

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение

РОССИЙСКАЯ АКАДЕМИЯ НАРОДНОГО ХОЗЯЙСТВА  
И ГОСУДАРСТВЕННОЙ СЛУЖБЫ ПРИ ПРЕЗИДЕНТЕ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

**Д.Ю. Евдокимов, М.Е. Иванова, Ю.А. Плескачев, Ю.Ю. Пономарев**  
ИССЛЕДОВАНИЕ ОСОБЕННОСТЕЙ ПРОСТРАНСТВЕННОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ  
ФАКТОРОВ, ВЛИЯЮЩИХ НА РЕАЛИЗАЦИЮ ДОРОЖНО-ТРАНСПОРТНЫХ  
ПРОИСШЕСТВИЙ, ДЛЯ РАЗРАБОТКИ НАУЧНО ОБОСНОВАННЫХ ПОДХОДОВ К  
СНИЖЕНИЮ СМЕРТНОСТИ НА АВТОДОРОГАХ В РОССИИ

Препринт

Москва 2020

Национальные цели по снижению числа дорожно-транспортных происшествий и количества погибших в авариях ставит большинство развитых и развивающихся стран. Однако политика различных стран в сфере снижения смертности в ДТП может значительно различаться. Для выбора наиболее эффективных механизмов достижения цели по снижению смертности в ДТП необходимо провести детализированный анализ влияния различных факторов, в том числе с учетом возможных пространственных эффектов. В настоящем исследовании представлены результаты анализа детерминант смертности в ДТП на дорогах России за 2015 – 2019 гг.

Most developed and developing countries have national targets for reducing the number of car crashes and deaths in these accidents. However, policies to reduce road traffic fatalities can vary greatly from country to country. In order to select the most effective mechanisms to reduce road traffic fatalities, a detailed analysis of the impact of different factors, including possible spatial effects, is needed. This study represents the results for determinants of road traffic mortality in Russia from 2015 till 2019.

## СОДЕРЖАНИЕ

### ВВЕДЕНИЕ4

1. Анализ и систематизация теоретических и эмпирических подходов к моделированию ДТП и смертности в ДТП .....	6
1.1 Анализ и систематизация зарубежных теоретических и эмпирических подходов к моделированию ДТП и смертности в ДТП .....	6
1.2 Обзор моделей пространственной эконометрики .....	12
2. Анализ и систематизация основных детерминант ДТП и смертности в ДТП на автомобильных дорогах, а также механизмов влияния их пространственного распределения на ДТП и смертность в ДТП.....	18
3. Разработка подхода к эмпирическому анализу и оценке влияния выявленных детерминант и их пространственного распределения на ДТП и смертность в ДТП.....	26
3.1 Формирование и описание базы данных, содержащей детализированную информацию о случаях ДТП в России за ретроспективный период .....	26
3.2 Разработка и описание подхода к эмпирическому анализу и оценке влияния выявленных детерминант и их пространственного распределения на ДТП и смертность в ДТП.....	30
4. Эмпирический анализ влияния факторов и их пространственного распределения на ДТП и смертность в ДТП в России.....	37
4.1 Анализ результатов оценки влияния факторов и их пространственного распределения на ДТП и смертность в ДТП в России.....	37
4.2 Анализ и оценка влияния выявленных детерминант ДТП и смертности в ДТП на реализацию национальных проектов и достижение целей иных стратегических и программных документов.....	56
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	59
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ .....	63

## ВВЕДЕНИЕ

Смертность в результате дорожно-транспортных происшествий в России ощутимо превышает аналогичные показатели в развитых странах, а также странах с сопоставимым уровнем экономического развития. С точки зрения численных показателей, в 2017 году количество погибших в результате дорожно-транспортных происшествий в России составляло 13 человек на 100 тысяч населения. По данным Министерства внутренних дел Российской Федерации, в течение 2018 года на территории нашей страны было зафиксировано 168 100 ДТП (небольшое снижение по сравнению с уровнем 2017 года на 0.8%). При этом в 2018 году в ДТП погибло 18 600 человек, что также ниже уровня 2017 года на 4.6%, и получили ранения 214 900 человек. Этот показатель практически не изменился с 2017 года. Таким образом смертность в ДТП в расчете на 100 тысяч населения за 2018 год составила 12.4 человек и снизилась незначительно относительно уровня 2017 года. По итогам 2019 года можно отметить, что снижение продолжилось, однако оно стало не оказалось настолько значительным, насколько ожидалось. По итогам года показатель составил 11.7 погибших на 100 тыс. чел. населения.

Снижение показателя смертности в результате дорожно-транспортных происшествий являлось одной из национальных целей, зафиксированных в указе Президента России №204 от 07 мая 2018 года. В соответствии с указом к 2024 году необходимо было снизить смертность от ДТП в 3.5 раза, а перспективной целью к 2030 году было снижение смертности до уровня близкого к нулевому. В то же время необходимо подчеркнуть, что смертность в ДТП характеризуется значительной пространственной гетерогенностью, которая при этом недостаточно проработана в отечественной экономической литературе. Это обуславливает необходимость соответствующего дифференцированного подхода при формировании мер по снижению количества дорожно-транспортных происшествий, а также числа погибших в них. В связи с этим исследование детерминант пространственного распределения ДТП и смертности в ДТП является крайне актуальной задачей.

Для достижения поставленной цели в рамках настоящего исследования были решены следующие задачи:

- анализ и систематизация теоретических и эмпирических подходов к моделированию ДТП и смертности в ДТП;
- анализ и систематизации детерминант ДТП и смертности в ДТП на автомобильных дорогах, а также механизмов влияния их пространственного распределения на ДТП и смертность в ДТП;

- разработка подхода к эмпирическому анализу и оценке влияния выявленных детерминант и их пространственного распределения на ДТП и смертность в ДТП;
- формирование базы данных для проведения исследования, содержащей детализированную информацию о случаях ДТП в России за ретроспективный период.
- проведение эмпирического анализа, структуризация, анализ и интерпретация полученных результатов, проверка их устойчивости;
- разработка и формирование практических рекомендаций на основе полученных результатов исследования.

Статистической основой исследования будут служить (1) детализированные данные о ДТП («карточки ДТП», включают подробные сведения об обстоятельствах, условиях, времени, месте совершения каждого конкретного ДТП на территории России, его участниках, их характеристиках, характеристиках ТС и прочее), публикуемые на сайте МВД России, за период с 2016 г. (более 600 тыс. случаев ДТП). Следует отметить, что сбор с сайта МВД сведений о ДТП и преобразование их в единую базу данных о ДТП является отдельной сложной технической задачей, поскольку скачивание данных ограничено только небольшими территориями. (2) геопространственные данные проекта Open Street Maps (OSM) по трассировке и характеристикам автодорожной инфраструктуры в России за период с 2012 г. (категорийность, тип покрытия, ширина проезжей части, количество полос, наличие односторонности движения, официальная максимальная разрешенная скорость, плотность дорожной сети в данном районе). (3) Данные ЕМИСС по социально-экономическим характеристикам районов пролегания автодорожной инфраструктуры.

## 1. Анализ и систематизация теоретических и эмпирических подходов к моделированию ДТП и смертности в ДТП

### 1.1 Анализ и систематизация зарубежных теоретических и эмпирических подходов к моделированию ДТП и смертности в ДТП

#### 1.1.1

#### Обзор моделей оценки частоты ДТП и смертности в ДТП

Чтобы учесть отклонения данных и методологические проблемы при частотном анализе ДТП и смертности в ДТП, описанные ранее, в исследовательской литературе применяются разнообразные методы, модели оценки, чаще всего это модели подсчёта данных (count-based models) Далее будет приведено описание основных из них.

#### 1.1.3.1

#### Пуассоновская модель (Poisson regression model)

Данные по ДТП представляют собой целые, положительные числа, поэтому применение метода МНК затруднительно, поэтому в большинстве исследований в качестве базовой модели для оценки используется Пуассоновская модель. Пуассоновская регрессионная модель оценивает вероятность того, что на участке дороги  $i$  произойдёт  $y_i$  аварий за выбранный промежуток времени. Вероятность данного события, согласно модели, можно представить как формулу (1):

$$P(y_i) = \frac{\text{EXP}(-\lambda_i)\lambda_i^{y_i}}{y_i!} \quad 1)$$

где  $P(y_i)$  – вероятность того, что на участке дороги  $i$  произойдёт  $y_i$  аварий за выбранный промежуток времени;

$\lambda_i$ – Пуассоновский параметр для участка дороги  $i$ , который равен ожидаемому числу аварий в год на данном участке,  $E[y_i]$ .

Параметр  $\lambda_i$  в Пуассоновской регрессионной модели специфицируется как функция независимых переменных (факторов ДТП), наиболее часто используемая функциональная форма представлена формулой (2):

$$\lambda_i = \text{EXP}(\beta X_i) \quad 2)$$

где  $X_i$  – вектор объясняющих переменных;

$\beta$  – вектор оцениваемых параметров.

Хотя Пуассоновская модель и считается базовой моделью для исследований в данной тематике, как было показано ранее, часто встречающиеся свойства данных негативно отражаются на оценках данной спецификации модели, а некоторые нарушают предпосылки, лежащие в её основе, в частности – чрезмерная или слишком низкая дисперсия, маленькая выборка, низкое среднее значение переменной.

С помощью данной модели в работе Joshua, S. C. и Garber, N. J. (1990) [1] исследовалась частота ДТП с грузовиками в штате Вирджиния, США на магистральных трассах, и было выявлено превосходство данной модели над многофакторной линейной регрессией, по качеству получаемых оценок. В работе Miaou, S.P. и Lum, H. (1993) [2] также исследовалось количество ДТП с грузовиками на среднем западе США, в ходе исследования было показано, что оценки модели Пуассона лучше отражают распределения величин данных, используемых в исследованиях частоты ДТП.

### 1.1.3.2

Отрицательная биномиальная модель, Пуассоновская-гамма модель (Negative binomial (Poisson-gamma) regression model)

Отрицательная биномиальная модель – модификация Пуассоновской модели, которая позволяет работать с данными, имеющую избыточную дисперсию. Данная модель предполагает, что Пуассоновский параметр  $\lambda_i$  имеет Гамма распределение, для этого  $\lambda_i$  выражается по формуле (3):

$$\lambda_i = \text{EXP}(\beta X_i + \varepsilon_i)$$

3)

где  $\text{EXP}(\varepsilon_i)$  – ошибка, имеющая гамма-распределение со средним значением равным 1 и дисперсией  $\alpha$ .

Добавление данного слагаемого позволяет дисперсии отличаться от среднего значение, поскольку  $\text{VAR}[y_i] = E[y_i][1 + \alpha E[y_i]] = E[y_i] + \alpha E[y_i]^2$

Отрицательная биномиальная модель – одна из самых часто используемых моделей при анализе частоты ДТП и смертности в ДТП, однако она, также, как и базовая Пуассоновская модель, имеет ограничения в использовании при слишком низкой дисперсии, маленькой выборке и низком средним значением переменной [3].

Примером одной из ранних работ с данной моделью может служить исследование Brüde, U. и Larsson, J. (1993) [4], проведенное по данным об авариях с участием пешеходов и велосипедистов на городских перекрестках Швеции, на которых модель показала хорошие результаты.

Сравнение данной модели с линейной регрессией в работе Persaud B. N. (1994) [5] показало снижение дисперсии получаемых оценок, при применении процедуры Байеса.

В работе Karlaftis, M., Tarko, A. (1998) [6] особое внимание было уделено гетерогенности панельных данных. Авторы показали, что при кластеризации исходных данных и применении к каждому кластеру своей отрицательной биномиальной модели с трендом по времени результаты оценок коэффициентов существенно отличаются в сравнении с оценкой по всему пулу данных, а вариация остатков – снижается.

