

ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ЗАТРАТ НА МОДЕРНИЗАЦИЮ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ В РОССИИ В ЦЕЛЯХ ИХ АДАПТАЦИИ К КЛИМАТИЧЕСКИМ ИЗМЕНЕНИЯМ И СНИЖЕНИЯ РИСКА ДТП¹

ПОРФИРЬЕВ Борис Николаевич, академик РАН, b_porfiriev@mail.ru, Институт народнохозяйственного прогнозирования, Российская академия наук, Москва, Россия
ORCID: 0000-0001-8515-3257, Scopus Author ID: 6603270384

СКУБАЧЕВСКАЯ Нина Дмитриевна, nina.hv@mail.ru, Институт народнохозяйственного прогнозирования, Российская академия наук, Москва, Россия
ORCID: 0000-0001-9490-8156, Scopus Author ID: 58317163800

МИЛЯКИН Сергей Романович, к.э.н., milyakinsergei@gmail.com, Институт народнохозяйственного прогнозирования, Российская академия наук, Москва, Россия
ORCID: 0000-0002-3770-7785, Scopus Author ID: 57203134778

Анализируются последствия изменений климата для инфраструктуры на примере автомобильных дорог с твердым покрытием. Рассматриваются сценарии их адаптации, различающиеся по масштабам применения адаптационных технологий и управленческим мерам, способствующие снижению уязвимости дорожного полотна к негативным воздействиям последствий, прежде всего, перехода приземной температуры через 0°C. Обосновывается методика расчета затрат на реализацию мер адаптации дорожной сети. Доказывается, что их стоимость не приводит к существенной нагрузке на федеральный (консолидированный) бюджет и экономику России. В то же время, для отдельных регионов страны такая нагрузка может быть значительной, что означает необходимость федеральной поддержки. Обосновывается методика оценки социально-экономической эффективности использования адаптационных технологий, способствующих снижению количества и тяжести ДТП, количества и объемов ремонтных работ, затрат времени пользователей дорог, а также уменьшения вредных выбросов в окружающую среду. Показано, что указанный эффект составляет 3,1 руб. на 1 руб. затрат на меры адаптации.

Ключевые слова: изменение климата, инфраструктура, автодороги, модернизация, адаптация, технологии, затраты, эффективность.

DOI: 10.47711/0868-6351-201-103-118

Введение. Одним из значительных по масштабам и интенсивности, и ключевых по значимости для устойчивого социально-экономического развития, прежде всего, на локальном и региональном уровнях, последствий изменений климата является воздействие резких изменений температуры и режима осадков на инфраструктуру, включая транспортную, в том числе, дорожную, энергетическую и жилищно-коммунальную системы. При этом социально-экономический ущерб, наносимый инфраструктуре развивающихся стран в целом, включая Россию, который, по нашей оценке, в 2020 г. составлял порядка 250 млрд долл. или 0,4% от их совокупного ВВП, по прогнозам ЮНЕП к 2030 г. может возрасти в среднем до 435 млрд долл. и достигнуть 1,7 трлн долл. в 2050 г., образуя разрыв между ожидаемыми затратами и потребностями в финансировании адаптации в 280 млрд долл. в 2030 г. и более 1,4 трлн долл. в 2050 г. [1].

Выделяются два типа опасностей и рисков устойчивости инфраструктуры. Один из них – экстремальные погодные условия, включая экстремальную жару и волны

¹ Статья подготовлена в рамках темы FMGW-2022-0009 «Подготовка методики разработки сценариев декарбонизации мировой и российской экономики, включая ключевые отрасли; обеспечение научно-методической основы второго этапа адаптации к изменениям климата на период до 2025 года (с учетом опыта реализации первого этапа адаптации к изменениям климата на период до 2022 года)» государственного задания ИНИП РАН, выполняемого в целях реализации Важнейшего Инновационного Проекта государственного значения, направленного на создание единой национальной системы мониторинга климатически активных веществ (ВИПГЗ), утвержденного Распоряжением Правительства РФ от 02.09.2022 № 2515-р.

тепла, наводнения и сильные ливни, которые негативно воздействуют на функционирование и наносят ущерб инфраструктуре [2]. Другой тип опасностей – длительные изменения климата (прежде всего, рост среднегодовой температуры, а также тенденция учащения переходов температуры через 0°C, особенно в европейской и южной части России. По оценкам министерства транспорта и дорожного хозяйства Удмуртии, такие перепады температуры в республике происходят в среднем 5-6 раз в год, особенно в весенний период; тогда как в Московской области и Краснодарском крае зимой – в начале весны 2022/2023 г., по данным региональных министерств транспорта, было зафиксировано, соответственно, 50 и 63 переходов температуры через 0°C. Согласно данным Федерального дорожного агентства (ФДА) в отдельных регионах страны только в первом квартале 2023 г. зарегистрированы 35 таких случаев, требующих ремонта 16,5 тыс. км только федеральных трасс и перераспределения на эти нужды 200 млрд руб., запланированных на строительство дорог².

По прогнозам Росгидромета [3], к середине XXI в. ожидается дальнейший рост частоты этого разрушительного, особенно для автодорог, феномена. Ожидается, что наибольший прирост дней с переходом приземной температуры через 0°C к 2050 г. по сравнению с концом XX в. придется на европейские и южные регионы России, а также прибрежные области на востоке страны.

Для дорог с твердым покрытием упомянутые риски реализуются в виде разрушения и деградации дорожного полотна (колейность, плавление асфальта, скользкость, снежный накат и т. д.) [4]. Ущерб может быть значительным: например, в Австралии дополнительные затраты на минимизацию указанных рисков к концу века могут составить 0,8% от ВВП [5]. Комплекс мер адаптации, повышающих устойчивость дорожного полотна к последствиям климатических изменений, в том числе технологий, требуют заблаговременности разработки и реализации, учитывая высокую капиталоемкость, длительные сроки ввода и износ сооружаемых объектов [6; 7].

Описание модели. Стоимость адаптации, $AdaptCost^r$ определяется как дополнительные затраты на комплекс мер (технологий и соответствующих работ), обеспечивающих устойчивость дорожного полотна к рискам деградации и разрушения под воздействием климатических изменений, иными словами – представляет собой разность между стоимостью сооружения и реконструкции дорожного полотна на основе улучшенной технологии. Таким образом, имеем:

$$AdaptCost^r = \sum_{t=T}^{2050} (CostTech_t^r - Cost_t^r), \quad (1)$$

где $CostTech_t^r$ – стоимость строительства новых дорог и реконструкции существующих по адаптационной технологии в году t в регионе r , $Cost_t^r$ – стоимость строительства новых дорог и реконструкции существующих по традиционной технологии в году t в регионе r , T – год начала реализации мер по адаптации, в зависимости от сценария.

Расчеты выполнялись на базе данных Росстата о наличии дорог с твердым покрытием в регионах России (с 2012 по 2018 гг.) Доля дорог с твердым покрытием в общей протяженности дорог варьирует от 39-41% (Чукотский АО, Якутия, Тыва) до 95-96% (Камчатский край, Мурманская и Магаданская области) и 100% (Санкт-Петербург, Москва). Доля по федеральным округам изменяется не так значительно: от 66% – Дальневосточный федеральный округ (ДФФО) до 78% – Северо-Кавказский федеральный округ (СКФО).

