



Европейская экономическая комиссия**Комитет по внутреннему транспорту****Рабочая группа по тенденциям
и экономике транспорта****Группа экспертов по последствиям изменения климата
для международных транспортных сетей и узлов
и адаптации к ним****Тринадцатая сессия**

Женева, 22 и 23 июня 2017 года

Пункт 4 предварительной повестки дня

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

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

II. Изменение климата: последние тенденции и прогнозы**A. Последние прогнозы в области климата**

2. Динамика более четко регистрируемых/понимаемых в настоящее время климатических факторов (например, температура поверхности суши/моря, уровень моря, площадь арктического льда, баланс массы ледников) позволяет говорить о значительных и в некоторых случаях ускоряющихся климатических изменениях. Эта информация и другие собранные за последнее время данные

* Настоящий документ был представлен с задержкой в связи с несвоевременным получением материалов из других источников.



свидетельствуют о том, что влияющие на транспорт климатические факторы (ECE, 2013) «ухудшаются».

3. Температура океанов будет повышаться в соответствии со всеми сценариями РТК. Самое сильное потепление поверхности океана прогнозируется для субтропических и тропических регионов. На больших глубинах потепление, по прогнозам, будет наиболее выраженным в Южном океане. Согласно наилучшим оценкам, к концу XXI века температура океана в верхних слоях воды до 100 м повысится на 0,6 °C (РТК 2.6) – 2,0 °C (РТК 8.5), а в верхних слоях до 1 000 м – на 0,3 °C (РТК 2.6) – 0,6 °C (РТК 8.5). Для РТК 4.5 половина энергии, поглощаемой океаном, будет приходиться на верхние слои до 700 м и 85% – на верхние слои до 2 000 м. Из-за больших временных масштабов такой передачи тепла от поверхности к более глубоким слоям потепление океана будет продолжаться в течение многих веков, даже если выбросы ПГ стабилизируются (IPCC, 2013).

4. Что касается температуры атмосферного воздуха, то очевидна долгосрочная тенденция к повышению. Прогнозы показывают, что к концу XXI века атмосфера дополнительно прогреется, по различным сценариям, на 1,0–3,7 °C (усредненные оценки, см. таблицу 1). Срединная (средняя) величина потепления, прогнозируемого в рамках нескольких возможных сценариев изменения концентраций парниковых газов (ПГ) (IPCC, 2013), за период 2046–2065 годов предположительно составит 1,0–2,0 °C по сравнению со средним уровнем за 1986–2005 годы, тогда как к концу XXI века (2081–2100 годы) ожидается потепление на 1,0–3,7 °C. Вместе с тем, если учитывать неопределенность моделей, то этот диапазон расширяется до 0,3–4,8 °C.

Таблица 1

Изменения средней температуры на поверхности Земли и среднемирового уровня моря к 2081–2100 годам (средние величины и вероятные диапазоны) по сравнению с периодом 1986–2005 годов, прогнозируемые исходя из различных сценариев (по данным IPCC, 2013)

(В основу прогнозов положены четыре сценария радиационного воздействия (репрезентативные траектории концентраций – РТК)¹: РТК 8.5 – 6 184 Гт CO₂ (суммарные выбросы CO₂ в 2012–2100 годах); РТК 6.0 – 3 890 Гт CO₂; РТК 4.5 – 2 863 Гт CO₂; РТК 2.6 – 991 Гт CO₂. Изменения среднемировой температуры на земной поверхности рассчитаны по ансамблю моделей, включенных в пятую фазу международного проекта сравнения объединенных моделей (MIPCOM5) (при диапазонах моделей 5–95%). Прогнозы повышения уровня моря получены с помощью 21 модели MIPCOM5 (при диапазонах моделей 5–95%). Распределение вероятности воздействия таких факторов, как быстрое динамическое изменение ледяного покрова и накопление воды в наземных антропогенных резервуарах, принято равномерным и в основном независимым от сценариев, так как при современном уровне знаний количественная оценка зависимости не представляется возможной²)

Сценарий	Температура		Повышение уровня моря	
	Среднее значение (°C)	Вероятный диапазон (°C)	Среднее значение (м)	Вероятный диапазон (м)
РТК 2.6	1,0	0,3–1,7	0,40	0,26–0,55

¹ Прогнозы, представленные в последнем оценочном докладе (ОД5) МГЭИК (2013 год), основаны на сценариях РТК (репрезентативные траектории концентраций), а не на разработанных МГЭИК сценариях СДСВ. При этом были приняты следующие значения концентраций в пересчете на CO₂ (например, Moss et al., 2010): для РТК 8.5 – 1 370 единиц эквивалента CO₂ в 2100 году; для РТК 6.0 – 850 единиц эквивалента CO₂ в 2100 году; для РТК 4.5 – 650 единиц эквивалента CO₂ в 2100 году и для РТК 2.6 – пиковое значение 490 единиц эквивалента CO₂ до 2100 года (Moss et al., 2010).

² Согласно имеющимся сценариям, повышение уровня моря не прекратится в 2100 году, а будет продолжаться в течение последующих столетий; к 2500 году средний уровень моря предположительно повысится на 1,84 м в сценарии самого слабого воздействия и на 5,49 м – в сценарии самого интенсивного воздействия (РТК 8.5) (Jevrejeva et al., 2012).

Сценарий	Температура		Повышение уровня моря	
	Среднее значение (°C)	Вероятный диапазон (°C)	Среднее значение (м)	Вероятный диапазон (м)
РТК 4.5	1,8	1,1–2,6	0,47	0,32–0,63
РТК 6.0	2,2	1,4–3,1	0,48	0,33–0,63
РТК 8.5	3,7	2,6–4,8	0,63	0,45–0,82

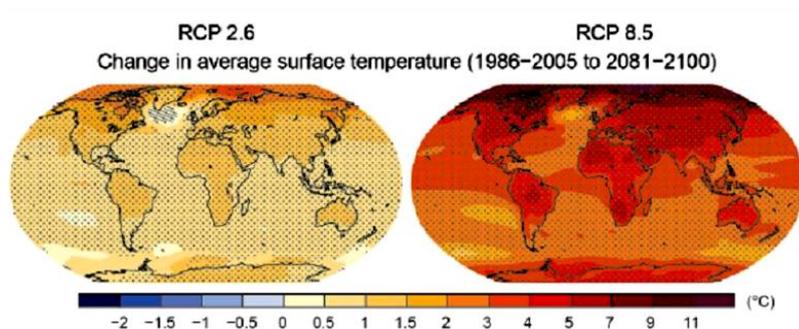
1.2.1 Температура и осадки

5. Изменение климата – неравномерный процесс, при котором потепление в приполярных районах происходит быстрее, чем на экваторе (рис. 21 и 22). Картина изменения уровней осадков выглядит значительно сложнее: некоторые районы становятся более влажными, другие – более засушливыми (ECE, 2013). В будущем эти тенденции предположительно ускорятся: так, прогнозы уровня осадков в восточном Средиземноморье в течение десятилетия 2020–2029 годов показывают, что его уменьшение по сравнению с 1990–1999 годами может составить до 25% (IPCC, 2007). В соответствии со сценарием низко-умеренного (РТК 4.5) и высокого (РТК 8.5) уровней выбросов прогнозируются значительные повышения температуры поверхности, особенно на севере региона ЕЭК (IPCC, 2013).

6. Прогнозы, полученные с помощью климатических моделей, позволяют говорить о широко распространенных засухах в большинстве районов юго-западной части Северной Америки и во многих других субтропических регионах к середине – концу XXI века (Milly et al., 2008; IPCC, 2013). В то же время, если летние сезоны в Соединенном Королевстве Великобритании и Северной Ирландии к 2100 году, как ожидается, станут (в целом) более засушливыми, то интенсивность осадков может возрасти. Результаты моделирования показывают, что вероятность сильных ливневых дождей, вызывающих наводнения (более 30 мм в час), может увеличиться почти в пять раз (MetOffice, 2014).

Рис. 21

Прогнозируемые изменения средней температуры в 2081–2100 годах по сравнению с 1986–2005 годами для сценариев низкого (РТК 2.6) и высокого (РТК 8.5) уровней выбросов (IPCC, 2013)

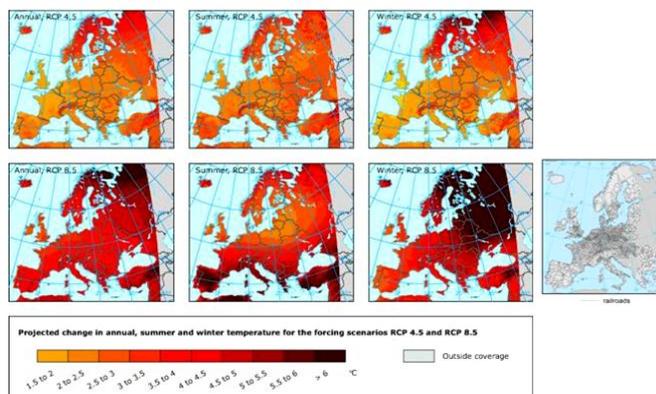


7. В исследованиях прогнозируется также уменьшение продолжительности/интенсивности засух в Южной Европе и Средиземноморье, Центральной Европе и некоторых частях Северной Америки (например, IPCC, 2013). В то же время, согласно недавним исследованиям, в течение следующих 30–90 лет (Dai, 2013) в большинстве районов на юго-западе Северной Америки и субтропических регионах прогнозируются сильные/обширные засухи (IPCC, 2013). Vogel et al. (2017) указали, что согласно результатам имитационного моделирования (модели CTL и SM20c) мультимодельное среднее максимальных суточных температур (TX_x) будет возрастать до конца столетия.

Рис. 22

Прогнозируемые изменения годовой (слева), летней (в середине) и зимней (справа) приповерхностной температуры воздуха (°C) в 2071–2100 годах по сравнению с 1971–2000 годами для сценариев воздействия РТК 4.5 (вверху) и РТК 8.5 (внизу)

(Результаты моделирования с использованием ПКМ (инициатива EURO-CORDEX). (EEA, 2014a))

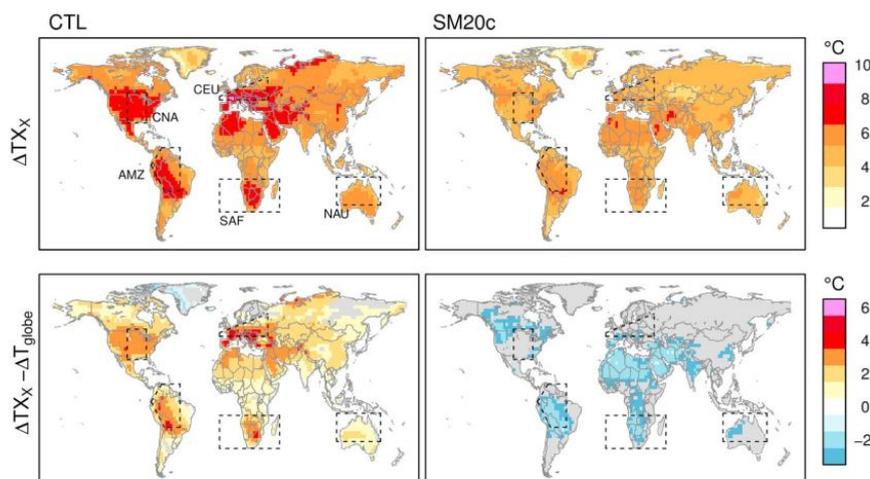


8. Прогнозируемые изменения носят более выраженный характер в модели CTL с региональным повышением до 10 °C, в то время как температурные изменения, моделируемые при помощи SM20c, составляют 1–6 °C (рис. 23, верхняя часть). Кроме того, судя по всему, существуют значительные региональные различия между величинами прогнозируемого увеличения TX_x в Центральной Европе, центральных районах Северной Америки, на севере Австралии и в южной части Африки. Такие различия могут указывать на обратную связь между влажностью почвы и климатом в условиях экстремальных температур в этих регионах.