#### 1.1.3.3

Пуассоновская-логнормальная модель (Poisson-lognormal model)

В некоторых исследованиях применялась другая модификация базовой Пуассоновской модели – Пуассоновская-логнормальная модель, которая схожа с отрицательной биномиальной моделью, однако  $EXP(\varepsilon_i)$  имеет логнормальное распределение. Данная модель лучше справляется с избыточной дисперсией, в сравнении с Пуассоновской-гамма моделью, однако эта модель так же плохо справляется со слишком маленькой дисперсией, низким средним значением переменной, маленькой выборкой (но лучше, чем Пуассоновская-гамма модель) и не может оценить параметр с меняющейся дисперсией [7].

#### 1.1.3.4

Нулевая пуассоновская и отрицательная биномиальная модели (Zero-inflated Poisson and negative binomial)

Данный тип моделей предназначен для работы с данными, в которых большое количество наблюдений имеет нулевые значения зависимой переменной, и является модификацией базовой пуассоновской модели и отрицательной биномиальной моделью. Нулевые модели работают на принципе разделения участков дорог на аварийные и безаварийные, при этом вероятность принадлежности отдельного участка к тому или иному типу определяется на основе logit или probit моделей [8]. Данные модели также стали популярны в исследованиях аварийности, поскольку позволяли получать хорошие оценки параметров на основе данных с большим количеством наблюдений без аварий, однако, у такого подхода есть минус, поскольку в долгосрочном плане дороги в безаварийной группе имеют нулевое среднее количество аварий, и ненаблюдаемая гетерогенность данных уже не влияет на оценки аварийности [9].

#### 1.1.3.5

Модель Конвея – Максвелла – Пуассона (Conway–Maxwell–Poisson model)

Данная модель позволяет производить оценку параметров как при избыточной, так и при слишком маленькой дисперсии, благодаря специальному параметру с



изменяющейся дисперсией. При данных с чрезмерной дисперсии модель показывает результаты сравнимые с Пуассоновской гамма моделью, однако её главное преимущество в работе с данными с недостаточной дисперсией, однако остальных недостатков базовой Пуассоновской модели данная спецификация не лишена – она также неспособна давать корректные оценки параметров при маленькой выборке и маленьком среднем значении по выборке [10].

### 1.1.2

## Методологические проблемы эмпирических исследований ДТП и смертности в ДТП

Методология исследования частоты ДТП и смертности в ДТП в зарубежной литературе базируется на моделях подсчета данных (count-based models). Основная идея данных моделей – анализ частоты возникновения событий в определенном месте. Формат данных похож на панельный, так, с одной стороны, данные рассматриваются в динамике по фиксированным периодам – год, месяц, неделя и т.д. С другой стороны, данные по ДТП распределяются по географическим объектам – участкам дороги, перекресткам и т.д. в таком случае одно наблюдение – это один конкретный элемент дорожной сети за определенный период времени. Информация по ДТП преобразуется в количество ДТП на данном участке дороге в данный период времени и становится зависимой переменной дальнейшего эконометрического исследования.

В результате множества исследований ДТП и смертности в ДТП был выявлен ряд методологических проблем, вызванных особенностью данных, используемых для исследований. Эти проблемы служат потенциальным источником ошибок, приводят к неправильным спецификациям используемых моделей, что влияет на интерпретацию оценок, искаженным прогнозам и некорректным оценкам степени влияния факторов на частоту аварий.

Чрезмерная дисперсия. Одна из особенностей данных по частоте аварий – значение дисперсии зачастую больше среднего значения, что нарушает предпосылку в одной из часто используемых в исследованиях по ДТП моделей - Пуассоновской регрессии, в которой дисперсия и средняя предполагаются равными. При чрезмерной дисперсии оценки модели Пуассона оказываются смещёнными, что приводит к ошибочным выводам, относительно факторов, определяющих частоту столкновений и смертей в ДТП [11] [12] [13].

Низкая дисперсия. На маленьких выборках дисперсия может оказаться слишком низкой, меньше среднего значения, в таком случае большинство моделей подсчёта данных (count-data models) будут производить некорректные оценки параметров модели [14].

Изменчивость во времени объясняющих переменных. Данные по частоте аварий агрегируются за определенные временные промежутки, однако возможность большой степени волатильности объясняющих переменных в рамках выбранного временного отрезка агрегации, как правило, не учитывается, поскольку не всегда можно найти более детальные данные, что приводит к потере информации в модели. К примеру, если взять данные по авариям за месяц и данные по метеорологическим условиям, осадкам, которые могут иметь значительную объясняющую силу, но на отрезке месяца, дня и часа они будут иметь совершенно разное распределение, что может существенно повлиять на корректность оценок и внести дополнительные ошибки как результат ненаблюдаемой гетерогенности [8].

Временная и пространственная корреляция. Чтобы избежать потери информации от объясняющих переменных, изменяющихся во времени, данные как правило делятся на меньшие временные интервалы. К примеру, данные по ДТП за год зачастую разделяют на 12 месяцев, однако это означает, что один элемент дороги теперь имеет ряд наблюдений и эти наблюдения будут коррелированы во времени, поскольку множество ненаблюдаемых неизменяемых во времени факторов будут оставаться одинаковыми в исследуемом периоде для данного сегмента дороги. Такая же корреляция может наблюдаться и в пространственном измерении объектов, так как соседние участки дороги разделяют между собой одинаковые ненаблюдаемые постоянные во времени эффекты. Данные виды корреляций также приводят к уменьшению эффективности оценок моделей.

Маленькая выборка данных и выборка с низким средним значением количества ДТП. Для сбора многофакторной базы данных по частоте ДТП требуется много ресурсов, поэтому, зачастую, исследования проводятся на основе выборке по некоторым участкам дорог, среди которых могут быть участки с низкой наблюдаемой аварийностью, что приводит к большому количеству нулевых значений количества ДТП и низкому среднему значению. Это становится проблемой при использовании большинства стандартных моделей подсчета данных, поскольку приводит к смещению оценок и не даёт использовать свойства оценок больших выборок (например, для метода максимального правдоподобия) [11], [9].

Корреляция вида ДТП и типа полученных повреждений. В данных о ДТП часто встречается классификация по типу полученных повреждений (смертельная травма, травма, приводящая к потере трудоспособности и/или инвалидности, травма, не приводящая к потере трудоспособности и/или инвалидности, отсутствие травм) и по видам ДТП (удар сзади, съезд с дороги, боковой удар, наезд на пешехода и др.). Наиболее распространённым подходом при моделировании ДТП и смертности в ДТП является

рассмотрение частоты всех аварий (все типы полученных повреждений и виды столкновений), а анализ факторов, влияющих на конкретные виды ДТП и типы полученных повреждений производится на основе полученных общих результатов. Однако в некоторых исследованиях, разрабатывались специализированные модели частоты ДТП для различных степеней травм и видов аварий. При таком кусочном исследовании также могут возникать статистические проблемы, искажения, вызванные корреляцией между видом ДТП и получаемыми повреждениями. Например, повышение видов ДТП, связанных со смертельным исходом, также повышает количество ДТП с менее серьезными последствиями и наоборот, поэтому в таких исследованиях необходимо применять более сложную структуру моделей, учитывающую корреляцию между моделями для разных видов ДТП и типов полученных травм [15], [13], [16].

Смещение в исходных данных. Отсутствие всех аварий в базе данных ДТП – частое явление, величину которого сложно установить как для каждой страны, так и для каждого типа ДТП. Примером такого искажения могут служить незначительные аварии, которые не оформляются официальным образом, а материальные претензии удовлетворяются водителями на месте. Из-за этого в статистике не учитывается ряд ДТП, которые, хотя и не имеют серьезных последствий, но искажают оценку аварийности участка дороги, на которых произошли. С другой стороны, в странах с менее развитым контролем за статистикой у региональных властей есть мотив к занижению показателей аварийности, что может местами занижать количество аварий и с тяжелыми последствиями. Несмотря на невозможность проверки величины возникающих искажений в ряде исследований показано, что модели не учитывающие возможные искажения исходной выборки с большей вероятностью показывают смещённые результаты [17], [18].

Смещение из-за пропущенных переменных. Проблема пропущенных переменных характерна для всех эконометрических исследований, тем не менее в сфере исследований ДТП крайне широкий спектр переменных, влияющих на количество аварий, поэтому легко упустить факторы, влияющие на зависимую переменную, при этом они часто оказываются коррелированы с факторами, включенными в спецификацию модели, что приводит к искажению полученных результатов, неправильной оценки зависимости, степени влияния [8].

Эндогенность. В ряде случаев объясняющие переменные имеют могут быть эндогенны, поскольку их значения зависят от частоты ДТП. К примеру, знак 1.15 «Скользкая дорога» устанавливается в местах с повышенным количеством ДТП из-за скользкости дорожного покрытия (в результате дождей или обледенения). Если исследователь пытается оценить влияние этого знака на количество ДТП возникает

эндогенность, и результаты оценки модели без учета эндогенности дадут ложные результаты, поскольку покажут положительное влияние знака 1.15 «Скользкая дорога» на количество ДТП, поскольку данный знак будет ассоциироваться моделью с участками дороги с большим количеством ДТП. Однако учёт эндогенности в моделях подсчёта данных на порядок сложнее в сравнении с традиционными моделями МНК, а с учётом множества потенциально-эндогенных факторов это представляет собой нетривиальную задачу для исследователя [19].

**Функциональная форма модели.** Функциональная форма модели устанавливает отношение между зависимой переменной и объясняющими факторами. Большинство моделей подсчёта данных предполагают, что объясняющие переменные влияют на зависимую линейным образом, однако ряд работ показал, что нелинейные зависимости могут улучшить получаемые результаты, хотя и значительно усложняют процедуру оценки [20], [21].

**Фиксированные эффекты оценки параметров.** Традиционное статистическое моделирование не позволяет оценкам параметров варьироваться по наблюдениям. Оцененный эффект объясняющих переменных на частоту ДТП и смертности в ДТП одинаков для всех наблюдений – сочетаний места и времени. Например, эффект от величины потока трафика будет одинаков для всех элементов дороги на всех исследуемых отрезках времени. Однако из-за ненаблюдаемой гетерогенности в некоторых случаях, оценённые факторы могут оказывать разное влияние на разных сегментах исследуемых дорог. Соответственно, если какие-то из параметров имеют такое свойство, а их оценка происходит без его учёта, то оценки модели также оказываются некорректными и могут приводить к неправильной интерпретации результатов. Данное искажение также можно учитывать в модели, но процесс оценки становится значительно более сложным [22], [8].

### 1.1.3

## 1.2 Обзор моделей пространственной эконометрики

Основные виды пространственных моделей<sup>1</sup>

SLX Spatially Lagged X

$$y = X\beta + WX\gamma + \varepsilon \quad (4)$$

Пространственные лаговые переменные  $Wx_1 \dots Wx_k$  включаются в стандартную регрессионную модель в качестве дополнительных регрессоров. В рамках модели SLX

---

<sup>1</sup> В настоящем разделе используются текстуальные фрагменты НИР Госзадания 2019 г.: Анализ влияния повышения пространственной доступности инфраструктуры на деятельность предприятий

предполагается, что рассматриваемые переменные  $x_1 \dots x_k$ , а также соответствующие пространственные лаги влияют на пространственную привязку зависимой переменной. В этом случае  $Y$  зависит не только от значений переменных, принимаемых в том же регионе, но и от значений в соседних регионах:

$$y = \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \dots + \beta_k x_k + \gamma_2 W x_2 + \dots + \gamma_k W x_k + \varepsilon \quad (5)$$

Где  $W$ - пространственная весовая матрица размера  $N \times N$ ,  
 $\varepsilon$  – нормально-распределенный вектор возмущений  $N \times N$ .

SAR Spatial Lag (Autoregressive) Model

$$y = \rho W y + X \beta + \varepsilon \quad (6)$$

$$\varepsilon \sim N(0, I_n)$$

Модель пространственного лага (SAR model) включает в себя пространственные эффекты и взаимосвязи, связанные с зависимой переменной. В качестве примера можно рассмотреть региональный рост, который стимулируется экономическим ростом в соседних регионах, например, за счет потоков товаров.

