



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**

Десятая сессия

Женева, 7–8 июля 2016 года

Пункт 4 предварительной повестки дня

**Обсуждение структуры 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. Введение

1. Настоящий документ был подготовлен в соответствии с результатами/видами деятельности кластера 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 кругом 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 фиксируемых/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 свидетельствуют о том, что влияющие на транспорт климатические факторы (ЕСЕ, 2013) «ухудшаются».

3. Температура океанов будет повышаться по всем сценариям РТК¹. Самое сильное потепление поверхности океана прогнозируется для субтропических и тропических регионов. На больших глубинах потепление, по прогнозам, будет наиболее ярко выражено в южной части океанов. К концу XXI века, согласно лучшим оценкам, температура воды океана в верхних слоях до 100 м повысится на 0,6 °С (РТК 2.6) – 2,0 °С (РТК 8.5), а в верхних слоях до 1 000 м – на 0,3 °С (РТК 2.6) – 0,6 °С (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 столетий, даже если выбросы ПГ стабилизируются (IPCC², 2013).

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

¹ Репрезентативные траектории изменения концентраций.

² Межправительственная группа экспертов по изменению климата.

Таблица 1

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

(В основу прогнозов положены четыре сценария радиационного воздействия (репрезентативные траектории изменения концентраций – РТК)³: 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 совокупности данных КМИП5 (при диапазонах моделей 5–95%). Прогнозы повышения уровня моря получены с помощью 21 модели КМИП5 (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 такой зависимости не представляется возможной⁴.)

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
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

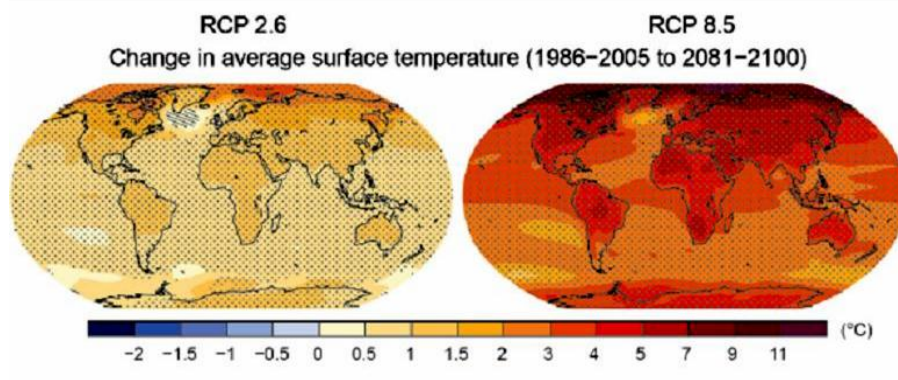
5. Изменение климата – неравномерный процесс, при котором потепление в приполярных районах происходит быстрее, чем на экваторе (диаграммы 15 и 16). Картина изменения уровней осадков выглядит значительно сложнее: некоторые районы становятся более влажными, другие – более засушливыми (ЕСЕ, 2013). В будущем 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% (ИРСС, 2007). В соответствии со сценарием низко-умеренного (РТК 4.5) и высокого (РТК 8.5) уровней выбросов прогнозируются значительные повышения температуры поверхности, особенно для северного региона ЕЭК (ИРСС, 2013).

³ Прогнозы, представленные в последнем докладе МГЭИК об оценках (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 (e.g. Moss et al., 2010): для РТК 8.5 – 1 370 единиц эквивалента CO₂ к 2100 году; для РТК 6.0 – 850 единиц эквивалента CO₂ к 2100 году; для РТК 4.5 – 650 единиц эквивалента CO₂ к 2100 году; и для РТК 2.6 – достижение максимального уровня 490 единиц эквивалента CO₂ до 2100 года.

⁴ Согласно имеющимся сценариям, повышение уровня моря не прекратится в 2100 году, но будет продолжаться в течение последующих столетий; к 2500 году средний уровень моря предположительно повысится на 1,84 м при самом слабом и на 5,49 м при самом интенсивном (РТК 8.5) сценарии воздействия (Jevrejeva et al., 2012).

Диаграмма 15

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)

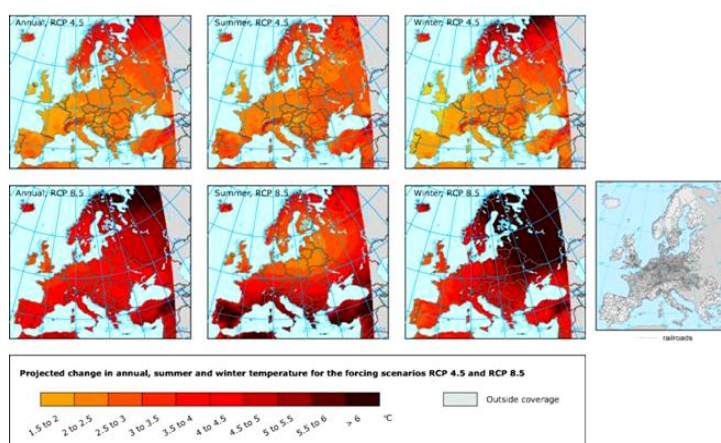


6. Прогнозы, полученные с помощью климатических моделей, позволяют говорить о широко распространенных засухах на большей территории юго-западной части Северной Америки и во многих других субтропических регионах к середине – концу XXI века (Milly et al., 2008; IPCC, 2013). В то же время, если летние сезоны в Соединенном Королевстве Великобритании и Северной Ирландии к 2100 году, как ожидается, станут (в целом) более засушливыми, то интенсивность выпадения 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).

Диаграмма 16

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 по РКМ (инициатива EURO-CORDEX). (European Environment Agency (EEA), 2014a))



7. В исследованиях прогнозируется также уменьшение продолжительности/интенсивности засух в Южной Европе и Средиземноморье, Центральной Европе и некоторых частях Северной Америки (IPCC, 2013). В то же время, согласно недавним исследованиям, прогнозируются сильные/обширные засухи в течение следующих 30–90 лет (Dai, 2013) в большей части юго-западной Северной Америки и субтропических регионах (IPCC, 2013).