Прогноз протяженности дорог в регионах строится на основе анализа закономерностей изменения их удельной протяженности:

² Погода дала трещину. Госдума, Минтранс и Росавтодор просят 200 млрд рублей на ремонт разрушенных зимой автотрасс // Коммерсант, 30 марта 2023 г.

$$Plot_t^r = \frac{Lenght_t^r}{Pop_t^r}, \quad (2)$$

где $Plot_t^r$ - удельная протяженность дорог в регионе r в год t , $Lenght_t^r$ - протяженность дорог в регионе r в год t , Pop_t^r - численность населения в регионе r в год t .

Удельная протяженность дорог значительно различается по регионам: от 0,5 км на тыс. чел. в Москве до 26,4 км на тыс. чел. в Псковской области. По федеральным округам различие не столь велико: от 6,0 км на тыс. чел. в Центральном федеральном округе (ЦФО) до 10,1 км на тыс. чел. в ДВФО. Темпы роста удельной протяженности дорог в среднем за последние пять лет варьировали от отрицательных (-1% в Алтайском крае и Ленинградской области) до ощутимо положительных 5% и 8% в Самарской области и Республике Башкортостан, соответственно. По федеральным округам они менялись от 0,2% в Северо-Западном федеральном округе (СЗФО) до 2,4% в Приволжском федеральном округе (ПФО).³

Подчеркнем, что средние темпы удельной протяженности дорог – нестабильный показатель, что связано с неравномерностью ввода дорог и оттоком населения из регионов. Для России в целом этот показатель с 2013 по 2018 г. менялся с 6% до 0,3%. Поэтому далее рассматривается сценарий, в котором темпы удельной протяженности меняются для всех регионов одинаковым образом – на 1% в год. На основе прогноза численности населения регионов, предоставляемого Росстатом, используя формулу (2), получаем прогноз протяженности дорог с твердым покрытием:

$$Lenght_t^r = Plot_t^r * Pop_t^r. \quad (3)$$

Затраты на адаптацию рассчитываются как сумма затрат на строительство новых дорог и на реконструкцию. Протяженность новых дорог New_t^r оценивается как разность протяженности дорог данного года и предыдущего:

$$New_t^r = Lenght_t^r - Lenght_{t-1}^r. \quad (4)$$

Протяженность реконструируемых дорог Rec_t^r оценивается по следующей формуле:

$$Rec_t^r = Lenght_t^r \cdot ResShare, \quad (5)$$

где $ResShare$ - доля выбытия дорожного полотна, %.

Оценка доли выбытия производилась на основе данных о расходах консолидированного бюджета на строительство и реконструкцию дорог⁴, а также оценки стоимости строительства и реконструкции одного километра дороги с твердым покрытием⁵. Согласно расчетам, доля выбытия дорожного полотна составляет 1,78% в год. Такой способ расчета выбытия является важным ограничением модели – скорость выбытия в разных регионах может иметь разную динамику, а потому принятие единого коэффициента выбытия является существенным, но необходимым упрощением.

Стоимость строительства новых дорог и реконструкции $Cost_t^r$ по традиционным технологиям оценивается по формуле:

$$Cost_t^r = New_t^r \cdot CostUnitNew + Rec_t^r \cdot CostUnitRec, \quad (6)$$

³ Этот же показатель за последние три года также варьировал от отрицательных -1% в Алтайском и Приморском краях, Саратовской области и Республике Ингушетия до ощутимо положительных 6% и 9% в Челябинской области и Чукотском АО соответственно. По федеральным округам темпы роста удельной протяженности дорог в среднем на протяжении трех лет оставались положительными, меняясь от 0,1% в СЗФО до 2% в Уральском федеральном округе (УФО).

⁴ Рассчитано по данным о расходах федерального бюджета. URL: <https://mintrans.gov.ru/activities/215/56/documents> и оценке структуры трат из федерального и бюджетов регионов URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/investirovanie-proektov-dorozhno-transportnoy-infrastruktury-istochniki-dinamika-problemy>

⁵ Рассчитано по данным Минтранса. URL: <https://mintrans.gov.ru/documents/11/11086>

где $CostUnitNew$ - стоимость строительства 1 км дороги с твердым покрытием (по данным Минтранса она составляет 49,5 млн руб.); $CostUnitRec$ - стоимость реконструкции 1 км дороги с твердым покрытием (по данным Минтранса она составляет 30,4 млн руб.). Использование одинаковых стоимостей строительства и реконструкции для разных регионов является существенным упрощением модели, однако доступная статистика не позволяет сделать расчет более точным.

Далее рассматриваются три сценария: 1) оперативной (безотлагательной) адаптации (Сценарий 1), который предусматривает использование технологий модернизации дорожного полотна, обеспечивающих его адаптацию к изменяющимся климатическим условиям при строительстве и реконструкции дорог (включая все новые и реконструируемые дороги России) или, кратко, адаптационных мер, во всех регионах страны, начиная с 2022 г.; 2) отложенной адаптации (Сценарий 2), который предполагает использование указанных мер в отдельных регионах страны, начиная с 2033 г.; и 3) базовый (без использования мер/технологий адаптации) (Сценарий 3), который исходит из допущения, что адаптационные меры нигде не используются в течение всего периода прогноза, и служащий в качестве базы («точки отсчета»), относительно которой оцениваются стоимость адаптационных мер и их положительный эффект в первых двух сценариях.

Технологии модернизации дорожного полотна, обеспечивающие его адаптацию к изменяющимся климатическим условиям, включают использование эмульсий, георешетки, геотекстиля под асфальтовым покрытием, а также прокладку ливнесточков вдоль дорожного полотна. Использование эмульсии позволяет заполнить поры в асфальте, повысить степень сцепления зерен и, в конечном итоге, сделать конструкцию более водостойчивой и плотной. Именно водостойкость очень важна для глинистых почв, которые активно вбирают воду и с трудом ее отдают, сохраняя воду в порах, что во время морозов приводит к ее превращению в лед, который разрушает асфальт, приводит к его деградации. Ливнесточки необходимы для снижения размывания дорог, а также заполнения пор асфальта водой. Указанные две меры снижают ущерб для дорог, связанный с экстремальными погодными условиями, а также переходом через ноль градусов, которые характерны для осеннего и весеннего периодов.

