

Научная статья
УДК 551.583.2
doi: 10.46684/2687-1033.2024.3.304-311

Природные и природно-антропогенные меры адаптации транспортной инфраструктуры к климатическим изменениям

Р.Г. Ахтямов

Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I (ПГУПС); г. Санкт-Петербург, Россия; ahtamov_zchs@mail.ru

АННОТАЦИЯ

Цель исследования — анализ и разработка природных и природно-антропогенных мер адаптации транспортной инфраструктуры к климатическим изменениям.

Основой проведенного анализа послужили национальные и международные нормативно-правовые акты, передовые практики в области разработки и реализации технических, организационных, природных и природно-антропогенных мер адаптации объектов транспортной инфраструктуры к меняющемуся климату.

Несмотря на то, что технические меры адаптации могут рассматриваться как основа обеспечения безопасности по отношению к факторам климатического риска, принятие дополнительных или альтернативных природных мер позволит осуществить эффективную адаптацию более экономично на основе устойчивых и долгосрочных решений. В ряде случаев технические меры адаптации являются четко детерминированными, что в значительной мере лишает лиц, принимающих решение, гибкости при выборе комплекса мероприятий для конкретной территории. Таким образом, гибридные решения, сочетающие природные и технические мероприятия, могут обеспечить оптимальный уровень безопасности с учетом воздействия на окружающую среду, территории, необходимые для размещения средств адаптации, и величины затрат.

Выявлены текущие инженерные меры по адаптации, используемые на объектах транспортной инфраструктуры. За исключением ряда процедурных изменений в текущей практике, большинство действующих мер — это технические решения. Установлено, что дополнение технических и организационных мер природными и природно-антропогенными мерами адаптации обладает потенциалом не только предоставления экосистемных услуг, которые могли бы повысить биоразнообразие и экологическую связность, но и обеспечить устойчивость транспортной инфраструктуры к изменению климата. Широкое использование данных мер адаптации позволит позиционировать железнодорожный транспорт как надежный, устойчивый и экологически безопасный вид транспорта.

Ключевые слова: изменение климата; адаптация; климатический риск; транспорт; инфраструктура; природные объекты; природно-антропогенные объекты; опасное явление; транспортная инфраструктура

Для цитирования: Ахтямов Р.Г. Природные и природно-антропогенные меры адаптации транспортной инфраструктуры к климатическим изменениям // Техник транспорта: образование и практика. 2024. Т. 5. Вып. 3. С. 304–311. <https://doi.org/10.46684/2687-1033.2024.3.304-311>.

Original article

Natural and natural-anthropogenic measures for adapting transport infrastructure to climate change

Rasul G. Akhtyamov

Emperor Alexander I St. Petersburg State Transport University (PGUPS); St. Petersburg, Russian Federation; ahtamov_zchs@mail.ru

ABSTRACT

The purpose of the study is to analyze and develop natural and natural-anthropogenic measures for adapting transport infrastructure to climate change.

© Р.Г. Ахтямов, 2024

The analysis was based on national and international regulations, best practices in the development and implementation of technical, organizational, natural and natural-anthropogenic measures for adapting transport infrastructure facilities to a changing climate.

Although technical adaptation measures can be seen as the basis for ensuring safety against climate risks, the adoption of complementary or alternative nature-based measures will allow effective adaptation to be achieved more cost-effectively based on sustainable and long-term solutions. In some cases, technical adaptation measures are clearly determined, which largely deprives decision makers of flexibility when choosing a set of measures for a specific territory. Thus, hybrid solutions combining natural and technical measures can provide an optimal level of safety, taking into account the environmental impact, the area required to accommodate adaptation means, and the magnitude of costs.

Current engineering adaptation measures used at transport infrastructure facilities have been identified. With the exception of a number of procedural changes to current practice, most current measures are technical solutions. It has been established that complementing technical and organizational measures with natural and natural-human adaptation measures has the potential not only to provide ecosystem services that could increase biodiversity and ecological connectivity, but also to ensure the resilience of transport infrastructure to climate change. The widespread use of these adaptation measures will make it possible to position railway transport as a reliable, sustainable and environmentally friendly mode of transport.

