



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

Женева, 24 и 25 апреля 2019 года

Пункт 4 предварительной повестки дня

Обсуждение заключительного доклада Группы экспертов**Последствия изменчивости и изменения климата
для транспорта*****Представлено консультантом****I. Введение**

1. В настоящем документе приводится краткая сводная информация о последствиях изменчивости и изменения климата для транспорта. Он должен послужить введением для заключительного доклада. На своей шестнадцатой сессии Группа экспертов просила представить этот документ в качестве официального документа на семнадцатой сессии.

II. Последствия для транспорта: краткий обзор

2. Что касается уязвимости транспортных сетей к изменчивости и изменению климата (ИИК), то в ходе предыдущего обзора (ECE, 2013) было установлено, что а) объекты транспортной инфраструктуры, как правило, являются более чувствительными как к постепенным изменениям средних значений климатических параметров, так и к экстремальным явлениям (например, периодам аномальной жары, сильным ливням и сильным ветрам, экстремальному уровню моря и волнам); 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; с) объекты транспортной

* В настоящем документе без изменений воспроизводится текст, который был передан в секретариат.



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).

3. Такие экстремальные гидрометеорологические явления, как проливные дожди/наводнения и засухи уже наносят серьезный ущерб транспортной инфраструктуре и сектору транспортных услуг. Экстремальные осадки могут привести к паводкам, преодоление последствий которых для сетей внутреннего транспорта будет сопряжено с высокими затратами (Hooper and Chapman, 2012), поскольку основные автомобильные и железные дороги пролегают по пойменным долинам или пересекают их; они могут также иметь серьезные последствия для автобусных станций, станционных 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).

4. 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 водопроницаемых 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 Соединенных Штатах Америки (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 Европейского союза прогнозируемые расходы являются менее высокими: будущие затраты на защиту мостов от наводнений, по оценкам, будут составлять до 0,54 млрд евро в год (ЕС, 2012 год; ЕСЕ, 2015).

5. 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; ЕСЕ, 2013; 2015).

6. Увеличение частоты/продолжительности периодов аномальной жары также может создать серьезные проблемы для железнодорожного и автомобильного (и 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 (ЕС, 2012), дополнительный ежегодный объем расходов, связанных с усовершенствованием нижнего слоя асфальтобетонного покрытия на дорогах в 27 государствах – членах Европейского союза, по сценарию A1B СДСВ¹ оценивается в 38,5–135 млн евро в период 2040–2070 годов и 65–210 млн евро в 2070–2100 годы. Вместе с тем следует отметить, что, поскольку дорожное покрытие обычно обновляется каждые 20 лет, такие последствия изменения климата можно будет учесть при его замене. Следует также отметить, что периоды аномальной жары могут очень сильно повлиять на транспортный персонал, пассажиров и грузы, особенно в сочетании с высокой относительной влажностью воздуха (Mora et al., 2017); Monioudi et al., 2018).

7. 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 сокращение площади морского льда (ПМЛ) способно облегчить доступ к важным месторождениям углеводородов (в море Бофорта и Чукотском море) и привести к росту международной торговли. В то же время потепление в Арктике приведет к i) активизации процесса береговой эрозии из-за усиления волновой активности вдоль береговой линии (например, Lantuit and Pollard, 2008) и экстремальному уровню моря (Vousdoukas et al., 2018) в полярных районах Канады, Российской Федерации и США; ii) увеличению расходов на развитие и обслуживание транспортной инфраструктуры в результате таяния вечной мерзлоты (ЕСЕ, 2015). Таяние вечной мерзлоты (например, Streletskiy et al., 2012; Schuur et al. 2015) 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 (ЕСЕ, 2013). В арктических районах многие автомагистрали уже проходят по территориям с прерывистой мерзлотой, что требует значительных эксплуатационных расходов и введение ограничений 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 (ЕЕА, 2015а).