Упрочению асфальта в периоды экстремальной жары, приводящей к его плавлению, и во время обильных осадков, приводящих к размыванию грунта, способствует использование геотекстиля и георешеток. При размывании грунта проседают основания дорог: щебень углубляется в песок, песок смешивается с почвой, что приводит к колеям и впадинам. Геотекстиль прокладывается между слоями грунта и песка, а георешетка между слоями песка и щебня для предотвращения смешивания слоев. Такие геосинтетические материалы, как георешетка и геотекстиль, уже активно используются для улучшения качества дорог и защиты от изменения температур по всему миру. Особенно эти технологии популярны в Азии и в Северной Америке: в 2017 г. спрос на геосинтетические материалы составил 2330 и 1300 млн кв. м соответственно. Мировые продажи геотекстиля и георешеток составили 1400 и 250 млн кв. м.⁶

Оценка дополнительной стоимости технологии проводилась на основе данных о стоимости каждого ее элемента⁷. В расчетах рассматривается самый плотный геотекстиль (600 г/м^2) стоимостью 160 руб./кв. м для лучшей прочности и упругости, который не боится высоких и низких температур, а также имеет срок службы от 25 лет. Георешетка в расчетах рассматривается с высококачественными характеристиками (высота ребра 200 мм, размер ячейки в развернутом виде 210 на 210 мм), стоимостью 468 руб./кв. м. Георешетка с такими характеристиками, а именно, высокими

⁶ URL: https://translated.turbopages.org/proxy_w/en-ru.ru.12bb3ec2-637b5bcf-dab68e30-74722d776562/
<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC5099829/>

⁷ По данным: URL: <https://www.aqua-e.ru/>

стенками и небольшими ячейками имеет объемную структуру, которая позволяет укрепить дорожное полотно, что продлевает срок службы дорожного покрытия. Кроме этого, георешетка выдерживает большой перепад температур (от -40 до +40°C), не поддается воздействию влаги, коррозии, грибков и плесени.⁸ Также важно заметить, что и геотекстиль, и георешетку легко транспортировать из-за небольшого веса, а для их монтажа не требуется специальной техники.

Высококачественные ливнестоки, рассматриваемые в расчетах, изготовлены из морозостойкого полипропилена, имеют температуры плавления и хрупкости +163°C и -54°C, соответственно. Срок службы такого изделия составляет не менее 50 лет. Стоимость – 2240 руб./м. Что касается эмульсии, стоимость ее стандартного варианта составляет 18 тыс. руб./т; поскольку в расчетах принята улучшенная эмульсия, ее стоимость увеличивается на 50% (до 27 тыс. руб./т). На сооружение 1 км однополосной дороги требуется 10 т эмульсии.

Согласно ГОСТ Р 52398-2005, дороги разных категорий имеют разную ширину полосы, что было учтено в расчетах, поскольку, в зависимости от ширины, необходима разная площадь георешетки и геотекстиля, что влияет на стоимость. В расчетах не рассматриваются дополнительные затраты на доставку и адаптацию технологий, поскольку они различаются для каждого региона; также не учтены затраты на монтаж дополнительных компонент. Расчет проведен единым образом для всех регионов с одинаковыми ценами материалов.

Затраты на строительство новых и реконструкции существующих дорог с использованием указанных технологий модернизации дорожного полотна, обеспечивающих его адаптацию к изменяющимся климатическим условиям, $CostTech_t^r$ оцениваются по формуле (6). В табл. 1 представлены оценки дополнительных затрат на улучшение качества 1 км однополосной дороги, которые суммарно варьируют от 6,3 млн до 7,2 млн руб., составляя в среднем 6,7 млн руб.

Таблица 1

Дополнительные затраты на улучшение качества 1 км одной полосы
в зависимости от категории дорог

Показатель	Категории дорог				
	I	II	III	IV	V
Ширина одной полосы, м	3,75	3,5	3,5	3	4,5
Стоимость геотекстиля на 1 км однополосной дороги, тыс. руб.	450	420	420	360	540
Стоимость георешетки на 1 км однополосной дороги, тыс. руб.	1755	1638	1638	1404	2106
Стоимость эмульсии на 1 км однополосной дороги, тыс. руб.	90	90	90	90	90
Стоимость ливнестоков на 1 км однополосной дороги, тыс. руб.	4480	4480	4480	4480	4480
Итого дополнительные затраты на улучшение, тыс. руб.	6775	6628	6628	6334	7216
Доля от стоимости строительства, %	8	20	20	33	58
Доля от стоимости реконструкции, %	13	17	25	41	48

Источник: расчеты авторов.

Методология оценки выгод от использования современных технологий модернизации дорог и их адаптации к климатическим изменениям. Затраты на модернизацию дорог должны окупаться за счет прямых и косвенных выгод от использования

⁸ URL: <https://prestorus.com/primenenie-georeshetki-v-dorozhnom-stroitelstve.html#:~:text=Георешетка%20для%20дорожного%20строительства%20используется,продлевает%20срок%20службы%20дорожного%20покрытия>

новых адаптационных технологий. Можно выделить два вида эффективности инвестиций: 1) коммерческую, получаемую за счет прямых доходов от платных дорог, размещения сервисов или рекламы в придорожной зоне и т. п. [8]; и 2) социально-экономическую, эффекты которой реализуются косвенным образом, через смежные секторы экономики или связанные виды экономической деятельности. Например, через удешевление перевозок (что может способствовать увеличению объемов производства), повышение качества жизни населения, расширение рынка сбыта продукции, уменьшение числа дорожно-транспортных происшествий (ДТП) (сохранение здоровья, в том числе, трудоспособности, населения), сокращение времени пассажирских перевозок и отрицательного воздействия на окружающую среду и т. д.

В работе [9] на примере Воронежской области рассматривается методика определения экономических эффектов от модернизации дорожной сети, которые включают: прямые выгоды пользователей дорог, включая сокращение времени в пути, повышение комфортабельности поездки и т. д. (транспортные эффекты), и другие эффекты, отражающие влияние на экологию и социально-экономическое развитие региона. В табл. 2 выгоды от указанных эффектов представлены в долях от затрат на модернизацию дорожного полотна.

Таблица 2

Структура экономических эффектов от модернизации дорожного полотна в Воронежской области

Вид эффекта (выгод)	Доля от затрат на модернизацию, %
Сокращение времени в пути	16
Снижение транспортных и эксплуатационных издержек	40
Уменьшение числа ДТП	22
Снижение негативного влияния на окружающую среду	2
Активизация предпринимательской деятельности, сокращение времени доставки и повышение сохранности грузов	41

Источник: [9].

Воспользуемся данными табл. 1 и 2 для оценки эффектов от модернизации дорожного полотна российских дорог в целом. Ее результаты представлены в табл. 3.

Таблица 3

Стоимость выгод (эффектов) от модернизации 1 км полотна однополосной дороги, млн руб.

Дополнительные затраты и выгоды от модернизации дорог	Категория дорог				
	I	II	III	IV	V
Дополнительные затраты	6,75	6,63	6,63	6,33	7,22
Выгоды от:					
сокращения времени в пути	1,06	1,04	1,04	0,99	1,13
снижения транспортных и эксплуатационных издержек	2,70	2,64	2,64	2,52	2,87
уменьшения числа ДТП	1,46	1,43	1,43	1,37	1,56
снижения негативного влияния на окружающую среду	0,15	0,14	0,14	0,14	0,15
активизации предпринимательской деятельности, сокращения времени доставки и повышения сохранности грузов	2,76	2,70	2,70	2,58	2,94

Источник: расчеты авторов.

Отметим, что в работе [9] и в табл. 2 и 3 не учитываются выгоды от модернизации дорог в виде сокращения частоты их ремонта и, соответственно, экономии бюджетных средств; а также в терминах снижения смертности и травм людей при ДТП

и связанного с этим сокращения медико-социальных расходов и потерь для продуктивности экономики. В то же время, обусловленное последствиями изменения климата снижение устойчивости дорожной инфраструктуры, – один из существенных факторов ухудшения их качества, которое является причиной примерно пятой части ДТП в России. Кроме того, дорожные условия могут являться прямой или косвенной причиной происшествия, побуждающего водителя к совершению ошибки: доля таких случаев достигает 60-75% от всех ДТП [10].

