

УДК 656

DOI 10.52928/2070-1616-2023-47-1-54-59

ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТЬ ТРАНСПОРТНОЙ ОТРАСЛИ К ИЗМЕНЕНИЮ КЛИМАТА

д-р техн. наук, доц. Д.В. КАПСКИЙ, С.В. БОГДАНОВИЧ, канд. техн. наук, доц. Ю.В. БУРТЫЛЬ
(Белорусский национальный технический университет, Минск)

Рассмотрены основные аспекты, связанные с чувствительностью транспортной отрасли (транспорта и транспортной инфраструктуры) к изменениям климата и необходимостью принятия адаптационных мер, направленных на повышение ее устойчивости к действию климатических факторов. Разработка эффективных стратегий адаптации требует целенаправленного изучения факторов уязвимости. В статье проанализированы виды транспорта Республики Беларусь с учетом наиболее применяемых индикаторов воздействия и уязвимости для оценки чувствительности по данным отрасли отдельно и в совокупности.

Ключевые слова: транспорт, транспортная отрасль, климат, изменение климата, климатическое воздействие, чувствительность, адаптация.

Введение. Транспортный сектор во всем мире рассматривается как основной источник выбросов в атмосферу веществ, разрушающих привычный для нас климат. К примеру, только по углекислому газу (CO₂) еще в 2006 г. выбросы транспортом составили 23% от глобального объема всех антропогенных объектов¹. Для оценки выбросов транспортом парниковых газов и разработки мероприятий по снижению воздействия на климат необходимо иметь надежные данные по транспорту в целом и выводы об экологической безопасности региона выполнять на основании широкоформатных исследований по вопросу уязвимости климата, климатических рисков, активности по предотвращению разрушения биотопов от воздействия транспорта^{2,3,4,5,6} [1].

Отмечая опубликованный в октябре 2018 г. доклад Межправительственной группы экспертов ООН по изменению климата, где содержится предупреждение о том, что у правительств есть всего лишь 12 лет, чтобы предпринять решительные шаги по борьбе с изменением климата, прежде чем наступят наиболее разрушительные его последствия, и приветствуя шаги, принятые с момента проведения Конференции ООН по изменению климата в 2015 г. в Париже (КС-21), равно как и проведение 23 сентября 2019 г. в Нью-Йорке Саммита ООН по мерам в области изменения климата с целью оценки достигнутых результатов, Парламентская ассамблея ООН вновь обращается с призывом ко всем государствам удвоить усилия по поиску и осуществлению комплексных подходов к реагированию на общие экологические и экономические вызовы, в т.ч. на проблемы продовольственной и водной безопасности, изменения климата, энергетической безопасности и т.д.⁷

Направления государственных программ, связанных с экологией, выражены не только в стремлении к снижению антропогенного влияния на климат, но и применимы к адаптации отрасли к последствиям климатических изменений.

Выявлено, что ущерб, причиняемый стихиями, климатическими изменениями в Республике Беларусь, на порядок выше, чем затраты, связанные с ликвидацией чрезвычайных ситуаций техногенного характера. К примеру, в 2016 г. он составил в среднем в эквиваленте к белорусскому рублю около 41 млн долл. США, что в 10 000 раз дороже, чем последствия от техногенного характера. Общий экономический ущерб, причиненный природными явлениями за 10 лет, в эквиваленте равен примерно 400 млн долл. США⁸.

¹ Центр ЮНЕП Risø. Руководство по ТНА. Технологии для смягчения последствий изменения климата, 2011.

² Капский Д.В., Богданович С.В., Буртыль Ю.В. Влияние климата на транспортную отрасль Беларуси // Проектирование автомобильных дорог: Сб. докл. 80-й Междунар. науч.-метод. и науч.-исслед. конф. МАДИ. – М., 2022. – С. 293–303.

³ Капский Д.В., Богданович С.В., Буртыль Ю.В. Определение подходов к анализу чувствительности транспортной отрасли к изменениям климата // Проблемы безопасности на транспорте: Материалы XI междунар. науч.-практ. конф. В 2 ч. / Гомель (25–26 нояб. 2021 г.). – Гомель, 2021. – Ч. 1. – С. 24–26.