SEM Spatial Error Model

$$y = X \beta + u \quad (7)$$

$$u = \lambda W u + \varepsilon$$

$$\varepsilon \sim N(0, \sigma^2 I_n)$$

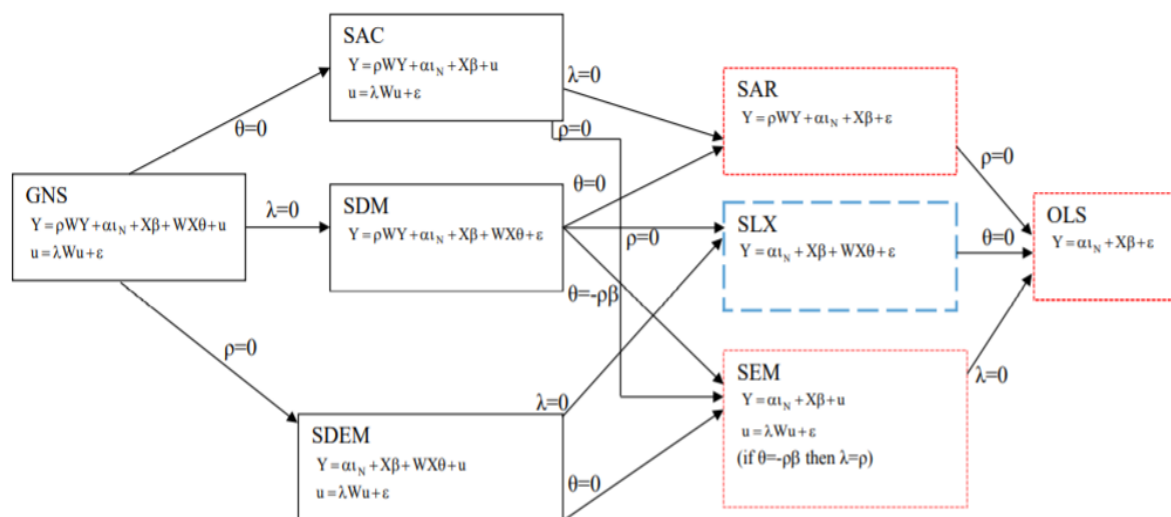
Модель пространственной ошибки (SEM model) используется в случаях, когда обнаружен пространственная автокорреляция, возникающая в результате неправильной спецификации или ошибочного разграничения пространственных единиц. Процесс задания компонента ошибки в данной модели основывается на подходе SAR. В общем виде это можно выразить следующим образом:

$$y = X \beta + (I - \lambda W)^{-1} u \quad (8)$$

Таблица 1 – описание основных пространственных моделей

	(Эндогенное) взаимодействие в зависимой переменной, $wy$	(экзогенное) взаимодействие в объясняющих переменных, $wx$	Пространствен. Взаимодействие в ошибках, $wu$
OLS, МНК-модель	-	-	-
SAR, Модель с пространственным авторегрессионным лагом	+	-	-
SEM, Модель с пространственным взаимодействием в ошибках	-	-	+
SLX, Модель с пространственным лагом $X$	-	+	-
SAC (SARAR), Модель с пространственным авторегрессионным лагом и ошибкой	+	-	+
SDM, Пространственная модель Дарбина	+	+	-
SDEM, Пространственная модель Дарбина с	-	+	+

ошибкой  
GNS, Общая вложенная пространственная + + +  
модель  
Примечание – Источник: составлено авторами.



Примечание – Источник: Spatial Econometrics The basics J.Paul Elhorst.

Рисунок 1 – Сравнение различных спецификаций пространственных эконометрических моделей

### 1.3.2

#### Пространственные модели, связанные с ДТП

В настоящем подразделе рассмотрены современные исследования, посвященные теме ДТП и основанные на пространственных данных. В большинстве работ результаты основывались на стандартных логистических регрессиях и пространственных моделях, описанных в предыдущем разделе: SLX, SAR, SEM модели для выявления пространственной зависимости.

Дорожно-транспортные происшествия – это глобальное бедствие, характерное для нынешней технологической эпохи со списком жертв, который с каждым днем становится все длиннее и длиннее. Частота смертей, травм, ухудшение состояния окружающей среды, материальные потери и экономические последствия аварий – это глобальная проблема, вызывающая большое беспокойство.

Дорожно-транспортный травматизм является серьезной проблемой общественного здравоохранения. Левек в своей работе [23] выбрал показатель YPLL – years of potential life lost (количество лет потенциально потерянной жизни) для анализа влияния смертности от дорожно-транспортного травматизма в Бельгии на общую смертность за период 1974-1994 гг.. В статье проанализированы географические тенденции за 20-летний период на районном уровне. Для 43 бельгийских округов было произведено измерение индекса YPLL с учетом половозрастной структуры и районирования за 1974-78 и 1990-94 годы. Географический анализ показал заметные различия между районами, а также метод YPLL выявил большие вариации в показателях YPLL для женщин и мужчин за рассматриваемый период. У женщин первой причиной смерти являлась не смерть от ДТП,

а смерть от женских болезней (злокачественного новообразования молочной железы). У мужчин сохранялось лидерство смертей от ДТП.

Сирера в своей работе [24] описал характеристики автомобилей, на которых поступали пациенты в отделения неотложной помощи, и оценил степень тяжести травм. Выборка включала пациентов Барселоны старше 16 лет за период 1995-1996 гг. Тяжесть заболевания оценивалась с помощью сокращенной шкалы травматизма и балла тяжести травмы. Были проведены одномерные и двумерные описательные статистические анализы, а также множественные логистические регрессии. При учете возраста, пола и наличия множественных травм разные категории населения, подвергшиеся риску, можно ранжировать следующим образом: пешеходы, пассажиры мопедов и мотоциклов. Случаи травм, полученных в ДТП в ночные часы, были подвержены более высокому риску госпитализации.

Гертс [25] сравнил характеристики аварий, происходящих в зоне «черного цвета», которая характеризует повышенную опасность и сложность дорожного участка. Выявление опасных мест аварий и их профилирование с точки зрения характеристик местоположения/окружающей среды позволило по-новому взглянуть на сложность дорожных участков и причины дорожно-транспортных происшествий. В качестве примера взяли бельгийский пригородный район. Метод частых наборов элементов – кластерного анализа (technique of frequent item sets (data mining)) был применен для автоматического определения случайных обстоятельств, которые часто происходили на месте аварий, расположенных в черной зоне. Результаты показали, что аварии, происходящие в черных зонах, характеризовались левыми поворотами на перекрестках, а также столкновениями с пешеходами, потерей контроля над транспортными средствами (съезд с проезжей части) и неблагоприятными погодными условиями (дождь).

После проведения нескольких исследований, изучающих пространственную корреляцию дорожно-транспортных происшествий, например, Агуэро-Вальверде [26] обнаружили существование пространственной корреляции при анализе травматических аварий в Пенсильвании с использованием полных байесовских иерархических моделей. Авторы используют данные о травмах и смертельных авариях для Пенсильвании за 1996-2000 годы. В работе полные иерархические модели Байеса (с пространственными и временными эффектами и пространственно-временными взаимодействиями) сравниваются с традиционными отрицательными биномиальными оценками частоты аварий за год на уровне округов. В модель включаются социально-демографические показатели, погодные условия, транспортная инфраструктура и количество поездок. Авторы получили следующие выводы: полные байесовские иерархические модели обычно



согласуются с отрицательными биномиальными оценками. Округа с более высоким процентом населения, находящегося ниже уровня бедности, а также с более высоким процентом населения в возрастных группах от 0 до 14 лет, от 15 до 24 лет и старше 64 лет, а также округа с увеличенной плотностью дорог оказались более подвержены ДТП. Общее количество осадков является значимым и положительным фактором в отрицательных биномиальных моделях, но не значимым фактором в полных Байесовских моделях. Пространственная корреляция, временной тренд и пространственно-временные факторы являются значимыми факторами в модели.

В статье Сипос Т. [27] рассматриваются локальные пространственные тесты и делается вывод о том, что они могут быть применены для идентификации «горячих и холодных» точек с точки зрения безопасности дорожного-транспортного движения. Пространственная автокорреляция, связанная с данными об авариях в Венгрии, была доказана в период с 2010 по 2012 год с помощью глобального теста Морана (Sipos, 2017) [27].

Адерамо в своей работе [28] стремясь предложить меры по сокращению бедствия дорожно-транспортных происшествий, изучил пространственные данные по дорожным авариям в Нигерии. Разработанные модели соотносят общее количество дорожно-транспортных происшествий, с оценкой численности населения, протяжённости дорог и количества зарегистрированных транспортных средств по стране. По результатам регрессии выявлено, что смертность от аварий имеет положительную связь с популяционной оценкой и длиной дорог. Кроме того, оценка численности населения и протяженности дорог имела существенное значение, влияющее на травмы от аварий.

Анализируя различные исследования, можно отметить, что значительная роль скорой помощи и неотложной помощи в дорожно-транспортном происшествии возросла [29], [30]. Ранние исследования показали, что хорошее качество услуг скорой помощи оказывает большое влияние на снижение смертности от травм головного мозга в результате несчастных случаев на дорогах [31]. В настоящее время пространственный анализ GIS и системы принятия решений позволяют идентифицировать зоны высокой аварийности дорог, помогая в разработке программ антикризисного управления для обеспечения адекватного и быстрого реагирования в случае аварии и предотвращения смерти.

## **2. Анализ и систематизация основных детерминант ДТП и смертности в ДТП на автомобильных дорогах, а также механизмов влияния их пространственного распределения на ДТП и смертность в ДТП**

Проблема безопасности дорожно-транспортного движения безусловно является важной в вопросе сохранения жизни и здоровья граждан, поэтому мировым сообществом и международными организациями накоплен достаточно обширный опыт анализа причин совершения ДТП и анализа их детерминант, т.е. факторов, которые влияют на показатели смертности.

В международной практике принято выделять два основных подхода к анализу причин ДТП и смертности в результате аварий на транспорте: подход организаций здравоохранения, матрица Хэддона. Далее каждый из этих подходов рассматривается подробнее.

Подход, принятый для анализа факторов ДТП организациями общественного здравоохранения является основой, позволяющей оперативно реагировать на широкий спектр проблем и заболеваний за пределами исключительно аварий на транспорте, включая травмы и различные виды насилия [32], [33]. Этот подход позволяет не только выявить основные факторы риска совершения ДТП и смертности, но и проанализировать процесс принятия решений международными организациями при определении мер, направленных на сокращение числа ранений и смертности в ДТП.

Подход организаций здравоохранения включает четыре последовательных этапа:

1) На первом шаге определяются масштабы и характеристики проблемы. Сюда включаются анализ показателей смертности, заболеваемости и характеристик поведения участников рассматриваемого процесса. В отношении дорожно-транспортных происшествий этот этап подразумевает получение информации, описывающей характеристики участников дорожной аварии, временных и географических параметров, обстоятельствах совершения инцидента, серьезности последствий – травмах и смертельных случаях.

2) На втором этапе определяются факторы, увеличивающие риск осложнений в результате травм и последующих летальных исходов, а также определение факторов, которые могут на это повлиять, например, своевременности и качестве медицинских услуг.

3) На следующем шаге определяются меры, которые могут быть предприняты для предотвращения проблемы – в данном случае, фактах дорожно-транспортных происшествий. На этом же этапе происходит прогнозная оценка эффекта от предпринимаемых мер.

4) На финальном этапе организациями здравоохранения внедряются разработанные меры, которые в результате проведенной аналитики выбраны как относительно более эффективные. В первую очередь, эффективность регулирующих мер в отношении дорожно-транспортных происшествий может быть оценена как величина воздействия на снижение травматизма и смертности в дорожно-транспортных происшествиях. Также важно, чтобы принимаемые меры соответствовали принципам экономической эффективности и эффект от затрат на их реализацию был оправдан желаемым снижением целевых показателей смертности и травматизма.