Рис. 23

Прогнозируемые изменения TX_x (верхний ряд) между периодами 2081–2100 и 1951–1970 годов и дополнительное повышение TX_x по отношению к T_{globe} (нижний ряд) между периодами 2081–2100 и 1951–1970 годов для моделей CTL (слева) и SM20c (справа)

(Серый цвет означает недостаточную согласованность результатов для различных моделей, т.е. менее четырех моделей указывают на один и тот же сигнал изменения. Верхняя цветовая шкала относится к верхнему ряду, а нижняя – к нижнему (Vogel et al., 2017))



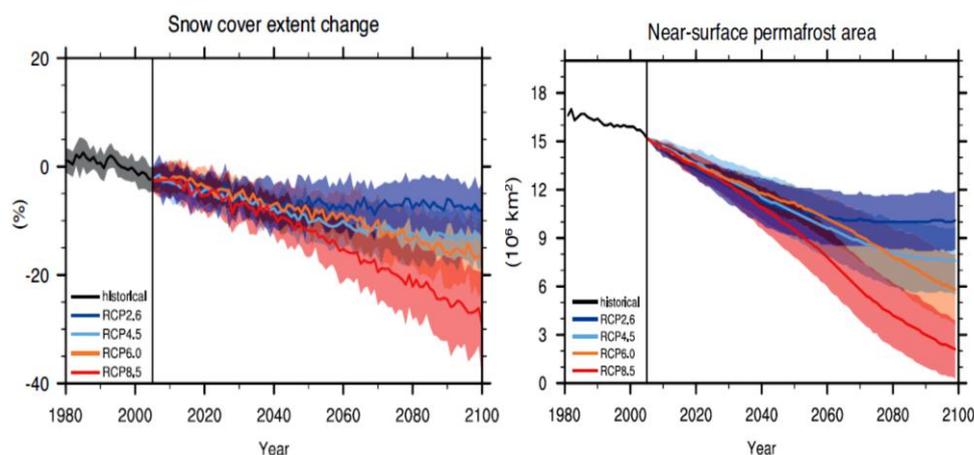
1.2.2 Таяние арктического льда, снега и вечной мерзлоты

9. Согласно прогнозам, в арктических районах во все сезоны, но главным образом в зимний период, увеличится объем осадков в виде снега и дождя; таким образом, во многих районах ожидается увеличение максимальной глубины

снежного покрова в зимний период, причем наиболее значительное увеличение (15–30% к 2050 году) будет отмечаться в Сибири. Однако ежегодно снежный покров будет сохраняться в течение более короткого периода времени (как правило, на 10–20%) в большинстве районов Арктики из-за преждевременного таяния весной (АМАР, 2012). К 2100 году весенний снежный покров в Северном полушарии (СП) сократится на 7% (РТК 2.6) и 25% (РТК 8.5) (рис. 24а). Что касается горных ледников и ледниковых шапок, то результаты климатического моделирования указывают на их сокращение их массы к концу столетия на 10–30% (АМАР, 2012). Моделирование позволяет спрогнозировать также продолжающееся таяние вечной мерзлоты из-за повышения глобальных температур и изменений снежного покрова (АМАР, 2012). Нынешние темпы потепления в европейской части вечной мерзлоты составляют $0,04\text{--}0,07\text{ }^{\circ}\text{C}\cdot\text{год}^{-1}$ (ЕЕА, 2015а). Хотя оценка масштабов изменения вечной мерзлоты сопряжена с трудностями, связанными, в том числе, с почвенными процессами, сценариями внешнего воздействия на климат и физикой моделей, прогнозы позволяют заключить, что площадь мерзлоты к концу XXI века сократится на 37% и 81% соответственно для сценариев РТК 2.6 и РТК 8.5 (средняя степень уверенности) (рис. 24б).

Рис. 24

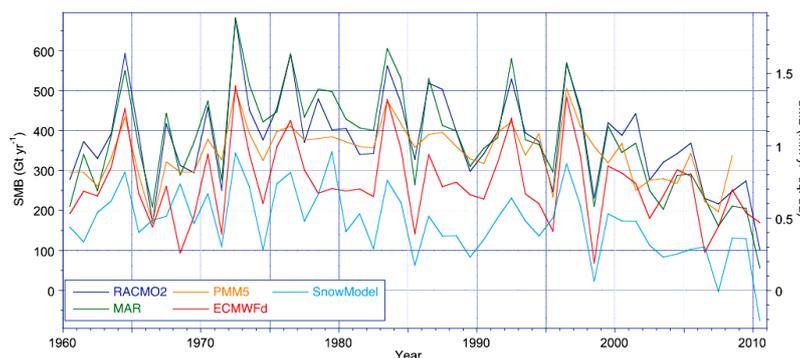
Прогнозируемая а) площадь снежного покрова и б) околоповерхностных изменений вечной мерзлоты для четырех репрезентативных траекторий концентраций – РТК (по ансамблю моделей МПСОМ5) (IPCC, 2013)



10. Такие изменения могут вызвать серьезные трудности для развития и обслуживания транспортной инфраструктуры в арктических регионах (ЕСЕ, 2013), что может сдерживать развитие транспортных сетей в целях открытия новых маршрутов в Северном Ледовитом океане, которое стало возможным в результате прогнозируемого таяния морского льда в Арктике.

Рис. 25

Среднегодовой баланс поверхностной массы (БПМ) Гренландского ледового щита, смоделированный по пяти региональным климатическим моделям за период 1960–2010 годов (Hansen et al., 2016)

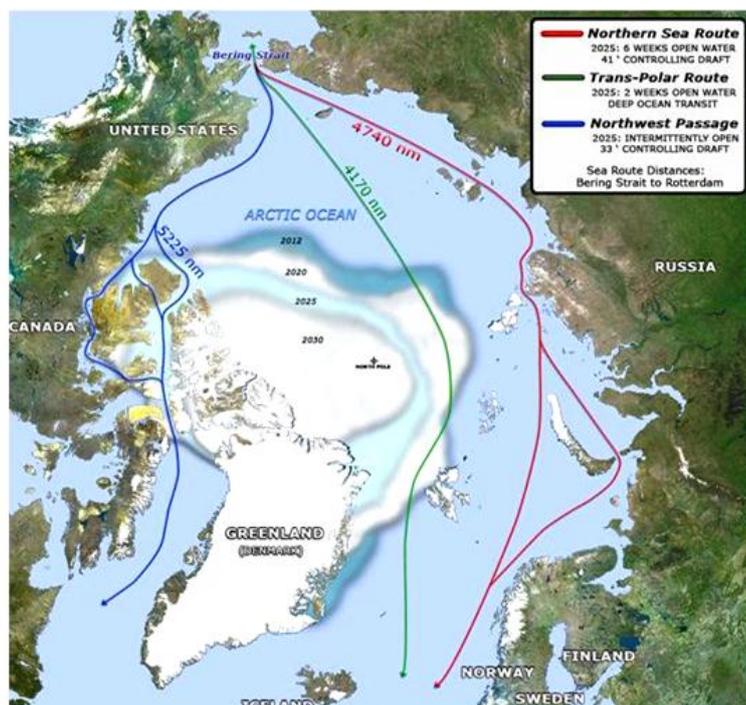


11. По мере повышения средней глобальной температуры поверхности площадь/толщина арктического морского льда, вероятно, будет продолжать уменьшаться, хотя возможны значительные межгодовые колебания. Данные, полученные на основе ансамбля моделей МПСОМ5, позволяют прогнозировать значительное сокращение площади арктического морского льда. В период 2081–2100 годов прогнозируется сокращение на 8–34% (в феврале) и 43–94% (в сентябре) по сравнению со средней площадью в 1986–2005 годы; нижний и верхний пределы указаны соответственно по РТК 2.6 и РТК 8.5 (IPCC, 2013).

12. В последующие десятилетия продолжающееся глобальное потепление будет оказывать серьезное влияние на Гренландский ледовый щит (ГЛЩ). В нынешних условиях баланс поверхностной массы (БПМ) Гренландии положителен, но показывает тенденцию к снижению, свидетельствующую об увеличении его вклада в повышение среднего уровня моря (ПУМ). Согласно имеющимся данным, вероятность того, что изменения БПМ приведут в XXI веке к разрушению ГЛЩ, является низкой, однако в масштабе времени от нескольких веков до тысячелетия оно становится более вероятным (IPCC, 2013). Среднее и стандартное отклонение (осадки за вычетом сублимации) оценки аккумуляции за 1961–1990 годы составляет $-1,62 \pm 0,21$ мм·год⁻¹. Все данные указывают на то, что никаких значительных тенденций для БПМ Гренландии в период 1960–1980 годов не отмечалось; уменьшение положительного баланса началось в начале 1990-х годов (в среднем на 3% год). Это свидетельствует о статистически значимом и возрастающем влиянии на темпы повышения среднего уровня моря (рис. 25). МГЭИК (2013 год) предположила, что в следующем столетии динамические изменения ГЛЩ могут способствовать ПУМ на 20–85 мм (РТК 8.5) и на 14–63 мм во всех других сценариях (средняя степень уверенности). В других исследованиях прогнозируется изменение БПМ на уровне $0,92 \pm 0,26$ мм·год⁻¹ (по сравнению с периодом 1961–1990 годов) (Hansen et al, 2016). Для сравнения: в большинстве сценариев ожидается рост БПМ Антарктического ледового щита за счет тенденции к увеличению объема осадков в виде снега. Вместе с тем следует отметить, что отрицательный БПМ Антарктического ледового щита может привести к повышению уровня моря более чем на 1 м к 2100 году (De Conto and Pollard, 2016).

Рис. 26

Новые арктические судоходные маршруты (U.S. Climate Resilience Toolkit, 2015)



13. Что касается арктических льдов, то ВМС США ожидают к 2025 году развития трех крупных судоходных маршрутов (рис. 26); однако это связано с рядом экологических рисков и проблемами в области развития. У арктических народов могут появиться новые экономические возможности, поскольку отступление льда облегчает доступ к важным месторождениям углеводородов (в море Бофорта и Чукотском море) и международной торговле. В то же время ИИК будет влиять на существующую инфраструктуру и все дальнейшее развитие из-за таяния вечной мерзлоты и прибрежной волновой активности (см. ниже).

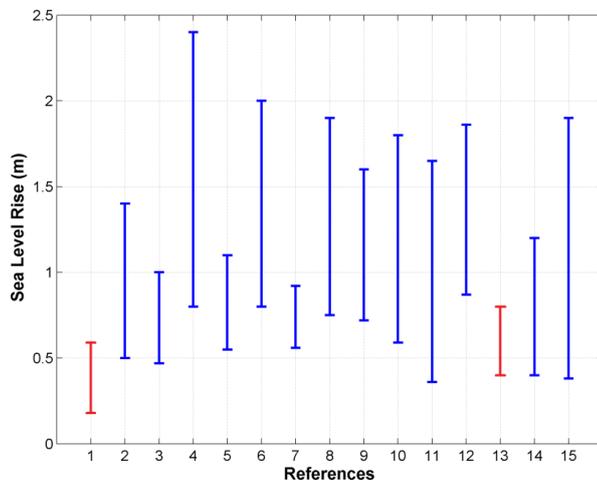
1.2.3 Уровень моря

14. Процессно-ориентированные предварительные оценки повышения уровня моря (ПУМ) связаны с неопределенностью, обусловленной реакцией ГЛЩ и ЗАЛЩ (Pritchard et al., 2012), стерическими изменениями (Domingues et al., 2008), таянием горных ледников (Raper and Braithwaite, 2009), а также забором подземных вод для целей ирригации и накопления в водохранилищах (Wada et al., 2012). К 2010 году таяние Антарктического ледового щита может привести к повышению уровня моря более чем на 1 м (De Conto and Pollard, 2016).