Keywords: changing of the climate; adaptation; climate risk; transport; infrastructure; natural objects; natural and anthropogenic objects; dangerous phenomenon; transport infrastructure

For citation: Akhtyamov R.G. Natural and natural-anthropogenic measures for adapting transport infrastructure to climate change. *Transport technician: education and practice*. 2024;5(3):304-311. (In Russ.). <https://doi.org/10.46684/2687-1033.2024.3.304-311>.

ВВЕДЕНИЕ

Транспортная отрасль испытывает значительное негативное влияние со стороны опасных гидрометеорологических явлений (ОЯ) [1, 2], при этом железнодорожная инфраструктура особенно подвержена воздействию погодных условий и уязвима к ним [3, 4]. В данной работе в качестве ОЯ, оказывающих негативное влияние на объекты транспортной инфраструктуры (ОТИ), выделены — атмосферные, гидрологические и морские гидрологические явления, которые могут оказать существенное воздействие на работоспособность инфраструктуры¹ [5]. Влияние человека на климатическую систему в настоящее время является установленным фактом [6]. Вызванное деятельностью человека изменение климата приводит к повышению глобальной приземной температуры и впоследствии влияет на многие экстремальные погодные и климатические явления во всех регионах мира [6]. Прогнозируется, что продолжительность, величина, масштаб и частота проявления факторов климатического риска, будут увеличиваться [7], а это означает, что наблюдаемые сегодня «экстремальные» погодные явления могут стать «нормальной» погодой завтра [8].

Более высокие: средние температуры, уровень моря и осадков, более частые и неблагоприятные гидрометеорологические явления создают повышенные риски для железнодорожной инфраструктуры [9].

Подобные воздействия на объекты инфраструктуры могут быть не в полной мере учтены при ее проектировании и строительстве, а также сократить срок службы, создать физическую угрозу безопасной эксплуатации железнодорожного транспорта и увеличить затраты на техническое обслуживание и эксплуатацию [10]. Изменение климата представляет собой комплексный фактор, влияющий на управление устойчивостью транспортной инфраструктуры [11]. При этом железным дорогам необходимо не только противостоять текущим экстремальным погодным условиям, но и быстро восстанавливаться после воздействия на них факторов климатического риска, а также иметь возможность продолжать работу в будущих условиях, в соответствии со сценариями прогноза климатических изменений².

Цель исследования — анализ и разработка природных и природно-антропогенных мер адаптации (ППАМА) транспортной инфраструктуры к климатическим изменениям.

¹ Hazard // United Nations Office for Disaster Risk Reduction. URL: <https://www.undrr.org/terminology/hazard>

² ARISCC — Adaptation of Railway Infrastructure to Climate Change // ARISCC. URL: <http://www.ariscc.org/index4411.html?id=37>

Межправительственная группа экспертов по изменению климата определяет адаптацию как «процесс приспособления к фактическому или ожидаемому климату и его последствиям. В человеческих системах адаптация стремится смягчить или избежать вреда или использовать полезные возможности» [12]. Адаптация к изменению климата может включать комбинацию прямых технических мер, таких как защитные дамбы, и косвенных или организационных решений [13], таких как изменение подходов к планированию и управлению производственными процессами, включая системы раннего предупреждения об экстремальных погодных условиях [10].

В результате анализа выявлено, что ППАМА транспортной инфраструктуры к климатическим изменениям могут дополнять организационные и технические меры адаптации [13]. Так, природные меры определяются Международным союзом охраны природы как «действия по защите, устойчивому управлению и восстановлению природных или измененных экосистем, которые эффективно и адаптивно решают социальные проблемы, одновременно обеспечивая благосостояние человека и поддерживая биоразнообразие» [14]. Кроме того, регулирование состояния экосистем природными мерами включает регулирование климата, воды, эрозии и стихийных бедствий. Организация Объединенных Наций признает вклад природных мер в достижение целей устойчивого развития (ЦУР) на период до 2030 г. посредством поддержки жизненно важных экосистемных услуг и обеспечения доступа к пресной воде, улучшения средств к существованию, здорового питания и продовольственной безопасности³.