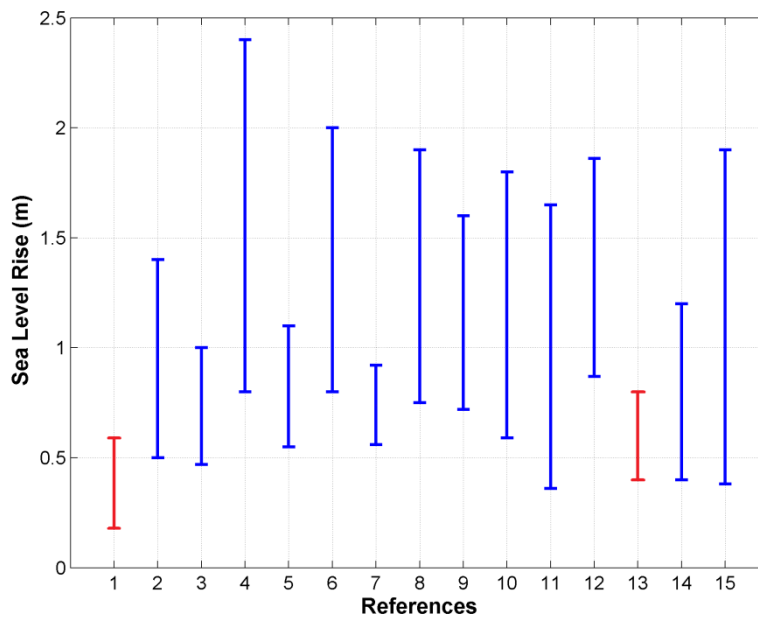
1.2.2 Повышение уровня моря

8. Процессо-ориентированные предварительные оценки подъема уровня моря ограничены неопределенностью влияния ЛПГ и ЛПЗА (Pritchard et al., 2012), стерических изменений (Domingues et al., 2008), таяния горных ледников (Raper and Braithwaite, 2009), а также откачки подземных вод для ирригационных целей и хранения воды в водохранилищах (Wada et al., 2012). К 2010 году таяние ледяного покрова Антарктики может потенциально способствовать повышению уровня моря более чем на 1 м (De Conto and Pollard, 2016).

Диаграмма 17

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

(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; и 15 – Dutton et al., 2015. Расхождения между прогнозами обусловлены различиями в подходах и исходных посылах.)

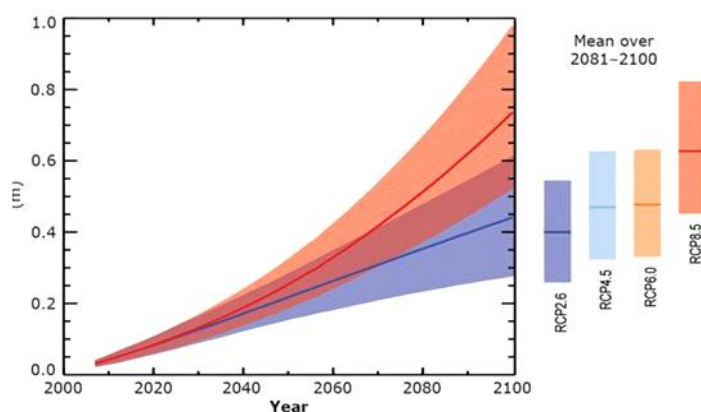


9. В 1901–2013 годах глобальный СУМ увеличился на 0,19 м (средний показатель 1,7 мм/год), при этом в последние два десятилетия темпы его роста ускорились до 3,2 мм/год. В 2081–2100 годах прогнозируется вероятный рост (по сравнению с 1986–2005 годами) в диапазоне 0,26–0,54 м для РТК 2.6 и 0,45–0,82 м для РТК 8.5 (диаграмма 18). Предполагается, что увеличение крутизны кривой подъема уровня моря в течение последних десятилетий обуслов-

лено преимущественно таянием материковых льдов Гренландии и Антарктики (Rignot et al., 2011; Hanna et al., 2013; IPCC, 2013). Расчеты повышения уровня моря, проведенные недавно на основе альтернативных подходов, дают результат, в среднем значительно превосходящий прогнозы, сделанные ранее (IPCC, 2007); следует также отметить, что МГЭИК регулярно представляет более консервативные оценки (диаграмма 17). Уровень моря не прекратит повышаться в 2100 году (см. Jevrejeva et al., 2012), поскольку изменение теплосодержания океана может вызывать его термическое расширение еще в течение нескольких веков, а таяние и динамическое сокращение площади ледников Антарктики и Гренландии также будут продолжаться довольно длительное время.

Диаграмма 18

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



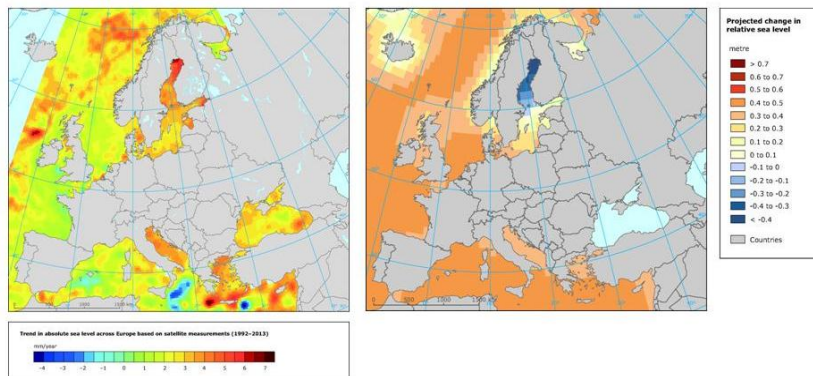
10. Следует отметить, что ввиду значительной наблюдаемой (и прогнозируемой) географической неравномерности темпов повышения уровня моря (диаграмма 19) при оценке его потенциальных последствий на том или ином участке побережья необходимо учитывать региональные тенденции. (Carson et al., 2016). Наблюдаемые изменения уровня моря могут быть вызваны не только глобальными процессами, но и причинами регионального характера, такими как явления океанической циркуляции (например, меридиональная опрокидывающая циркуляция) и региональные различия в темпах таяния ледников, гляциоизостатических сдвигов и образования осадочных отложений (IPCC, 2013; King et al., 2015; Carson et al., 2016). Изучение палеоклимата, а также исследования, проводившиеся с помощью измерительной аппаратуры и путем моделирования, показали, что под воздействием совокупности глобальных и региональных факторов уровень моря на определенных участках побережья может повышаться сравнительно быстрыми темпами, существенно опережая общемировой показатель, составляющий сейчас около 3 мм в год^{-1} (Cronin, 2012). Согласно прогнозам для Соединенного Королевства (не учитывающим изменения уровня суши), повышение уровня моря в XXI веке должно составить от 0,12 до 0,76 м в зависимости от сценария выбросов, причем в случае ускоренного таяния материковых льдов оно будет еще более значительным (Lowe et al., 2009). В рамках реалистичного сценария, предполагающего относительно большой объем выбросов, Katsman et al. (2011) прогнозируют повышение уровня моря у североморского побережья Нидерландов на 0,40–1,05 м. В то же время Marcos and Tsimplis (2008), основываясь на данных 12 глобальных климатических моделей для трех сценариев выбросов, предсказывают, что к концу XXI века уровень Средиземного моря повысится под действием температурных факторов

на 0,03–0,61 м; при этом следует учитывать последствия изменения концентрации солей в морской воде, способного за тот же период снизить уровень моря на 0,22–0,31 м (см. также ЕЕА, 2012).