Рис. 27

Последние прогнозы повышения уровня моря к 2100 году по сравнению с прогнозами МГЭИК (2007а)

(Обозначения: 1 – IPCC (2007a): 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. Расхождения между прогнозами обусловлены различиями в подходах и исходных посылах)



15. В 1901–2013 годах глобальный средний уровень моря увеличился на 0,19 м (в среднем – на 1,7 мм·год⁻¹), тогда как в последние два десятилетия темпы его роста увеличились почти до 3,2 мм·год⁻¹. В 2081–2100 годах прогнозируется вероятный рост (по сравнению с 1986–2005 годами) в диапазоне 0,26–0,54 м для РТК 2.6 и 0,45–0,82 м для РТК 8.5. Предполагается, что увеличение крутизны кривой ПУМ в течение последних десятилетий обусловлено преимущественно увеличением масштабов таяния льдов Гренландского и Антарктического ледового щитов (например, Rignot et al., 2011; Hanna et al., 2013; IPCC, 2013). По оценкам повышения уровня моря, выполненным на основе альтернативных подходов, прогнозируемое повышение среднего уровня моря намного превышает прогнозы, сделанные десять лет назад (IPCC, 2007);

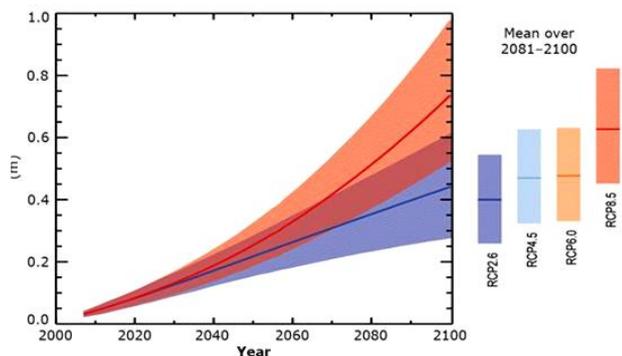
следует отметить, что МГЭИК неизменно представляет консервативные оценки (рис. 27). Повышение уровня моря (рис. 28) не прекратится в 2100 году (например, Jevrejeva et al., 2012), поскольку изменение теплосодержания океана может вызывать его термическое расширение еще в течение (как минимум) нескольких веков, а таяние и динамическое сокращение массы ледников Антарктики и Гренландии будут также продолжаться и в отдаленном будущем.

16. Следует отметить, что ввиду значительной наблюдаемой (и прогнозируемой) географической неравномерности темпов повышения уровня моря (рис. 29) при оценке его потенциальных последствий на том или ином участке побережья необходимо учитывать региональные тенденции (например, Carson et al., 2016).

17. Наблюдаемые изменения уровня моря в прибрежных зонах могут быть вызваны не только глобальными процессами, но и такими факторами регионального характера, как океаническая циркуляция (например, меридиональная опрокидывающая циркуляция, МОЦ), и региональными различиями в темпах таяния ледников, а также гляциоизостатическими сдвигами и образованием осадочных отложений (IPCC, 2013; King et al., 2015; Carson et al., 2016). Палеоклиматические, инструментальные и модельные исследования показали, что под воздействием совокупности глобальных и региональных факторов уровень моря у определенных участков побережья может повышаться относительно быстрыми темпами, существенно опережая общемировой показатель, составляющий к настоящему времени порядка $3 \text{ мм} \cdot \text{год}^{-1}$ (Cronin, 2012).

Рис. 28

Прогнозируемое повышение глобального среднего уровня моря в XXI веке по сравнению с 1986–2005 годами (IPCC, 2013)

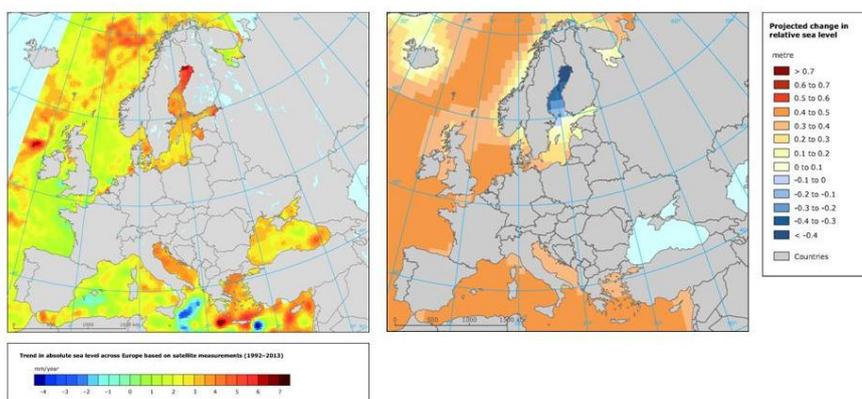


18. Согласно прогнозам для Соединенного Королевства, повышение уровня моря в XXI веке должно составить 0,12–0,76 м (без учета изменений уровня суши) в зависимости от сценария выбросов, причем в случае ускоренного таяния ледяного покрова оно будет еще более значительным (Lowe et al., 2009). В рамках реалистичного сценария с относительно большим уровнем выбросов Katsman et al. (2011) прогнозируют для побережья Нидерландов повышение уровня моря на 0,40–1,05 м. Marcos and Tsimplis (2008), основываясь на данных 12 глобальных климатических моделей и трех сценариев выбросов, прогнозируют повышение уровня Средиземного моря в XXI веке под действием температурных факторов на 0,03–0,61 м; при этом следует учитывать также изменения уровня моря, обусловленные соленостью, которые могут достигать 0,31 м (см. также EEA, 2012).

Рис. 29

Тенденции изменения абсолютного уровня моря в европейских морях, выявленные с помощью спутниковых измерений (1992–2013 годы) (ЕЕА, 2014b)

(Прогнозируемое изменение относительного уровня моря в 2081–2100 годах по сравнению с 1986–2005 годами на основе сценария средне-низкого уровня выбросов РТК 4.5 (по ансамблю климатических моделей МПСОМ5). Прогнозов для Черного моря нет. (ЕЕА, 2014c))



1.2.4 Экстремальные явления

Периоды аномальной жары

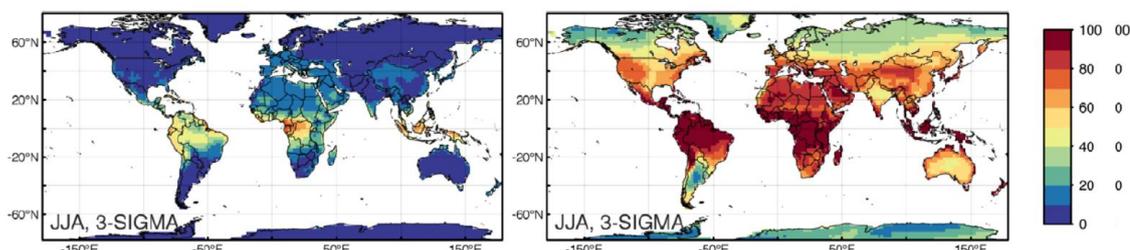
19. К концу XXI века ожидается повышение аномально высоких температур и снижение аномально низких зимних температур, причем их частота, длительность и интенсивность этих периодов будут зависеть от антропогенного воздействия (IPCC, 2013). Ожидается, что более выраженные изменения в жаркие периоды будут отмечаться в субтропических регионах и умеренных широтах (рис. 30), тогда как частота холодных дней будет уменьшаться во всех регионах. Во всех сценариях изменения климата в будущем в летнее время прогнозируется значительное увеличение частоты периодов крайне жаркой погоды.

20. Вероятно также, что частота и продолжительность периодов аномальной жары (продолжительный период чрезвычайно высоких температур) будут увеличиваться, причем в основном за счет повышения средних сезонных температур (рис. 31). Согласно сценарию РТК 8.5, существует вероятность того, что в большинстве районов суши жаркие периоды, которые в настоящее время наблюдаются один раз в 20 лет, станут отмечаться в два раза чаще (хотя во многих регионах они могут повторяться даже через каждые один–два года), в то время как периоды экстремальных холодов, наблюдаемые в настоящее время один раз в 20 лет, станут менее частыми (IPCC, 2013). В Европе прогнозируется значительное увеличение частоты аномально жарких периодов и высокие летние температуры, особенно при РТК 8,5 (рис. 30).

Рис. 30

Прогнозируемые изменения аномально высоких сезонных температур в 2071–2100 годах для РТК 2.6 и 8.5

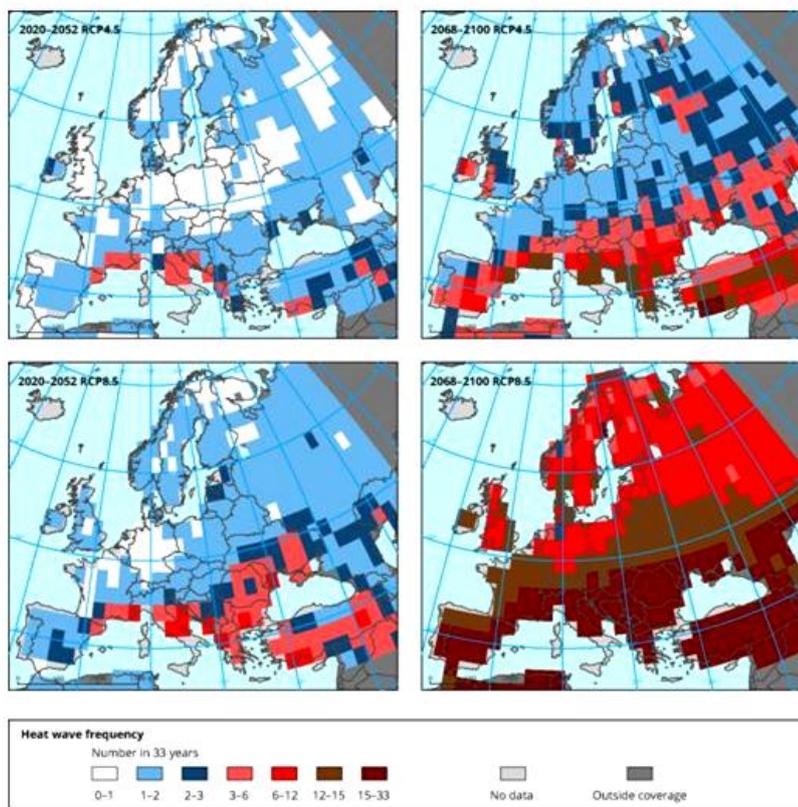
(Желтые, оранжевые/красные зоны показывают регионы, где (по крайней мере) каждые два года лето будет жарче, чем самое жаркое лето в период 1901–2100 годов (Coumou and Robinson, 2013))



21. В условиях нынешнего состояния климата периоды аномальной жары, подобные по своей интенсивности имевшему место в 2003 году, ожидаются примерно раз в столетие; в начале 2000-х годов его вероятность, по оценкам, должна была бы составлять примерно один раз в несколько тысяч лет. Атрибуционное исследование позволило предположить, что антропогенное воздействие увеличивает вероятность наступления такого события по крайней мере в два раза (MetOffice, 2014). Кроме того, недавние исследования показывают, что частотность периодов экстремальной жары, подобных наблюдавшемуся в России в 2010 году, к 2050 году может увеличиться в 5–10 раз (Dole et al., 2011).