⁴ Капский Д.В., Богданович С.В. Устойчивая логистика умных симбиотических городов // Проблемы безопасности на транспорте: Материалы XI междунар. науч.-практ. конф. В 2 ч. / Гомель (25–26 нояб. 2021 г.). – Гомель, 2021. – Ч. 1. – С. 22–24.

⁵ Капский Д.В. Проблемы городской логистики симбиотических городов // Автомобильные перевозки и транспортная логистика: теория и практика: Сб. науч. тр. конф. «Организация перевозок и управление на транспорте» (с междунар. участием) / под науч. ред. Е.Е. Витвицкого. – Омск, 2021. – С. 37–43.

⁶ Капский Д.В. Городская логистика – стратегический элемент устойчивого развития урбанизированных территорий // Проблемы международной транспортной политики: Материалы междунар. конф. / Москва (27 апр.). – М., 2022. – С. 49–54.

⁷ Люксембургская декларация и резолюции, принятые Парламентской ассамблеей ОБСЕ на XXVIII ежегодной сессии, Люксембург, 4–8 июля 2019 г. URL: <https://www.oscepa.org/en/documents/annual-sessions/2019-luxembourg/3880-luxembourg-declaration-rus/file>

⁸ Национальная стратегия по снижению риска возникновения чрезвычайных ситуаций в Республике Беларусь на 2019–2030 гг.: утв. Премьер-министром Республики Беларусь 30.11.2018. URL: <https://ucp.by/images/file/fpnk/NS1930.pdf>

Транспортная стратегия страны по снижению вредного воздействия на атмосферный воздух направлена на установление баланса между экономической и социальной пользой транспорта и отрицательными последствиями его эксплуатации для общества и окружающей среды с учетом международных обязательств. Адаптационные меры обращены на повышение устойчивости систем к действию климатических факторов. В транспортном секторе это предполагает не только физическую прочность и долговечность инфраструктуры, позволяющие ей выдерживать неблагоприятные воздействия, не теряя способности к выполнению своих основных функций, но и возможность быстрого восстановления с минимальными затратами.

Таким образом, потенциальное воздействие меняющегося климата должно учитываться при планировании, проектировании, строительстве и эксплуатации, а также в рамках более общих экономических стратегий и политики в области развития, затрагивающих данный сектор⁹, ¹⁰ [1; 2].

Разработка эффективных стратегий адаптации требует принятия мер в области политики, инвестиций и совместных научных исследований. Первым необходимым шагом к восполнению нынешних пробелов в знаниях и определению приоритетных направлений работы представляется целенаправленное изучение факторов уязвимости, проведение эмпирических исследований и оценка вероятных рисков и соответствующих издержек.

Основная часть. Как одна из наиболее климатозависимых отраслей экономики, транспортный сектор особенно уязвим по отношению не только к экстремальным явлениям катастрофических масштабов [3], но и к «вялотекущим» неблагоприятным процессам в связи с изменением климата (существенное изменение температуры, рост количества осадков, сильные ветра, засуха и эрозия почвы и др.).

Уязвимость к изменению температуры воздуха. Ключевыми проблемами, возникающими под влиянием изменений термического режима, являются зимнее содержание дорог, безопасность и бесперебойность движения по дорогам в холодный период года. Зимой опасность на дороге обусловлена ее скользкостью, связанной с гололедицей, гололедом, черным льдом, снежным накатом. Ожидается, что повторяемость формирования условий, способствующих образованию скользкости на дорогах, к середине XXI столетия возрастет. Частые перепады температуры в зимний период также способствуют разрушению покрытия автомобильных дорог. Особенно интенсивно процесс разрушения происходит при частых переходах температуры воздуха через 0 °С.