Природные и природно-антропогенные меры адаптации транспортной инфраструктуры к климатическим изменениям могут заключаться в поддержании функционирования природных объектов «естественная экологическая система, природный ландшафт и составляющие их элементы, сохранившие свои природные свойства» и создании природно-антропогенных объектов «природный объект, измененный в результате хозяйственной и иной деятельности, и (или) объект, созданный человеком, обладающий свойствами природного объекта и имеющий рекреационное и защитное значение», определенных в соответствии с Федеральным законом «Об охране окружающей среды».

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Таким образом, опыт использования природных систем и его расширение может рассматриваться как способ адаптации и смягчения последствий изменения климата. Концепция ППАМА рассматривается на национальном и международном уровнях как вариант практически осуществимых гибких решений, экономически эффективных мер адаптации к изменению климата, которые позволят снизить уязвимость объектов инфраструктуры в условиях меняющегося климата [14]. Примеры реализации концепции ППАМА включают:

- развитие зеленой инфраструктуры в городской среде (зеленые стены, сады на крышах, уличные деревья, водосборные бассейны с растительностью) для улучшения качества воздуха, поддержки очистки сточных вод и уменьшения ливневых стоков и загрязнения воды, а также улучшения качества жизни;
- использование естественных прибрежных природных объектов (барьерные острова, лесная растительность) для защиты береговой линии и населенных пунктов от наводнений и снижения негативных последствий повышения уровня моря.

Для адаптации ОТИ к условиям меняющегося климата могут быть выделены следующие категории ППАМА, согласно работе [14]:

- экосистемная адаптация;
- зеленая инфраструктура (ЗИ);
- экосистемная инфраструктура для снижения риска стихийных бедствий.

В соответствии с Конвенцией о биологическом разнообразии, экосистемная адаптация (ЭА) — это использование биоразнообразия и экосистемных услуг как часть общей стратегии адаптации, призванной помочь людям адаптироваться к неблагоприятным последствиям изменения климата [15]. Основной целью ЭА является адаптация к изменению климата, при этом усилия по адаптации приводят к дополнительным выгодам, выходящим за рамки адаптации⁴, например, восстановление лесных насаждений для защиты береговых линий и железнодорожных путей от штормовых наводнений и подтопления территории, одновременно поддерживая и сохраняя биоразнообразие [16]. Экосистемная адаптация может быть реализована в форме целенаправленной деятельности по управлению, сохранению и восстановлению экосистем, в рамках которой экосистемные услуги

³ Nature-Based Solutions to Address Climate Change // United Nations Global Compact. URL: <https://www.unglobalcompact.org/take-action/events/climate-action-summit-2019>

⁴ IUCN, UNFCCC Climate Change Talks, Barcelona, Spain Position Paper: Ecosystem-based Adaptation (EbA), IUCN, Barcelona, Spain, [cited 2024 Feb 29]. URL: www.iucn.org

используются для повышения устойчивости ОТИ в условиях изменения климата [16].

Зеленая инфраструктура — это стратегически спланированная сеть природных и природно-антропогенных объектов и территорий, предназначенная для предоставления широкого спектра экосистемных услуг, таких как очистка воды, поддержание качества воздуха, создание пространств для рекреации, а также смягчение последствий изменения климата и адаптация к ним [3]. ЗИ включает экосистемы, которые могут выполнять ряд функций, характерных для технических мер по адаптации транспортной инфраструктуры, например сбор, очистка, хранение и транспортировка воды. По сравнению с ЭА связь между ЗИ и адаптацией к изменению климата более опосредована, однако инфраструктурные услуги предоставляются экосистемами, которые также приводят к повышению адаптации к изменению климата. Таким образом, ЗИ может рассматриваться как дополнение, а в ряде случаев и замена техническим мерам по адаптации ОТИ к условиям меняющегося климата.