Рис. 31

Медианное значение прогнозируемого числа периодов аномально высоких температур (для модельного ансамбля) в краткосрочной (2020–2052 годы) и долгосрочной (2068–2100 годы) перспективах по сценариям РТК 4.5 и РТК 8.5 (ЕЕА, 2015b)



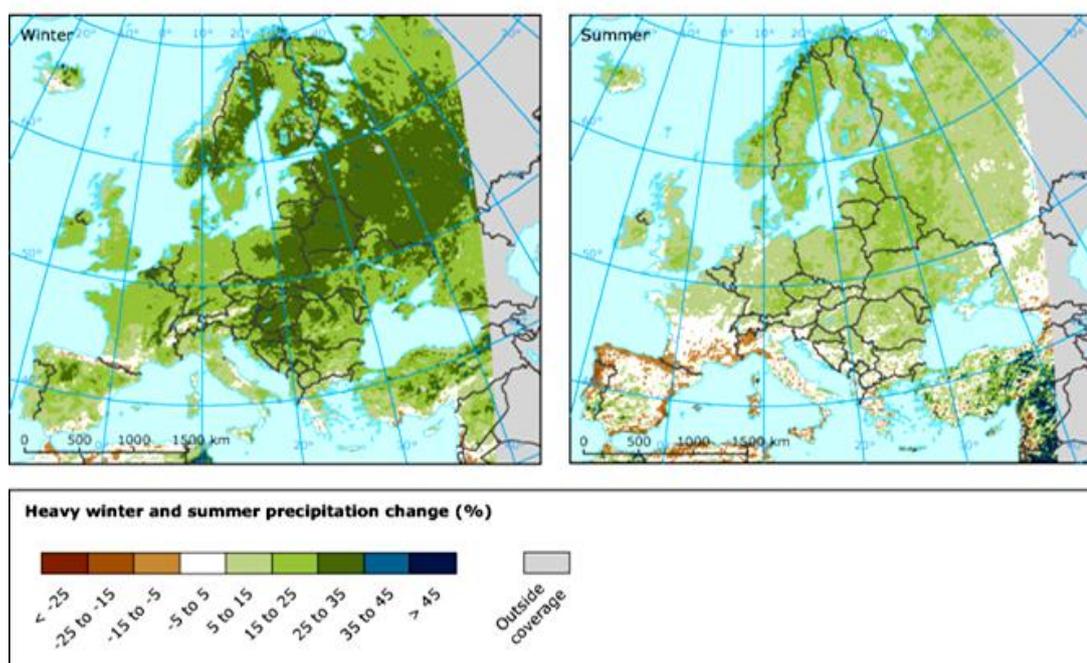
Сильные ливни

22. Такие связанные с водным циклом аномалии, как засухи, проливные дожди и наводнения, уже вызывают значительный ущерб. По мере повышения температур среднее количество осадков, выпадающих на разных территориях, будет значительно варьироваться. Согласно сценарию РТК 8.5, вполне вероятно, что к концу столетия, количество осадков увеличится на суше в высоких и умеренных широтах и уменьшится в субтропических засушливых и полусушливых районах. Экстремальные осадки, по всей вероятности, будут более интенсивными в большей части зоны умеренных широт и влажных тропических районов (IPCC, 2013). По прогнозам, к концу века в центральной и северо-

восточной Европе количество интенсивных осадков существенно возрастет (на 25%) (рис. 32). Климатические модели с высокой разрешающей способностью показывают, что с изменением климата могут усилиться обильные летние ливни (MetOffice, 2014). В Соединенном Королевстве, где лето станет в целом засушливее, вероятность сильных летних ливней (более 30 мм осадков в час) может увеличиться почти в пять раз (MetOffice, 2014).

Рис. 32

Прогнозируемые изменения интенсивности осадков (в %) в зимние и летние периоды в 2071–2100 годы по сравнению с 1971–2000 годами для сценария РТК 8.5 на основе среднего по ансамблю региональных климатических моделей (РКМ), вложенных в модели общей циркуляции (МОЦ) (ЕЕА, 2015с)



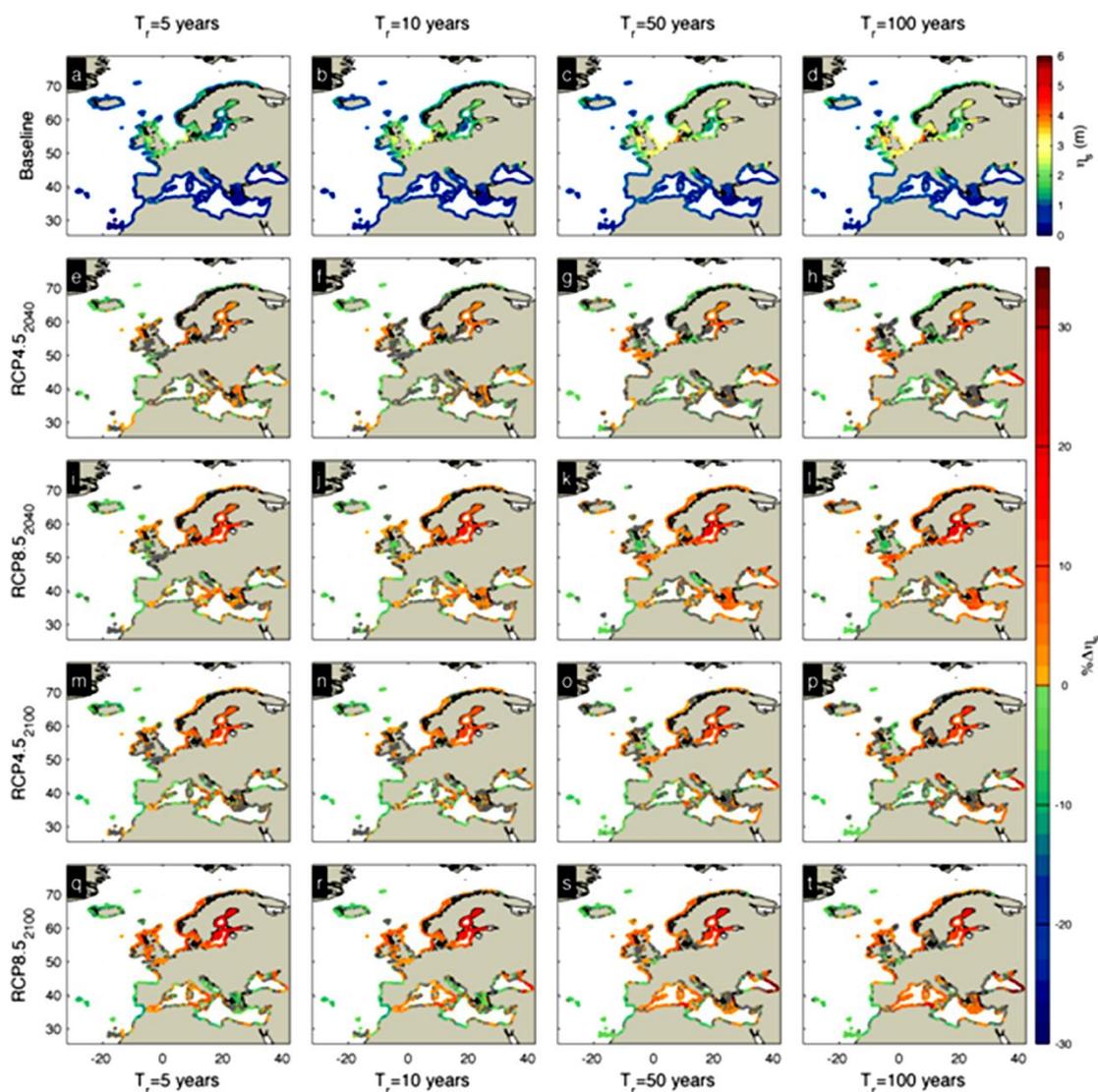
Штормы и речные наводнения

23. Несмотря на возникающие риски, связанные с экстремальными изменениями уровня воды в прибрежных зонах, информация об уровнях штормовых нагонов (УШН) в сценариях репрезентативных траекторий концентраций (РТК) по-прежнему ограничена (IPCC, 2013). Это объясняется главным образом тем, что большинство предыдущих исследований проводились в местном/региональном масштабе, вследствие чего: а) по ряду регионов нет никакой информации о прогнозируемых УШН и б) использование разных сценариев выбросов ПГ, климатических и океанических моделей, а также разнообразие прибрежных сред затрудняют подготовку общих выводов на глобальном или региональном уровне.

Рис. 33

Среднее по ансамблю для экстремальных УШН (м) вдоль европейской прибрежной зоны за периоды 5, 10, 50 и 100 лет (показаны в разных колонках), за базовый период (а–д), а также их прогнозируемые относительные изменения по сценариям РТК 4.5₂₀₄₀ (е–h), РТК 8.5₂₀₄₀ (i–l), РТК 4.5₂₁₀₀ (m–p), РТК 8.5₂₁₀₀ (q–t) (показаны в разных строках).

(Теплые/холодные цвета указывают соответственно на увеличение/снижение; точки, соответствующие значительным расхождениям между моделями, выделены серым цветом (Vousdoukas et al., 2016a)).



24. Для Европы прогнозы показывают большие уровни штормовых нагонов на побережье/в портах Атлантического океана и Балтийского моря во всех сценариях и моделях экстремальных штормовых условий (Vousdoukas et al., 2016a; Vousdoukas et al., 2017). В регионе Северного моря могут отмечаться некоторые из самых высоких УШН в Европе (рис. 33), причем прогнозы указывают на повышение вероятности экстремальных условий, особенно вдоль восточного побережья. Согласно прогнозам, ожидается повышение УШН в районах вдоль Атлантического побережья Соединенного Королевства и Ирландии, что главным образом обусловлено все более частыми экстремальными условиями в зимний период. Атлантическое побережье Франции, Испании и Португалии подвержено также воздействию очень сильных волн (Pérez et al. 2014). Изучается динамика штормовых нагонов в Средиземном море; в исследованиях, основанных на сценариях СДСВ, существует консенсус по поводу отсутствия каких-либо негатив-

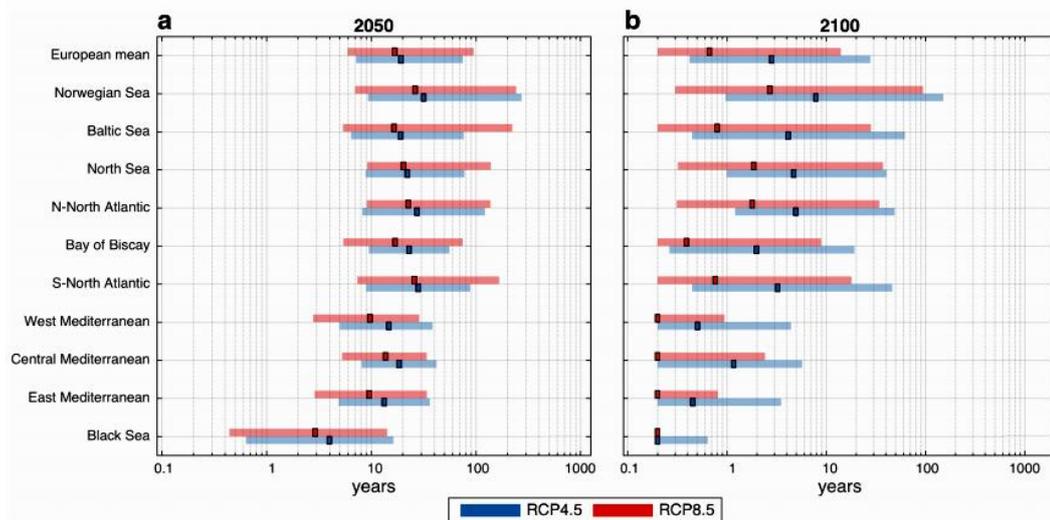
ных изменений в том, что касается экстремальных явлений, или даже прогнозируется снижение их частоты и интенсивности (Conte and Lionello 2013; Androulidakis et al. 2015). Эти выводы соответствуют зафиксированным историческим тенденциям (Menéndez and Woodworth 2010), а также последним выводам, согласно которым прогнозируемые изменения в основном укладываются в диапазон $\pm 5\%$ в сторону повышения или снижения (Vousdoukas et al., 2016a). Северная Адриатика изучена более тщательно в связи с нахождением там крайне уязвимого (и социально-экономически важного) района Венеции; при этом большинство предыдущих прогнозов указывали на отсутствие статистически значимых изменений или даже уменьшение соответствующих показателей (Mel et al. 2013), хотя Lionello et al. (2012) на основе сценария B2 СДСВ прогнозируют увеличение частоты экстремальных явлений в окружающем Венецию районе.

25. Следует отметить, что более 200 млн человек во всем мире живут вдоль береговой линии, находящейся менее 5 м над уровнем моря; по оценкам, к концу XXI века их число возрастет до 400–500 млн. Рост уязвимости (населения и имущества), повышение уровня моря, вызванное изменением климата, а в некоторых регионах и значительное проседание берегов из-за забора воды в прибрежной зоне/подземных вод в той или иной степени приведут к увеличению риска наводнений. Например, повышение относительного уровня моря на один метр увеличивает частоту наводнений, нынешняя периодичность которых составляет один раз в 100 лет, почти в 40 раз в Шанхае, почти в 200 раз в Нью-Йорке и почти в 1 000 раз в Колкате (WMO, 2014).