Матрица Хэддона. Матрица Хэддона, описанная в статье [34], является классическим подходом к группировке факторов риска ДТП и описывает все параметры риска до аварии, во время аварии и после аварии в отношении участников происшествия, транспортного средства и окружающей среды (таблица 2). Данный подход описывает системы автомобильного движения как взаимосвязанный механизм, где каждый этап – до аварии, во время аварии и после нее – может быть разделен на основные факторы риска для людей–участников аварии, автомобиля, дорожной инфраструктуры и окружающей среды. Матрица Хэддона представляет собой аналитический инструмент, с помощью которого можно учесть все факторы, которые влияют на вероятность аварии, а также ее исход с точки зрения травматичности участников.

Таблица 2 – Матрица Хэддона, факторы риска для участников ДТП, транспортных средств и окружающей среды

Фаза		Факторы		
		Участники аварии	Транспортное средство	Окружающая среда
До аварии	Предотвращение ДТП	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Информированность;</li> <li>– Поведение за рулем/ поведенческие установки;</li> <li>– Вероятность нарушения правил;</li> <li>– Проблемы со здоровьем;</li> <li>– Деятельность правоохранительных органов</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Пригодность дорожного покрытия к эксплуатации;</li> <li>– Качество освещения;</li> <li>– Состояние тормозной системы;</li> <li>– Скоростной режим;</li> <li>– Характер управления автомобилем</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Дорожное проектирование и дорожная инфраструктура;</li> <li>– Скоростные ограничения;</li> <li>– Инфраструктура для пешеходов.</li> </ul>
Во время аварии	Предотвращение травматизма во время аварии	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Использование средств защиты (ремней безопасности);</li> <li>– Вероятность нарушения правил;</li> <li>– Проблемы со здоровьем</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Использование средств защиты (ремней безопасности) пассажирами;</li> <li>– Использование других защитных устройств;</li> <li>– Антиаварийный дизайн автомобиля.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Антиаварийные защитные объекты на дорогах</li> </ul>
После аварии	Поддержание жизнеспособности	Доступность, оперативность и качество медицинской помощи	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Легкость доступа;</li> <li>▪ Риск возгорания</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Доступность спасательных служб;</li> <li>▪ Степень загруженности дорог</li> </ul>

Примечание – Источник: составлено авторами.

Международными организациями используется ряд факторов риска дорожно-транспортного травматизма, резюме этих факторов представлено в таблице 3

Таблица 3 – Факторы дорожно-транспортного травматизма

Группа факторов	Факторы
Факторы, влияющие на склонность к рискованному вождению	- экономические факторы (уровень экономического развития и благосостояния); - демографические факторы (возраст и пол); - планирование транспортной сети, что влияет на длительность поездки; - сочетание скоростного движения с опасными участками дорожного движения; - неэффективное проектирование на дорожных участках правил ограничения скорости, планировки дорог;
Факторы, влияющие на участие в ДТП	- превышение скорости; - воздействие алкоголя, лекарственных препаратов и наркотических веществ; - усталость; - юный возраст; - небольшой опыт вождения; - темное время суток; - состояние транспортного средства – состояние тормозной системы, качество технического обслуживания; - дефекты в проектировании и содержании дорог; - недостаточная видимость из-за погодных факторов; - плохое зрение участников дорожного движения.
Факторы, влияющие на степень тяжести аварии	- превышение скорости; - неиспользование ремней безопасности и детских удерживающих устройств; - отсутствие защитных шлемов у велосипедистов и мотоциклистов; - отсутствие придорожных объектов, защищающих от столкновений; - недостаточная встроенная система защиты от столкновения в транспортных средствах; - нахождение под алкогольным и/или наркотическим опьянением
Факторы, влияющие на последствия травм после аварии	- задержка обнаружения аварии и транспортировки пострадавших в медицинское учреждение; - наличие возгорания в результате столкновения; - нахождение под алкогольным и/или наркотическим опьянением; - технические трудности доступа к пострадавшим в процессе эвакуации и извлечения людей из транспортных средств; - отсутствие надлежащей медицинской помощи; - отсутствие надлежащего ухода в отделениях неотложной помощи больницы.

Примечание – Источник: [35].

Всемирная организация здравоохранения классифицирует причины смертности в ДТП на категории в соответствии с ключевыми группами риска<sup>2</sup>:

– группы риска: социально-экономическое положение, международная статистика показывает, что чем ниже средний уровень доходов, тем выше вероятности смертности в дорожно-транспортных происшествиях;

– возраст: основная группа участников ДТП – люди в возрасте 5–29 лет;

– пол.

В статье [36] показывают, что пространственное распределение коэффициента смертности зависит от:

<sup>2</sup> Источник [39]

– места совершения ДТП: по статистике число погибших в ДТП вне населенных пунктов значительно превышает аналогичный параметр в населенных пунктах,

– типа населенного пункта: до 2015 г. показатель смертности в ДТП в городских населенных пунктах был выше этого параметра в сельских населенных пунктах, однако с 2017 года смертность в ДТП в сельских населенных пунктах превысила этот коэффициент в городах. При этом сокращение коэффициента смертности более заметно в более крупных городах (с численностью населения более 250 тыс. человек).

Далее рассмотрим основные факторы, которые используются в международной практике как основные детерминанты ДТП [35].

Первая группа – факторы, влияющие на склонность к рискованному вождению.

Необходимо отметить, что на практике зачастую нельзя полностью исключить все возможные риски возникновения аварии, а также травматизма и смертности в результате ДТП. Однако существуют возможности уменьшения описанных рисков, а также минимизации их вероятности возникновения и возможных последствий. Вопросы и проблемы, которые имеют значение при изучении подверженности риску, описаны во Всемирном докладе о предотвращении дорожно-транспортных травм [35]. Далее мы приведем краткое описание этих факторов.

Вторая группа – факторы, влияющие на вероятность попадания в ДТП. Поведенческий фактор является одним из самых важных при оценке факторов, влияющих на вероятность совершения ДТП: подготовка и опыт водителей, их поведенческие установки, нахождение в состоянии алкогольного опьянения со стороны водителя или пешехода, качество соблюдения правил дорожного движения, а также медицинские показания (например, проблемы со здоровьем). В российской практике более чем в 80% случаев вина за совершение ДТП лежит на водителях [37], поэтому контроль параметров, определяющих поведение водителей, результатом которого становятся аварии на транспорте, становится особенно важным.

В российской практике по данным статистики ДТП нарушение правил скоростного режима – наиболее частое нарушение правил дорожного движения, при этом аналогично этот фактор является основной причиной аварий и в западных странах, однако смертность участников аварий в России на 15 п.п. превышает европейскую практику, где смертельные исходы в ДТП происходят в 30% случаев. Отчасти это обусловлено различиями в верхних пределах скоростных режимов, поскольку в европейских городах средние ограничения скорости в населенных пунктах ниже [37].

Риск дорожно-транспортного происшествия, когда водитель находится в состоянии алкогольного опьянения, зависит от возраста. Молодые водители значительно чаще попадают в аварии со смертельным исходом, чем пожилые водители. При этом риск смерти от ДТП в состоянии алкогольного опьянения снижается с увеличением возраста и опыта водителя. Риск дорожно-транспортного происшествия выше для молодых водителей с пассажирами в автомобиле, по сравнению с теми, кто едет один. Низкая вероятность того, что водитель в состоянии алкогольного опьянения или с содержанием алкоголя в крови выше допустимого уровня будет пойман, приведет к увеличению риска аварии вследствие увеличения вероятности нарушения со стороны водителя.

В России около 6% ДТП происходит с участием водителей, у которых обнаружено превышение допустимой нормы концентрации алкоголя в крови, причем этот параметр остается относительно устойчивым, несмотря на ужесточение мер регулирующего воздействия в этой области [37]. С сентября 2013 года максимально допустимая концентрация алкоголя в крови составляет 0.35 промилле.

В дополнение к факторам усталости можно также отнести общее физическое состояние водителя и наличие каких-либо медицинских противопоказаний к управлению транспортным средством по состоянию здоровья. В российской практике существует система подтверждения способности водителя к управлению транспортным средством со стороны медицинской системы, в частности, в соответствии с утвержденным Министерством здравоохранения перечнем медицинских противопоказаний к управлению транспортным средством.

Далее подробно рассмотрены факторы, влияющие на тяжесть последствий ДТП.

Отсутствие в комплектации автомобиля системы защиты от столкновений. За последнее десятилетие ударостойкость автомобилей значительно улучшилась, однако в среднем степень ударостойкости автомобиля положительно коррелирует со средним доходом владельца. Кроме того, значительная часть дорожно-транспортных происшествий затрагивает также и зону за пределами автомобиля, включая пешеходов, велосипедистов, мотоциклы или пассажиров автобусов и грузовых транспортных средств. До сих пор не существует определенных требований по защите уязвимых участников дорожного движения посредством установки ударопрочных конструкций кузовов грузовых автомобилей или автобусов.

Основные риски травматизма пассажиров транспортных средств в авариях связаны со способом взаимодействия автомобилей во время аварии друг с другом, с обочиной дороги и типом столкновения – лобовым или боковым. Причинами смертельных случаев и аварий, отягощенных тяжелыми травмами для участников, являются в большинстве

случаев травмы головы, груди и живота. Травмы, которые вызывают в большинстве случаев инвалидность участников ДТП – травмы ног и шеи. Детерминантами степени тяжести травм в ДТП являются следующие факторы:

- столкновение транспортных средств или с объектом с проникновением в салон автомобиля;
- несоответствие размеров и веса транспортных средств – участников аварии;
- выброс водителя/пассажира из автомобиля в результате ДТП;
- неисправная встроенная система безопасности транспортных средств.

Износ автомобилей также оказывает влияние на вероятность совершения ДТП, наряду со сроком эксплуатации автомобиля. В России этот показатель составляет около 10 лет для более чем 50% парка автотранспортных средств. Однако процент дорожных происшествий, где причиной являлись бы серьезные технические неисправности автомобиля относительно невысок – он не превышает 1–3% как в России, так и в развитых странах. Наиболее частыми техническими неисправностями автомобиля, становящимися причиной ДТП, являются неисправность тормозной системы (20%) и износ рисунка протектора (15%) [37].

Для российской дорожной сети характерна относительно невысокая плотность дорог в сочетании с относительно невысокой долей дорожных покрытий, соответствующих нормативным требованиям – в среднем на 2019 год 59% дорог соответствуют нормативам<sup>3</sup>. Одновременно с этим другими проблемами дорожно-транспортной инфраструктуры в России является недостаточная пропускная способность дорог, неудовлетворительное состояние мостов, около 15% дорог не оснащены дорожными знаками, а в приблизительно трети случаев уже установленные дорожные знаки не отвечают стандартам. Плохое состояние дорожной сети представляет высокую опасность для российской практики регулирования смертности и травматизма на дорогах, становясь причиной около четверти ДТП, а в около 20% случаев фиксируется неудовлетворительное состояние обочин и отсутствие тротуаров [37].

Факторы, влияющие на тяжесть травм после аварии. Смерть в результате ДТП предотвратима в случаях, когда пострадавшие умирают через некоторое время после аварии на месте происшествия или в медицинских учреждениях. Факторы, влияющие на вероятность восстановления жертв дорожно-транспортных происшествий:

- действия свидетелей и участников ДТП на месте аварии – оказание первой помощи самостоятельно;

---

<sup>3</sup> Источник [38]

- доступность системы неотложной медицинской помощи;
- оперативность прибытия служб ЧС;
- оперативность и качество оказания медицинской помощи до прибытия в больницу;
- качество медицинской травматологической помощи в медицинских учреждениях;
- реабилитационная психологическая помощь.

В России обеспеченность медицинских учреждений специалистами по травматологии и соответствующим оборудованием распределена неравномерна – для российской медицинской системы характерна неоптимальное распределение качества медицинской помощи в крупных региональных центрах и небольших городах и сельских поселениях, высокий уровень износа оборудования наряду с более высокой статистикой ДТП в сельской местности и небольших городах создает дополнительный вызов для системы предотвращения дорожно-транспортного травматизма и смертности [37].

Дорожно-транспортное происшествие является результатом взаимодействия ряда факторов, некоторые из которых могут не иметь прямого отношения к травматизму и смертности в результате ДТП.