Диаграмма 19

Тенденции по абсолютному уровню моря в европейских морях, установленные 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 среднего–низкого объема выбросов РТК 4.5 (по совокупности данных, полученных на основе климатических моделей КМИП5). Прогнозов для Черного моря нет. (ЕЕА, 2014с))

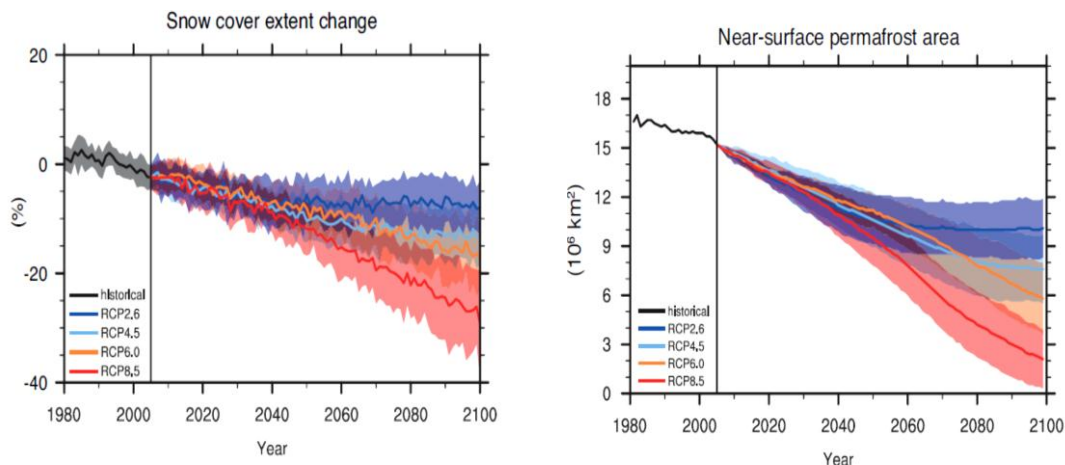


1.2.3 Таяние арктического льда, снега и вечной мерзлоты

11. Интенсивность арктических снегопадов и дождей, по прогнозам, будет возрастать во все времена года, но в основном в зимний период; поэтому максимальная глубина снежного покрова в зимний период во многих районах, согласно прогнозам, будет увеличиваться, причем наиболее ярко выражена эта тенденция (15–30% к 2050 году) будет наблюдаться в Сибири. Однако снег будет ежегодно лежать, как правило, на 10–20% меньше времени на большей части Арктики из-за более раннего таяния весной (АМАР, 2012). К 2100 году весенний снежный покров в Северном полушарии сократится на 7% (РТК 2.6) и 25% (РТК 8.5) (диаграмма 20a). Моделирование показывает, что из-за повышения глобальных температур и изменений снежного покрова продолжится таяние вечной мерзлоты (АМАР, 2012). Нынешние темпы потепления на европейской поверхности вечной мерзлоты составляют 0,04–0,07 °C/год (ЕЕА, 2015a). Хотя при оценке масштабов изменения вечной мерзлоты следует учитывать множество соображений, в том числе в отношении почвенных процессов, сценариев климатического воздействия и моделей физических явлений, площадь мерзлоты к концу XXI века, как ожидается, сократится на 37% и 81% для сценариев РТК 2.6 и РТК 8.5 соответственно (средняя степень достоверности) (диаграмма 20b). Что касается горных ледников и ледниковых шапок, то моделирование климатических прогнозов также показывает их масштабное сокращение к концу столетия на 10–30% (АМАР, 2012).

Диаграмма 20

Прогнозируемая площадь снежного покрова и околоповерхностных изменений вечной мерзлоты для четырех репрезентативных траекторий концентраций – РТК (по совокупности данных, полученных на основе модели КМИП5) (IPCC, 2013)



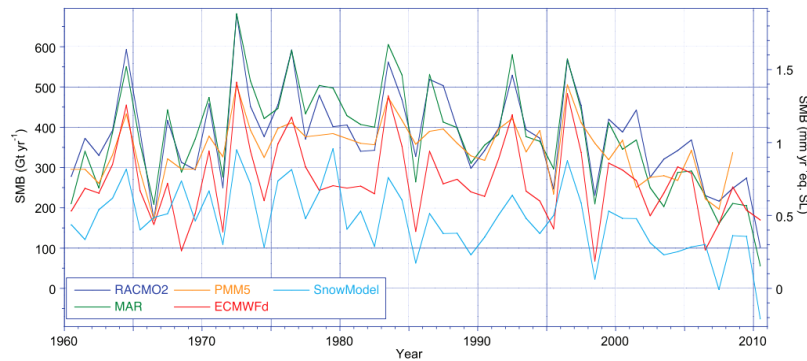
12. Весьма вероятно, что в ближайшие десятилетия по мере повышения средней глобальной температуры поверхности площадь/толщина арктического морского льда будет продолжать уменьшаться, хотя, возможно, значительные межгодовые колебания сохранятся (диаграмма 20а). По совокупности данных, полученных на основе модели КМИП5, перспективная оценка площадь арктического льда дает среднее снижение за период 2081–2100 годов по сравнению с 1986–2005 годами 8–34% в феврале и 43–94% в сентябре (нижний и верхний пределы указаны по РТК 2.6 и РТК 8.5 соответственно) (IPCC, 2013).