8. Пострадать как от разливов рек, так и от засух может также внутренний водный транспорт². Разливы рек могут иметь такие серьезные последствия, как приостановка навигации, заиливание, изменение морфологии рек, а также разрушения берегов и противопаводковых сооружений (ЕСЕ, 2013). Внутренние водные пути также являются уязвимыми в случае низкого уровня воды во время засухи, который считается более опасным для таких путей, чем наводнения (Christodoulou and Demirel, 2018). Тематическое исследование³ по коридору Рейн-Майн-Дунай (РМД) показало, что среднегодовые потери из-за низкого уровня воды составляли около 28 млн евро за период в 20 лет (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

¹ Этот сценарий примерно соответствует сценарию РТК 6.0 в ОД5 МГЭИК.

² В соответствии с базовым сценарием TRANSTOOLS8 в 2005 году в странах ЕС (без учета национальной торговли) по внутренним водным путям было перевезено около 293 млн т грузов. Это чуть меньше, чем было перевезено по железной дороге, и соответствует примерно трети тоннажа, перевезенного автомобильным транспортом.

³ Проект EU FP7-ECCONET, www.tmleuven.be/project/econet/home.htm.

менее в засушливые годы возможно увеличение совокупных транспортных расходов на 6–7% по сравнению с дождливыми годами.

9. Последствия ИИК для европейских транспортных систем были изучены в рамках нескольких европейских проектов⁴. 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 евро, а ежегодные косвенные издержки в результате сбоев транспортного сообщения были оценены в 1 млрд евро. 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.

10. 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. Недавнее исследование, посвященное климатическим рискам для морских портов и прибрежных аэропортов в Карибском регионе, показало, что уже в 2030-х годах возникнет значительный повышающийся риск наводнений в морских прибрежных районах, что потребует существенных технических мер по адаптации (Monioudi et al., 2018). 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, Vousdoukas et al., 2016; 2018), может иметь весьма серьезные 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 экстремального уровня моря (ЭУМ) на 1 м по сравнению с уровнем затопления при штормах, наблюдаемых на сегодняшний день один раз в 100 лет⁵, 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.

11. 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, что 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 евро. Вместе с тем по мере появления более подробных прогнозов в отношении будущих экстремальных уровней моря (ЭУМ) и прибрежных волн (Vousdoukas et al., 2016; 2018; Camus et al., 2017) в регионе ЕЭК (и за его пределами) целесообразно провести повторную оценку потенциального воздействия затопления на прибрежную транспортную инфраструктуру ЕЭК при различных сценариях ИИК.

⁴ Проекты EU-FP7 WEATHER www.weather-project.eu и EWENT (www.weather-project.eu/weather/inhalte/research-network/ewent.php).

⁵ В исследовании использовались следующие допущения в отношении расходов: средняя стоимость объектов инфраструктуры на 1 км дорожного покрытия – 10 млн евро; стоимость ремонта – порядка 250 000 евро/км.

12. В ходе недавнего исследования, посвященного портам (Christodoulou and Demirel, 2018), было установлено, что 64% морских портов Европейского союза могут быть затоплены, если исходить из оценок ПУМ МГЭИК (2013) и прогнозируемых ЭУМ (например, Vousdoukas et al., 2018). Основные последствия включают в себя перебои в работе и повреждение портовой инфраструктуры и судов, при этом пострадают также связи между портами и внутренними регионами. К 2080 году в наибольшей степени пострадают морские порты Греции (169), Великобритании (165) и Дании (90). К этому времени число морских портов Европейского союза, подверженных риску наводнений, по сравнению с 2030 годом увеличится на 50% (до 852 портов). Эта тенденция особенно заметна вдоль побережья Северного моря, где, согласно базе данных GISCO, расположено более 500 портов, на долю которых приходится до 15% мирового грузоперевозок (EUCC-D, 2013). Вместе с тем недавнее глобальное обследование портовой отрасли, проведенное Конференцией Организации Объединенных Наций по торговле и развитию (ЮНКТАД), показало отсутствие информации и данных, необходимых для эффективной адаптации, и низкий уровень готовности по всем глобальным портам (Asariotis et al., 2017).