Рост температуры в летний период приведет к большому числу дней с экстремально высокими температурами воздуха. По инструментальным наблюдениям за последние 20 лет на территории Беларуси температура воздуха в среднем превысила климатическую норму на 1,1 °С¹¹. Повышение температуры за последний 10-летний период в основном приходится на первые четыре месяца года. Также более теплыми стали и летние месяцы (положительная аномалия составила в июле +0,7 °С, в августе – +0,8 °С). Согласно прогнозным оценкам на ближайшие 60 лет на территории Республики Беларусь ожидается дальнейший рост среднегодовой температуры на 1,0–2,9 °С¹².

Аномальная жара 2003 г. не привела к такому совокупному ущербу, который поставил бы под вопрос целостность и надежность дорог и других инженерных сооружений транспортной системы, однако вызвала отдельные проблемы на местах, связанные, главным образом, с усадкой глинистых почв. На юге страны на Полесье образовалась новая более теплая агроклиматическая область с большей теплообеспеченностью, для которой характерна самая короткая и теплая зима и наиболее продолжительный вегетационный период.

Продолжительные и повторяющиеся периоды экстремальной летней жары могут вызвать повреждение дорог из-за деформации (размягчения) асфальта и образование колеи при интенсивном движении. Сухое и жаркое лето вызывает износ и проседание дорожного покрытия, что приводит к снижению его рабочих характеристик. Это особенно существенно для дорог местного значения, не рассчитанных на большую нагрузку, покрытие которых обладает сравнительно низкой температурой плавления. В таблице 1 приведены расчетные характеристики материалов дорожной одежды – модули упругости материалов, содержащих органическое вяжущее, изменяются в зависимости от температуры по результатам многолетнего применения. Из таблицы 1 видно, что при увеличении температуры покрытия модуль несущих слоев дорожной одежды может снижаться в два раза.

Температуры выше 30 °С могут привести к отказам транспортного оборудования. Возникают проблемы перегрева автомобилей и износа шин.

⁹ Капский Д.В., Мозалевский Д.В., Гамульский И.Г. Выбросы вредных веществ транспорта в симбиотическом городе и прогноз сокращения выбросов CO₂ в изменяемой транспортной системе // Проектирование автомобильных дорог: Сб. докл. 80-й Междунар. науч.-метод. и науч.-исслед. конф. / Москва (24–27 янв.). – М., 2022. – С. 244–253.

¹⁰ Капский Д.В. Методология экономической, социальной и экологической эффективности транспортной системы // Проектирование автомобильных дорог: Сб. докл. 80-й Междунар. науч.-метод. и науч.-исслед. конф. / Москва (24–27 янв.). – М., 2022. – С. 190–199.

¹¹ Клевцев Н. Отчет по оценке условий изменения климата на территории Республики Беларусь / Отчет в рамках проекта «ЕС для климата». – Минск, 2020.

¹² Национальный доклад: Уязвимость и адаптация к изменению климата в БЕЛАРУСИ // Форум восточных стран по климатическим изменениям. – 2014. – URL: <https://www.minpriroda.gov.by/uploads/files/Otsenka-ujazvimosti-Belarusi-Rus.pdf>

Таблица 1. – Зависимость кратковременного модуля упругости материалов от температуры покрытия¹³

Материал	Марка битума в составе материала	Расчетные значения кратковременного модуля упругости E, МПа, при температуре асфальтобетонного покрытия, °С			
		+20	+30	+40	+50
Плотный асфальтобетон	БНД-40/60	2600	1300	690	430
	БНД-60/90	1800	900	550	380
	БНД-90/130	1200	660	440	350
	БНД-130/200	800	560	380	320
Пористый и высокопористый асфальтобетон	БНД-40/60	1700	900	540	390
	БНД-60/90	1200	700	460	360
	БНД-90/130	800	510	380	350
	БНД-130/200	590	410	340	340

Высокие температуры воздуха также негативно влияют на функционирование железнодорожного транспорта. Происходят перегрев и деформация рельсов, что может стать причиной схода поездов с рельсов, и потребовать введения скоростных ограничений.

Результаты проведенного анализа чувствительности транспортной системы приведены в таблице 2.