Рис. 34

Период повторяемости ЭУМ с нынешней периодичностью один раз в 100 лет для РТК 4.5 и РТК 8.5 в 2050 (а) и 2100 (б) годах. Темно окрашенные ячейки соответствуют среднему по ансамблю значению, а цветные полоски указывают на вариативность между моделями (от наилучших показателей к наихудшим)

(Указаны средние значения для побережья Европы, а также побережий 10 географических регионов (Vousdoukas et al., 2017))



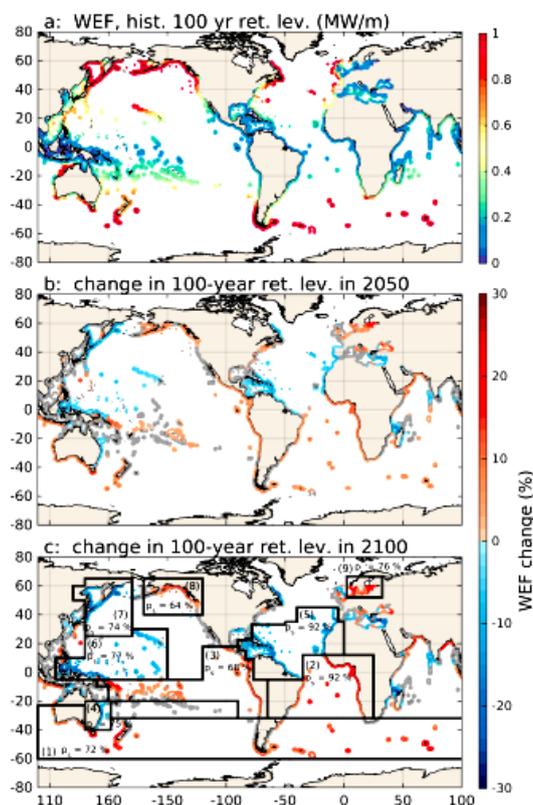
26. Hallegatte et al. (2013) предполагают, что примерно в течение последующих 50 лет для 136 крупнейших прибрежных городов: i) ущерб может возрасти с 6 млрд долл. США/год до 52 млрд долл. США/год исключительно по причине увеличения численности населения и имущества; ii) если системы защиты от наводнений не модернизировать, то ежегодные потери могут достигнуть 1 трлн долл. США/год или более; iii) даже в случае модернизации этих систем существует вероятность роста масштабов потерь, поскольку наводнения могут стать более интенсивными из-за увеличения глубины воды по мере повышения относительного уровня моря. В этой связи возникает вопрос о том, существуют

ли потенциальные пороговые значения, в случае превышения которых нынешние и прогнозируемые тенденции роста населения в прибрежных районах могут быть обращены вспять (King et al., 2015). С учетом норм для прибрежных систем защиты от наводнений и неопределенности по поводу их эффективности примерно 5 млн человек в Европе могут быть затронуты такими явлениями, как экстремальный уровень моря (ЭУМ), нынешняя периодичность которых составляет один раз в 100 лет (Vousdoukas et al., 2016b).

Рис. 35

Прогнозируемые потоки энергии волн (ПЭВ) вдоль глобальной береговой линии: а) базовый уровень с повторяемостью один раз в 100 лет и относительное изменение ПЭВ с повторяемостью один раз в 100 лет для б) 2050 года и с) 2100 года

(Серыми точками отмечены районы без каких-либо существенных изменений. Для варианта с) районы, в которых ожидаются значительные изменения, указаны вместе с процентными пунктами в случае значительного повышения показателей. 1) Южная умеренная зона, 2) Южная Атлантика, 3) субэкваториальная тропическая восточно-тихоокеанская зона, 4) восточная часть Австралии; 5) северная тропическая часть Атлантики, 6) северо-западная тропическая тихоокеанская зона, 7) северо-западная тихоокеанская зона, 8) северо-восточная тихоокеанская зона и 9) Балтийское море (Mentaschi et al., 2017))



27. Согласно прогнозам, после усреднения по береговым линиям Европы ЭУМ³ с нынешней периодичностью один раз в 100 лет будет наблюдаться примерно каждые 11 лет к 2050 году и каждые 3 года и 1 год к 2100 году соответственно при РТК 4.5 и РТК 8.5 (рис. 34). Таким образом, 5 млн европейцев, проживающим в районах, для которых периодичность затопления в настоящее время составляет один раз в 100 лет, к концу века такая опасность будет грозить практически ежегодно (Vousdoukas et al., 2017). В некоторых регионах будет наблюдаться еще более значительное увеличение частотности экстремальных явлений, особенно вдоль побережий Средиземного и Черного морей, где про-

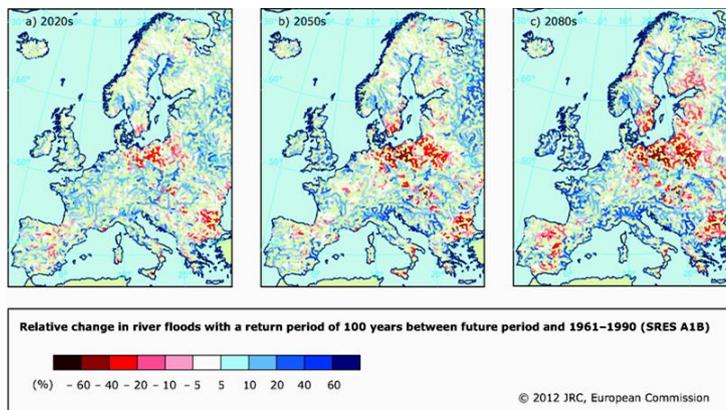
³ Экстремальный уровень моря (ЭУМ) представляет собой сочетание среднего уровня моря, прилива, уровня штормового нагона (УШН) и заплеска волны (Losada et al., 2013).

гнозируется еще большее повышение периодичности ЭУМ, частота которых на сегодняшний день составляет один раз в 100 лет.

28. Согласно недавно полученным результатам моделирования для сценария с высоким уровнем выбросов (РТК 8.5), к концу XXI века прогнозируется значительное увеличение (до 30%) потоков энергии волн (ПЭВ), наблюдаемых один раз в 100 лет, для большинства прибрежных районов южной умеренной зоны, за исключением восточной части Австралии, южной Атлантики и субэкваториальной тропической восточно-тихоокеанской зоны (Mentaschi et al., 2017). Для сравнения: согласно прогнозам, в обширных прибрежных районах СП будет наблюдаться отрицательная динамика, за исключением северо-восточной тихоокеанской зоны и Балтийского моря (рис. 35), для которых прогнозируется тенденция к повышению (увеличение до 30%).

Рис. 36

Относительное изменение минимальной водоносности рек в а) 2020-е годы, б) 2050-е годы и в) 2080-е годы по сравнению с периодом 1961–1990 годов согласно сценарию А1В СДСВ (ЕЕА, 2012)



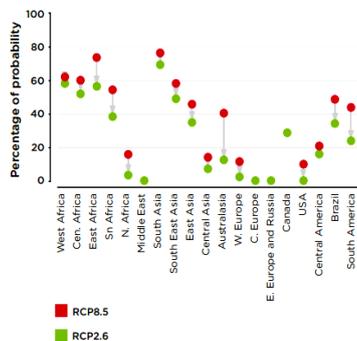
29. Паводки также представляют собой серьезную угрозу для населения планеты, принимая во внимание наблюдаемые и четко задокументированные увеличения стоков до экстремального уровня (Feijen et al., 2010). Масштабы ущерба обусловлены главным образом растущей уязвимостью населения и инфраструктуры в зонах риска наводнений (IPCC, 2013). Прогнозируемые изменения динамики паводков для Европы показаны на рис. 36.

30. На рис. 37 показан риск наводнений в разбивке по регионам, где в результате изменения климата число тех, кто подвергается риску наводнений с периодичностью один раз в 30 лет, возрастет более чем на 50% по сравнению с ситуацией без изменения климата. 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 это может произойти и в Азии, составляет 30–70%. К 2100 году эти риски возрастут (King et al., 2015). Демографические изменения уже сами по себе приведут к увеличению числа людей, которые могут пострадать от наводнений. Согласно сценарию с высоким уровнем выбросов (РТК 8.5), общемировой показатель увеличивается весьма существенно (примерно в пять–шесть раз за столетие) в основном за счет роста в Южной, Юго-Восточной и Восточной Азии (King et al., 2015). Что касается региона ЕЭК, то в 2050 году последствия наводнений, согласно прогнозам, будут менее серьезными, нежели в других регионах; вместе с тем в некоторых частях региона ЕЭК в 2100 году прогнозируется значительное ухудшение ситуации (рис. 37).

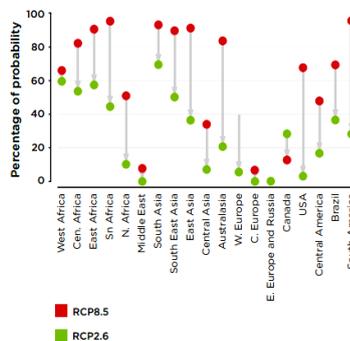
Рис. 37

Вероятность того, что в результате изменения климата число тех, кто подвергается риску наводнений с нынешней периодичностью один раз в 30 лет, возрастет более чем на 50% по сравнению с ситуацией без изменения климата, для двух РТК. В качестве допущения используется средний вариант прогнозируемого демографического роста (King et al., 2015)

2050: probability of number of people affected by flooding increasing by >50%



2100: probability of number of people affected by flooding increasing by >50%



1.3 Последствия для транспорта: краткий обзор

31. Что касается уязвимости транспортных сетей перед ИИК, то в ходе последнего обзора (ЕСЕ, 2013) было установлено, что а) объекты транспортной инфраструктуры, как правило, являются более чувствительными к таким экстремальным явлениям, как штормовые нагоны, выпадение большого количества осадков, периоды аномальной жары и сильные ветры, чем к постепенным изменениям средних значений климатических параметров; б) климатические факторы оказывают большее влияние на обслуживание, перевозки и безопасность, чем на материальную инфраструктуру, поскольку критический уровень непогоды, при котором возможны задержка или отмена транспортных услуг, ниже, чем для причинения ущерба инфраструктуре, и с) объекты транспортной инфраструктуры уязвимы перед стресс-факторами, возникновение которых относительно маловероятно по сравнению с обычными изменениями погоды. Например, верхние конструкции мостов Мексиканского залива США оказались уязвимыми перед нагрузкой от прямого воздействия волн из-за беспрецедентного повышения уровня моря в прибрежных районах в результате штормового нагона воды во время урагана Катрина (2005 год) (USDOT, 2012).

32. Такие экстремальные гидрометеорологические явления, как проливные дожди/наводнения и засухи уже наносят серьезный ущерб транспортной инфраструктуре и сектору транспортных услуг. Изменения, связанные с экстремальными осадками, могут привести к паводкам, преодоление последствий которых для сетей внутреннего транспорта будет сопряжено с особенно высокими затратами (Hooreg and Charman, 2012), поскольку основные автомобильные и железные дороги пролегают по пойменным долинам или пересекают их; они могут также иметь серьезные последствия для автобусных станций, стационарных объектов железнодорожного транспорта и работы внутреннего водного транспорта. Прямой ущерб может быть причинен во время или сразу после выпадения обильных осадков и требует срочной ликвидации, а также мер, направленных на поддержку структурной целостности и состояния автомобильных дорог, мостов, дренажных систем и туннелей (USDOT, 2012).