13. 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 туристские перевозки (ECE, 2015).

14. В целом представляется, что последствия экстремальных событий для прибрежной транспортной инфраструктуры (и соответствующих цепей поставок) должны стать предметом неотложной и обстоятельной оценки. Следует также отметить, что, поскольку нынешняя тенденция в области климатических исследований заключается в оценке воздействия в сопоставлении с пороговыми значениями температуры (например, IPCC, 2018), было бы весьма полезно понять и сообщать о последствиях ИИК для инфраструктуры и деятельности применительно к данным целевым показателям глобальной температуры (Seneviratne et al., 2016 год).

Таблица 1

Сводная таблица воздействия ИИК на транспортную инфраструктуру и операции

Примечание: список не является исчерпывающим

<i>Фактор/опасность</i>	<i>Последствия</i>		
	<i>Автомобильный транспорт</i>	<i>Железнодорожный транспорт</i>	<i>Порты внутренних водных путей и аэропорты</i>
Температура			
Более высокие средние температуры; периоды аномальной жары/засухи; изменение числа теплых и прохладных дней	Нагрузка на термическое покрытие и его деградация; колееобразование асфальта; термическое повреждение мостов; учащение оползней на горных дорогах; сокращение срока службы объектов; увеличение потребности в охлаждении (пассажирские и грузовые перевозки); сокращение сроков для обслуживания; увеличение расходов на строительство и обслуживание; потенциальное изменение спроса	Температурный выброс путей; перегрев/отказ объектов инфраструктуры и подвижного состава; обрушение склонов; проблемы системы сигнализации; ограничение скорости; сокращение срока службы объектов; более высокие потребности в охлаждении; сокращение сроков для обслуживания; повышение расходов на строительство и обслуживание; изменение спроса	Нанесение ущерба инфраструктуре, оборудованию и грузам; повышение потребления энергии для целей охлаждения; введение ограничений по грузоподъемности на воздушном транспорте и необходимость удлинения взлетно-посадочных полос; возможное снижение затрат на уборку снега и льда; продление строительного сезона

Фактор/опасность	Последствия		
	Автомобильный транспорт	Железнодорожный транспорт	Порты внутренних водных путей и аэропорты
Сокращение площади снежного покрова, арктических земель и морского льда; деградация и таяние вечной мерзлоты	Вспучивание дорог; сокращение числа дней для путешествий; неустойчивость склонов и разрушение дамб; береговая эрозия, воздействующая на прибрежные дороги; возникновение проблем с ледяными дорогами	Повреждения рельсового пути; неустойчивость склонов и разрушение дамб; введение ограничений на грузовые и пассажирские перевозки	Нанесение ущерба портовой и аэропортовой инфраструктуре; более длинные сезоны судоходства и более короткие маршруты в Арктике (ЧПЭ) – снижение затрат на топливо при повышении расходов на вспомогательное обслуживание
Осадки			
Изменение средних значений; изменение интенсивности и/или частоты экстремальных явлений (наводнения и засухи)	Затопление; учащение оползней; обрушение склонов, земляных объектов и отказы оборудования; воздействие на жизненно важные узлы, например мосты; ухудшение видимости, что увеличивает количество несчастных случаев; учащение селевых потоков; задержки; изменение спроса	Погружение мостов в воду, подмыв мостовых опор; проблемы с дренажными системами и туннелями; оползни; подземное затопление; повреждения дамб и земляных объектов; эксплуатационные проблемы; задержки; изменение спроса	Затопление портовой инфраструктуры; прямой ущерб грузу и оборудованию; при экстремально низких осадках введение ограничений на судоходство по внутренним водным путям из-за засухи/снижения уровня воды в реках
Бури			
Изменения в частоте и интенсивности событий	Повреждение ограждений; снижение уровня безопасности дорожного движения – дорожно-транспортные происшествия	Нанесение ущерба объектам и контактной сети; перенапряжение; нарушение эксплуатации	Проблемы с судоходством и швартовкой в портах; отмены/задержки рейсов в аэропортах
Уровень моря/штормы			
Повышение среднего уровня моря (СУМ)	Повышение риска постоянного затопления/эрозии прибрежных дорог	Подмыв мостовых опор, повреждение объектов и контактной сети береговых сооружений	Нанесение ущерба инфраструктуре в результате затопления прибрежных объектов; увеличение расходов на защиту портов; последствия для ключевых транзитных пунктов (например, Кильский канал)
Повышение экстремального уровня моря (ЭУМ); изменения энергии и направления волн	Структурные повреждения прибрежных дорог; временное затопление, делающее дороги непригодными для использования; задержки в дорожном движении/перенаправление дорожного движения	Структурные повреждения прибрежных железных дорог, дамб и земляных объектов; ограничения и перебои в прибрежном железнодорожном сообщении	Затопление объектов; повышение расходов на строительство и обслуживание портов; седиментация навигационных каналов; переселение людей/переезд предприятий, вопросы страхования