Экосистемная инфраструктура для снижения экологических рисков (ЭР) может быть использована для снижения рисков по отношению к ОТИ в условиях текущих и будущих ОЯ, таких как оползни, наводнения или штормовые нагоны. ЭР — это способ реализации устойчивого управления, сохранения и восстановления экосистем с целью снижения риска ОЯ для достижения устойчивого развития [17]. Также ЭР способствуют адаптации к изменению климата, поскольку данные изменения приводят к увеличению продолжительности, величины, масштаба и частоты проявления факторов климатического риска как в настоящее время, так и в будущем. Таким образом, ЭР могут быть использованы для устойчивого управления, сохранения и восстановления экосистем для снижения риска и адаптации к последствиям изменения климата с целью достижения устойчивого развития [16].

В *табл. 1* представлены результаты анализа неблагоприятного воздействия на железнодорожную инфраструктуру со стороны ОЯ.

В результате проведенного анализа выявлено, что, несмотря на то что технические меры адаптации могут рассматриваться как основа обеспечения безопасности по отношению к факторам климатического риска, принятие дополнительных или альтернативных природных мер позволит осуществить эффективную адаптацию более экономично на основе устойчивых и долгосрочных решений. Также в ряде случаев технические меры адаптации являются четко детерминированными, что в значительной мере лишает лиц, принимающих решение, гибкости при выборе комплекса мероприятий для конкретной территории. Кроме

того, технические меры могут значительно изменить естественную адаптационную способность, например территория, подверженная наводнениям, при возведении на ней защитной дамбы, становится более уязвимой к опасностям наводнений при повреждении, разрушении или ошибках при проектировании или строительстве дамбы. При этом большинство природных экосистем по своей природе адаптируемы, так, в зависимости от местных условий прибрежные водно-болотные угодья могут мигрировать вглубь территории по мере повышения уровня моря [18]. Также преимуществом ППАМА является то, что их можно использовать в сочетании с другими типами мероприятий, дополняя и повышая эффективность технических мер по адаптации.

Таким образом, гибридные решения, сочетающие природные и технические мероприятия, могут обеспечить оптимальный уровень безопасности с учетом воздействия на окружающую среду, территории, необходимые для размещения средств адаптации, и величины затрат.

Опасные гидрометеорологические явления оказывают неодинаковое негативное воздействие на различные ОТИ. Уязвимость объектов инфраструктуры по отношению к каждому фактору климатического риска обусловлена особенностями размещения, эксплуатации и назначения. В результате проведенного анализа выявлено, что из семи рассматриваемых ОЯ высокие температуры воздуха при продолжительной жаре представляют наиболее серьезную опасность, потенциально способную повлиять на все ОТИ (*табл. 2*).

В результате анализа установлено, что дополнение технических и организационных мер по адаптации ППАМА обладает потенциалом не только предоставления экосистемных услуг, которые могли бы повысить биоразнообразие и экологическую связность, но и обеспечить устойчивость транспортной инфраструктуры к изменению климата. Например, выбор конкретных видов растительности для высадки, биоинженерия и биотехническая стабилизация, а также создание и поддержание естественного дренажа даст возможность:

- эффективно и безопасно осуществлять управление стоком поверхностных вод и улучшать качество воды;
- улучшить качество воздуха путем улавливания загрязняющих веществ и парниковых газов;
- стабилизировать насыпи;
- обеспечить устойчивость во время продолжительной жары.

Внедрение ППАМА могло бы позволить железным дорогам одновременно решать как свои задачи адаптации к изменению климата, так и цели поддержания биоразнообразия путем создания «зеленых стен» и защитных лесов. Широкое

Воздействие гидрометеорологических опасных явлений на объекты железнодорожной инфраструктуры, текущие меры адаптации, и потенциальные альтернативные меры адаптации к меняющемуся климату