Ущерб от ДТП можно разделить на два типа: 1) ущерб от частичной (повреждения, поломки) или полной утраты автотранспортного средства; и 2) ущерб от гибели или ранения человека. Применительно к ущербу от ДТП формулы соответствующих расчетов выглядят следующим образом:

$$TA_{2022} = TA_{car} + TA_{per}, \quad (7)$$

$$TA_{car} = amount_{2022} * coef_{road} * cost_{car}, \quad (8)$$

$$TA_{per} = amount_{dead} * cost_{dead} + amount_{inj} * cost_{inj}, \quad (9)$$

где: TA_{2022} – суммарный ущерб от ДТП в 2022 г., млн руб.; TA_{car} – ущерб от повреждения (поломки) автомобиля, млн руб.; TA_{per} – ущерб из-за гибели или ранения участников ДТП, млн руб.; $amount_{2022}$ – общее количество ДТП в России за 2022 г.;⁹ $coef_{road}$ – доля ДТП из-за низкого качества дорог в общем числе ДТП в 2022 г. (%), значение принято равным 20% [10];¹⁰ $cost_{car}$ – средняя стоимость ремонта автомобиля после ДТП (в расчетах принята равной 571 385 руб. (цены 2022 г.));¹¹ $amount_{dead}$ – общее количество погибших в ДТП в России в 2022 г., чел. (по данным официального сайта ГИБДД); $amount_{inj}$ – общее количество раненых (травмированных) в ДТП в России в 2022 г., чел. (по данным официального сайта ГИБДД); $cost_{dead}$ – социально-экономический ущерб от гибели одного человека, млн руб. в расчетах использовались цены 2022 г.: 18,15 млн руб.;¹² $cost_{inj}$ – социально-экономический ущерб от ранения (травмирования) одного человека, млн руб. в расчетах использовались цены 2022 г.: 1,75 млн руб.¹³

Существует несколько подходов к оценке потерь от преждевременной смерти или определения ценности так называемой среднестатистической жизни человека, VSL [11], которая, в свою очередь, определяет стоимость социально-экономического ущерба от гибели людей во время ДТП. Один из подходов предполагает расчет VSL через стоимость затрат на поддержание базовых потребностей человека на протяжении всего жизненного цикла (затраты на питание, жилье, образование, отдых и т. д.). Согласно различным оценкам, рассчитанная таким образом величина VSL варьирует от 1,5 млн до 170 млн руб. [12-15]. Другой подход, использующий методы альтернатив и социологических опросов, предусматривает определение суммы, которую люди готовы заплатить за снижение риска здоровью и жизни (или, напротив, повышение ее качества). Согласно одному из исследований, использующему такую методику расчетов, величина VSL составляет 3,6 млн руб. [16]. Еще один подход предполагает определение величины VSL с использованием методов, основанных на теории благосостояния (концепции полезности) – перечень методов и результаты соответствующих оценок для России (цены 2011 г.) приведены в табл. 4.

⁹ По данным официального сайта ГИБДД. URL: <http://stat.gibdd.ru/>. Показатель за декабрь 2022 г. оценен через расчет среднего значения оставшихся месяцев четвертого квартала.

¹⁰ В этом случае принимается гипотеза о том, что ухудшение полотна, положенного по новой технологии, в течение рассматриваемого временного периода не оказывает существенного влияния на динамику роста ДТП.

¹¹ URL: https://studwood.net/629381/nedvizhimost/raschet_ekonomicheskoy_effektivnosti_stroitelstva_dorogi

¹² URL: https://lcsr.hse.ru/data/2016/02/16/1139248711/ГИБДД_17.12.2015.pdf

¹³ URL: https://lcsr.hse.ru/data/2016/02/16/1139248711/ГИБДД_17.12.2015.pdf

Таблица 4

Оценки VSL (Россия) с применением методов, основанных на теории благосостояния

Метод оценки	Округленные значения VSL (Россия)	
	тыс. долл.	тыс. руб. (ППС)
Использование показателя дохода на душу населения	60	1080
Использование показателя ВВП на душу населения	90	1620
Актуарный подход с использованием показателя дохода на душу населения	320	5760
Актуарный подход с использованием показателя ВВП на душу населения	340	6120
Корректировка с учетом неопределенностей (диапазон)	50-500	900-9000
Среднее значение	200	3600
Рекомендуемое значение	330	5940

Источник [11].

По данным табл. 4, величина VSL находится в диапазоне от 1 млн до 9 млн руб., а средняя величина, полученная на основе использования актуарного метода (наиболее корректного, с нашей точки зрения) составляет, округленно, 6 млн руб. (цены 2011 г.) или 13 млн руб. (цены 2022 г.). Согласно исследованию ВШЭ 2015 г., основанного на том же методологическом подходе (теории благосостояния), учитывающем количество потерянных человеко-лет и доходов от преждевременной смерти человека вследствие ДТП, величина VSL составляет 18,15 млн. руб. (цены 2022 г.).¹⁴ В то же время, по оценке Р.И. Капелюшникова, использовавшего для расчета чистую приведенную стоимость всех выгод, которую может получить общество от деятельности данного индивида (заработная плата, пенсия и т. д.), указанная величина варьирует от 6 млн до 50 млн руб. [17].

Обращает на себя внимание близость первых двух оценок, которые также «вписываются» в первую треть величины последней интервальной оценки. Учитывая это обстоятельство, а также то, что в вышеупомянутом исследовании ВШЭ на основе той же методики, учитывающей расходы на госпитализацию, реабилитацию и компенсационные выплаты, представлена оценка социально-экономического ущерба не только гибели, но и от ранения (травмирования) человека в результате ДТП, равного 1,75 млн руб. (цены 2022 г.), далее в расчете суммарного ущерба от ДТП за 2022 г. согласно формуле (9) используем величины $cost_{dead}$ и $cost_{inj}$ именно из этой работы, приведенные выше. В итоге получаем величину TA_{2022} равную 531 млрд руб.

Воспользуемся этим показателем для расчета удельных выгод от сокращения числа ДТП благодаря применению технологий модернизации дорог и их адаптации к климатическим изменениям, используя формулу (10):

$$bt_{TA} = \sum_{i=2022}^{2050} (TA_{2022} \times \frac{mod_i}{length_i}) / mod_i, \quad (10)$$

где: bt_{TA} – выгоды от сокращения числа ДТП благодаря применению современных технологий модернизации дорог и их адаптации к климатическим изменениям в период 2022-2050 гг., млн руб./км дороги в однополосном эквиваленте; $length_i$ – протяженность дорог в России в i -ом году (в однополосном эквиваленте)¹⁵, км; mod_i – прирост в i -ом году протяженности дорог в России, при строительстве и ремонте которых используются современные технологии модернизации и их адаптации к климатическим изменениям (в однополосном эквиваленте), км.

¹⁴ Оценка социально-экономического ущерба от ДТП в России: методологические вопросы в контексте зарубежных исследований (ВШЭ, 2015). URL: https://lcsr.hse.ru/data/2016/02/16/1139248711/ГИБДД_17.12.2015.pdf

¹⁵ Для удобства сравнения протяженность дорог учитывается с учетом полноты и переведена в однополосный эквивалент (т. е., например, 1 км четырехполосной дороги учитывается как 4 км).