III. Библиография

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

unctad.org/en/PublicationsLibrary/ser-rp-2017d18_en.pdf

Christodoulou A., Demirel H., 2018. Impacts of climate change on Transport. A focus on airports, seaports and inland waterways. EUR 28896 EN, Publications Office of the European Union, Luxembourg, 2018, ISBN 978-92-79-97039-9, doi:10.2760/378464, JRC108865,

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 Reports. 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

GISTEMP, 2016. NASA Goddard Institute for Space Studies - GISS Surface Temperature Analysis (GISTEMP). Available from: data.giss.nasa.gov/gistemp/.

Hambly, D., J. Andrey, B. Mills and C. Fletcher, 2012. Projected implications of climate change for road safety in Greater Vancouver, Canada. Климатические изменения. (doi: 10.1007/s10584-012-0499-0).

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)

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

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.

Lantuit, H. and W.H. Pollard, 2008. Fifty years of coastal erosion and retrogressive thaw slump activity

Monioudi I., N., Asariotis R., Becker A. et al., 2018. Climate change impacts on critical international transportation assets of Caribbean Small Island Developing States (SIDS): The case of Jamaica and Saint Lucia. Regional Environmental Change, 18 (8), 2211–2225.

- Mora, C., Dousset, B., Caldwell, I.R. et al., 2017. Global risk of deadly heat. *Nature Climate Change* 7, 501-507. DOI: 10.1038/NCLIMATE3322
- 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]
- 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).
- 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).
- 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.
- Schuur EAG, McGuire A.D., Schädel C., et al., 2015. Climate change and the permafrost carbon feedback. *Nature* 520, 171–179. 10.1038/nature14338
- Seneviratne S. I., et al., 2016. Allowable CO2 emissions based on regional and impact-related climate targets. *Nature* 529, 477–483. doi:10.1038/nature16542.
- 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.
- Vogel M.M., Orth R., Cheruy F. et al., 2017. Regional amplification of projected changes in extreme temperatures strongly controlled by soil moisture temperature feedbacks. *Geophys. Res. Letters*, 44, 1511–1519. doi:10.1002/2016GL071235.
- Vousdoukas M.I., Voukouvalas E., Annunziato A., Giardino A. and Feyen, L., 2016a. Projections of extreme storm surge levels along Europe. *Climate Dynamics* doi: 10.1007/s00382-016-3019-5.
- Vousdoukas M.I., Mentaschi L., Voukouvalas E., Verlaan M., Jevrejeva S., Jackson L.P., Feyen L., 2018. Global probabilistic projections of extreme sea levels show intensification of coastal flood hazard. *Nat. Commun.* 9, 2360. doi.org/10.1038/s41467-018-04692-w.
- Willway, T., Baldachin L., Reeves S. et al., 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
- Wright L., Chinowsky P., Strzepak K. et al., 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).
-