Таблица 2. – Уязвимость транспорта от высокой температуры, прямых солнечных лучей

Вид транспорта	Индикаторы	Уязвимость	Чувствительность
1	2	3	4
Автомобильный	Солнечное излучение	Разрушение дорожного покрытия ранее проектных сроков службы (колея, просадки)	Снижение скорости перевозок, уровня комфорта, затраты на ремонт
Автомобильный. Железнодорожный. Воздушный. Водный	Число жарких дней, индекс дефицита холода (CDD)	Рост потребности в охлаждении пассажиров и грузов	Снижение объема перевозок, снижение уровня комфорта пассажиров
Автомобильный. Воздушный	Число жарких дней, индекс дефицита холода (CDD)	Повышенный расход топлива при дополнительном охлаждении	Снижение расстояний перевозки
Автомобильный. Воздушный. Железнодорожный	Температура атмосферного воздуха	Повышенная нагрузка на оборудование, дополнительные затраты на ремонт	Сокращение парка транспорта, сокращение объемов перевозок
Автомобильный. Железнодорожный	Уровень пожарной опасности	Задымленность от пожаров снижение видимости	Столкновение транспорта, закрытие маршрутов перевозок
Железнодорожный.	Солнечное излучение	Деформация стальных путей	Длительные простои составов, закрытие маршрутов
Автомобильный. Железнодорожный	Температура атмосферного воздуха	Перегрев тормозных систем подвижного состава	Повышение количества аварий, заторы
Воздушный. Железнодорожный. Водный	Число жарких дней, индекс дефицита холода (CDD)	Сбой работы сигнальных устройств	Длительные простои, транспорта, повышение аварийности, отказ работы навигационных приборов
Воздушный	Температура атмосферного воздуха	Увеличение облачности, снижение видимости	Повышенный расход топлива, снижение грузоподъемности
Автомобильный. Железнодорожный	Число жарких дней, индекс дефицита холода (CDD)	Усадка основания сооружений вследствие усадки грунтов	Просадки основания, разрушение несущих конструкций
Воздушный	Температура атмосферного воздуха	Уменьшение подъемной силы и тяги двигателей	Удлинение взлетно-посадочной полосы
Автомобильный. Железнодорожный. Воздушный. Водный	Температура атмосферного воздуха	Воздействие жары на человека при выполнении ремонтных и прочих работ	Ограничение рабочего времени, увеличение продолжительности ремонтов
Автомобильный. Железнодорожный	Температура атмосферного воздуха	Усыхание растений и деревьев, укрепляющих грунт	Оползни, камнепад, обвалы горной породы, закрытие дорог
Автомобильный. Железнодорожный	Число жарких дней, индекс дефицита холода (CDD)	Провисание контактных проводов, выход из строя трансформаторов, освещения	Прекращение электроснабжения, сбой в системах управления и обслуживания

¹³ ВСН 46-83. Инструкция по проектированию дорожных одежд нежесткого типа. – М.: М-во транспорт. стр-ва СССР, Транспорт, 1995. – 135 с.

Окончание таблицы 2

1	2	3	4
Автомобильный. Железнодорожный. Воздушный. Водный	Число жарких дней, индекс дефицита холода (CDD)	Ухудшение здоровья пассажиров в условиях экстремальных температур	Массовые обмороки, жажда, сложность оказания медицинской помощи
Автомобильный	Температура атмосферного воздуха	Перегрев двигателей и системы охлаждения на низких скоростях	Образование массовых заторов, затраты на формирование отрядов служб эвакуации
Автомобильный. Железнодорожный. Воздушный. Водный	Число жарких дней, индекс дефицита холода (CDD)	Распространение инфекций, энцефалитного клеща и других переносчиков заболеваний, рост количества насекомых	Повышение уровня заболеваний энцефалитом и болезнью Лайма, увеличение числа острых кишечных инфекций

Уязвимость отраслевых систем и процессов в областях относительно среднего по стране оценивалась по будущим значениям характеристик климата в областях. На рисунках 3 и 4 приведены результаты пространственной оценки.