Формулу (10) можно трактовать следующим образом. Улучшение качества дорог в течение периода 2022-2050 гг. за счет современных технологий модернизации полотна, которые обеспечивают их адаптацию в изменяющихся климатических условиях, позволит снизить (предотвратить) число и ущерб от ДТП по сравнению с их базовым уровнем в 2022 г. При этом прирост протяженности модернизированных участков дорог в каждом году указанного периода исчисляется как доля от общей протяженности дорог в соответствующем году: $\frac{mod_i}{leigth_i}$. Совокупный прирост протяженности модернизированных участков дорог за весь период 2022-2050 гг. суть сумма этих индивидуальных приростных величин: $\sum \frac{mod_i}{leigth_i}$, которые в итоге обеспечивают снижение базовой величины ущерба от ДТП TA_{2022} до уровня bt_{TA} . Чтобы определить значение величины снижения удельного ущерба (на 1 км модернизированных дорог), вышеупомянутая сумма делится на длину (протяженность) указанных дорог.

Согласно результатам расчетов, совокупное значение bt_{TA} в целом за рассматриваемый прогнозный период составило 4,63 млн руб.; совокупный эффект применительно ко всем модернизированным дорогам – 138 млрд руб.

Расчеты и оценка выгоды модернизации дорожного полотна и его адаптации к изменяющимся климатическим условиям. Текущий межкапитальный (капитальный) срок службы дороги составляет 24 года, межремонтный (текущий) срок – 12 лет¹⁶. Использование современных технологий модернизации дорожного полотна увеличивает срок его эксплуатации: применение георешетки – на 6 лет¹⁷, геополотна – на 50%¹⁸ или на 12 лет для межкапитальных работ и на 6 лет – для межремонтных работ. В расчетах будем предполагать, что срок эксплуатации увеличивается на 12 лет с использованием обеих технологий. В таком случае, при использовании, начиная с 2022 г., в строительстве и капитальном ремонте дорог совместно геополотна и георешетки, срок межкапитальных работ за весь прогнозный период составит 36 лет, межремонтных работ – 24 года, т.е. часть ремонта откладывается на период после 2050 г.

Стоимость ремонта и капитального ремонта 1 км однополосной дороги с учетом категории дороги представлены в табл. 5. В работе использованы средневзвешенные цены ремонта и капитального ремонта в ценах 2022 г., которые, соответственно, равны 13 млн и 24 млн руб.

Таблица 5

Средняя стоимость текущего и капитального ремонта однополосной дороги (млн руб./км)

Категории ремонта	Категории дорог				
	I	II	III	IV	V
Текущий	11,0	14,9	15,3	11,7	8,5
Капитальный	27,0	28,0	23,7	16,6	13,8

Источник: [18] с учетом корректировки цен 2022 г.

Без применения указанных современных технологий, которые обеспечивают их адаптацию к изменяющимся климатическим условиям, новые дороги, которые были построены за период 2022-2038 гг., было бы необходимо ремонтировать в 2034-2050 гг., т. е. начать ремонтные работы с 2034 г. С использованием указанных технологий ремонт дорог, которые были построены в период 2022-2026 гг., необходимо

¹⁶ URL: https://www.rbc.ru/spb_sz/13/07/2018/5b48813a9a794761df93628f#:~:text=—%20Большинство%20дорог%20в%20России,межремонтный%20—%20до%2012%20лет

¹⁷ URL: <https://union-z.ru/articles/geosetka-dlya-dorozhnogo-stroitelstva-dlya-chego-nuzhna.html>

¹⁸ URL: <https://prestorus.com/geopolotno-sfera-ispolzovaniya-i-osobnosti-primeneniya.html>

производить в 2046-2050 гг., т. е. начать соответствующие работы с 2046 г., что позволяет отложить ремонт 68% модернизированных дорог на период после 2050 г. Аналогично с капитальным ремонтом: срок его начала сдвигается с 2046 г. на 2058 г.

Это дает значительную экономию на затратах, которая за период 2022-2050 гг. составляет 1,71 млн руб./км однополосной дороги, ремонтируемой в текущем режиме с использованием современных технологий, которые обеспечивают адаптацию дорожного полотна к изменяющимся климатическим условиям. С учетом общей протяженности таких дорог общая величина экономии достигает 3,1 трлн руб.

При аналогичных расчетах в отношении капитального ремонта вычитать затраты при использовании геополотна и георешеток уже не нужно, поскольку, как уже было сказано ранее, эти работы выходят за рамки прогнозного периода. Согласно полученным результатам, экономия на затратах на капитальный ремонт модернизированной однополосной дороги составит 5,13 млн руб./км, общая величина экономии для всех модернизированных дорог – 9,3 трлн руб.

Дополнительная экономия при использовании геотекстиля возникает в связи с меньшей потребностью в щебне, «классическом» стройматериале при сооружении дорог. Геотекстиль препятствует перемешиванию грунта и щебня, удерживая толщину засыпки щебня на первоначальном уровне, тем самым, с учетом его дальнейшего уплотнения, отменяя необходимость в наращивании слоя щебня, обеспечивая от 50% до 70% экономии этого стройматериала¹⁹. В расчетах величина этой экономии принята равной 60%. С учетом цены щебня 250 руб./кв. м,²⁰ получаем экономию на затратах в 3,12 млн руб./км однополосной модернизированной дороги и общую величину экономии – 5,8 трлн руб.

Срок службы геополотна и георешеток составляет 40 и 50 лет²¹ соответственно, что выходит за рамки прогнозного периода. Это означает возможность повторного использования (перекладывания) геополотна и георешетки, без употребления новых материалов. Стоимость получаемой благодаря этому экономии на затратах представлена в табл. 6.

Таблица 6

Экономия от повторного использования геополотна и георешетки
(млн. руб./км однополосной дороги)

Категории дорог				
I	II	III	IV	V
2,36	2,20	2,20	1,89	2,83

Источник: расчеты авторов.

Учитывая столь значительный срок эксплуатации, превышающий сроки капитального ремонта, указанные выгоды могут учитываться лишь вне прогнозного периода, рассматриваемого в модели, поэтому в наших расчетах не принимаются во внимание.

Таким образом, суммарная выгода за период 2022-2050 гг. от использования геополотна и георешеток при модернизации 1 км однополосных дорог, bt_{geo} определяется по формуле (11):

$$bt_{geo} = bt_{repair} + bt_{cap} + bt_{crashed}, \quad (11)$$

¹⁹ URL: <https://www.kupi-geotekstil.ru/osnovnye-preimushhestva-geotekstilya-v-dorozhno-stroitelnyx-tekhnologiyax.html>

²⁰ URL: <https://dorians.ru/blog/etapy-stroitelstva-dorogi/>

²¹ URL: <https://www.kupi-geotekstil.ru/dolgovechnost-geotekstilya-v-gruntovykh-dorogax.html>; <https://union-z.ru/articles/geosetka-dlya-dorozhnogo-stroitelstva-dlya-chego-nuzhna.html>

где: bt_{repair} – выгоды от эксплуатации, полученные за счет увеличения срока между ремонтами (млн руб./км однополосной модернизированной дороги); bt_{cap} – выгоды от эксплуатации, полученные за счет увеличения срока между капитальными ремонтами (млн руб./км однополосной модернизированной дороги); $bt_{crashed}$ – выгоды от экономии щебня (млн руб./км однополосной модернизированной дороги).