Подход к анализу параметров ДТП организациями здравоохранения и матрица Хэддона не только полезны при анализе факторов риска, но также обеспечивают основу, которая определяет принятие решений для всего процесса факторов ДТП, от выявления проблемы до осуществления конкретных мер регулирующего воздействия.

Основные факторы риска можно разделить на четыре группы:

1. Факторы, влияющие на приверженность риску, в том числе демографические и экономические параметры, а также степень автомобилизации.
2. Факторы, влияющие на вероятность совершения ДТП, такие как превышение допустимого скоростного ограничения, вождение в нетрезвом состоянии, небезопасное проектирование дорог и отсутствие эффективных законов и правил контроля безопасности дорожного движения.
3. Факторы, влияющие на степень тяжести последствий ДТП и травматизма, такие как неиспользование ремней безопасности, детских удерживающих устройств или защитных шлемов, отсутствие инфраструктурных объектов, обеспечивающих безопасность движения, а также вождение в нетрезвом состоянии.



4. Факторы, влияющие на последствия травм после аварии, такие как степень оперативности оказания помощи со стороны спасательных и медицинских служб, а также качество последующих медицинских услуг и психологической поддержки пострадавшим.

### **3. Разработка подхода к эмпирическому анализу и оценке влияния выявленных детерминант и их пространственного распределения на ДТП и смертность в ДТП**

#### **3.1 Формирование и описание базы данных, содержащей детализированную информацию о случаях ДТП в России за ретроспективный период**

Полная выборка данных включает информацию по 854 989 ДТП в регионах России за 2015 – 2019 гг. Большинство переменных описывают качественные характеристики, позволяющие группировать ДТП по типам, пространственным параметрам и личным характеристикам участников ДТП.

Распределение параметров ДТП по регионам. За период 2015–2019 гг. число ДТП остается на прежнем уровне, при этом в 2019 году в сравнении с 2018 годом прирост составил 8%, наибольшая часть ДТП происходит в крупных агломерациях с высокой нагрузкой на транспортную систему – Москва, Санкт-Петербург, Московская область, Краснодарский край, Нижегородская область, Республики Татарстан и Башкортостан, Челябинская область, Ростовская область.

Около трети ДТП происходит на дорогах местного значения, что обуславливает необходимость тщательного контроля автодорожного покрытия и качества управления транспортной системой в границах муниципальных образований. Наиболее существенное сокращение числа ДТП за 2019 гг. в сравнении с 2018 г. произошло в Пермском крае (-39%), существенно образом отразившись на статистике ДТП по стране в целом.

Самые распространенные типы ДТП (95% всех случаев) – столкновение (47%) и наезд на пешехода (21%). Наиболее часто столкновения происходят в Москве (2.7% от общего числа ДТП за период), Краснодарском крае (2%), Московской области (2%), Санкт-Петербурге (1.7%), Нижегородской области (1.4%), Республике Татарстан (1.4%), Челябинской области (1.3%), Республике Башкортостан (1.3%), Ростовской области (1.3%), Самарской области (1%) и Краснодарском крае (1%). ДТП по причине наезда на пешехода наиболее часто случаются в Москве (2.2%), Санкт-Петербурге (1.6%), Московской области (1.4%), Краснодарском крае (1.2%), Нижегородской области (1%) и Республике Татарстан (1%). Также достаточно распространенными являются опрокидывание (9.3%), наезд на препятствие (7.4%), а также съезд с дороги (3.5%) и наезд на стоящее транспортное средство (3.3%).

Частота ранения участников ДТП составляет около 50%, при этом показатель смертности в среднем за период составляет 4.6%, однако стоит отметить его сокращение с 2015 гг. на 20%: с 5% в 2015 году до 4% в 2019 г.

Наиболее высокая смертность отмечается в регионе Северного Кавказа, для которого характерна горная местность, в частности, в ДТП в Чеченской Республике (в среднем 14.5%), при этом данный параметр увеличился и в 2019 году погиб каждый пятый участник ДТП в регионе. Высокие показатели смертности также отмечаются в Республиках Ингушетии, Кабардино-Балкарской, Адыгее (в среднем 7-9%), однако показатели смертности в этих субъектах сокращаются за рассматриваемый период. Средние показатели смертности не превышают 3% в таких регионах, как Москва, Санкт-Петербург, Мурманской и Омской областях. Однако кроме данных о числе ДТП в абсолютных значениях важно также рассматривать частоту ДТП, ранения и смертность в авариях на транспорте с учетом корректировки на размер региона, то есть численность населения.

В среднем по России число ДТП на 100 тыс. человек населения сокращается за период 2015–2019 гг., уменьшившись на 13% до показателя 108.6 ДТП на 100 тыс. человек населения в 2019 г. По данному показателю наибольшее число ДТП на 100 тыс. человек населения в среднем приходится на Новгородскую область (194), Магаданскую область (180), Республику Калмыкию (178),

Наиболее высокая смертность в расчете на 100 тыс. человек населения в Республике Тыва (33.5), Республике Калмыкия (30.2), Ленинградской области (26.2), Республике Адыгее (23.7), Владимирской области (21.9), Магаданской области (21.2), Новгородской области (21.2), Рязанской области (21.2), Псковской области (20.7), Тульской области (20.4).

Средний показатель смертности в ДТП за период 2015–2019 гг. составляет 13.2 смертельных случая на 100 тыс. человек населения, при этом данный параметр, также как и коэффициенты ранения и числа ДТП, снизился за рассматриваемый период на 28% – до 11.3 случаев на 100 тыс. человек населения. Наименьший уровень смертности в ДТП на 100 тыс. человек населения в таких субъектах, как Москва (4.2), Санкт-Петербург (5), Чукотский АО (5.6), Тюменская область (6). Также наименьше число ДТП в расчете на 100 тыс. человек населения в среднем – в Чеченской Республике (21.8), Республике Ингушетии (41.5), Чукотском АО (52.5).

Наиболее часто ДТП происходят на улицах местного значения в жилой застройке (23.77%), магистральных улицах общегородского значения (17.33%), магистральных улицах районного значения (10.57%), а также вне населенных пунктов (25.59%). Описание факторов совершения ДТП: дата и время, в которое произошло ДТП.

Данные по распределению числа ДТП по всем регионам России в зависимости от времени суток показывают, что наибольшее число ДТП происходит в утренние часы пик

(7:30–8:30), в дневное время (13:30–14:30) и вечерние часы пик в период 17:30–20:30. Наиболее частые типы ДТП, как уже упоминалось ранее, – столкновение, наезд на пешехода и наезд на препятствие, суммарно составляющие около 75% всех ДТП. При этом заметен рост частоты столкновений в весенне-летний период, когда дорожное покрытие преимущественно сухое, аналогичным образом в этот же период чаще происходят опрокидывания автомобилей. Наезды на пешехода же, напротив, чаще происходят в период гололедицы, то есть осенью и зимой.

**Инфраструктурные параметры.** Смертельные случаи в ДТП в подавляющем большинстве происходят в ночное время суток, что характеризует особую важность качественного освещения дорог для предотвращения статистики погибших в результате автомобильных аварий. Статистика погибших по месяцам не отражает явно выраженных трендов, однако в период начала гололедицы (октябрь) отмечается увеличение ДТП со смертельными случаями.

Наиболее часто ДТП происходят на сухом покрытии дорог (более 60%), однако почти в 20% случаев одним из факторов ДТП является мокрое покрытие. Предположительно, причиной высокого числа ДТП на сухом покрытии является более высокая средняя скорость движения автомобильного транспорта, и, как следствие, относительно меньшая быстрота реакции водителя в экстренных ситуациях, в то время как мокрое покрытие – естественное препятствие для эффективного контроля управления транспортным средством.

Подавляющее большинство аварий происходит в светлое время суток (более 60%), при этом одна пятая всех ДТП совершается в темное время суток, когда освещение включено. В темное время суток с отсутствующим освещением совершается чуть более 10%. Как было показано ранее, именно в темное время суток происходит наибольшее число ДТП со смертельным исходом. С учетом того, что большая часть типов дорог, на которых происходят аварии, освещены, предположительно одним из факторов аварийности является именно неудовлетворительное качество освещения транспортной инфраструктуры.

**Поведение/характеристики водителя.** В среднем с увеличением возраста водителей, а, следовательно, среднего водительского стажа, у женщин интенсивность совершения ДТП сокращается более быстрыми темпами в сравнении с мужчинами. В отношении аварий, где у водителя было зафиксировано алкогольное опьянение, заметно, что чаще всего алкогольное опьянение отмечается у водителей-мужчин.

Средний уровень алкогольного опьянения у женщин заметно ниже, при чем в большинстве случаев он фиксируется у женщин в возрасте до 25 лет, в то время как

статистика в отношении мужчин не показывает явного доминирования вероятности обнаружения алкогольного опьянения в более молодом возрасте, хотя в среднем степень алкогольного опьянения начинает заметно снижаться у водителей после 30 лет в тех случаях, когда в результате ДТП факт нахождения водителя в состоянии алкогольного опьянения был зафиксирован.

Существенная часть участников ДТП – несовершеннолетние граждане, в особенности дети до 12 лет, что обуславливает особую необходимость контроля использования средств безопасности (детских кресел).

В 41% случаев участниками ДТП не был использован ремень безопасности, что также предполагает дополнительный риск ранений и смертельных случаев в ДТП в связи с отсутствием предпринятых мер безопасного вождения.

Характеристики транспортных средств. Более половины аварий (56.1%) происходит на автомобилях В- и С-классов, которые составляют большую часть потребительского рынка. Реже всего в аварии попадают полноприводные автомобили, что обусловлено также объемом рынка автомобилей этого типа. Около трети всех аварий происходит на автомобилях отечественных марок – ВАЗ, ПАЗ, ГАЗ.

Подводя итог, статистический анализ имеющейся базы данных по ДТП по регионам России за 2015–2019 гг. показывает, что:

- за рассматриваемый период общее число ДТП осталось приблизительно на том же уровне, увеличившись за последний 2019 год на 8%;
- наибольшее число ДТП происходит в утренние и вечерние часы пик в период (7:30–8:30; 17:30-20:30);
- самые распространенные типы ДТП– столкновение и наезд на пешехода;
- чаще всего столкновения происходят в весенне-летний период, когда дорожное покрытие преимущественно сухое, аналогичным образом в этот же период чаще происходят опрокидывания автомобилей. Наезды на пешехода же, напротив, чаще происходят в период гололедицы, то есть осенью и зимой;
- около половины случаев ДТП заканчиваются ранением участников, при этом в смертельные исходы происходят в 5% аварий;
- смертельные случаи в ДТП в подавляющем большинстве происходят в ночное время суток. Также в период начала гололедицы (октябрь) отмечается увеличение ДТП со смертельными случаями;
- наиболее высокая смертность отмечается в регионе Северного Кавказа, самый низкий показатель – в регионах с развитой транспортной сетью и инфраструктурой – Москве и Санкт-Петербурге;

– в среднем с увеличением возраста водителей, а, следовательно, среднего водительского стажа, у женщин интенсивность совершения ДТП сокращается более быстрыми темпами в сравнении с мужчинами.

– в отношении аварий, где у водителя было зафиксировано алкогольное опьянение, средний уровень алкогольного опьянения у женщин заметно ниже, при чем в большинстве случаев он фиксируется у женщин в возрасте до 25 лет, в то время как статистика в отношении мужчин не показывает явного доминирования вероятности обнаружения алкогольного опьянения в более молодом возрасте, хотя в среднем степень алкогольного опьянения начинает заметно снижаться у водителей после 30 лет;

– существенная часть участников ДТП – дети до 12 лет, что обуславливает особую необходимость контроля использования средств безопасности (детских кресел).

### **3.2 Разработка и описание подхода к эмпирическому анализу и оценке влияния выявленных детерминант и их пространственного распределения на ДТП и смертность в ДТП**

#### **3.2.1**

Разработка и описание подхода к эмпирическому анализу и оценке влияния выявленных детерминант распределения ДТП и смертности в ДТП

Для проведения эмпирического анализа влияния выявленных детерминант и их пространственного распределения на ДТП и смертность в ДТП буде использоваться несколько подходов.