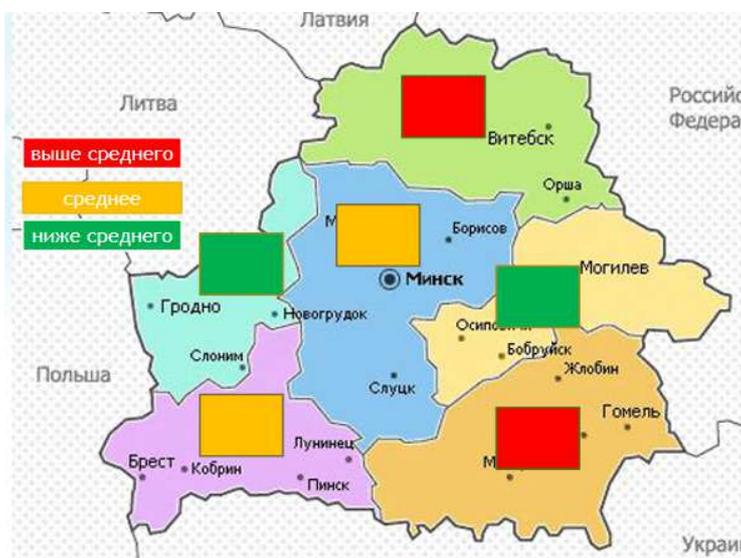


Рисунок 3. – Уязвимость, выражаемая в потребности в ремонтах автомобильных дорог при будущих повышениях температуры по областям

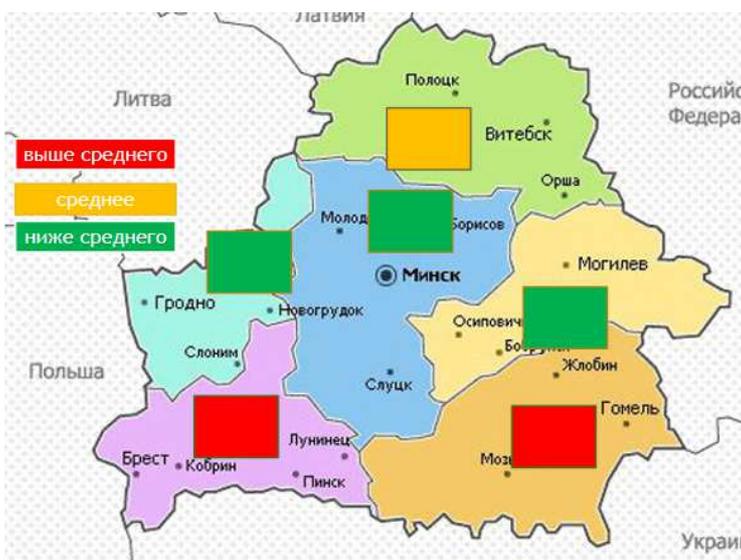


Рисунок 4. – Уязвимость путей железных дорог при будущих повышениях температуры по областям с учетом протяженности путей по областям

При рисках выше среднего для дорожного транспорта возможны: выход из строя общественного транспорта, обмороки и тепловые удары пассажиров, пожары, переход огня на придорожную полосу, возгорание строений и транспорта, выход из строя управляющего оборудования.

При рисках выше среднего для железнодорожного транспорта: разрушение стыковки рельсов, изменение геометрии рельсов, сход с рельсов подвижного состава, самопроизвольная смена сигнала светофора, столкновение поездов и пр.

Уязвимость от роста количества осадков, повышения уровня воды, интенсивных ливней. Прирост объема выпадения осадков может вызвать размыв дорог и опор мостов, привести к изменению стока рек и тем самым существенно повлиять на состояние автомобильных дорог и железнодорожных путей, складские портовые операции и эксплуатацию аэропортов, автобусных станций и железнодорожных терминалов. К примеру, в результате сильных снегопадов, отмечавшихся 21 июня 2004 г., было затруднено движение автотранспорта по Могилевской и Гомельской областям. В Могилевской области было отменено более 100 рейсов пригородных маршрутов¹⁴. Непосредственный ущерб может быть причинен во время или сразу после выпадения осадков, что требует принятия безотлагательных мер.