Согласно результатам расчетов величина bt_{geo} составляет 9,96 млн руб.; совокупные выгоды для всех модернизированных дорог – 18,1 трлн руб. Столь значительные выгоды объясняются дороговизной текущего и капитального ремонта, средняя стоимость которых составляет 11 млн и 27 млн руб./км однополосной дороги в ценах 2022 г., соответственно, против 6,7 млн руб. затрат (в среднем) на меры модернизации (см. табл. 1).

Итоговые социально-экономические выгоды от использования современных технологий модернизации дорог, которые обеспечивают адаптацию дорожного полотна к изменяющимся климатическим условиям, можно представить как сумму эффектов от снижения числа ДТП, увеличения срока эксплуатации дорог, сокращения времени в пути, снижения транспортных и эксплуатационных издержек, негативного влияния на окружающую среду, активизации предпринимательской деятельности, сокращения времени доставки и повышения сохранности грузов (табл. 7).

Таблица 7

Совокупные дополнительные затраты и выгоды (эффекты) модернизации дороги, обеспечивающей адаптацию дорожного полотна к изменяющимся климатическим условиям, за период 2022-2050 гг. (млн руб./км однополосной дороги)

Дополнительные затраты и выгоды от модернизации дорог	Категории дорог				
	I	II	III	IV	V
Дополнительные затраты	6,78	6,63	6,63	6,33	7,22
Выгоды (эффекты)	20,78	20,63	20,63	20,34	21,21
Соотношение выгод и затрат	3,06	3,11	3,11	3,21	2,94

Источник: расчеты авторов.

Таким образом, в среднем по всем категориям дорог 1 руб. затрат на модернизацию и адаптацию дает 3,1 руб. совокупных выгод (эффектов). Полученная округленная величина 3/1 коррелирует с результатами недавнего исследования Всемирного банка, посвященного оценке ущерба объектам критической инфраструктуры развивающихся стран от нарушения устойчивого функционирования из-за опасных последствий глобальных климатических изменений, а также экономическим выгодам от инвестиций в повышение устойчивости указанных объектов. Согласно этим оценкам, каждый доллар таких инвестиций обеспечивает четыре доллара чистых выгод (в виде предотвращенного ущерба) [19]. В работе [9] это соотношение оценивается существенно скромнее и оставляет 1,2/1.

Сценарные расчеты и оценка затрат на модернизацию дорожного полотна и его адаптации к изменяющимся климатическим условиям. В табл. 8 приведен пример расчета основных параметров дорог и затрат на их строительство и ремонт в России в рамках сценария оперативной (безотлагательной) адаптации (Сценарий 1), предусматривающей использование современных технологий модернизации дорожного полотна к меняющимся климатическим условиям, начиная с 2022 г.

В табл. 9 приведена оценка затрат на адаптационные меры накопленным итогом в Сценарии 1 для России и ее отдельных регионов.

Для России в целом полученную оценку дополнительных затрат на адаптацию – 0,29% от ВВП в 2050 г. следует считать финансово приемлемой и, соответственно социально-экономически оправданной. Еще более обоснованным данный вывод является для финансово наиболее обеспеченных регионов (г. Москва и г. Санкт-Петербург), в которых затраты на адаптацию оказываются незначительными. В то же время для отдельных регионов затраты на адаптационные меры могут составлять существенную часть от ВРП: например, для Республики Тыва совокупные дополнительные затраты на указанные меры с 2022 г. по 2050 гг. могут достигать 43 млрд руб. или 47% от прогнозируемой к 2050 г. стоимости ВРП, соответствующие затраты в 2050 г. – 2,1% от ВРП.

Таблица 8

Оценки протяженности, затрат на строительство и модернизацию
дорог в России в Сценарии 1

Показатели	2022 г.	2025 г.	2035 г.	2050 г.
Протяженность дорог с твердым покрытием, тыс. км	1095	1113	1122	1131
Затраты на строительство (традиционная технология), млрд руб.	510	507	609	741
Затраты на реконструкцию (традиционная технология), млрд руб.	758	778	845	974
Затраты на строительство и реконструкцию (традиционная технология) (накопленным итогом с 2022 г.), трлн руб.	1,3	3,8	17,4	41,3
Затраты на строительство (улучшенная технология), млрд руб.	635	633	761	926
Затраты на реконструкцию (улучшенная технология), млрд руб.	989	1014	1102	1269
Затраты на строительство и реконструкцию (улучшенная технология) (накопленным итогом с 2022 г.), трлн руб.	1,6	4,9	22,3	53,0
Затраты на модернизацию и адаптацию дорог (накопленным итогом с 2022 г.), трлн руб.	0,3	1,1	4,9	11,6

Источник: расчеты авторов.

Таблица 9

Оценка затрат на адаптационные меры для дорог России
и ее отдельных регионов (Сценарий 1)

Регион	ВРП (ВВП) в 2050 г., млрд руб.*	Затраты			
		накопленным итогом (2022-2050 гг.)		в 2050 г.	
		млрд руб.	доля от ВРП (ВВП) (%)	млрд руб.	доля от ВРП (ВВП) (%)
Россия	166273	11613	7,0	479,8	0,29
Москва	40681	127	0,3	5,1	0,01
Санкт-Петербург	7644	78	1,0	3,3	0,04
Республика Тыва	93	43	46,6	1,9	2,05
Псковская область	334	151	45,4	6,2	1,84
Республика Алтай	148	57	39,0	2,4	1,60
Чеченская Республика	529	218	41,2	10,7	2,03

* Источник [20].

Есть три возможных варианта действий. Один из них – полный отказ от использования технологий модернизации дорожного полотна в отдельные годы, либо на отдельных участках реконструируемого или вводимого в эксплуатацию дорожного полотна, что снизит эффективность адаптационных мер и увеличит уязвимость дорог к негативным воздействиям изменений климата. По сути, этот вариант – вышеупомянутый сценарий отложенной адаптации (Сценарий 2). Другой вариант

предполагает принятие всех затрат и растущее бремя для бюджета и экономики региона в целом, что, например для Республики Тыва является ущербным решением, учитывая текущую задолженность регионального бюджета. Еще один вариант подразумевает дополнительное финансирование из федерального бюджета для модернизации дорог, обеспечивающей их адаптацию к изменениям климата и снижение риска ДТП в данном субъекте Российской Федерации, равно как и в других ее субъектах, для региональных бюджетов которых затраты на рассматриваемые меры являются чрезмерной нагрузкой.

В табл. 10 приведена оценка затрат на адаптационные меры для дорог России и ее отдельных регионов в рамках реализации Сценария 2.

Таблица 10

Оценка затрат на адаптационные меры для дорог России
и ее отдельных регионов (Сценарий 2)

Регион	Затраты накопленным итогом (2033-2050 гг.)	
	млрд руб.	доля от ВРП (%)
Россия	7912	4,8
Москва	85	0,2
Санкт-Петербург	53	0,7
Республика Тыва	31	33,0
Псковская область	104	31,1
Республика Алтай	39	26,4
Чеченская Республика	158	29,9

Источник: расчеты авторов.