33. Согласно прогнозам, наводнения и размывы у мостовых опор будут создавать серьезную угрозу для автомобильных и железнодорожных сетей, тогда как прогнозируемое увеличение количества ливней и наводнений повлечет за собой также рост числа дорожно-транспортных происшествий, связанных с неблагоприятными погодными условиями (вследствие ущерба транспортным

средствам и дорогам и плохой видимости), задержки и нарушение транспортного сообщения (например, Hambly et al., 2012). Ожидается, что сети автомобильных дорог будут серьезно затронуты прогнозируемым увеличением количества сильных ливней и наводнений в связи с различными последствиями выпадения большого количества осадков для разных типов дорожного покрытия, асфальта и бетона; для преодоления этих последствий потребуются адаптивные методы технического обслуживания, в частности сооружение надлежащих дренажных систем и использование водонепроницаемых дорожных покрытий и модифицированных полимерами связующих материалов (например, Willway et al., 2008). В районах, где наводнения уже стали обычным явлением, проблемы станут более частыми и серьезными. Стоячие воды после наводнения могут наносить большой ущерб и иметь серьезные финансовые последствия; например, ущерб, связанный с длительным затоплением 200 миль дорог местного значения на территории штата Луизиана, был оценен в 50 млн долл. США (Karl et al., 2009). В США объем затрат на адаптационные меры для подверженных паводкам (автомобильных и железнодорожных) мостов в XXI веке, по оценкам, составит 140–250 млрд долл. США (Wright et al., 2012). Для 27 государств – членов ЕС прогнозируемые расходы являются менее высокими: будущие затраты на защиту мостов от наводнений, по оценкам, будут составлять до 0,54 млрд долл. США в год (ЕС, 2012 год; ECE, 2015).

34. Существует также вероятность причинения серьезного ущерба железнодорожной инфраструктуре, который может выражаться, в том числе, в выходе из строя путевого оборудования и оборудования на полосах отчуждения, размыве грунта мостовых опор и насыпей из-за высокого уровня воды в реках и эрозии грунта вокруг водопропускных труб, оползнях, а также проблемах, связанных с обеспечением безопасности персонала и доступом к паркам транспортных средств и ремонтным мастерским. В Соединенном Королевстве расходы, связанные с экстремальными осадками/наводнениями, которые уже оцениваются в 50 млн фунтов стерлингов в год, могут увеличиться до 500 млн фунтов стерлингов в год к 2040-м годам (Rona, 2011). Кроме того, согласно прогнозам, более катастрофические последствия в будущем будут иметь ветры экстремальной силы (например, Rahmstorf, 2012), особенно в прибрежных районах, где они могут вызывать перелив воды через защитные береговые сооружения и затопление железных дорог в прибрежных и устьевых районах. Ветры экстремальной силы могут приводить также к выходу из строя объектов инфраструктуры и сбоям в обслуживании из-за разрушений и переносимых обломков (например, PIARC, 2012; ECE, 2013; 2015).

35. Прогнозируемое увеличение частоты периодов сильной жары также может создать серьезные проблемы для железнодорожного и автомобильного (а также воздушного) сообщения и перевозок в результате температурного выброса путей, повреждения дорожного покрытия и необходимости сокращения полезной нагрузки для воздушных судов. Прогнозируемое увеличение числа дней с температурой выше 38 °C (Vogel et al., 2017) может привести к учащению случаев выхода из строя дорожной инфраструктуры. Летом более сухая и жаркая погода вызывает износ и/или проседание дорожного покрытия, что приводит к ухудшению его рабочих характеристик и устойчивости к внешнему воздействию (PIARC, 2012). По прогнозам, составленным на основе моделей, дополнительный ежегодный объем расходов, связанных с усовершенствованием нижнего слоя асфальтобетонного покрытия на дорогах в 27 государствах – членах ЕС, по сценарию A1B⁴ СДСВ оценивается в €38,5–135 млн долл. США в период 2040–2070 годов и €65–210 млн долл. США в 2070–2100 годы. Вместе с тем, следует отметить, что дорожное покрытие обычно обновляется каждые 20 лет и такие последствия изменения климата можно будет учесть при его замене.

⁴ Этот сценарий примерно соответствует сценарию РТК 6.0 в ОД5 МГЭИК.

36. Следствием потепления климата в Арктике может стать увеличение продолжительности периода арктической навигации и открытие новых судоходных маршрутов. У арктических народов могут появиться новые экономические возможности, поскольку отступление льда облегчает доступ к важным месторождениям углеводородов (в море Бофорта и Чукотском море) и международной торговле. В то же время потепление в Арктике приведет к а) активизации процесса береговой эрозии из-за усиления волновой активности вдоль береговой линии в полярных районах Канады, Российской Федерации и США (например, Lantuit and Pollard, 2008) и б) увеличению расходов на развитие и обслуживание транспортной инфраструктуры в результате таяния вечной мерзлоты (ECE, 2015). Таяние вечной мерзлоты (например, Streletskiy et al., 2012) создает такие серьезные проблемы для транспортного сектора, как оседание и/или вздутие грунта из-за его промерзания, что может негативно сказываться на конструктивной целостности дорожного полотна и его несущей способности. В арктических районах многие автомагистрали уже проходят по территориям с прерывистой мерзлотой, что сопряжено со значительными эксплуатационными расходами и ограничениями на эксплуатацию этих дорог (Karl et al., 2009). Ожидается, что с прогнозируемым увеличением масштабов/глубины таяния вечной мерзлоты эти проблемы будут становиться все более серьезными (EEA, 2015a).

37. Внутренний водный транспорт также может пострадать как от разливов рек, так и от засух. Разливы рек могут иметь такие серьезные последствия, как приостановка навигации, заиливание, изменение морфологии рек, а также разрушения берегов и противопаводковых сооружений (ECE, 2013). Внутренние водные пути также являются уязвимыми в случае низкого уровня воды во время засухи. Недавние исследования⁵, проведенные на примере коридора Рейн–Майн–Дунай (РМД), показали, что за 20-летний период средняя сумма ежегодных потерь из-за низкого уровня воды составила порядка 28 млн долл. США (см. также Jonkeren et al., 2007). Вместе с тем из прогнозов, подготовленных с использованием различных климатических моделей, следует, что до 2050 года маловодие в коридоре РМД не будет иметь серьезных последствий; тем не менее, в засушливые годы возможно увеличение совокупных транспортных расходов на 6–7% по сравнению с дождливыми годами.

38. Последствия ИИК для европейских транспортных систем были изучены в рамках двух недавних европейских проектов⁶. При реализации обоих проектов отмечалась нехватка надежной информации для анализа уязвимости разных видов транспорта. По оценкам, в период 1998–2010 годов ежегодный объем прямых затрат, понесенных транспортным сектором, в частности на ремонт и обслуживание транспортной инфраструктуры и ликвидацию ущерба, нанесенного транспортным средствам, включая дополнительные оперативные расходы, составил 2,5 млрд долл. США, а ежегодные косвенные издержки в результате сбоев транспортного сообщения были оценены в 1 млрд долл. США. Самым уязвимым видом транспорта является железнодорожный, причем «проблемные участки» сосредоточены в Восточной Европе и Скандинавии, тогда как последствия для автомобильных дорог (главным образом в результате ДТП, обусловленных метеорологическими условиями) распределены более равномерно.

39. Прибрежная транспортная инфраструктура (прибрежные дороги, железные дороги, морские порты и аэропорты) несоразмерно больше пострадает в результате ИИК, поскольку, помимо вышеуказанных трудностей, ее необходимо будет адаптировать с учетом растущей проблемы затопления прибрежных районов. В регионе ЕЭК среднее ПУМ и увеличение штормовых приливов и волн, особенно вдоль побережья северо-западной части Европы, Балтийского моря и северо-восточной части тихоокеанского побережья США и Канады (например, Voudoukas et al., 2016a; Mentaschi et al., 2017), может иметь весьма серьезные

⁵ EU FP7-ECCONET Project, www.tmlleuven.be/project/ecconet/home.htm.

⁶ Проекты EU-FP7 WEATHER www.weather-project.eu и EWENT (www.weather-project.eu/weather/inhalte/research-network/ewent.php).

последствия, включая затопление дорог, железнодорожных линий и туннелей в прибрежных районах. Затопление прибрежных районов может сделать транспортные системы непригодными в течение всего периода наводнения и нанести ущерб терминалам, интермодальным объектам, логистическим центрам, складским участкам и грузам, тем самым нарушая функционирование цепей поставок на еще более длительное время (ECE, 2013; 2015). По оценкам Pecherin et al (2010), при повышении ЭУМ на 1 м по сравнению с уровнем затопления при штормах⁷, наблюдаемых на сегодняшний день один раз в 100 лет, сумма ущерба и затрат на ремонт автомобильных дорог категории А в материковой части Франции составит до 2 млрд евро, не считая оперативные расходы и обеспечение стыкуемости. В другом исследовании (ЕС, 2012) была выполнена предварительная оценка будущих рисков для транспортной инфраструктуры прибрежных районов Европы в результате повышения среднего уровня моря (ПУМ) и штормовых нагонов воды на основе сопоставления высоты размещения прибрежной инфраструктуры с уровнем воды при повышении среднего уровня моря на 1 м в сочетании со штормовым нагоном, наблюдаемым один раз в 100 лет; было установлено, прибрежная транспортная инфраструктура (например, прибрежные дороги), которая подвергается риску, составляет 4,1% от общего числа инфраструктурных объектов, а ее стоимость достигает порядка 18,5 млрд долл. США. Вместе с тем, по мере подготовки более подробных прогнозов в отношении будущих экстремальных уровней моря (ЭУМ) и прибрежной волновой активности (Vousdoukas et al., 2016b; 2017; Mentaschi et al., 2017) в регионе ЕЭК (и за его пределами) будет целесообразно провести повторную оценку потенциального воздействия затопления на транспортную инфраструктуру ЕЭК при различных сценариях ИИК.

40. Наконец, следует отметить, что транспорт является отраслью, развитие которой определяется спросом. Изменчивость и изменение климата может существенно повлиять практически на все отрасли экономики, косвенно затронув тем самым транспортные услуги, например, за счет изменения спроса на сырьевые товары и туристические перевозки (ECE, 2015).

1.4 Резюме

41. В настоящей главе представлен обзор долгосрочных и недавних тенденций и изменений для различных климатических факторов, которые могут затрагивать транспорт, а также обзор последних прогнозов эволюции этих факторов в XXI веке для различных сценариев выбросов. Ниже приводятся основные выводы.

Тенденции

42. Научные наблюдения в верхних слоях атмосферы и толще океана позволили получить убедительные свидетельства потепления климата на планете начиная с XIX века. С конца XIX века средняя глобальная температура у поверхности Земли увеличилась на 1,1 °С, причем последний шестилетний период (2011–2016 годы) был самым теплым в истории. 2016 год был также самым жарким годом за всю историю наблюдений (на 1,1 °С выше по сравнению со средней температурой 14,0 °С в период 1901–2000 годов). В регионе ЕЭК температуры более чем на 1 °С превысили средний показатель для большей части Европы, Северной Азии и юго-запада США за 1961–1990 годы, а в отдельных частях Российской Арктики средние значения были превышены более чем на 3 °С. Комплексное теплосодержание океанов в слое от 0 до 700 м было выше, чем когда-либо ранее, а температура поверхности (ТПМ) в большинстве океанов превысила среднюю. Имеющиеся данные свидетельствуют о том, что

⁷ В исследовании использовались следующие допущения в отношении расходов: средняя стоимость объектов инфраструктуры на 1 км дорожного покрытия – 10 млн евро; стоимость ремонта – порядка 250 тыс. евро/км.

во многих регионах пиковые значения высоких температур растут, а низких – падают.

43. Данные о выпадении осадков указывают на повышательную тенденцию в XX веке, особенно в средних и высоких широтах, а также выраженную региональную изменчивость, которая во многих случаях, как представляется, обусловлена климатической модуляцией в результате явлений «Эль-Ниньо – Южное колебание» (ЭНСО) и североатлантической осцилляции (САО). В последнее время (2011–2016 годы) ЭНСО, а именно «Ла-Нинья» в 2011–2012 годах и выраженное явление «Эль-Ниньо» в 2015–2016 годах, оказывало серьезное влияние на выпадение осадков на суше. В 2016 году на обширной территории, простирающейся от Казахстана по западной части Российской Федерации до Финляндии, севера Швеции и Норвегии, уровень осадков превысил 90-й процентиль; в то же время на большой территории на севере и в центральной части Российской Федерации были отмечены засушливые условия, причем в значительной части района между Уральскими горами и озером Байкал и к северу от 55-й параллели северной широты уровень осадков оказался ниже 10-го процентиля.