Особую обеспокоенность вызывает потенциальное увеличение зимних осадков, с которыми могут не справиться дренажные системы. Одновременное таяние снега и поднятие уровня грунтовых вод вызывает смещения грунтов в местах устройства сооружений.

В городских условиях городская канализация и дренажные системы, как правило, не справляются с потоками воды при сильных ливнях. Чрезвычайные опасные последствия могут наблюдаться в прибрежных городах и городах, расположенных вдоль крупных водоемов (рек, озер).

Усиление ветра до штормового предупреждения. В Республике Беларусь, штормовое предупреждение объявляется при скорости ветра свыше 18 м/с. Шкала силы ветра по величине повреждений в Республике Беларусь разделяется от 0 до 38 м/с и более. Ветры скоростью уже 12 м/с могут привести к повреждению линий электропередач из-за падения на них сломанных ветвей деревьев [4]. Ветры ураганной силы, т.е. скоростью свыше 38 м/с, наносят значительные повреждения легким и иногда даже капитальным зданиям, разбивают окна и сдирают краску с машин. Ветры скоростью свыше 70 м/с способны разрушать практически любые здания. Так, некоторые шкалы скорости ветра, в частности шкала Саффира–Симпсона, предназначены для оценки возможных убытков от ураганов.

Вследствие сильных порывов ветра на территории Беларуси уже в 2019–2020 гг. пострадали населенные пункты в Брестской, Гомельской, по югу Гродненской, Минской и Могилевской областей. Были повреждены кровли жилых домов, хозяйственных построек, объектов соцкультбыта, производственных и сельскохозяйственных зданий. Нарушалось электроснабжение населенных пунктов. Зафиксированы случаи падения деревьев, повреждения автомобилей, задержки движения поезда.

Засуха и эрозия почвы. Эрозия почвы, т.е. изменение рельефа местности, может происходить от потоков воды, сильного ветра, засушливых климатических условий. По причинам выделяют естественную и антропогенную эрозию. Уязвимость ускоренного антропогенного процесса эрозии почвы влияет на транспортную систему.

В Республике Беларусь вследствие засух случаются пожары в лесах и на торфяниках, ухудшается экологическая обстановка. За последние десятилетия вероятность возникновения засух и их продолжительность увеличились как за счет изменения (потепления) климата, так и за счет антропогенного воздействия на природную среду (мелиорации земель, нарушения естественного растительного покрова, водоотведения, урбанизации и др.). В мае за период потепления в сравнении с предшествующим периодом повторяемость почвенных засух в Гомельской области увеличилась в два раза, в Брестской – в четыре. В среднем здесь такие засухи в мае бывают в шести-семи годах из десяти. В остальных областях повторяемость майских засух также возросла, наиболее существенно в северном регионе – в современных климатических условиях в Витебской области засуха в мае в среднем наблюдается в двух-трех годах из десяти. В Гродненской области снизился уровень судоходных рек, что существенно повлияло на объемы перевозок для внутренних путей между промышленными предприятиями.

Заключение. Уязвимость к изменению климата в транспортной деятельности в первую очередь связана с очевидными глобальными экологическими аспектами: транспортная деятельность сопровождается выбросами соединений, разрушающих озоновый слой в стратосфере; транспорт является одним из источников загрязнения окружающей среды стойкими органическими загрязнителями, которые вызывают серьезные нарушения функционирования живых организмов. При этом ущерб, причиняемый стихиями, климатическими изменениями в Республике Беларусь, на порядок выше, чем затраты, связанные с ликвидацией чрезвычайных ситуаций техногенного характера. Транспортная стратегия страны по снижению вредного воздействия на атмосферный воздух направлена на установление баланса между экономической и социальной пользой транспорта и отрицательными последствиями его эксплуатации для общества и окружающей среды с учетом международных обязательств.