Гидрометеорологические ОЯ	Воздействие на железнодорожную инфраструктуру	Текущие меры адаптации	Альтернативные ППАМА
Продолжительная жара	Тепловая деформация рельсов	Изменение процедуры укладки для увеличения порога теплового расширения. Замена сочлененного пути на бесстыковой путь. Модернизация стрелочных переводов. Покраска рельсов в белый цвет в зонах с высоким риском теплового расширения	Создание «зеленых коридоров». Затенение растительностью. Выбор конкретных видов растительности для высаживания
	Тепловая деформация искусственных сооружений	Установка спринклерных систем орошения. Замена материалов изготовления искусственных сооружений на материалы с пониженным коэффициентом расширения	
	Общее увеличение интенсивности отказов при высоких температурах	Использование систем охлаждения для повышения надежности оборудования. Установка двойных кожухов для оборудования. Использование солнцезащитных козырьков	
	Провисание воздушных линий	Демонтаж оборудования воздушных линий с фиксированной заделкой. Совершенствование технологий противовеса	
	Повышенный пожарный риск	Регулирование растительности вдоль путей. Создание безлесных зон	
	Деградация вечной мерзлоты, вызывающая деформацию грунтов	Расчистка снега для сохранения устойчивости вечной мерзлоты. Монтаж термосифонов, воздухопроводов, навесов и охлаждаемого земляного полотна с использованием щебня	
Продолжительный мороз	Деформация и появление трещин в рельсах	Изменение процедуры укладки для увеличения порога тепловой деформации	Создание «зеленых коридоров» и «зеленых стен». Биоинженерия и биотехническая стабилизация. Создание и поддержание естественного дренажа
	Общее увеличение интенсивности отказов при низких температурах	Устройства обогрева оборудования	
	Повреждение объектов инфраструктуры вследствие заторных наводнений	Устройство защитных дамб, ледоудерживающих сооружений, различных каналов	
	Падение деревьев на пути вследствие снеговой нагрузки	Создание безлесных зон	
	Падение льда и снега в тоннелях, под мостами и другими искусственными сооружениями	Совершенствование системы дренажа мостов и тоннелей	
	Морозное пучение дорожного полотна и участков ведения земляных работ	Устройство геотермальных свай	
	Повреждения объектов инфраструктуры оползнями вследствие промерзания и оттаивания горных пород	Стабилизация и защита откосов	

Гидрометеорологические ОЯ	Воздействие на железнодорожную инфраструктуру	Текущие меры адаптации	Альтернативные ППАМА
Очень сильный дождь/снег	Повышенный риск оползней и обвалов на участках ведения земляных работ и во влажных условиях	Посадка «защитных лесов». Стабилизация склонов, включая установку габионных конструкций и свай. Использование контрфорсных дрен и реконструкция гребневых дрен	Биоинженерия и биотехническая стабилизация. Создание «зеленых стен» и защитных лесов. Создание и поддержание естественного дренажа
	Повышенный риск повреждения искусственных сооружений в результате наводнений	Программы защиты искусственных сооружений от повреждения в результате наводнений	
	Выход из строя опор конструкций вследствие размыва грунтов	Программы защиты от размыва грунтов	
	Повреждение балласта поверхностным стоком	Совершенствование дренажной системы, включая изменение диаметра водопропускных труб. Увеличение объема технического обслуживания, включая очистку водопропускных труб. Монтаж аварийных водопропускных труб. Монтаж насосных дренажных систем. Использование матрасов Рено	
	Повреждение объектов инфраструктуры грязевыми и селевыми потоками	Установка защитных каналов и дамб. Облицовка из каменной наброски, габионных конструкций, бетонной облицовки. Использование анкеров, георешетки и микросвай	
Засухи	Повышение риска срыва земляных работ из-за высыхания грунтов	Программы удаления растительности. Работы по перебалластировке и трамбовке	Биоинженерия и биотехническая стабилизация. Использование «зеленых стен»
Очень сильный ветер, ураган	Падение деревьев на рельсы	Программы удаления растительности. Создание безлесных зон	Выбор конкретных видов растительности для высадки. Создание защитных полос
	Чрезмерная ветровая нагрузка на здания и сооружения	Укрепление существующих зданий и сооружений, повышение устойчивости к ветровой нагрузке на этапе проектирования. Совершенствование систем натяжения воздушных линий	
	Нагонные наводнения, причиняющие ущерб объектам инфраструктуры	Повышение уровня расположения объектов инфраструктуры. Совершенствование систем защиты от наводнений	
	Повышенный риск повреждения искусственных сооружений	Использование направляющих. Установка демпфирующих устройств	
Грозы	Повреждения зданий и сооружений от ударов молний	Установка систем молниезащиты. Установка систем защиты от перенапряжения	Выбор конкретных видов растительности для высадки
	Лесные пожары, вызванные ударами молний	Создание безлесных зон	
Подъем уровня моря, штормовые нагоны	Береговая эрозия земляных сооружений, повреждение искусственных сооружений	Повышение уровня расположения объектов инфраструктуры. Облицовка из каменной наброски, габионных конструкций, бетонной облицовки	Биоинженерия и биотехническая стабилизация. Создание и поддержание естественного дренажа. Поддержание и развитие прибрежной растительности
	Затопление зданий и сооружений морской водой	Повышение уровня расположения объектов инфраструктуры. Создание волноломов	
	Повреждение волноломов	Защита от наводнений с учетом новых пороговых значений уровня воды. Облицовка из каменной наброски, габионных конструкций, бетонной облицовки. Повышение уровня расположения волноломов	