13. В последующие десятилетия продолжающееся глобальное потепление будет оказывать сильное влияние на ЛПГ. В нынешних условиях поверхностный баланс массы Гренландии (ПБМГ) положителен, но показывает тенденцию к снижению, что подразумевает его увеличивающийся вклад в повышение СУМ. На основании имеющихся данных весьма маловероятно, что изменения СУМ приведут к необратимому снижению ледяного щита Гренландии в XXI веке; однако, по самым жестким сценариям воздействия, в масштабах времени от нескольких веков до тысячелетия такое снижение вполне вероятно (IPCC, 2013). Среднее и стандартное отклонение (осадки минус сублимация) от оценки аккумуляции на 1961–1990 годы составляет $-1,62 \pm 0,21 \text{ мм в год}^{-1}$. Все данные указывают на то, что никаких значительных тенденций в отношении ПБМГ в период с 1960 по 1980 год не наблюдалось; положительный тренд стал снижаться в начале 1990-х годов (в среднем на $3\% \text{ год}^{-1}$). Это свидетельствует о статистически значимом и возрастающем влиянии на темпы ГСУМ (диаграмма 21). МГЭИК (IPCC, 2013) предполагает, что в течение следующего столетия динамическое изменение ледяного покрова Гренландии (средняя степень достоверности) может повлечь за собой повышение уровня моря на 20–85 мм для РТК 8.5 и 14–63 мм для всех прочих сценариев. В других исследованиях прогнозируется $0,92 \pm 0,26 \text{ мм в год}^{-1}$ ЭУМ по сравнению с 1961–1990 годами для ПБМ (накопление минус сток, без учета эрозии перемещающегося снега) (Hansen et al., 2016 г.). Для сравнения, ПБМ ледяного покрова Антарктики, по прогнозам, увеличится в большинстве сценариев из-за повышающейся тенденции снегопада; тем не менее негативный ПБМ Антарк-

тики может привести к повышению уровня моря к 2100 году более чем на 1 м (De Conto and Pollard, 2016).

Диаграмма 21

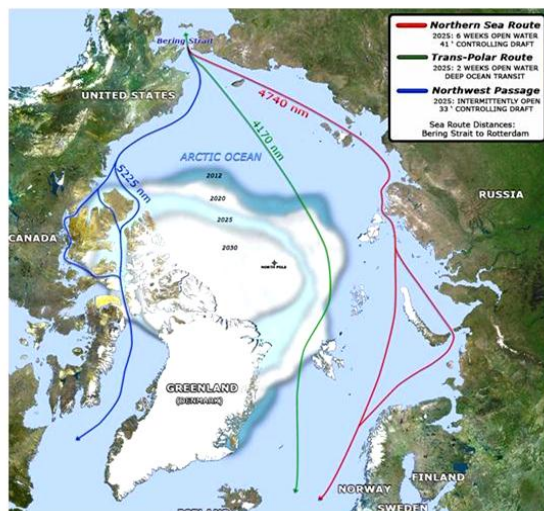
Среднегодовой баланс поверхностной массы для ледяного покрова Гренландии, смоделированный по пяти региональным климатическим моделям на период 1960–2010 годов (Hansen et al., 2016)



14. Что касается арктических льдов, то ВМС США ожидают к 2025 году развития трех крупных судоходных маршрутов, которые, однако, связаны с несколькими экологическими рисками (диаграмма 22). Могут появиться новые экономические возможности для арктических сообществ, поскольку сокращение площади льда облегчает доступ к существенным 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.

Диаграмма 22

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

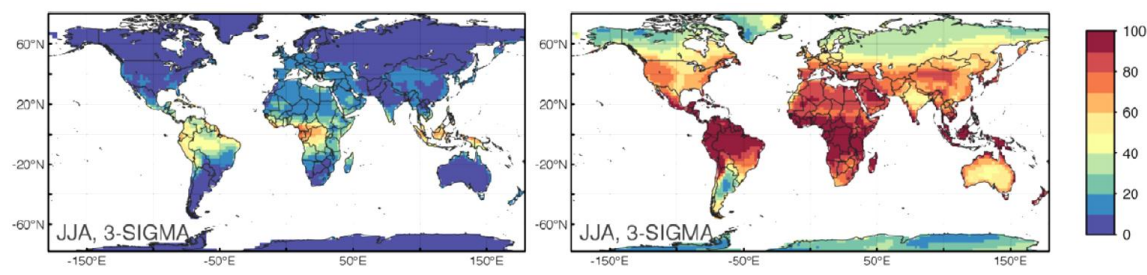


15. К концу XXI века ожидаются увеличение anomalно высоких температур и уменьшение anomalно низких температур в зимнее время, причем их частота, длительность и масштабы будут зависеть от антропогенного воздействия (IPCC, 2013). Большие изменения в жаркие дни, как предполагается, будут происходить в субтропических регионах и умеренных широтах (диаграмма 23), тогда как частота холодных дней будет уменьшаться во всех регионах. Прогнозы показывают, что в будущем очень жаркая погода летом будет наблюдаться гораздо чаще при всех сценариях изменения климата.