В Сценарии 1 на период 2022-2025 гг. дополнительные затраты на модернизацию дорог, обеспечивающую их адаптацию к изменениям климата и снижению риска ДТП в России, оцениваются в 1,08 трлн руб., из них 704 млрд руб. – на ремонт существующих и 376 млрд руб. – на строительство новых дорог. На период 2022-2050 гг. соответствующие дополнительные затраты могут составить 11,6 трлн руб., из них 7,3 трлн руб. – на ремонт существующих и 4,3 трлн руб. – на строительство новых дорог. В Сценарии 2 на период 2033-2050 гг. дополнительные затраты оцениваются в 7,9 трлн руб., из них 4,9 трлн руб. – на ремонт существующих и 3,0 трлн руб. – на строительство новых дорог.

Заключение. Адаптация населения и экономики к усиливающимся климатическим изменениям и их последствиям – императив для устойчивого развития мира и, особенно, России в ближайшем и отдаленном будущем. Поэтому ключевая проблема заключается не в необходимости и целесообразности разработки и реализации соответствующего комплекса мер – им нет альтернативы, но в обосновании и выборе эффективных экономических решений и технологий снижения риска от изменений климата (ожидаемого ущерба и потерь), в том числе для критичной инфраструктуры, включая дороги. Один из вызовов в рамках этого выбора – определение эффективной стратегии действий и системы организации мер по снижению ожидаемого ущерба и потерь от последствий климатических изменений для устойчивого функционирования дорожной сети.

Приоритет может быть однозначно отдан действующей модели оперативной адаптации, по сути реагирования на указанные последствия для дорожной инфраструктуры. Как доказывают исследования коллег и самих авторов, в условиях увеличения интенсивности изменений температуры воздуха, режима осадков и других погодно-климатических характеристик в обозримом будущем (до 2050 г.) это предполагает рост частоты и затрат на текущий и капитальный ремонты, компенсацию ущерба и потерь, связанных с учащением и усугублением тяжести ДТП. Так, по сравнению с первым кварталом

2022 г. по итогам аналогичного «зимнего» квартала 2023 г. (когда был зарегистрирован рост переходов температуры через 0°C, упомянутый в начале статьи) общее число ДТП выросло на 2,6%, число погибших – на 2,8%. При этом в отдельных регионах показатели ДТП выросли в 1,5-2 раза (в Калмыкии – на 94%, Северная Осетия-Алания – на 53%, Республике Тыва – на 47%, Бурятии – на 41%, Ингушетии – на 38%) [21].

В то же время, изменение приоритета в сторону комплексной или интегральной модели, сохраняющей в своем арсенале необходимый набор мер реагирования, но отдающей преимущество мерам превентивной адаптации, ядром которых выступают технологии модернизации дорожной сети²², как показывают приведенные выше результаты модельных расчетов, способствует существенному снижению перечисленных выше социально-экономических потерь и ущерба. Более того, это может обеспечить значительные экономические выгоды, втрое превышающие стоимость затрат; высокий мультипликативный эффект благодаря стимулированию организации новых производств и рабочих мест и спроса на продукцию смежных отраслей (например, нефтехимии); в долгосрочной перспективе – иное, более высокое качество экономического роста.

Литература / References

1. United Nations Environment Programme. *Adaptation Gap Report 2022: Too Little, Too Slow – Climate adaptation failure puts world at risk*. Nairobi, 2022. 84 p. URL: <https://www.unep.org/adaptation-gap-report-2022>
2. Chinowsky P.S., Price J.C., Neumann J.E. *Assessment of climate change adaptation costs for the US road network*. *Global Environmental Change*, 2013. Vol. 23. No. 4. Pp. 764-773.
3. Третий оценочный доклад об изменениях климата и их последствиях на территории Российской Федерации. Общее резюме. СПб., Научно-технические технологии. 2022. 124 с. [Tretij ocenochnyj doklad ob izmenenijah klimata i ih posledstvijah na territorii Rossijskoj Federacii. Obshee rezjume. SPb., Naukoemkie tehnologii. 2022. 124 s. (In Russ.)]
4. Кузнецова В.П. Анализ воздействия погодных-климатических рисков на территории стран Европейского региона и Российской Федерации // *Окружающая среда, здоровье и изменение климата: опыт Европейского союза*. 2020. С. 33-43. [Kuznetsova V.P. Analiz vozdejstvija pogodno-klimaticheskikh riskov na territorii stran Evropejskoj regiona i Rossijskoj Federacii // *Okruzhajushchaja sreda, zdorov'e i izmenenie klimata: opyt Evropejskoj sojuza*. 2020. S. 33-43. (In Russ.)]
5. Garnaut R. *The Garnaut climate change review*. Cambridge, 2008. P. 634.
6. Хлебникова Е.И., Салль И.А., Школьник И.М. Региональные климатические изменения как факторы влияния на объекты строительства и инфраструктуры // *Метеорология и гидрология*. 2012. № 12. С. 19-34. [Hlebnikova E.I., Sall' I.A., Shkol'nik I.M. Regional'nye klimaticheskie izmenenija kak faktory vlijanija na obekty stroitel'stva i infrastruktury // *Meteorologija i gidrologija*. 2012. No. 12. S. 19-34. (In Russ.)]
7. Pachauri R.K. et al. *Climate change 2014: synthesis report. Contribution of Working Groups I, II and III to the fifth assessment report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Ipcc, 2014. P. 151.
8. Алешина И.А. Особенности оценки эффективности инвестиций в автомобильные дороги // *Экономика и эффективность организации производства*. 2006. № 5. С. 146-148. [Aleshina I.A. Osobennosti ocenki jeffektivnosti investicij v avtomobil'nye dorogi // *Jekonomika i jeffektivnost' organizacii proizvodstva*. 2006. No. 5. S. 146-148. (In Russ.)]
9. Гасилов В.В., Сапронов А.Ф., Шибеева М.А. Методика определения экономического эффекта от модернизации региональной дорожной инфраструктуры // *ФЭС. Финансы. Экономика*. 2011. № 3. С. 38-42. [Gasilov V.V., Saproinov A.F., Shibaeva M.A. Metodika opredelenija jekonomicheskogo jeffekta ot modernizacii regional'noj dorozhnoj infrastruktury // *FJeS: Finansy. Ekonomika*. 2011. No. 3. S. 38-42. (In Russ.)]
10. Багадаев А.А. Влияние технического уровня и эксплуатационного состояния автомобильных дорог на уровень аварийности // *Актуальные вопросы транспортной безопасности*. 2019. С. 11-13. [Bagadaev A.A. Vlijanie tehničeskogo urovnja i jekspluatacionnogo sostojanija avtomobil'nyh dorog na uroven' avarijnosti // *Aktual'nye voprosy transportnoj bezopasnosti*. 2019. S. 11-13. (In Russ.)]
11. Порфирьев Б.Н. Экономическая оценка людских потерь в результате чрезвычайных ситуаций // *Вопросы экономики*. 2013. № 1. С. 48-68. [Porfir'ev B.N. Jekonomičeskaja ocenka ljudskih poter' v rezul'tate chrezvychajnyh situacij // *Voprosy jekonomiki*. 2013. No. 1. S. 48-68. (In Russ.)]
12. Быков А.А. О методологии оценки стоимости среднестатистической жизни человека. *Страховое дело*. 2007. № 3. С. 10-25. [Bykov A.A. O metodologii ocenki stoimosti srednestatističeskoj žizni čeloveka // *Strahovoe delo*. 2007. No. 3. S. 10-25. (In Russ.)]
13. Гуриев С. Мифы экономики: Заблуждения и стереотипы, которые распространяют СМИ и политики. Манн, Иванов и Фербер. 2011. 311 с. [Guriev S. Mify jekonomiki: Zabluzhdenija i stereotipy, kotorye rasprost'ranjajut SMI i politiki. Mann, Ivanov i Ferber. 2011. 311 p. (In Russ.)]