В качестве первичного – будет проведена оценка базовой пуассоновской модели. Пуассоновская регрессионная модель оценивает вероятность того, что на участке дороги  $i$  произойдет  $y_i$  аварий за выбранный промежуток времени. Вероятность данного события, согласно модели, можно представить в виде:  $P(y_i) = \frac{\text{EXP}(-\lambda_i)\lambda_i^{y_i}}{y_i!}$ . Здесь  $P(y_i)$  – вероятность того, что на участке дороги  $i$  произойдет  $y_i$  аварий за выбранный промежуток времени, а  $\lambda_i$  – Пуассоновский параметр для участка дороги  $i$ , который равен ожидаемому числу аварий в год на данном участке,  $E[y_i]$ .

Данные по ДТП представляют собой целые, положительные числа, в силу чего применение метода МНК затруднительно, поэтому в большинстве исследований в качестве базовой модели для оценки используется Пуассоновская модель. Пуассоновская регрессионная модель оценивает вероятность того, что на участке дороги  $i$  произойдет  $y_i$  аварий за выбранный промежуток времени. Вероятность данного события, согласно модели, можно представить, как формулу:

$$P(y_i) = \frac{EXP(-\lambda_i)\lambda_i^{y_i}}{y_i!}, \quad (9)$$

где  $P(y_i)$  – вероятность того, что на участке дороги  $i$  произойдет  $y_i$  аварий за выбранный промежуток времени,  $\lambda_i$  – Пуассоновский параметр для участка дороги  $i$ , который равен ожидаемому числу аварий в год на данном участке,  $E[y_i]$ .

Параметр  $\lambda_i$  в Пуассоновской регрессионной модели специфицируется как функция независимых переменных (факторов ДТП), наиболее часто используемая функциональная форма представлена формулой:

$$\lambda_i = EXP(\beta X_i), \quad (10)$$

где  $X_i$  – вектор объясняющих переменных, а  $\beta$  – вектор оцениваемых параметров.

Для шоссе представленность участка характеризуется длиной сегмента (SL) и средним количеством трафика в день (annual average daily traffic (AADT)) за исследуемый период (год). Предлагаемая зависимость формализуется как выражение:

$$\text{Количество аварий} = EXP(\alpha + \beta * \ln(AADT) + \ln(SL)). \quad (11)$$

Для перекрестков представленность участка характеризуется средним количества трафика в день на главной дороге (AADT<sub>1</sub>) и второстепенной (AADT<sub>2</sub>), таким образом зависимость представляется в виде выражения

$$\text{Количество аварий} = EXP(\alpha + \beta_1 * \ln(AADT_1) + \beta_2 * \ln(AADT_2)). \quad (12)$$

При оценке вероятности смертности в ДТП модель приобретает следующий вид:

$$P(y_i) = \frac{EXP(-\lambda_i)\lambda_i^{y_i}}{y_i!}, \quad (13)$$

где  $P(y_i)$  – вероятность того, что в административной единице  $i$  произойдет  $y_i$  аварий со смертельными случаями за выбранный промежуток времени,  $\lambda_i$  – Пуассоновский параметр для административной единицы  $i$ , который равен ожидаемому числу аварий в год в данной единице,  $E[y_i]$ .

Параметр  $\lambda_i$  в Пуассоновской регрессионной модели специфицируется как функция независимых переменных (факторов ДТП), наиболее часто используемая функциональная форма представлена следующей формулой:

$$\lambda_i = EXP(\beta X_i), \quad (14)$$

где  $X_i$  – вектор объясняющих переменных, а  $\beta$  – вектор оцениваемых параметров.

$X_i\beta$  – вектор коэффициентов и объясняющих переменных, где:

$$X_i\beta = \beta_{KUL} \cdot X_i + \beta_{DORZ} \cdot X_i + \beta_{SPCH} \cdot X_i + \beta_{OSV} \cdot X_i + \beta_{RRUL} \cdot X_i + \beta_{GV} \cdot X_i + \beta_{POL} \cdot X_i + \beta_{VST} \cdot X_i + \beta_{SAFETYBELT} \cdot X_i \quad (15)$$

Также в рамках проведения оценок планируется использование модели бинарного выбора в зависимости от наличия смертельного исхода в результате дорожно-транспортного происшествия. В этом случае зависимая переменная будет представлена следующим образом:

$$Y_{death} = \begin{cases} 1, \text{ если авария со смертельным случаем} \\ 0, \text{ если авария без смертельного случая} \end{cases}, \quad (16)$$

а непосредственно оцениваемая модель представлена следующей формулой:

$$Y_{death}^* = \beta_0 + \beta_{KUL} \cdot X_i + \beta_{DORZ} \cdot X_i + \beta_{SPCH} \cdot X_i + \beta_{OSV} \cdot X_i + \beta_{RRUL} \cdot X_i + \beta_{GV} \cdot X_i + \beta_{POL} \cdot X_i + \beta_{VST} \cdot X_i + \beta_{SAFETYBELT} \cdot X_i + \varepsilon_i, \quad (17)$$

Описание переменных представлено в таблице 4.

Таблица 4 – Описание переменных, используемых для проведения оценок

Код индикатора	Расшифровка	Описание (описательная статистика или расшифровка категорий индикатора)
k_ul	категория улицы	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Велосипедные дорожки</li> <li>▪ Вне НП</li> <li>▪ Второстепенные ул. в жилой застройке, включая переулки</li> <li>▪ Главные улицы</li> </ul>



Продолжение таблицы 4

Код индикатора	Расшифровка	Описание (описательная статистика или расшифровка категорий индикатора)
		<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Иные места</li> <li>▪ Магистральные автомобильные дороги</li> <li>▪ Магистральные ул. общегор. значения</li> <li>▪ Магистральные ул. район. значения</li> <li>▪ Основные улицы</li> <li>▪ Основные улицы в жилой застройке</li> <li>▪ Парковые дороги</li> <li>▪ Дороги в парках, пешеходные зоны, включая пешеходные улицы</li> <li>▪ Пешеходные улицы</li> <li>▪ Поселковые дороги</li> <li>▪ Проезды</li> <li>▪ Улицы и автодороги местного значения, пролегающие в зоне жилой застройки</li> <li>▪ Улицы и автодороги местного значения в производств., промзонах, включая коммунально-складские зоны</li> <li>▪ Улицы и автодороги местн. значения научно-производств. пром. и коммунально-складских районов</li> <li>▪ Хозпроезды, скотопрогоны</li> </ul>
dor_z	значение дороги	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Другие места</li> <li>▪ Иная дорога</li> <li>▪ Местного значения (дорога местного значения, включая относящиеся к собственности поселений, муниципальных районов, городских округов)</li> <li>▪ Не указано</li> <li>▪ Автодорога регионального или межмуниципального значения</li> <li>▪ Автодорога федерального значения</li> <li>▪ Частная автодорога</li> </ul>
s_pch	состояние проезжей части	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Гололедица</li> <li>▪ Загрязненное</li> <li>▪ Залитое (покрытое) водой</li> <li>▪ Заснеженное</li> <li>▪ Мокрое</li> <li>▪ Не установлено</li> <li>▪ Обработанное противогололедными материалами</li> <li>▪ Пыльное</li> <li>▪ Свежеуложенная поверхностная обработка</li> <li>▪ Со снежным накатом</li> <li>▪ Сухое</li> </ul>
osv	освещение	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ В темное время суток при работающем освещении</li> <li>▪ В темное время суток при выключенном освещении</li> <li>▪ В темное время суток, при отсутствующем освещении</li> <li>▪ Не установлено</li> <li>▪ Светлое время суток</li> <li>▪ Сумерки</li> </ul>
r_rul	расположение руля, тип привода (видимо, сразу две категории в одной графе)	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Задний</li> <li>▪ Иное расположение рулевого управления</li> <li>▪ Иной</li> <li>▪ Не заполнено</li> <li>▪ Передний</li> <li>▪ Полноприводные</li> <li>▪ Полноприводный</li> <li>▪ С задним приводом</li> <li>▪ С передним приводом</li> </ul>
g_v	год выпуска	—
POL	пол участника	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Мужской</li> </ul>

Продолжение таблицы 4

Код индикатора	Расшифровка	Описание (описательная статистика или расшифровка категорий индикатора)
		<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Женский</li> <li>▪ Не определен</li> </ul>
V_ST	возраст	
SAFETY_BELT	использовался ли ремень	Да Нет

Примечание

–

Источник:

составлено

авторами.

В качестве второго подхода будет выступать оценка классических моделей панельной регрессии (сквозная модель, модель с фиксированными или случайными эффектами). Для этого будет проведена агрегация данных о ДТП и ключевых факторах, которые могут влиять на их реализацию, до уровня муниципальных образований и субъектов РФ.

На основании проведенного обзора международного опыта была выбрана следующая эмпирическая спецификация для проведения панельных оценок с фиксированными эффектами/ со случайными эффектами:

$$\gamma_{i,t} = \alpha + X'_{i,t}\beta + \varepsilon_i + v_{i,t}, \quad (18)$$

где

$\gamma_{i,t}$  – в качестве зависимой переменной можно рассматривать как общее количество ДТП в рамках административно-территориальной единицы субъекта, так и количество ДТП только со смертельными исходами в тех же административных рамках;

$i = 1, \dots, N$  – число административно-территориальных единиц субъектов Российской Федерации, в которых произошло ДТП;

$t = 2015, \dots, 2019$  гг.,  $\gamma_{it}$  – количество ДТП со смертельными случаями в административно-территориальной единице за год в логарифмах;

$v_{i,t}$  – однокомпонентная модель случайной ошибки:  $v_{i,t} = u_i + \varepsilon_{it}$ ;

$u_i$  – ненаблюдаемые индивидуальные эффекты;

$\varepsilon_{it}$  – случайные ошибки;

$X'_{i,t}\beta$  – вектор коэффициентов и объясняющих переменных, где:

$$X_{i,t}\beta = \beta_{KUL} \cdot X_{i,t} + \beta_{DORZ} \cdot X_{i,t} + \beta_{SPCH} \cdot X_{i,t} + \beta_{OSV} \cdot X_{i,t} + \beta_{RRUL} \cdot X_{i,t} + \beta_{GV} \cdot X_{i,t} + \beta_{POL} \cdot X_{i,t} + \beta_{VST} \cdot X_{i,t} + \beta_{SAFETYBELT} \cdot X_{i,t}$$

Описание соответствующих переменных представлено в таблице 4.

### 3.2.2

Разработка и описание подхода к эмпирическому анализу и оценке влияния пространственного распределения выявленных детерминант на ДТП и смертность в ДТП

Для проведения анализа влияния пространственных взаимосвязей на показатель смертности в ДТП на основе проведенного обзора международной литературы были выбраны следующие модели:

- spatially lagged X (SLX);
- spatial autoregressive model (SAR);
- spatial error model (SEM);

Представленный набор моделей позволяет в полной мере проанализировать влияние пространственных корреляций на полученные оценки, поскольку позволяют учитывать соответствующее влияние для зависимой переменной, независимых переменных, а также ошибки. Соответствующие эмпирические модели можно записать следующим образом:

$$y = X_i\beta + WX_i\gamma + \varepsilon, \tag{19}$$

$$y = \rho Wy + \beta x + \varepsilon, \tag{20}$$

$$y = \beta x + u; u = \gamma Wu + \varepsilon, \tag{21}$$

где

$y$  – зависимая переменная (число ДТП или число ДТП со смертельным исходом);

$X_i\beta$  – набор объясняющих переменных, рассмотренных в предыдущем подразделе;

$W$  – пространственная матрица весов.