Влияние опасных гидрометеорологических явлений на объекты транспортной инфраструктуры

Опасные гидрометеорологические явления	Объекты транспортной инфраструктуры					
	Гражданские сооружения	Транспортные сооружения	Путь	Устройства СЦБ	Устройства электроснабжения	Контактная сеть
Продолжительная жара	+	+	+	+	+	+
Продолжительный мороз	+	+	+	+	+	
Очень сильный ветер, ураган	+	+		+		+
Подъем уровня моря, штормовые нагоны	+	+	+			
Очень сильный дождь/снег	+	+	+			+
Грозы	+	+		+	+	+
Засухи	+		+			

использование этих мер адаптации способствует позиционированию железнодорожного транспорта как надежного, устойчивого и экологически безопасного вида транспорта, наряду со стимулированием перехода от автомобильного к железнодорожному транспорту. Кроме того, ППАМА имеют потенциал по сокращению выбросов парниковых газов. Также естественные растительные экраны, обеспечиваемые ППАМА, могут обеспечить эстетические преимущества для пассажиров и снижение шума от железных дорог.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Выявлены текущие инженерные меры по адаптации, используемые на ОТИ. За исключением ряда процедурных изменений в текущей практике (расчистка растительности и изменения в методах прокладки железнодорожных путей), большинство действующих мер — это технические решения.

Гибридные решения, сочетающие природные и технические мероприятия, могут обеспечить

оптимальный уровень безопасности с учетом воздействия на окружающую среду, территории, необходимые для размещения средств адаптации и величины затрат.

Установлено, что дополнение технических и организационных мер по адаптации ППАМА обладает потенциалом не только предоставления экосистемных услуг, которые могли бы повысить биоразнообразие и экологическую связность, но и обеспечить устойчивость транспортной инфраструктуры к изменению климата.

Широкое использование данных мер адаптации позволит позиционировать железнодорожный транспорт как надежный, устойчивый и экологически безопасный вид транспорта, наряду со стимулированием перехода от автомобильного транспорта к железнодорожному. Природные и природно-антропогенные меры адаптации имеют потенциал по сокращению выбросов парниковых газов. Также естественные растительные экраны, обеспечиваемые ППАМА, могут предоставить эстетические преимущества для пассажиров и снижение шума от железных дорог.

ЛИТЕРАТУРА / REFERENCES

1. Thornes J.E. The impact of weather and climate on transport in the UK. *Progress in Physical Geography: Earth and Environment*. 1992;16(2):187-208. DOI: 10.1177/030913339201600202
2. Jaroszweski D., Chapman L., Petts J. Assessing the potential impact of climate change on transportation: the need for an interdisciplinary approach. *Journal of Transport Geography*. 2010;18(2):331-335. DOI: 10.1016/j.jtrangeo.2009.07.005
3. Blackwood L., Renaud F.G., Gillespie S. Nature-based solutions as climate change adaptation measures for rail infrastructure. *Nature-Based Solutions*. 2022;2:100013. DOI: 10.1016/j.nbsj.2022.100013
4. Lindgren J., Jonsson D.K., Carlsson-Kanyama A. Climate Adaptation of Railways: Lessons from Sweden. *European Journal of Transport and Infrastructure Research*. 2009. DOI: 10.18757/ejtir.2009.9.2.3295