²² При этом речь идет не только об инновационных инженерных технологиях, повышающих качество и надежность дорожного полотна, которые рассматриваются в данной статье и являются необходимым, но недостаточным условием повышения устойчивости и безопасности функционирования дорожной сети, но и о модернизации организации управления дорожным хозяйством и транспортом, без которой вышеупомянутые инновации бесполезны.

14. Нифантова Р.В., Шипицына С.Е. Современные методические подходы в оценке стоимости человеческой жизни // Экономика региона. 2012. № 3. С. 289-294. [Nifantova R.V., Shipitsyna S.E. Sovremennye metodicheskie podhody v ocenke stoimosti chelovecheskoj zhizni // Ekonomika regiona. 2012. No. 3. S. 289-294. (In Russ.)]
15. Прохоров Б.Б., Шмаков Д.И. Причины гибели людей в мирное время и экономическая оценка стоимости потерь // Проблемы прогнозирования. 2013. № 4. С. 139-147. [Prohorov B.B., Shmakov D.I. Prichiny gibeli ljudej v mirnoe vremja i jekonomicheskaja ocenka stoimosti poter' // Problemy prognozirovanija. 2013. No. 4. S. 139-147. (In Russ.)]
16. Зубец А.Н. Стоимость человеческой жизни в России составляет 3,6 млн рублей. М., Центр стратегических исследований компании «Росгосстрах». Жизненные установки населения и экономический рост // Финансы. 2013. № 3. С. 65-67. [Zubec A.N. Stoimost' chelovecheskoj zhizni v Rossii sostavljaet 3,6 mln. rublej. M., Centr strategicheskikh issledovanij kompanii «Rosgosstrakh». Zhiznennye ustanovki naselenija i jekonomicheskij rost // Finansy. 2013. № 3. S. 65-67. (In Russ.)]
17. Капелюшников Р.И. Сколько стоит человеческий капитал России? Часть II // Вопросы экономики. 2013. № 2. С. 24-46 [Kapeliushnikov R.I. Russia's Human Capital: What Is It Worth? Part II // Voprosy Ekonomiki. 2013. No. 2. Pp. 24-46. (In Russ.)]
18. Доклад о стоимости строительства, реконструкции, капитального ремонта, ремонта и содержания 1 км автомобильных дорог общего пользования Российской Федерации. Министерство транспорта Российской Федерации. 2019. С. 5 URL: <https://mintrans.gov.ru/documents/11/11086> [Doklad o stoimosti stroitel'stva, rekonstrukcii, kapital'nogo remonta, remonta i sodержaniija 1 km avtomobil'nyh dorog obshhego pol'zovanija Rossijskoj Federacii. Ministerstvo transporta Rossijskoj Federacii. 2019. S. 5 (In Russ.)]
19. Hallegatte S., Rentschler J., Rozenberg J. Lifelines: The Resilient Infrastructure Opportunity. Overview booklet. Washington. World Bank, 2019. P. 199.
20. Широ́в А.А., Сапова Н.Н., Узякова Е.С., Узяков Р.М. Комплексный прогноз спроса на межрегиональные грузовые железнодорожные перевозки // Экономика региона. 2021. № 17 (1). С. 1-5. [Shirov A.A., Sapova N.N., Uzjakova E.S., Uzjakov R.M. Kompleksnyj prognoz sprosa na mezhregional'nye gruzovye zhelezнодорожные перевозки // Ekonomika regiona. 2021. No. 17 (1). S. 1-5. (In Russ.)]
21. Грамматчиков А. Аварийный выраз на восток // Эксперт. 2023. № 22. С. 38-40. [Grammatchikov A. Avarijnij virazh na Vostok // Expert. 2023. No. 22. S. 38-40. (In Russ.)]



Статья поступила в редакцию 04.05.2023. Статья принята к публикации 07.06.2023.

Для цитирования: Б.Н. Порфирьев, Н.Д. Скубачевская, С.Р. Милякин. Оценка эффективности затрат на модернизацию автомобильных дорог в России в целях их адаптации к климатическим изменениям и снижения риска ДТП // Проблемы прогнозирования. 2023. № 6 (201). С. 103-118.

DOI: 10.47711/0868-6351-201-103-118

Summary

COST-EFFECTIVENESS ASSESSMENT FOR THE ROADS UPGRADING TO ADAPT TO CLIMATE CHANGE AND REDUCE THE RISK OF TRAFFIC ACCIDENTS IN RUSSIA

B.N. PORFIRIEV, Academician of the Russian Academy of Sciences, Institute of Economic Forecasting, Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia

ORCID: 0000-0001-8515-3257, Scopus Author ID: 6603270384

N.D. SKUBACHEVSKAYA, Institute of Economic Forecasting, Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia

ORCID: 0000-0001-9490-8156, Scopus Author ID: 58317163800

S.R. MILYAKIN, Cand. Sci. (Econ.), Institute of Economic Forecasting, Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia

ORCID: 0000-0002-3770-7785, Scopus Author ID: 57203134778

Abstract: The consequences of climate change for infrastructure are analyzed on the example of paved roads. Scenarios for their adaptation are considered, which differ in the scale of application of adaptation technologies and management measures that help reduce the vulnerability of the roadway to the negative impacts of primarily the transition of the surface temperature through 0°C. The methodology for calculating the costs for the implementation of road network adaptation measures is substantiated. It is proved that their cost does not lead to a significant burden on the federal (consolidated) budget and the Russian economy. At the same time, for some regions of the country, such a burden can be significant, which means there is a need for federal support. A methodology is substantiated for assessing the socio-economic efficiency of the use of adaptation technologies, which helps to reduce the number and severity of traffic accidents, the number and volume of repair work, the time spent by road users, and the reduction of harmful emissions into the environment. It is shown that this effect is 3.1 rubles per 1 rub. costs of adaptation measures.

Keywords: climate change, infrastructure, roads, upgrade, adaptation, technologies, costs, efficiency.

Received 04.05.2023. Accepted 07.06.2023.

For citation: *B.N. Porfiriev, N.D. Skubachevskaya and S.R. Milyakin. Cost-effectiveness Assessment for the Roads Upgrading to Adapt to Climate Change and Reduce the Risk of Traffic Accidents in Russia // Studies on Russian Economic Development. 2023. Vol. 34. No. 6. Pp. 794-804.*

DOI: 10.1134/S1075700723060114