#### **4. Эмпирический анализ влияния факторов и их пространственного распределения на ДТП и смертность в ДТП в России**

##### **4.1 Анализ результатов оценки влияния факторов и их пространственного распределения на ДТП и смертность в ДТП в России**

В настоящем разделе представлены результаты оценки влияния различных факторов и их пространственного распределения на количество ДТП и смертно в ДТП в России. Отдельно рассматривается влияние пространственного распределения ДТП на их количество и показатели смертности.

###### **4.1.1**

Анализ результатов оценки влияния факторов на ДТП и смертность в ДТП в России

Предельные эффекты оценки Пуассоновской модели за период 2015 – 2019 гг. представлены в таблице 5. Как видно из представленных данных, полученные результаты, в целом, соответствуют выдвинутым гипотезам и рассмотренным механизмам, а также совпадают с аналогичным результатами, полученными в мировой литературе.

С точки зрения возраста водителя наблюдается отрицательная взаимосвязь с количеством ДТП, что, вероятно, объясняется опытом и стажем вождения. В зависимости от рассматриваемого года увеличение среднего возраста водителя на 1 год снижает вероятность попасть в ДТП на 2-4%.

Переменная, соответствующая категории улицы, а также значение дороги представляет собой прокси для физических и технических характеристик дорожных участков, на которых было совершено ДТП. Стоит отметить, что как было рассмотрено в разделе, посвященном описанию базы данных, большая часть ДТП происходит на следующих категориях улиц:

- вне населенного пункта;
- Магистральные ул. общегор. значения;
- Магистральные ул. район. значения;
- Улицы и автодороги местного значения, пролегающие в зоне жилой застройке.

Как видно из таблицы 5, большая вероятность наступления ДТП на дорогах вне населенного пункта примерно на 6-7% выше, относительно категории основные улицы в жилой застройке, что может быть связано с более сложными дорожными условиями или слабым нормативным состоянием таких дорог.

Таблица 5 – Предельные эффекты оценки Пуассоновской модели		2015		2016		2017		2018		2019	
Переменная											
	Возраст водителя (логарифм)	-0,017	***	-0,083	***	-0,015	***	-0,031	***	-0,033	***
Категория улицы <sup>4</sup>	Велосипедные дорожки	-6,562		-8,669		-11,706		-1,604		-5,491	
	Вне НП	0,051	***	0,080	***	0,046	***	0,048	***	0,070	***
	Второстепенные ул. в жилой застройке, включая переулки	-0,426	***	-0,358	***	-0,508	***	-0,513	***	-0,367	***
	Главные улицы	-0,035	***	-0,161	***	-0,268	***	-0,247	***	-0,215	***
	Магистральные автомобильные дороги	-0,128	***	-0,392	***	-0,403	***	-0,500	***	-0,591	***
	Магистральные ул. общегор. значения	-0,309	***	-0,386	***	-0,496	***	-0,527	***	-0,407	***
	Магистральные ул. район. значения	-0,288	***	-0,361	***	-0,475	***	-0,514	***	-0,373	***
	Парковые дороги	-1,132	***	-1,319	***	-0,663	***	-1,292	***	-0,682	***
	Дороги в парках, пешеходные зоны, включая пешеходные улицы	-29,162		-0,537		-1,050	**	-1,027	**	-9,517	
	Пешеходные улицы	-0,3840	***	-10,092		-0,1329	***	-7,642		-0,8119	***
	Поселковые дороги	-0,149	***	-0,101	***	-0,218	***	-0,263	***	-0,145	***
	Проезды	-0,466	***	-0,578	***	-0,925	***	-0,943	***	-0,947	***
	Улицы и автодороги местного значения, пролегающие в зоне жилой застройки	-0,295	***	-0,310	***	-0,429	***	-0,426	***	-0,356	***
	Улицы и автодороги местного значения в производств., промзонах, включая коммунально-складские зоны	-0,513	***	-0,761	***	-0,345	***	-1,051	***	-0,578	***
Улицы и автодороги местн. значения научно-производств. пром. и коммунально-складских районов	-0,353	***	-0,375	***	-0,472	***	-0,540	***	-0,426	***	
Хозпроезды, скотопрогоны	-0,662	***	-0,412		-0,950	*	-0,840	**	-7,342		
Значение дороги <sup>5</sup>	Автодорога регионального или межмуниципального значения	0,032	###	0,047	***	-0,037	***	-0,043	***	0,019	***
	Автодорога федерального значения	0,038	***	0,045	***	-0,028	***	-0,022	***	0,030	***
	Частная автодорога	-0,204	***	-0,348	***	-0,430	***	-0,703	***	-0,669	***
Состояние проезжей части <sup>6</sup>	Гололедица	0,250	***	0,220	***	0,385	***	0,306	***	0,311	***
	Загрязненное	0,866	***	0,764	***	0,513	***	0,672	***	0,682	***
	Залитое (покрытое) водой	9,837		0,359	**	0,867	***	0,334		0,439	***
	Заснеженное	0,181	***	0,195	***	0,213	***	0,295	***	0,287	***
	Мокрое	0,016	***	0,040	***	0,059	***	0,068	***	0,050	***
	Обработанное противогололедными материалами	0,056	***	0,101	***	0,133	***	0,119	***	0,103	***
	Пыльное	0,457	***	0,373	***	0,293	***	0,274	***	0,493	***

<sup>4</sup> Относительно категории «Автодороги, являющиеся основными улицами в жилой застройке».

<sup>5</sup> Относительно категории «Автодорога местного значения, включая относящиеся к собственности поселений, муниц. районов, гор. округов».

<sup>6</sup> Относительно категории «Сухое».

Продолжение таблицы 5

Переменная	2015	2016	2017	2018	2019	
Свежеуложенная поверхностная обработка	1,073	0,507 ***	0,906 ***	0,464 ***	0,375 ***	
	Со снежным накатом	0,210 ***	0,232 ***	0,286 ***	0,335 ***	0,306 ***
Освещение <sup>7</sup>	В темное время суток при работающем освещении	0,114 ***	0,109 ***	0,069 ***	0,057 ***	0,066 ***
	В темное время суток при выключенном освещении	0,046 ***	0,033 **	-0,025	-0,030 *	-0,031 *
	В темное время суток, при отсутствующем освещении	0,136 ***	0,104 ***	0,091 ***	0,107 ***	0,118 ***
	Сумерки	-0,016	-0,056 ***	-0,089 ***	-0,086 ***	-0,053 ***
Тип привода <sup>8</sup>	С задним приводом	0,016 ***	0,007 ***	-0,053 ***	-0,063 ***	-0,045 ***
	С передним приводом	-0,042 ***	-0,040 ***	-0,126 ***	-0,147 ***	-0,106 ***
	Пол водителя = мужской	0,110 ***	0,108 ***	0,011 ***	-0,021 ***	0,048 ***
	Использовался ремень безопасности	-0,440 ***	-0,120 ***	-0,120 ***	0,031 ***	0,050 ***
Pseudo R <sup>2</sup>	0,051	0,062	0,056	0,054	0,057	
AIC	356 814,349	519 375,154	511 911,459	514 071,548	498 757,312	
BIC	357 195,849	519 781,658	512 306,496	514 466,684	499 162,066	
N	222 088,000	326 916,000	320 190,000	321 046,000	312 212,000	
Асуигасы	0,700	0,700	0,700	0,710	0,710	

Примечания:

- 1 уровень статистической значимости: \*\*\*  $p < 0.01$ , \*\*  $p < 0.05$ , \*  $p < 0.1$ ;
- 2 источник: составлено авторами.

<sup>7</sup> Относительно категории «Светлое время суток».

<sup>8</sup> Относительно категории «Полноприводные».

Состояние проезжей части и уровень освещенности также могут оказывать значимое влияние на вероятность возникновения ДТП. Полученные результаты показывают, что любое ухудшение состояния дорожного покрытия увеличивают вероятность возникновения ДТП. При этом больше всего вероятность возрастает в случае грязного покрытия, в среднем, примерно в два раза. Для случаев гололедицы и залитого водой дорожного покрытия вероятность возникновения ДТП увеличивается на 25-35% и 55-105%. Однако стоит отметить, что противогололедная обработка дорожного покрытия снижает вероятность возникновения ДТП на 20-25%. Таким образом, плохое состояние дорожного покрытия значительно увеличивает риск возникновения ДТП.

Вероятность возникновения ДТП возрастает в темное время суток, причем в случае, если освещение функционирует исправно, увеличение составляет около 5-7%, а там, где освещение отсутствует, рост составляет уже 15-20%.

В таблице 6 представлены результаты оценки модели бинарного выбора в зависимости от наличия смертельного исхода в ДТП.

В случае, если ДТП происходит на дорогах вне населенных пунктов вероятность того, что это будет ДТП со смертельным исходом возрастает на 7-10% в сравнении с основными улицами в жилой застройке. При этом, вероятность того, что ДТП будет со смертельным исходом несколько увеличивается (на 3-7%) на региональных и федеральных трассах в сравнении с дорогами местного значения.

Любые негативные изменения в состоянии проезжей части также приводят к увеличению вероятности того, что ДТП будет со смертельным исходом. В случае с загрязненным или мокрым дорожным покрытием вероятность возрастает на 35-50%. Гололедица также увеличивает вероятность того, что ДТП будет смертельным на 22-29%, однако обработка противогололедными материалами позволяет снизить эти значения до уровня 5-10%.

Увеличивается вероятность именно смертельного ДТП и в темного времени суток, в случае, если освещение отсутствует – на 15-18%, однако, если освещение включено, то увеличение составляет только 3-6%.



Таблица 6 –		Предельные эффекты оценки Logit-модели									
Переменная		2015	2016	2017	2018	2019					
Категория улицы <sup>9</sup>	Возраст водителя (логарифм)	0,017 ***	-0,071 ***	0,018 ***	0,008 ***	-0,308 ***					
	Велосипедные дорожки	-3,597	-3,065	-6,220	-0,705	-3,232					
	Вне НП	0,059 ***	0,090 ***	0,088 ***	0,087 ***	0,101 ***					
	Второстепенные ул. в жилой застройке, включая переулки	-0,310 ***	-0,251 ***	-0,280 ***	-0,280 ***	-0,207 ***					
	Главные улицы	-0,035 ***	-0,129 ***	-0,142 ***	-0,132 ***	-0,127 ***					
	Магистральные автомобильные дороги	-0,116 ***	-0,260 ***	-0,204 ***	-0,258 ***	-0,317 ***					
	Магистральные ул. общегор. значения	-0,226 ***	-0,252 ***	-0,249 ***	-0,262 ***	-0,215 ***					
	Магистральные ул. район. значения	-0,212 ***	-0,239 ***	-0,238 ***	-0,255 ***	-0,196 ***					
	Парковые дороги	-0,649 ***	-0,679 ***	-0,332 ***	-0,618 ***	-0,363 ***					
	Дороги в парках, пешеходные зоны, включая пешеходные улицы	-3,535	-0,349	-0,500 **	-0,514 **	-2,822					
	Пешеходные улицы	-0,739 ***	-6,921 ***	-0,546 ***	-5,989 ***	-0,827 ***					
	Поселковые дороги	-0,133 ***	-0,086 ***	-0,098 ***	-0,131 ***	-0,077 ***					
	Проезды	-0,323 ***	-0,348 ***	-0,451 ***	-0,452 ***	-0,473 ***					
	Улицы и автодороги местного значения, пролегающие в зоне жилой застройки	-0,219 ***	-0,211 ***	-0,216 ***	-0,211 ***	-0,190 ***					
	Улицы и автодороги местного значения в производств., промзонах, включая коммунально-складские зоны	-0,358 ***	-0,456 ***	-0,177 ***	-0,517 ***	-0,311 ***					
Улицы и автодороги местн. значения научно-производств. пром. и коммунально-складских районов	-0,254 ***	-0,248 ***	-0,239 ***	-0,270 ***	-0,227 ***						
Хозпроезды, скотопрогоны	-0,425 ***	-0,289 *	-0,492 **	-0,443 ***	-3,035						
Значение дороги <sup>10</sup>	Автодорога регионального или межмуниципального значения	0,031 ***	0,047 ***	0,042 ***	0,033 ***	0,058 ***					
	Автодорога федерального значения	0,045 ***	0,051 ***	0,055 ***	0,060 ***	0,076 ***					
	Частная автодорога	-0,187 ***	-0,270 ***	-0,240 ***	-0,382 ***	-0,389 ***					
Состояние проезжей части <sup>11</sup>	Гололедица	0,209 ***	0,192 ***	0,277 ***	0,230 ***	0,247 ***					
	Загрязненное	0,514 ***	0,459 ***	0,322 ***	0,411 ***	0,406 ***					
	Залитое (покрытое) водой	4,657	0,251 ***	0,509 ***	0,233 **	0,311 ***					
	Заснеженное	0,168 ***	0,172 ***	0,170 ***	0,220 ***	0,222 ***					

<sup>9</sup> Относительно категории «Автодороги, являющиеся основными улицами в жилой застройке»

<sup>10</sup> Относительно категории «Автодорога местного значения, включая относящиеся к собственности поселений, муниц. районов, гор. округов»

<sup>11</sup> Относительно категории «Сухое».