5. Debele S.E., Kumar P., Sahani J., Marti-Cardona B., Mickovski S.B. et al. Nature-based solutions for hydro-meteorological hazards: Revised concepts, classification schemes and databases. *Environmental Research*. 2019;179:108799. DOI: 10.1016/j.envres.2019.108799
6. Masson-Delmotte V., Zhai P., Pirani A., Connors S.L. et al. Summary for Policymakers. *Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. 2021.
7. Field C.B., Barros V., Stocker T.F., Dahe Q. *Managing the risks of extreme events and disasters to advance climate change adaptation*. Cambridge University Press, 2012. DOI: 10.1017/CBO9781139177245
8. Nolte R., Kamburow C., Rupp J. *Adaptation of Railway Infrastructure to Climate Change Final Report*. Berlin, 2011.
9. Marteaux O. *Tomorrow's Railway and Climate Change Adaptation: Executive Report*. Rail Safety and Standards Board Limited, London, 2016.
10. Palko K., Lemmen D.S. *Climate risks and adaptation practices for the Canadian transportation sector 2016*. Natural Resources Canada/CMSS/Information Management, 2017. DOI: 10.4095/314845
11. Mentink H., Hockridge B., Frandsen M. NEWP32 Transport green corridors: literature review, options appraisal and opportunity mapping. *Natural England Commissioned Report NECR168*. 2014.
12. Field C.B., Barros V.R., Dokken D.J., Mach K.J., Mastrandrea M.D. *Climate Change 2014 Impacts, Adaptation, and Vulnerability*. Cambridge, 2014. DOI: 10.1017/cbo9781107415379
13. Seddon N., Daniels E., Davis R., Chausson A., Harris R. et al. Global recognition of the importance of nature-based solutions to the impacts of climate change. *Global Sustainability*. 2020;3. DOI: 10.1017/sus.2020.8
14. Cohen-Shacham E., Walters G., Janzen C., Maginnis S. *Nature-based Solutions to address global societal challenges*. IUCN International Union for Conservation of Nature, 2016. DOI: 10.2305/iucn.ch.2016.13.en
15. Kabisch N., Korn H., Stadler J., Bonn A. Nature-Based Solutions to Climate Change Adaptation in Urban Areas – Linkages Between Science, Policy and Practice. *Theory and Practice of Urban Sustainability Transitions*. 2017. DOI: 10.1007/978-3-319-56091-5_1
16. Oliver J., Probst K., Renner I., Riha K. Ecosystem-based Adaptation (EbA). *Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH*. 2024.
17. Renaud F.G., Nehren U., Sudmeier-Rieux K., Estrella M. Developments and Opportunities for Ecosystem-Based Disaster Risk Reduction and Climate Change Adaptation. *Ecosystem-Based Disaster Risk Reduction and Adaptation in Practice*. 2016;1-20. DOI: 10.1007/978-3-319-43633-3_1
18. Jones H.P., Hole D.G., Zavaleta E.S. Harnessing nature to help people adapt to climate change. *Nature Climate Change*. 2012;2(7):504-509. DOI: 10.1038/nclimate1463

Об авторе

Расул Гумерович Ахтямов — кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры «Техносферная и экологическая безопасность»; **Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I (ПГУПС)**; 190031, г. Санкт-Петербург, Московский пр., д. 9; SPIN-код: 2812-3782, Scopus: 57194433800, ORCID: 0000-0001-8732-219X; ahtamov_zchs@mail.ru.

Bionotes

Rasul G. Akhtyamov — Cand. Sci. (Eng.), Associate Professor, Associate Professor of the Department of “Technosphere and Environmental Safety”; **Emperor Alexander I St. Petersburg State Transport University (PGUPS)**; 9 Moskovsky pr., St. Petersburg, 190031, Russian Federation; SPIN-code: 2812-3782, Scopus: 57194433800, ORCID: 0000-0001-8732-219X; ahtamov_zchs@mail.ru.

Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.
The author declares no conflicts of interests.

Статья поступила в редакцию 31.03.2024; одобрена после рецензирования 03.05.2024; принята к публикации 28.06.2023.
The article was submitted 31.03.2024; approved after reviewing 03.05.2024; accepted for publication 28.06.2023.