Диаграмма 23

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

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



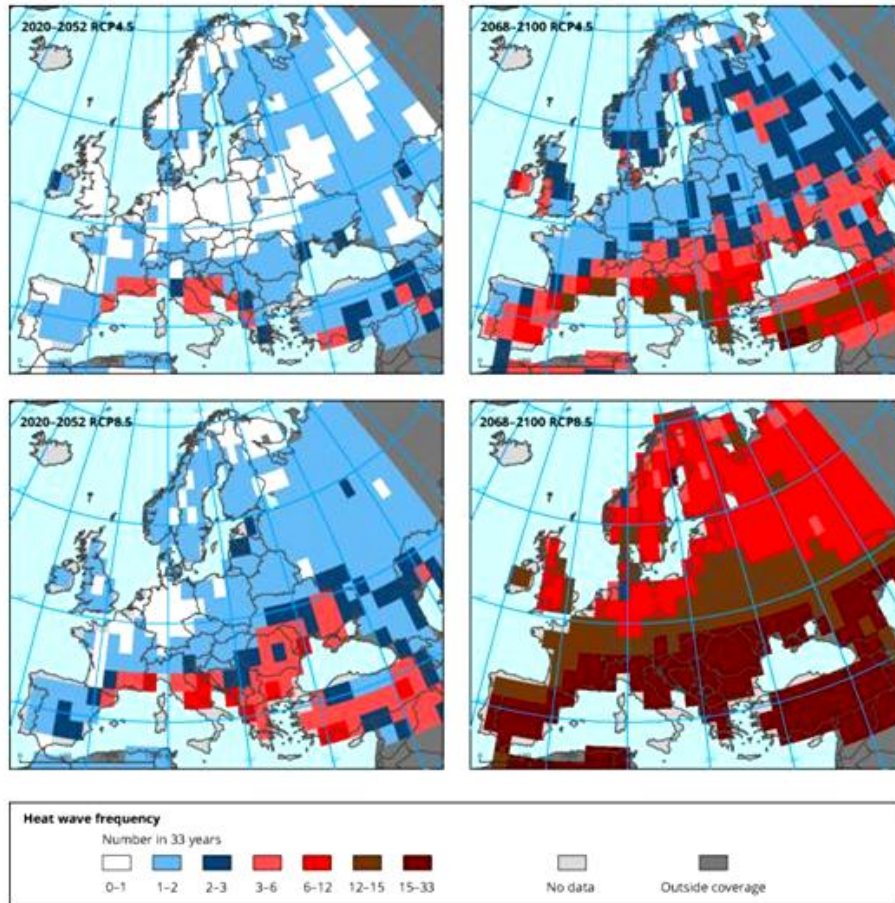
Периоды anomalно жары

16. Также вероятно, что частота и продолжительность периодов anomalно жары (продолжительный период чрезвычайно высоких температур) будут увеличиваться, причем в основном за счет повышения средних сезонных температурных трендов (диаграмма 23). По сценарию РТК 8.5 для большинства районов суши вполне вероятно, что жаркие периоды, случающиеся в настоящее время каждые 20 лет, станут происходить в два раза чаще (хотя во многих регионах они могут даже повторяться через каждые один–два года), в то время как двадцатилетняя периодичность экстремальных холодов резко сократится (IPCC, 2013). Значительное увеличение частоты anomalно жарких периодов прогнозируется в Европе наряду с вероятностью высоких летних температур, особенно при РТК 8.5 (диаграмма 24).

17. Для нынешнего климата столь anomalно жаркие явления наподобие того, которое имело место в 2003 году, ожидаются примерно раз в столетие; в начале 2000-х годов его вероятность должна была бы составлять примерно один раз в несколько тысяч лет. Атрибуционное исследование позволяет предположить, что антропогенное воздействие по крайней мере в два раза увеличивает вероятность наступления такого события (MetOffice, 2014). Кроме того, недавние исследования показывают, что вероятность возникновения экстремальной жары наподобие той, что происходила в России в 2010 году, к 2050 году может увеличиться в 5–10 раз (Dole et al., 2011).

Диаграмма 24

Медианное значение прогнозируемого числа периодов аномально высоких температур (по совокупности всех моделей) в краткосрочной (2020–2052 годы) и долгосрочной перспективе (2068–2100 годы) по сценариям РТК 4.5 и РТК 8.5 (ЕЕА, 2015b)

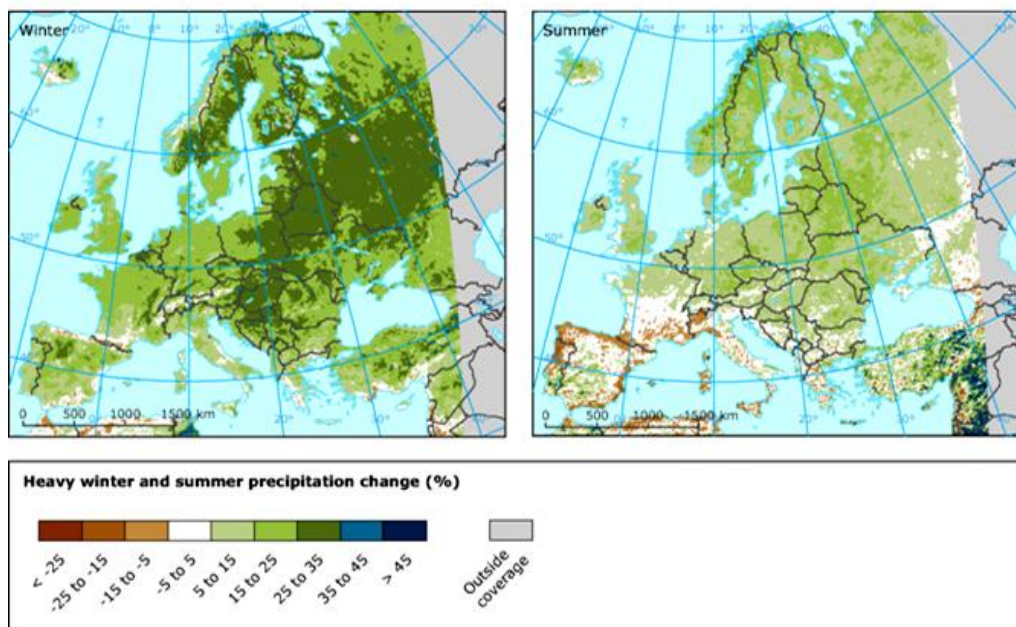


Сильные ливни

18. Аномалии, связанные с водным циклом, такие как засухи, проливные дожди и наводнения, уже вызывают значительный ущерб. По мере повышения температуры среднее количество осадков, выпадающих на разных территориях, будет значительно варьироваться; вполне вероятно, что к концу столетия, по сценарию РТК 8.5, уровень осадков увеличится на суше в высоких и умеренных широтах и уменьшится в субтропических засушливых и полусухих районах. Экстремальные осадки, весьма вероятно, будут более интенсивными в большей части зоны умеренных широт и влажных тропических районов (IPCC, 2013). В центральной и северо-восточной Европе, по прогнозам, к концу XXI века количество интенсивных осадков существенно возрастет (на 25%) (диаграмма 25). Климатические модели с высокой разрешающей способностью показывают, что с изменением климата экстремальные летние дожди могут усиливаться (MetOffice, 2014). В Соединенном Королевстве, где лето станет в целом засушливее, вероятность интенсивных летних ливней (более 30 мм в час) может увеличиться почти в пять раз (MetOffice, 2014).

