25°: Monthly Land-Surface Precipitation Climatology for Every Month and the Total Year from Rain-Gauges Built on GTS-Based and Historic Data*; GPCC: Offenbach, Germany, 2015.
- Milly P.C.D., Betancourt J., Falkenmark M. et al., 2008. Stationarity is dead: Whither water management? *Science* 319, 573–574.
- Monioudi I. N., Asariotis R. Becker A. et al., 2018. Climate change impacts on critical international transportation assets of Caribbean Small Island Developing States (SIDS): The case of Jamaica and Saint Lucia. *Regional Environmental Change*, 18 (8), 2211–2225.
- Mora C., Dousset B., Caldwell I.R. et al., 2017. Global risk of deadly heat. *Nature Climate Change* 7, 501-507. DOI: 10.1038/NCLIMATE3322
- Mori N., Shimura T., Yasuda T. and Mase H., 2013. Multi-model climate projections of ocean surface variables under different climate scenarios—Future change of waves, sea level and wind. *Ocean Engineering*, <http://dx.doi.org/10.1016/j.oceaneng.2013.02.016>
- Moss R. et al., 2010. The next generation of scenarios for climate change research and assessment. *Nature* 463, 747–756.
- Munich Re, 2015. *NatCatSERVICE: Loss events worldwide 1980–2014*.
- NASA, 2016. *NOAA Analyses Reveal Record-Shattering Global Warm Temperatures in 2015 [WWW]* Goddard Institute for Space Studies. Available from: [www.giss.nasa.gov/research/news/20160120/](http://www.giss.nasa.gov/research/news/20160120/) [Accessed 13/02/2016]
- NOAA, 2015. *2014 State of the Climate: Carbon Dioxide [WWW]* Available from: <https://www.climate.gov/news-features/understanding-climate/2014-state-climate-carbon-dioxide>
- NOAA, 2016. *Global Analysis - Annual 2015: 2015 year-to-date temperatures versus previous years [WWW]* National Centers for Environmental Information. Available from: [www.ncdc.noaa.gov/sotc/global/2015/13/supplemental/page-3](http://www.ncdc.noaa.gov/sotc/global/2015/13/supplemental/page-3) [Accessed 122/02/2016]
- NOAA, 2017a. *National Centers for Environmental Information (NCEI). 2016 Officially Warmest Year on Record.* (Published online January 2017, accessed on May 24, 2017 [www.nv1.noaa.gov/MediaDetail2.php?MediaID=1989&MediaTypeID=3&ResourceID=105007/](http://www.nv1.noaa.gov/MediaDetail2.php?MediaID=1989&MediaTypeID=3&ResourceID=105007/)
- NOAA, 2017b. *National Center for Environmental Information (NCEI), State of the Climate: Global Snow and Ice for 2016.* (Published online 01/2017, retrieved on May 9, 2017 from [www.ncdc.noaa.gov/sotc/global-snow/201613](http://www.ncdc.noaa.gov/sotc/global-snow/201613)
- NOAA, 2017c. *National Centers for Environmental Information (NCEI) U.S. Billion-Dollar Weather and Climate Disasters.* [www.ncdc.noaa.gov/billions/](http://www.ncdc.noaa.gov/billions/)