44. Во многих частях региона ЕЭК отмечается также увеличение количества (интенсивности и/или частотности) осадков. Судя по всему, одной из наиболее выраженных тенденций является увеличение частоты и интенсивности ливневых дождей в тех районах, где уже существует значительный риск наводнений (с периодичностью один раз в 100 лет), например в Центральной и Восточной Европе, Центральной Азии и в бассейнах крупных сибирских рек, текущих в северном направлении. Соответствующие прогнозы указывают на то, что к концу века ущерб от наводнений значительно возрастет, причем в северных районах он, как правило, будет более значительным, чем в южных. Кроме того, имеются данные, свидетельствующие об учащении и усилении периодов аномальной жары и засухи в некоторых регионах (например, в Средиземноморье).

45. За последние несколько десятилетий в Арктическом регионе, судя по всему, сложилась тенденция к сокращению площади и продолжительности залегания снежного покрова. В период 1967–2012 годов было зарегистрировано сокращение снежного покрова (в июне) на 11,7% за каждое истекшее десятилетие. Однако эта тенденция не является равномерной; в некоторых регионах (например, Альпы и Скандинавия) глубина снежного покрова неуклонно уменьшается в низинах, но увеличивается в горах, тогда как в других районах (например, в Карпатах, Пиренеях и на Кавказе) какая-либо стабильная динамика не прослеживается. В средних широтах сократилось количество морозных дней. Толщина и площадь арктического морского льда продолжала резко снижаться. В 2016 году площадь морского ледяного покрова была значительно ниже средней величины и находилась на рекордно низком уровне в течение значительной части года. Максимальная сезонная площадь в марте составила 14,52 млн км², что является самым низким максимальным сезонным показателем, зарегистрированным при помощи спутниковых наблюдений за период 1979–2016 годов. Продолжилось также ухудшение состояния горных ледников. Кроме того, продолжала сокращаться площадь вечной мерзлоты; в последнее время в арктических районах вечной мерзлоты наблюдалось повышение температуры грунта на глубину до 20 метров.

46. С 1860 года повышение уровня моря составило около 0,20 м, при этом темпы повышения, особенно с 1990-х годов, постепенно ускоряются. Согласно результатам спутниковых наблюдений (за период 1993–2015 годов), была выявлена тенденция к ПУМ на 3–3,2 мм·год⁻¹, что значительно превышает средний показатель за период 1900–2010 годов (1,7 мм·год⁻¹).

47. Экстремальные гидрометеорологические явления (например, периоды сильной жары и холода, тропические циклоны, наводнения, засухи и сильные штормы) также набирают силу; к счастью, людские потери не повторяют тенденцию резкого роста, которая характерна для экономических потерь, вызванных этими аномалиями.

Прогнозы

48. Последние прогнозы климатических факторов, которые могут негативно сказываться на состоянии транспортной инфраструктуры и перевозок, представлены ниже. Как правило, трудности, которые некоторые климатические факторы вызывают для транспортной инфраструктуры на сегодняшний день, значительно возрастут.

49. К концу XXI века средняя температура окружающей среды возрастет на 1,0–3,7 °С по сравнению со средней температурой в период 1986–2005 годов в зависимости от сценария РТК. Температура океанов будут возрастать при всех сценариях, причем наиболее высокие ТПМ прогнозируются в субтропических и тропических регионах. К концу XXI века ожидается повышение аномально высоких температур и снижение аномально низких температур, особенно в средних широтах. Согласно прогнозам, максимальные значения температур (ТХ_х) будут характеризоваться большими региональными различиями; в Центральной Европе, в центральной части Северной Америки и на севере Австралии эти значения, вероятно, возрастут. Ожидается, что частотность и продолжительность периодов сильной жары увеличится во многих регионах (включая Европу), особенно в сценариях с высоким уровнем выбросов. Существует вероятность того, что для большинства районов суши частотность жарких периодов, наблюдаемых в настоящее время каждые 20 лет, удвоится; в некоторых регионах они могут повторяться даже каждые один–два года. В то же время экстремальные холода, нынешняя периодичность которых составляет двадцать лет, станут менее частыми.

50. По мере повышения температур характер выпадения осадков на разных территориях будет значительно варьироваться. Количество осадков увеличится на суше в высоких и умеренных широтах и уменьшится в субтропических засушливых и полусушливых районах. Экстремальные осадки, по всей вероятности, будут более интенсивными в большей части зоны умеренных широт и влажных тропических районов. По прогнозам, к концу века в центральной и северо-восточной Европе число случаев выпадения обильных осадков существенно возрастет (на 25%). В то же время в середине – конце XXI века в большинстве районов на юго-западе Северной Америки прогнозируются обширные засухи. Для сравнения: в южной части Европы и Средиземноморье, Центральной Европе и других регионах Северной Америки прогнозируется уменьшение продолжительности/интенсивности засух.

51. Согласно прогнозам, в арктических районах главным образом в зимний период увеличится объем осадков в виде снега и дождя. Вместе с тем, хотя во многих районах ожидается увеличение максимальной глубины снежного покрова в зимний период (особенно в Сибири), раннее таяние приведет к значительному сокращению (на 25%) весеннего снежного покрова в Северном полушарии (СП). Что касается горных ледников и ледниковых шапок, то прогнозы указывают на сокращение их массы к концу века на 10–30%. Моделирование позволяет спрогнозировать также ускоренное таяние вечной мерзлоты из-за повышения температур и изменений снежного покрова. Нынешние темпы потепления в европейской части вечной мерзлоты составляют 0,04–0,07 °С·год⁻¹, и, хотя оценка масштабов изменения вечной мерзлоты сопряжена с трудностями, прогнозы указывают на сокращение площади вечной мерзлоты к 2100 году (средняя степень уверенности) на 37% и 81% соответственно для сценариев РТК 2.6 и РТК 8.5.

52. Вероятно также, что площадь/толщина арктического морского льда будет продолжать уменьшаться, хотя возможны значительные межгодовые колебания. В период 2081–2100 годов прогнозируется сокращение площади арктического льда на 8–34% (в феврале) и 43–94% (в сентябре) (по сравнению со средней площадью в 1986–2005 годы) для сценариев РТК 2.6 и РТК 8.5. Это может позволить открыть крупные судоходные маршруты в Арктике, что вместе с тем, возможно, будет сопряжено с экологическими рисками и проблемами в области развития в связи с последствиями прогнозируемого таяния вечной мерзлоты

для развития и обслуживания необходимой прибрежной инфраструктуры и наземной транспортной инфраструктуры, предназначенной для обслуживания этих маршрутов.

53. Ожидается также увеличение рисков ИИК для прибрежной транспортной инфраструктуры ЕЭК. Повышение уровня моря в регионе ЕЭК зависит от сценария выбросов, причем в случае ускоренного таяния ледяного покрова оно будет еще более значительным. Так, например, для побережья Северного моря прогнозируется повышение среднего уровня моря на 0,40–1,05 м, тогда как для Средиземноморского побережья ожидаются несколько менее высокие темпы роста. Для Европы во всех сценариях и моделях экстремальных штормовых условий прогнозируются большие уровни штормовых нагонов на побережье (и в портах) Атлантического океана, Северного моря и Балтийского моря. Для южной части Европы прогнозы являются более обнадеживающими, а ожидаемые изменения в уровнях штормовых нагонов основном укладываются в диапазон $\pm 5\%$.

54. Недавние исследования указывают на снижение потоков энергии волн (ПЭВ) (по сравнению с уровнем с повторяемостью один раз в 100 лет) вдоль побережья в регионе ЕЭК, за исключением северо-восточной тихоокеанской зоны и Балтийского моря, для которых прогнозируется тенденция к увеличению ПЭВ до 30%. Что касается экстремального уровня моря (ЭУМ) и наличия прибрежных систем защиты от наводнений, действующих в их отношении норм и неопределенности по поводу их эффективности, то следует отметить, что порядка 5 миллионов человек в Европе могут быть затронуты явлениями ЭУМ, периодичность которых на сегодняшний день составляет один раз в 100 лет. Согласно прогнозам, после усреднения по береговым линиям Европы такие ЭУМ будут наблюдаться примерно каждые 11 лет к 2050 году и каждые 1–3 года к 2100 году (РТК 4.5 и РТК 8.5). Таким образом, миллионам европейцев, проживающих в районах, для которых периодичность затопления в настоящее время составляет один раз в 100 лет, к концу века такая опасность будет грозить практически ежегодно. В некоторых регионах, особенно вдоль побережий Средиземного и Черного морей, согласно прогнозам, будет наблюдаться еще более значительное увеличение частотности экстремальных явлений; согласно прогнозам, в этих районах такие явления будут иметь место еще чаще. Представляется, что последствия этих событий для прибрежной транспортной инфраструктуры (и соответствующих цепей поставок) должны стать предметом неотложной и обстоятельной оценки.

III. Библиография

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

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)

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

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 twentieth century. *Global and Planetary Change* 106, 77-83

- Caldeira, K. 2009. Ocean acidification: Humanity and the environment in geologic time, IOP Conference Series: Earth and Environmental Sciences 6(3), 462004
- Canadell J.G., Le Quere C., Raupach M.R., Field C.R., Buitenhuis E., Ciais P., Conway T.J., Gillett N.P., Houghton R.A. and Marland G., 2007. Contributions to accelerating atmospheric CO₂ 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., Slangen A.B.A., Katsman C.A., van de Wal R.S.W., Church, J. and White, N. 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)
- Church, J. A. and White, N. J. 2006. A twentieth century acceleration in global sea-level rise. *Geophysical Research Letters* 33, L01602. (doi:10.1029/2005GL024826)
- Church J.A., Clark P.U., Cazenave A., Gregory J.M., Jevrejeva S., Levermann A., Merrifield M.A., Milne G.A., Nerem R.S., Nunn P.D., Payne A.J., Pfeffer W.T., Stammer D., Unnikrishnan A.S., 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., Tignor M., Allen S.K., Boschung J., Nauels A., Xia Y., Bex V., Midgley P.M. [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) iop-science.iop.org/article/10.1088/1748-9326/8/3/034018/meta
- Cowtan, 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 Schuckman and H. Palanisamy, 2017. 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
- Dole et al., 2011. Was there a basis for anticipating the 2010 Russian heat wave? *Geophysical Research Letters* 38, L06702
- Domingues, C.M., Church, J.A., White, N.J., Gleckler, P.J., Wijffels, S.E., Barker, P.M. and Dunn, J.R. 2008. Improved estimates of upper-ocean warming and multi-decadal sea-level rise. *Nature* 453, 1090-1094
- Dutton A., A. E. Carlson, A. J. Long, G. A. Milne, P. U. Clark, R. DeConto, B. P. Horton, S. Rahmstorf, and M. E. Raymo, 2015. Sea-level rise due to polar ice-sheet mass loss during past warm periods. *Science* 349, 6244 marine.rutgers.edu/pubs/private/Science-2015-Dutton-.pdf
- EC, 2012. Impacts of Climate Change on Transport: A focus on road and rail transport infrastructures, (F. Nemry and H. Demirel), JRC Scientific and Policy Re-

ports. Publications Office of the European Union, Luxembourg, ISBN 978-92-79-27037-6

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

ECE, 2015. Transport for Sustainable Development: The case of Inland Transport. United Nations Economic Commission for Europe, Transport Trends and Economics Series ECE/TRANS/251. www.unece.org/fileadmin/DAM/trans/publications/Transport_for_Sustainable_Development_UNECE_2015.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 [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 [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 [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 [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 [accessed 21/03/2016]

Emanuel, K. 2005. Increasing destructiveness of tropical cyclones over the past 30 years. *Nature* 436, 686-688

Engelhart, S.E., Horton, B.P., Douglas, B.C., Peltier, W.R. and Törnqvist, T.E. 2009. Spatial variability of late Holocene and twentieth century sea-level rise along the US Atlantic coast. *Geology*, 37, 1115-1118

EPA, 2015. Precipitation Worldwide, 1901-2013 [Online image]. Available from: 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*