Диаграмма 25

Прогнозируемые изменения интенсивности осадков (в %) в зимние и летние периоды с 1971–2000 по 2071–2100 годы для сценария РТК 8.5 на основе совокупности средних данных региональных климатических моделей (РКМ), введенных в модели общей циркуляции атмосферы (МОЦА) (ЕЕА, 2015с)



Штормовые нагоны и речные наводнения

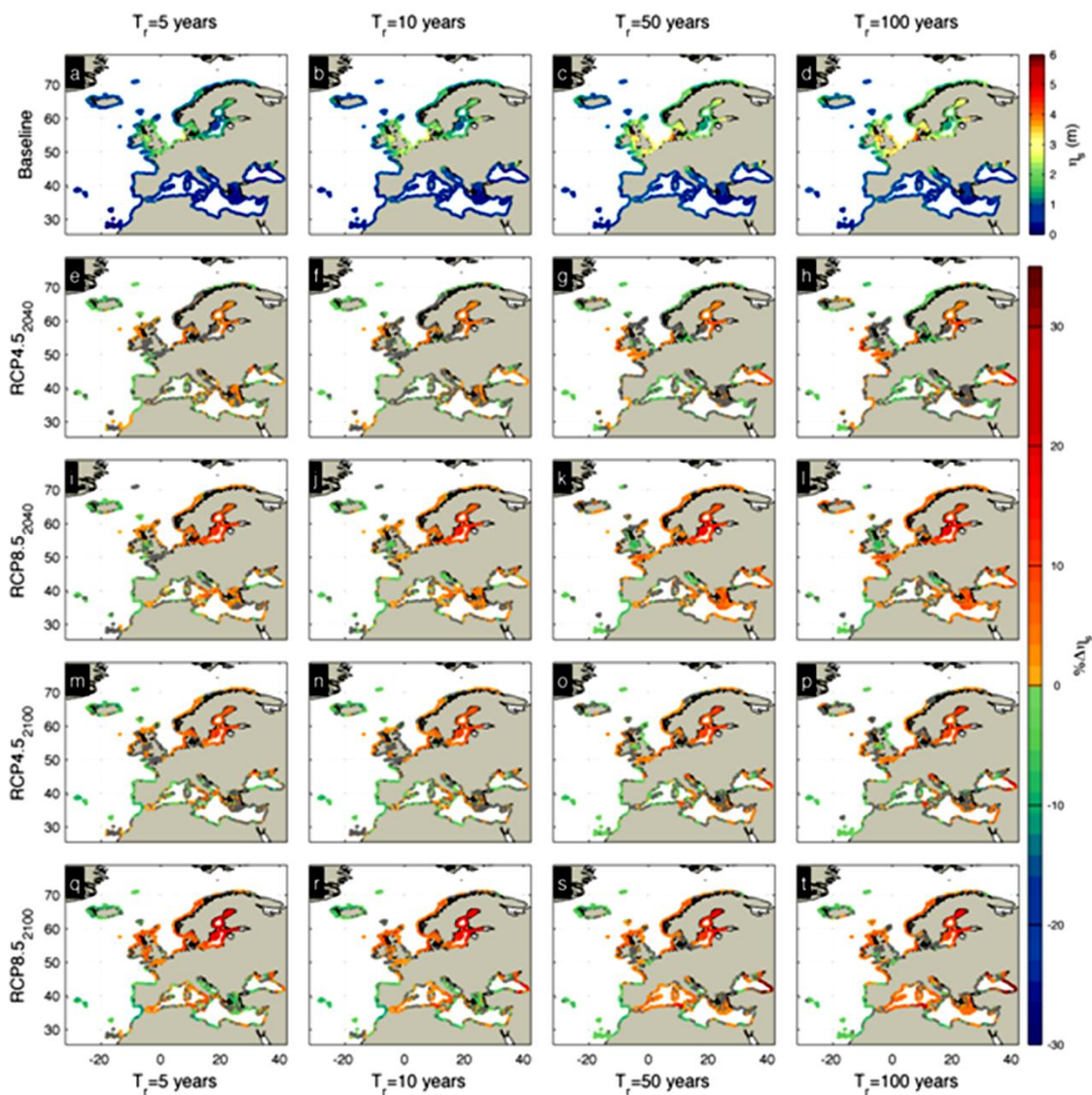
19. Несмотря на возникающие риски, связанные с изменениями экстремальных уровней воды в прибрежной зоне, информация о прогнозировании уровней штормовых нагонов (УШН) в сценариях репрезентативных траекторий концентраций (РТК) по-прежнему ограничена либо вообще отсутствует (IPCC, 2013). Это объясняется главным образом тем, что большинство предыдущих исследований проводилось в местном/региональном масштабе, иными словами: а) по ряду регионов нет никакой информации о прогнозируемых показателях УШН и б) использование разных сценариев выбросов парниковых газов, климатических и океанических моделей, а также разнообразии прибрежной среды затрудняют возможности для составления общих выводов в глобальном или региональном масштабе.

20. Для Европы прогнозы показывают большие уровни штормовых нагонов на побережье/в портах Атлантического океана и Балтийского моря при всех сценариях и моделях экстремальных штормовых условий (Vousdoukas et al., 2016). В регионе Северного моря могут отмечаться некоторые из самых высоких показателей УШН в Европе (диаграмма 26), причем прогнозы указывают на возможность возникновения экстремальных условий, особенно вдоль восточного побережья. Прогнозы штормовых нагонов позволяют предположить увеличение их вероятности в районах вдоль Атлантического побережья Великобритании и Ирландии, что главным образом обусловлено все более частыми экстремальными условиями в зимний период. Атлантическое побережье Франции, Испании и Португалии также подвергается воздействию очень сильных волн, возникающих в Северной Атлантике (Pérez et al. 2014). Средиземное море изу-

чается с точки зрения оценки динамики штормовых нагонов, и в исследованиях, основанных на сценариях СДСВ, существует консенсус, что каких-либо изменений экстремальных явлений произойти не должно или даже их частота и интенсивность снизятся (Conte and Lionello 2013; Androulidakis et al. 2015). Это согласуется с зафиксированными историческими тенденциями (Menéndez and Woodworth 2010), а также с более поздними выводами, предполагающими изменения главным образом в диапазоне $\pm 5\%$ в ту или иную сторону (Vousdoukas et al., 2016). Северная Адриатика изучена детальнее ввиду нахождения там крайне уязвимого (и социально-экономически важного) района Венеции, при этом большинство предыдущих прогнозов указывали на отсутствие статистически значимых изменений или даже их уменьшение (Mel et al. 2013), хотя Lionello et al. (2012), согласно сценарию В2 СДСВ, прогнозируют увеличение частоты экстремальных явлений в окружающем Венецию районе.