¹⁴ Капский Д.В., Клевцев Н.Н. Ключевые погодно-климатические риски в сфере транспорта для территории Республики Беларусь // БЕЛГИДРОМЕТ, Минск, Республика Беларусь/ – URL: http://elib.bsut.by/bitstream/handle/123456789/6332/D0%9F%D1%80%D0%BE%D0%B1%D0%BB%D0%B5%D0%BC%D1%8B%20%D0%B1%D0%B5%D0%B7%20%D1%82%D0%B8.2021_1-227-228.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Адаптационные меры обращены на повышение устойчивости систем к действию климатических факторов. В транспортном секторе это предполагает не только физическую прочность и долговечность инфраструктуры, позволяющие ей выдерживать неблагоприятные воздействия, не теряя способности к выполнению своих основных функций, но и возможность быстрого восстановления с минимальными затратами.

Как одна из наиболее климатозависимых отраслей экономики, транспортный сектор особенно уязвим по отношению не только к экстремальным явлениям катастрофических масштабов, но и к «вялотекущим» неблагоприятным процессам в связи с изменением климата: существенному изменению температуры, росту количества осадков, сильным ветрам, засухам и эрозии почвы и др. Для разработки эффективных стратегий адаптации необходимо целенаправленное изучение факторов уязвимости.

ЛИТЕРАТУРА

1. Маршрутный транспорт городов Полоцка и Новополоцка: эффективность и тенденции развития / Д.В. Капский, В.П. Иванов, Т.В. Вигерина и др. – Новополоцк: ПГУ, 2021. – 356 с.
2. Методология оценки воздействия изменения климата, уязвимости и климатических рисков в транспортной системе Республики Беларусь / Д.В. Капский, С.В. Богданович, Ю.В. Буртыль. – Минск: БНТУ, 2022. – 256 с.
3. Логинов В.Ф., Кузнецов Г.П., Микуцкий В.С. Анализ и моделирование климатических процессов в Беларуси // Докл. НАН Беларуси. – 2003. – № 3. – Т. 47. – С. 112–116.
4. Betz H.D., Schumann U., Laroche P. *Lightning: Principles, Instruments and Applications*. – Berlin: Springer, 2009. – P. 202–203.

REFERENCES

1. Kapskii, D.V., Ivanov, V.P., Vigerina, T.V., Kot, E.N., Kuz'menko, V.N., Mozalevskii, D.V. ... Kuznetsova, A.A. (2021). *Marshrutnyi transport gorodov Polotska i Novopolotska: effektivnost' i tendentsii razvitiya*. Novopolotsk: PGU. (In Russ.)
2. Kapskii, D.V., Bogdanovich, S.V. & Burtyl', Yu.V. (2022). *Metodologiya otsenki vozdeistviya izmeneniya klimata, uyazvimosti i klimaticheskikh riskov v transportnoi sisteme Respubliki Belarus'*. Minsk: BNTU. (In Russ.)
3. Loginov, V.F., Kuznetsov, G.P. & Mikutskii, V.S. (2003). *Analiz i modelirovanie klimaticheskii protsessov v Belarusi*, 3 (47), 112–116. (In Russ., abstr. in Engl.)
4. Betz, H.D., Schumann, U. & Laroche, P. (2009). *Lightning: Principles, Instruments and Applications*. Berlin: Springer.

Поступила 03.01.2023

SENSITIVITY OF THE TRANSPORT INDUSTRY TO CLIMATE CHANGE

D. KAPSKII, S. BOGDANOVICH, Yu. BURTYL'
(Belarusian National Technical University, Minsk)

The article discusses the main aspects related to the sensitivity of the transport industry (transport and transport infrastructure) to climate change, taking into account its adaptive capabilities with the further development of negative consequences and for their mitigation when using less costly, low-capital-intensive measures to reduce this negative impact. The assessments were made for all modes of transport in the Republic of Belarus, taking into account the most used indicators of impact and vulnerability to assess sensitivity for these industries separately and in aggregate.

Keywords: transport, transport industry, climate, climate change, climate impact, sensitivity, adaptation.