- NSIDC, 2017. National Snow and Ice Data Center. Snow, Ice and Climate Change (retrieved on May 24, 2017 from [nsidc.org/cryosphere/climate-change.html](https://nsidc.org/cryosphere/climate-change.html))
- Pérez J., Menendez M., Mendez F. and Losada I. 2014. Evaluating the performance of CMIP3 and CMIP5 global climate models over the north-east Atlantic region. *Climate Dynamics* 43, 2663–2680.
- Pfeffer W., Harper J. and O’ Neel S., 2008. Kinematic constraints on glacier contributions to 21st century sea level rise. *Science* 321, 1340–1343. (doi:10.1126/science.1159099).
- Rahmstorf S., Cazenave A., Church J.A. et al., 2007. Recent climate observations compared to projections. *Science* 316, 709–709.
- Rahmstorf S., 2012. Climate Change: State of Science . In: *Maritime Transport and the Climate Change Challenge*, R. Asariotis and H. Benamara, eds., Earthscan, pp. 3–11.
- Rahmstorf S., Foster G., Cahill N., 2017. Global temperature evolution: recent trends and some pitfalls. *Environmental Research Letters* 12, 054001.
- Ranasinghe R., 2016. Assessing climate change impacts on open sandy coasts: A review. *Earth Science Reviews* 160, 320-332.
- Richardson K., Steffen W., Schellnhuber H.J. et al., 2009. Synthesis Report. Climate change: Global Risks, Challenges and Decisions. University of Copenhagen, 39 pp.
- Rignot, E., Velicogna, I., van den Broeke, M.R., Monaghan, A. and Lenaerts, J. 2011. Acceleration of the contribution of the Greenland and Antarctic ice sheets to sea level rise. *Geophysical Research Letters*, (38), 5 pp. (doi:10.1029/2011GL046583).
- Rignot E., Mouginot, J., Scheuchl, B. et al., 2019. Four decades of Antarctic Ice Sheet mass balance from 1979–2017. *PNAS* doi.org/10.1073/pnas.1812883116
- Rohling E., Grant K., Hemleben C. et al., 2008. High rates of sea level rise during the last interglacial period. *Nature Geosciences* 1, 38–42. (doi:10.1038/ngeo.2007.28).
- Rueda A., Vitousek S., Camus P. et al., 2017. A global classification of coastal flood hazard climates associated with large-scale oceanographic forcing. *Scientific Reports* 7, 5038. doi.org/10.1038/s41598-017-05090-w
- Ruggiero P., Komar P.D. and Allan J.C., 2010. Increasing wave heights and extreme value projections: The wave climate of the U.S. Pacific Northwest. *Coastal Engineering* 57, 539–552.
- Ruggiero P. 2013. Is the intensifying wave climate of the U.S. Pacific Northwest increasing flooding and erosion risk faster than sea-level rise? *Journal of Waterway, Port, Coastal, and Ocean Engineering* 139 (2), 88–97.
- Schneider U., Finger P., Meyer-Christoffer A., 2017. Evaluating the Hydrological Cycle over Land Using the Newly-Corrected Precipitation Climatology from the Global Precipitation Climatology Centre (GPCP). *Atmosphere* ,8 (52), doi: 10.3390/atmos8030052.
- Schuur EAG, McGuire A.D., Schädel C., et al., 2015. Climate change and the permafrost carbon feedback. *Nature* 520, 171–179. 10.1038/nature14338
- Seneviratne, S. I., et al., 2016. Allowable CO2 emissions based on regional and impact-related climate targets. *Nature* 529, 477–483. doi:10.1038/nature16542.
- Shakun J.D., Clark P.U., He F. et al., 2012. Global warming preceded by increasing carbon dioxide concentrations during the last deglaciation, *Nature* 484, 49–55.
- Simmons A.J., P. Berrisford, D.P. Dee, H. Hersbach, S. Hirahara and J.N. Thepaut, 2017. A reassessment of temperature variations and trends from global reanalyses and monthly surface climatological datasets. *Q.J.R. Meteorol. Soc.* 143, 101–119, doi:10.1002/qj.2949.
- Steffen, W. 2009. Climate Change 2009: Faster Change and More Serious Risks. Report to the Department of Climate Change, Australian Government.
- Taalas P., 2019. WMO presentation, UN Oceans Meeting, 7–8 February 2019, Geneva.