Диаграмма 26

Средний совокупный экстремальный показатель УШН (м) вдоль европейской прибрежной зоны за периоды 5, 10, 50 и 100 лет (показаны в разных колонках), за базовый период (a–d), а также их прогнозируемые относительные изменения по сценариям РТК 4.5 2040 (e–h), РТК 8.5 2040 (i–l), РТК 4.5 2100 (m–p), РТК 8.5 2100 (q–t) (показаны в разных строках). Теплые/холодные цвета указывают на увеличение/снижение соответственно; зоны, в отношении которых модели существенно расходятся, выделены серым цветом (Vousdoukas et al., 2016)



21. Следует отметить, что более 200 млн. человек во всем мире живут вдоль береговых линий, расположенных на высоте менее 5 м над уровнем моря; к концу XXI века эта цифра, по оценкам, увеличится до 400–500 миллионов. Рост уязвимости (населения и активов), повышение уровня моря по причине изменения 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 большему риску наводнений. Например, повышение относительного уровня моря на один метр увеличивает частотность наводнений в нынешнем столетнем периоде приблизительно в 40 раз в Шанхае, почти в 200 раз в Нью-Йорке и почти в 1 000 раз в Колкате (WMO⁵, 2014). В течение последующих приблизительно 50 лет Hallegatte et al. (2013) предполагают, что для 136 крупнейших прибрежных городов: i) ущерб может возрасти с 6 млрд. долл. США в год до 52 млрд. долл. США в год исключительно по причине роста населения и активов; ii) если системы защиты от наводнений не модернизировать, то ежегодные потери могут достигнуть 1 трлн. в год или более; iii), даже если защиту улучшить, потери могут возрасти, поскольку наводнения могут стать более интенсивными из-за глубины воды, увеличивающейся по мере относительного подъема уровня моря. В этой связи возникает вопрос о том, могут ли потенциальные пороговые значения, в случае их превышения, обратить нынешние и прогнозируемые тенденции роста населения в прибрежных районах вспять (King et al., 2015).

22. Речные наводнения также представляют собой серьезную угрозу для населения планеты, принимая во внимание наблюдаемые увеличения поверхностного стока в результате экстремальных явлений, которые четко задокументированы. Масштабы ущерба обусловлены главным образом ростом уязвимости населения и инфраструктуры в зонах риска наводнений (IPCC, 2013). Прогнозируемые изменения динамики речных наводнений для Европы показаны на диаграмме 27.

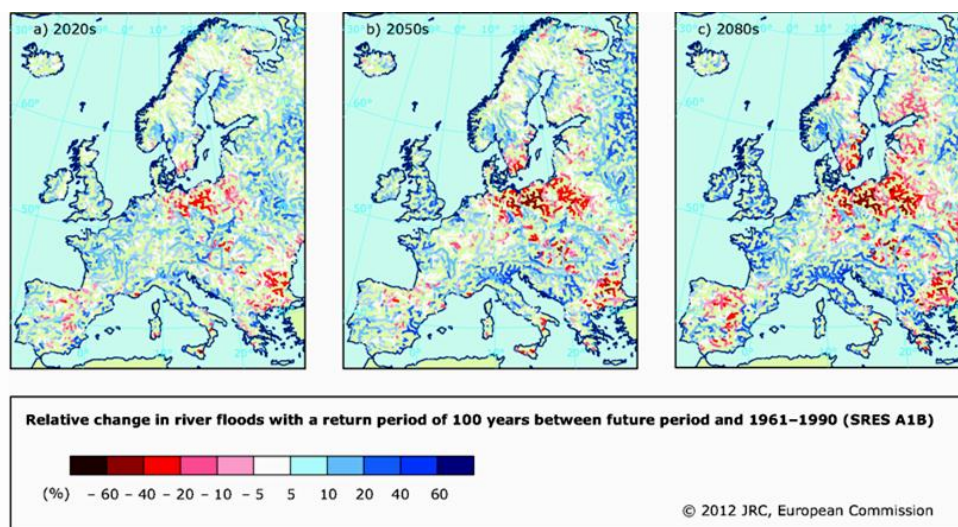


Диаграмма 27

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

23. На диаграмме 28 показан риск наводнений в разбивке по регионам, где в результате изменения климата число пострадавших от наводнений, учитывая нынешний тридцатилетний период, возрастет более чем на 50% по сравнению с ситуацией без изменения климата. К 2050 году существует по крайней мере

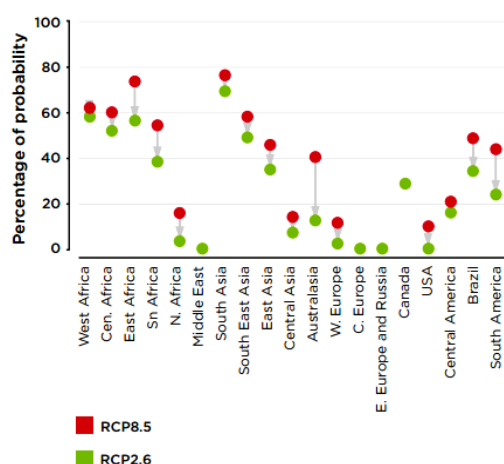
⁵ Всемирная метеорологическая организация.

50-процентная вероятность того, что только по причине изменения климата численность населения, проживающего в подверженных наводнениям районах в странах Африки к югу от Сахары, увеличится на 50%, и на 30–70% возрастает вероятность того, что подобное может произойти и в Азии. К 2100 году риски повысятся (King et al., 2015). Даже сами по себе демографические изменения приведут к увеличению числа людей, которые могут пострадать от наводнений. Согласно сценариям высоких уровней выбросов (РТК 8.5), общемировой показатель возрастает весьма существенно, примерно в пять–шесть раз за столетие, в основном за счет увеличения в Южной, Юго-Восточной и Восточной Азии (King et al., 2015).