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., Mann M.E., Santer B.D., Flato G.M., Hawkins E., Gillett N.P., Xie S-P., Kosaka Y. and Swart N.C, 2016. Making sense of the early-2000s warming slowdown. *Nature Climate Change* 6, 224-228, doi:10.1038/nclimate2938
- Gehrels, W.R. and Woodworth, P.L. 2012. When did modern rates of sea-level rise start? *Global Planetary Change* 100, 263-277
- GISTEMP, 2016: NASA Goddard Institute for Space Studies - *GISS Surface Temperature Analysis (GISTEMP)*. Available from: data.giss.nasa.gov/gistemp/
- Grinsted A, Moore JC and Jervejeva S, 2010. Reconstructing sea level from paleo and projected temperatures 200 to 2100 AD. *Climate Dynamics* 34, 461- 472
- Hallegratte, 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)
- Hambly, D., J. Andrey, B. Mills and C. Fletcher (2012). Projected implications of climate change for road safety in Greater Vancouver, Canada. *Climatic Change*. (doi: 10.1007/s10584-012-0499-0)
- Hanna, E. et al., 2013. Ice sheet mass balance and climate change. *Nature* 498, 51-59
- Hansen, J., Sato, M., Hearty, P., Ruedy, R., Kelley, M., Masson-Delmotte, V., Russell, G., Tselioudis, G., Cao, J., Rignot, E., Velicogna, I., Tormey, B., Donovan, B., Kandiano, E., von Schuckmann, K., Kharecha, P., LeGrande, A.N., Bauer, M. and K.-W. Lo. 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
- Hooper, E. and L. Chapman, 2012. Chapter 5 - The Impacts of Climate Change on National Road and Rail Networks. In *Transport and Climate Change, Transport and Sustainability*, Vol. 2., T. Ryley and L. Chapman, eds., Emerald Group Publishing Ltd, pp. 105-136. Available from [dx.doi.org/10.1108/S2044-9941\(2012\)0000002008](http://dx.doi.org/10.1108/S2044-9941(2012)0000002008)
- 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., D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S.K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex and P.M. Midgley (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA
- 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., V.R. Barros, D.J. Dokken, K.J. Mach, M.D. Mastrandrea, T.E. Bilir, M. Chatterjee, K.L. Ebi, Y.O. Estrada, R.C. Genova, B. Girma, E.S. Kissel, A.N. Levy, S. MacCracken, P.R. Mastrandrea, and L.L. White

- (eds.]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, pp. 1-32
- Jevrejeva S, Moore JC 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)
- Jonkeren O., P. Rietveld and J. van Ommeren (2007). Climate Change and Inland Waterway Transport: Welfare effects of low water levels on the river Rhine. *Journal of Transport Economics and Policy* 41 (3), 387-411
- 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., Lawrimore, J.H., McMahon, J.R., Menne, M.J., Peterson, T.C., Vose, R.S. and Zhang, H. 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., Brink, H.W., Church, J.A., Hazeleger, W., Kopp, R.E., Kroon, D., Kwadijk, J., Lammersen, R., Lowe, J., Oppenheimer, M., Plag, H.P., Ridley, J., Storch, H. 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)
- 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)
- Lantuit, H. and W.H. Pollard, 2008. Fifty years of coastal erosion and retrogressive thaw slump activity on Herschel Island, Southern Beaufort Sea, Yukon Territory, Canada. *Geomorphology* 95 (1-2), 84-102
- 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., Castanedo, S., Abascal, A.J. and Miguez, R. 2013. Long-term changes in sea level components in Latin America and the Caribbean. *Global and Planetary Change* 104, 34-50.
- Lowe, J.A., Howard, T., Jenkins, G., Ridley, J., Dye, S. and Bradley, S, 2009. *UK Climate Projections science report: Marine and coastal projections.* Met. Office Hadley Centre, Exeter, United Kingdom
- Lyman, J. M. et al. 2010. Robust warming of the global upper ocean, *Nature*, 465, pp. 334-337
- Marcos, M. and Tsimplis, M.N. 2008. Comparison of results of AOGCMs in the Mediterranean Sea during the twenty-first century. *Journal of Geophysical Research* 113 (C12). (doi:10.1029/2008JC004820)
- 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

- Melillo, J.M., Richmond, T.T.C., Yohe, G.W. 2014. Climate Change Impacts in the United States: The Third National Climate Assessment. U.S. Global Change Research Program, NCA, pp. 841
- 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)
- 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. Lett.* 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.; Rudolf, B.; Schneider, U.; Ziese, M. 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., Hirsch, R.M., Kundzewicz, Z.W., Lettenmaier D.P. and Stouffer, R.J. 2008. Stationarity is dead: Whither water management? *Science* 319, 573-574
- 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*, 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/ [Accessed 13/02/2016]
- NOAA, 2015. 2014 State of the Climate: Carbon Dioxide [WWW] Available from: www.climate.gov/news-features/understanding-climate/2014-state-climate-carbon-dioxide
- NOAA, 2016a. 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 [Accessed 12/02/2016]
- NOAA, 2016b. Global Analysis - November 2015 [WWW] National Centers for Environmental Information. Available from: www.ncdc.noaa.gov/sotc/global/201511 [Accessed 12/02/2016]
- NOAA, 2016c. Global Analysis - February 2016 [WWW] National Centers for Environmental Information. Available from: www.ncdc.noaa.gov/sotc/global/201602 [Accessed 12/02/2016]
- NOAA, 2016d. Global Analysis - February 2016 [WWW] National Centers for Environmental Information. Available from: www.ncdc.noaa.gov/sotc/global/201602 [Accessed 12/02/2016]
- NOAA, 2017a. 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)
- NOAA, 2017b. National Centers for Environmental Information (NCEI). 2016 Officially Warmest Year on Record. (Published online January 2017, accessed on May 24, 2017 (www.nvvl.noaa.gov/MediaDetail2.php?MediaID=1989&MediaTypeID=3&ResourceID=105007/))

- NOAA, 2017c. National Centers for Environmental Information (NCEI) U.S. Billion-Dollar Weather and Climate Disasters. www.ncdc.noaa.gov/billions/
- NSIDC, 2012. Rapid sea ice retreat in June [WWW] National Snow & Ice Data Center. Available from: nsidc.org/arcticseaicenews/2012/07/rapid-sea-ice-retreat-in-june/ [accessed 15/02/2016]
- 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)
- Perherin, C., A. Roche, F. Pons, I. Roux, G. Desire, and C. Boura (2010). Vulnérabilité du territoire national aux risques littoraux. XIèmes Journées Nationales Génie Côtier - Génie Civil Les Sables d'Olonne, 22-25 June 2010. (doi: 10.5150/jngcgc.2010.072-P)
- 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 twenty-first century sea levelrise. *Science* 321, 1340-1343. (doi:10.1126/science.1159099)
- PIARC, 2012. Dealing with the effects of climate change on road pavements. World Road Association (PIARC) Technical Committee D.2 Road Pavements, 146 pp. (ISBN: 2-84060-247-4)
- Pritchard, H.D., Ligtenberg, S.R.M., Fricker, H.A., Vaughan, D.G., van den Broeke, M.R. and Padman, L. 2012. Antarctic ice-sheet loss driven by basal melting of ice shelves. *Nature* 484, 502-505
- Rahmstorf S, Cazenave A, Church JA, Hansen JE, Keeling RF, Parker DE, and RCJ Somerville, 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
- Raper, S.C.B. and Braithwaite, R. J. 2009. Glacier volume response time and its links to climate and topography based on a conceptual model of glacier hypsometry. *The Cryosphere* 3, 183-194, (ISSN 1994-0416)
- Richardson, K., Steffen, W., Schellnhuber, H.J., Alcamo, J., Barker, T., Kammen, D.M., Leemans, R., Liverman, D., Munasinghe, M., Osman-Elasha, B., Stern, N. and O Ole W.ver., 2009. Synthesis Report. Climate change: Global Risks, Challenges and Decisions. University of Copenhagen, 39 pp.
- Rignot, E., Velicogna, I., van den Broeke, M.R., Monagha, 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)
- Rohling E, Grant K, Hemleben C, Siddall M, Hoogakker B, Bolshaw M and Kucera M, 2008. High rates of sea levelrise during the last interglacial period. *Nature Geosciences* 1, 38-42. (doi:10.1038/ngeo.2007.28)
- Rona, J., 2011. Climate Change Adaptation and Transport - UK and Rail. Presentation at the second session of the Group of Experts on Climate change impacts and adaptation for international transport networks, UNECE, Geneva, 8 November 2011
- 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
- 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., Marcott, S.A., Mix, A.C., Liu, Z., Otto-Bliesner, B., Schmittner, A. and Bard, E. 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
- Schneider U., P.Finger, A. Meyer-Christoffer, El. Rustemeier, M. Ziese and A. Becker, 2017. Evaluating the Hydrological Cycle over Land Using the Newly-Corrected Precipitation Climatology from the Global Precipitation Climatology Centre (GPCC). *Atmosphere* ,8 (52), doi: 10.3390/atmos8030052
- Steffen, W. 2009. *Climate Change 2009: Faster Change and More Serious Risks*. Report to the Department of Climate Change, Australian Government
- Stockdon, H.F., Doran, K.J., Thompson, D.M., Sopkin, K.L., Plant, N.G. and Salenger, A.H. 2012. National assessment of hurricane-induced coastal erosion hazards: Gulf of Mexico: U.S. Geological Survey Open-File Report 2012-1084, 51 pp.
- Streletskiy D.A., N.I. Shiklomanov and F.E. Nelson (2012). Spatial variability of permafrost active-layer thickness under contemporary and projected climate in Northern Alaska. *Polar Geography* 35 (2) 95-116
- USDOT, 2012. *Impacts of Climate Change and Variability on Transportation Systems and Infrastructure: The Gulf Coast Study, Phase II*. A report by the US Department of Transportation, Center for Climate Change and Environmental Forecasting [Choate A, W Jaglom, R Miller, B Rodehorst, P Schultz and C Snow (eds.)]. Department of Transportation, Washington, DC, USA, 470 pp.
- U.S. Climate Resilience Toolkit, 2015. Arctic Development and Transport. [WWW] Available from: 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
- 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
- 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., D. Wziatek, and L. P. Almeida 2012. Coastal vulnerability assessment based on video wave run-up observations at a mesotidal, steep-sloped beach. *Ocean Dynamics* 62 (1), 123-137, doi:10.1007/s10236-011-0480-x

- 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
- Wada, Y., van Beek, L.P.H., Weiland, F.C.S., Chao, B.F., Wu, Y.-H. and Bierkens, M.F.P. 2012. Past and future contribution of global groundwater depletion to sea-level rise. *Geophys Res Letters* 39, L09402. (doi: 10.1029/2012GL051230)
- Valdes-Abellan J., Pardo M.A. and Tenza-Abril, 2017. Observed precipitation trend changes in the Western Mediterranean region. *Int. J. Climatol.* doi: 10.1002/joc.4984
- 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/knmipubWR/WR2009-05.pdf
- Willway, T., L. Baldachin, S. Reeves, M. Harding, M. McHale and M. Nunn (2008). The effects of climate change on highway pavements and how to minimise them: Technical report. PPR184, TRL Limited. ISBN 978-1-84608-734-9. United Kingdom
- WMO, 2014. Statement on the status of the global climate in 2014, World Meteorological Organization, WMO-No. 1152, Chairperson, Publications Board, Geneva, Switzerland, 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/
- 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)
- Wright, L., P. Chinowsky, K. Strzepek, R. Jones, R. Streeter, J.B. Smith, J.M. Mayotte, A. Powell, L. Jantarasami and W. Perkins, 2012. Estimated effects of climate change on flood vulnerability of U.S. bridges. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change* 17, 939-955 (doi: 10.1007/s11027-011-9354-2)
- Yan, X.-H., T. Boyer, K. Trenberth, T. R. Karl, S.-P. Xie, V. Nieves, K.-K. Tung, and D. Roemmich, 2016. The global warming hiatus: Slowdown or redistribution? *Earth's Future*, 4, 472-482, doi:10.1002/2016EF000417
-