- Trenberth K.E., Cheng L., Jacobs P., Zhang Y., Fasullo J.T., 2018. Hurricane Harvey links to ocean heat content and climate change adaptation. *Earth's Future* 6, 730–744. doi.org/10.1029/2018EF000825
- U.S. Climate Resilience Toolkit, 2015. Arctic Development and Transport. [WWW] Available from: [toolkit.climate.gov/content/about-climate-resilience-toolkit](http://toolkit.climate.gov/content/about-climate-resilience-toolkit) (accessed 15/01/2016).
- UNFCCC, 2015. The Paris Agreement by Parties to the United Nations Framework Convention on Climate Change. [unfccc.int/meetings/paris\\_nov\\_2015/items/9445.php](http://unfccc.int/meetings/paris_nov_2015/items/9445.php).
- Van der Wiel K., Kapnick S.B. and Vecchi G.A., 2017. Shifting patterns of mild weather in response to projected radiative forcing. *Climatic Change* 140, 649–658. doi: 10.1007/s10584-016-1885-9.
- Velicogna I., Sutterley T. C. and van den Broeke M. R. 2014. Regional acceleration in ice mass loss from Greenland and Antarctica using GRACE time-variable gravity data. *Geophys. Res. Lett.*, 41(22), 8130–8137.
- Vellinga P. et al. 2008. Exploring high-end climate change scenarios for flood protection of the Netherlands. International Scientific Assessment for the Delta Committee. SR WR-2009-05. KNMI, Alterra, The Netherlands. [www.knmi.nl/bibliotheek/knmi/pubWR/WR2009-05.pdf](http://www.knmi.nl/bibliotheek/knmi/pubWR/WR2009-05.pdf).
- Vermeer M. and Rahmstorf S., 2009 Global sea level linked to global temperature. *Proceedings of the National Academy of Sciences USA* 106, 21527–21532. (doi:10.1073/pnas.0907765106).
- Vogel M.M., R. Orth, F. Cheruy, S. Hagemann, R. Lorenz, B.J.J.M. van den Hurk, and S.I. Seneviratne, 2017. Regional amplification of projected changes in extreme temperatures strongly controlled by soil moisture-temperature feedbacks. *Geophys. Res. Letters*, 44, 1511–1519. doi:10.1002/2016GL071235.
- Vousdoukas M.I., Voukouvalas E., Annunziato A., Giardino A. and Feyen, L., 2016a. Projections of extreme storm surge levels along Europe. *Climate Dynamics* doi: 10.1007/s00382-016-3019-5.
- Vousdoukas M.I., E. Voukouvalas, L. Mentaschi, F. Dottori, A. Giardino, D. Bouziotas, A. Bianchi, P. Salamon and L. Feyen, 2016b. Developments in large-scale coastal flood hazard mapping. *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.* 16, 1841–1853, doi:10.5194/nhess-16-1841-2016.
- Vousdoukas M.I., L. Mentaschi, E. Voukouvalas, M. Verlaan, and L. Feyen, 2017. Extreme sea levels on the rise along Europe's coasts. *Earth's Future* 5, 304–323. doi:10.1002/2016EF000505.
- Vousdoukas M.I., Mentaschi L., Voukouvalas E., Verlaan M., Jevrejeva S., Jackson L.P., Feyen L., 2018. Global probabilistic projections of extreme sea levels show intensification of coastal flood hazard. *Nat. Commun.* 9, 2360. doi.org/10.1038/s41467-018-04692-w.
- Wada Y., van Beek L.P.H., Weiland F.C.S. et al., 2012. Past and future contribution of global groundwater depletion to sea-level rise. *Geophys Res Letters* 39, L09402. (doi: 10.1029/2012GL051230)
- Wester, P., Mishra, A. Mukherji, A. Shrestha. A.B., (eds), 2019. *The Hindu Kush Himalaya Assessment- Mountains, Climate Change, Sustainability and People*. Springer Nature Switzerland AG, Cham. [link.springer.com/content/pdf/10.1007/978-3-319-92288-1.pdf](http://link.springer.com/content/pdf/10.1007/978-3-319-92288-1.pdf)
- WMO, 2014. Statement on the status of the global climate in 2014, World Meteorological Organization, WMO-No. 1152, Chairperson, Publications Board, Geneva, 22 pp. (ISBN: 978-92-63-11152-4.)
- WMO, 2016. WMO Statement on the Status of the Global Climate in 2015, World Meteorological Organization, WMO-No. 1167, Chairperson, Publications Board, Geneva, Switzerland, 26 pp. (ISBN: 978-92-63-11167-8.). See also [www.indiaenvironmentportal.org.in/content/421694/provisional-statement-on-the-status-of-global-climate-in-2011-2015/](http://www.indiaenvironmentportal.org.in/content/421694/provisional-statement-on-the-status-of-global-climate-in-2011-2015/).

WMO, 2017. WMO Statement on the State of the Global Climate in 2016. World Meteorological Organization Report 1189, [library.wmo.int/opac/doc\\_num.php?explnum\\_id=3414](http://library.wmo.int/opac/doc_num.php?explnum_id=3414)).

WMO, 2018. WMO Statement on the State of the Global Climate in 2017. World Meteorological Organization Report 1212. [library.wmo.int/doc\\_num.php?explnum\\_id=4453](http://library.wmo.int/doc_num.php?explnum_id=4453).

Yan X.-H., Boyer T., Trenberth K. et al., 2016. The global warming hiatus: Slowdown or redistribution? *Earth's Future*, 4, 472–482, doi:10.1002/2016EF000417.

---