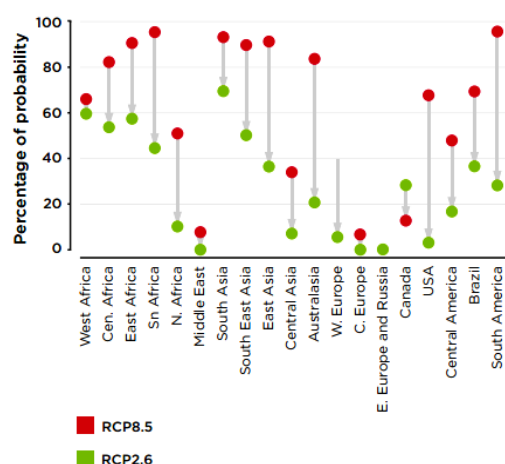
Диаграмма 28

Вероятность того, что в результате изменения климата число пострадавших от наводнений, учитывая нынешний тридцатилетний период, возрастет более чем на 50% по сравнению с ситуацией без изменения климата, согласно двум РТК. В качестве допущения используется средний вариант прогноза 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%



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, pp. 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, pp. 56–82.

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, pp. 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, pp. 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, pp. 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, pp. 269–281. (doi: 10.1007/s10584-015-1520-1).
- Church, J. A. and White, N. J. 2006. A 20th 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*. ed. by: Stocker, T.F.; Qin, D.; Plattner, G.-K.; Tignor, M.; Allen, S.K.; Boschung, J.; Nauels, A.; Xia, Y.; Bex, V.; Midgley, P.M.; Cambridge; UK; 2013; 1137–1216.
- Conte, D. and Lionello, P. 2014. Storm Surge Distribution Along the Mediterranean Coast: Characteristics and Evolution, *Procedia -Social and Behavioral Sciences*, 120, pp. 110–115. (ISSN 1877-0428).
- Coumou, D. and Rahmstorf, S. 2012. A decade of weather extremes. *Nature Climate Change*, 29, pp. 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) <http://iopscience.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, pp. 1935–1944. (doi: 10.1002/qj.2297).
- Cronin, T.M. 2012. Rapid sea-level rise. *Quaternary Science Reviews*, 56, pp. 11-30.
- Dai, A. 2013. Increasing drought under global warming in observations and models. *Nature Clim. Change*, 3, pp. 52–58.
- De Conto, R.M. and Pollard, D. 2016. Contribution of Antarctica to past and future sea-level rise. *Nature*, 531, pp. 591–596. (doi: 10.1038/nature17145).
- Dole et al., 2011. Was there a basis for anticipating the 2010 Russian heat wave? *Geophys. Res. Lett.*, 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, pp. 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 <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, 225 pp.

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: <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: <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: <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: <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: <http://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, pp. 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 20th century sea-level rise along the Atlantic coast of the United States. *Geology*, 37, pp. 1115–1118.

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*.

Gehrels, W.R. and Woodworth, P.L. 2012. When did modern rates of sea-level rise start? *Global Planet Change*, 100, pp. 263–277.

- GISTEMP, 2016: NASA Goddard Institute for Space Studies – GISS Surface Temperature Analysis (GISTEMP). Available from: <http://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.
- Hallegatte, S., Green, C., Nicholls, R. J. and Corfee-Morlot, J. 2013. Future flood losses in major coastal cities, *Nature Climate Change*, 3, pp. 802–806. (doi:10.1038/NCLIMATE1979).
- Hanna, E. et al., 2013. Ice sheet mass balance and climate change. *Nature*, 498, pp. 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, pp. 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, pp. 481–484.
- 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, pp. 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, pp. 14–20. (doi:10.1016/j.gloplacha.2011.09.006).

- 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.
- Karl, T.R., Melillo, J. T. and Peterson, T. C. 2009. *Global Climate Change Impacts in the United States*. Cambridge University Press, 189 pp.
- 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), pp. 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. (<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, pp. 86–92.
- Losada, I.J., Reguero, B.J., Mendez, F.G., Castanedo, S., Abascal, A.J. and Minguez, R. 2013. Long-term changes in sea level components in Latin America and the Caribbean. *Global and Planetary Change*, 104, pp. 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 21st 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), pp. 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, pp. 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).
- MetOffice, 2014. *Climate risk An update on the science*. Met Office, Handley Center, Devon, UK, 9 pp.

- 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, pp. 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*, <http://dx.doi.org/10.1016/j.oceaneng.2013.02.016i>.
- 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: <http://www.giss.nasa.gov/research/news/20160120/> [Accessed 13/02/2016].
- NOAA, 2016a. Global Analysis – Annual 2015: 2015 year-to-date temperatures versus previous years [WWW] National Centers for Environmental Information. Available from: <https://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: <https://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: <https://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: <https://www.ncdc.noaa.gov/sotc/global/201602> [Accessed 12/02/2016].
- 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>.
- NSIDC, 2012. Rapid sea ice retreat in June [WWW] National Snow & Ice Data Center. Available from: <http://nsidc.org/arcticseaicenews/2012/07/rapid-sea-ice-retreat-in-june/> [Accessed 15/02/2016].
- 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. *Clim Dyn.*, 43, pp. 2663–2680.
- Pfeffer W, Harper J and O’ Neel S, 2008. Kinematic constraints on glacier contributions to 21st century sea levelrise. *Science* 321, 1340–1343. (doi:10.1126/science.1159099).
- 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, pp. 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.

- 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, pp. 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).
- 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, pp. 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), pp. 88–97.
- 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, pp. 49–55.
- 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.
- U.S. Climate Resilience Toolkit, 2015. Arctic Development and Transport. [WWW] Available from: <https://toolkit.climate.gov/content/about-climate-resilience-toolkit> [Accessed 15/01/2016].
- 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), pp. 8130–8137.
- Vermeer M and Rahmstorf S 2009 Global sea level linked to global temperature. *Proceedings of the NationalAcademy of Sciences USA* 106, 21527–21532. (doi:10.1073/pnas.0907765106).
- Vousdoukas, M.I., Voukouvalas, E., Annunziato, A., Giardino, A. and Feyen, L. 2016. Projections of extreme storm surge levels along Europe. *Climate Dynamics*, 20 pp. (in press) (doi: 10.1007/s00382-016-3019-5).
- Wada, Y., van Beek, L.P.H., Weiland, FCS., Chao, B.F., Wu, Y-H. and Bierkens, MFP. 2012. Past and future contribution of global groundwater depletion to sea-level rise. *Geophys Res Lett.*, 39, L09402. (doi: 10.1029/2012GL051230).
- 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. <http://www.knmi.nl/bibliotheek/knmipubWR/WR2009-05.pdf>.

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 <http://www.indiaenvironmentportal.org.in/content/421694/provisional-statement-on-the-status-of-global-climate-in-2011-2015/>.