Продолжение таблицы 6

Переменная	2015	2016	2017	2018	2019
Мокрое Обработанное противогололедными материалами Пыльное Свежеуложенная поверхностная обработка Со снежным накатом	0,016 ***	0,040 ***	0,041 ***	0,053 ***	0,040 ***
	0,059 ***	0,102 ***	0,115 ***	0,108 ***	0,098 ***
	0,334 ***	0,288 ***	0,222 ***	0,226 ***	0,348 ***
	0,646 ***	0,375 ***	0,553 ***	0,323 ***	0,304 ***
	0,184 ***	0,193 ***	0,210 ***	0,230 ***	0,226 ***
Освещение <sup>12</sup> В темное время суток при работающем освещении В темное время суток при выключенном освещении В темное время суток, при отсутствующем освещении Сумерки	0,097 ***	0,092 ***	0,076 ***	0,071 ***	0,067 ***
	0,044 ***	0,033 ***	0,003	-0,003	-0,014
	0,171 ***	0,133 ***	0,134 ***	0,154 ***	0,162 ***
	-0,014 **	-0,049 ***	-0,061 ***	-0,051 ***	-0,039 ***
Тип привода <sup>13</sup> С задним приводом С передним приводом	0,022 ***	0,012 ***	0,005 **	-0,003	-0,007 ***
	-0,040 ***	-0,037 ***	-0,052 ***	-0,068 ***	-0,061 ***
Пол водителя = мужской Использовался ремень безопасности	0,089 ***	0,087 ***	0,086 ***	0,065 ***	0,097 ***
	-0,077 ***	-0,082 ***	-0,082 ***	0,011	0,022 ***
<i>Pseudo R<sup>2</sup></i>	0,129	0,152	0,156	0,159	0,156
<i>AIC</i>	268 203,470	384 612,001	374 920,588	374 384,460	374 920,588
<i>BIC</i>	268 584,971	385 018,504	375 315,624	374 779,595	375 315,624
<i>N</i>	222 088,000	326 916,000	320 190,000	321 046,000	320 190,000
<i>Accuracy</i>	0,680	0,700	0,700	0,710	0,700

Примечания:

- 1 уровень статистической значимости: \*\*\*  $p < 0.01$ , \*\*  $p < 0.05$ , \*  $p < 0.1$ ;
- 2 источник: составлено авторами.

<sup>12</sup> Относительно категории «Светлое время суток».

<sup>13</sup> Относительно категории «Полноприводные».

Далее рассмотрены две группы оценок, полученных на основе анализа панельных данных: для общего количества ДТП и для смертности в результате ДТП. Как было рассмотрено в предыдущем разделе, для этого было проведено агрегирование информации по дорожно-транспортным происшествиям на уровне административно-территориальных единиц субъектов Российской Федерации.

Полученные оценки для общего количества ДТП в целом согласуются с результатами пуассоновской модели: больше ДТП совершается вне населенных пунктов, на дорогах регионального или федерального значения. Однако состояние дорожного покрытия практически не оказывает статистически значимого влияния за исключением гололедицы и залитого водой дорожного полотна в отдельные годы. Также наблюдается увеличение количества ДТП на неосвещенных дорогах.

Аналогичные оценки на основе панельных данных для ДТП со смертельным исходом представлены в таблице 7. В целом, результаты по величине и направлению эффектов схожи с оценками для общего числа ДТП. Можно отметить отсутствие значимого влияния для федеральных трасс, а также значимое влияние заснеженного состояния дорожного покрытия на количество ДТП со смертельным исходом.

Таблица 7 – Результаты оценки моделей панельных данных для показателей смертности от ДТП (в логарифмах) в административных единицах

Переменная		Модель			
		Random Effects	PanelOLS	Fixed Effects	FirstDifferenceOLS
	Const	1,2915 **	1,373 ***	01,01,3730 ***	
Категория улицы <sup>14</sup>	Велосипедные дорожки	-0,0125 **	-0,0292	-0,0292	-0,04
	Вне НП	0,0021 ***	0,0026 ***	0,0026 ***	0,0031 ***
	Второстепенные ул. в жилой застройке, включая переулки	-0,0018 ***	-0,0057	-0,0057	-0,0058
	Главные улицы	-0,004 ***	-0,0049 ***	-0,0049 ***	-0,0024
	Магистральные автомобильные дороги	-0,0009 ***	-0,0009	-0,0009	-0,0014
	Магистральные ул. общегор. значения	-0,0011 ***	-0,0012 **	-0,0012 **	-0,0016 ***
	Магистральные ул. район. значения	-0,0011 ***	-0,0009 *	-0,0009 **	-0,0016 ***
	Парковые дороги	0,0235 **	0,0047	0,0047	0,0078
	Дороги в парках, пешеходные зоны, включая пешеходные улицы	0,0544 *	0,0378	0,0378	0,0575
	Пешеходные улицы	-0,0031 ***	-0,004	-0,004 **	-0,0074 ***
	Поселковые дороги	0,002 ***	0,0016	0,0016	0,0022
	Проезды	-0,0004 ***	-0,0052	-0,0052 *	-0,0057
	Улицы и автодороги местного значения, пролегающие в зоне жилой застройки	-0,0011 ***	-0,0016 ***	-0,0016 ***	-0,002 ***
	Улицы и автодороги местного значения в производств., промзонах, включая коммунально-складские зоны	0,0052 ***	0,0009	0,0009	-0,0014
Улицы и автодороги местн. значения научно-производств. пром. и коммунально-складских районов	-0,0008 ***	-0,0012	-0,0012	-0,0024 ***	
Хозпроезды, скотопрогоны	0,0015 **	-0,02	-0,02	-0,0265	
Значение дороги <sup>15</sup>	Автодорога регионального или межмуниципального значения	0,0033 ***	0,0027 ***	0,0027 ***	0,0028 ***
	Автодорога федерального значения	0,0033 ***	-0,0001	-0,0001	0,0006
	Частная автодорога	-0,0083 ***	-0,0014	-0,0014	-0,0043
Состояние проезжей части <sup>16</sup>	Гололедица	0,0027 ***	-0,0029	-0,0029	-0,0005
	Загрязненное	0,0024 ***	0,0016	0,0016	0,0002
	Залитое (покрытое) водой	0,0555 **	0,0509 *	0,0509 *	-0,0458

<sup>14</sup> Относительно категории «Автодороги, являющиеся основными улицами в жилой застройке».

<sup>15</sup> Относительно категории «Автодорога местного значения, включая относящиеся к собственности поселений, муниц. районов, гор. округов».

<sup>16</sup> Относительно категории «Сухое».

Продолжение таблицы 7

Переменная	Модель			
	Random Effects	PanelOLS	Fixed Effects	FirstDifferenceOLS
Заснеженное	0,0035 ***	0,0034 ***	0,0034 ***	0,003 **
Мокрое	0,0006 ***	-0,0005	-0,0005	0,0003
Обработанное противогололедными материалами	0,001 ***	-0,0004	-0,0004	-0,0005
Пыльное	0,013 ***	0,0104 **	0,0104 ***	-0,0005
Свежеуложенная поверхностная обработка	0,0016 ***	0,0035	0,0035	0,0054
Со снежным накатом	0,002 ***	0,0025 *	0,0025 *	-0,0006
Освещение <sup>17</sup>				
В темное время суток при работающем освещении	-0,0008 ***	0,0007	0,0007	0,0005
В темное время суток при выключенном освещении	0,0028 ***	0,0011	0,0011	-0,0027
В темное время суток, при отсутствующем освещении	0,0143 ***	0,0095 ***	0,0095 ***	0,0085 ***
Сумерки	0,0086 ***	0,006 ***	0,006 ***	0,0037 *
Тип привода <sup>18</sup>				
С задним приводом	0,0005 ***	0,0016	0,0016 *	0,002 *
С передним приводом	-0,002 ***	-0,0016 **	-0,0016 **	-0,001
Пол водителя = мужской	0,0045 ***	0,0041 ***	0,0041 ***	0,0041 ***
Использовался ремень безопасности	0,000 ***	0,0002 **	0,0002 ***	-2,92E-05
R-squared:	0.3284	0.5347	0.5347	0.2636
R-squared (Between):	0.4837	0.5602	0.5602	0.2930
R-squared (Within):	0.2731	0.2256	0.2256	0.2643
R-squared (Overall):	0.4786	0.5347	0.5347	0.2954
R-squared:	0.3284	0.5347	0.5347	0.2636
N	11 425	11 425	11 425	8 879
Entities	2 512	2 512	2 512	2 512

Примечания:

- 1 уровень статистической значимости: \*\*\* p<0.01, \*\* p<0.05, \* p<0.1;
- 2 источник: составлено авторами.

<sup>17</sup> Относительно категории «Светлое время суток».

<sup>18</sup> Относительно категории «Полноприводные».

Полученные оценки в целом соответствуют аналогичным оценкам в международной литературе. Качество и состояние дорог вне населенных пунктов, зачастую оставляет желать лучшего, что отражается в положительном влиянии соответствующей дамми на ДТП со смертельным исходом, при этом дамми, соответствующая федеральным трассам, большая доля которых находится в нормативном состоянии, оказалась незначимой.

Значимое и положительное влияние на смертность в ДТП оказывают сложные погодные условия, в частности, к увеличению смертности приводит заснеженное и залитое водой покрытие дорожного полотна. Отсутствие освещения в темное время суток также приводит к увеличению числа ДТП со смертельным исходом.

Представленные результаты подтверждают важность задачи по приведению автомобильных дорог России в нормативное состояние, оборудованию дорог освещением, своевременной обработке дорожного покрытия и внедрении предупредительных мер в случае сложных погодных условий. В этих областях можно отметить значительный потенциал по снижению числа ДТП со смертельным исходом и, как следствие, числа погибших в результате ДТП. Это позволит не только достичь обновленных целевых показателей по снижению смертности в ДТП, но и внесет ощутимый вклад в снижение убыли населения России.

#### 4.1.2

Анализ результатов оценки моделей пространственных данных для показателей смертности от ДТП

На рисунке 2 можно увидеть наличие пространственной сегментации показателей смертности от ДТП по России. Для более детального анализа пространственных особенностей рассчитывается индекс Морана, позволяющий дать количественную оценку пространственной корреляции:

$$I = \frac{N \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N w_{ij} (y_i - \bar{y})(y_j - \bar{y})}{\sum_{i=1}^N w_{ij} (y_i - \bar{y})^2}, \quad (22)$$

где

$N$  – количество единиц анализа;

$w_{ij}$  – пространственный вес, характеризующих близость расположения территорий.

На практике используются два базовых варианта определения соседства: по правилу ферзя (QUEEN) и правилу ладьи (ROOK). В первом случае соседними будут считаться все пары территориальных единиц, имеющие хотя бы одну общую точку на

границе, т.е. соприкасающиеся сторонами и/или углами. Соседство по правилу ладьи разрешает только наличие общих сторон вдоль границ, при этом точечные касания игнорируются. В настоящем исследовании веса рассчитывались по правилу ферзя-Queen.

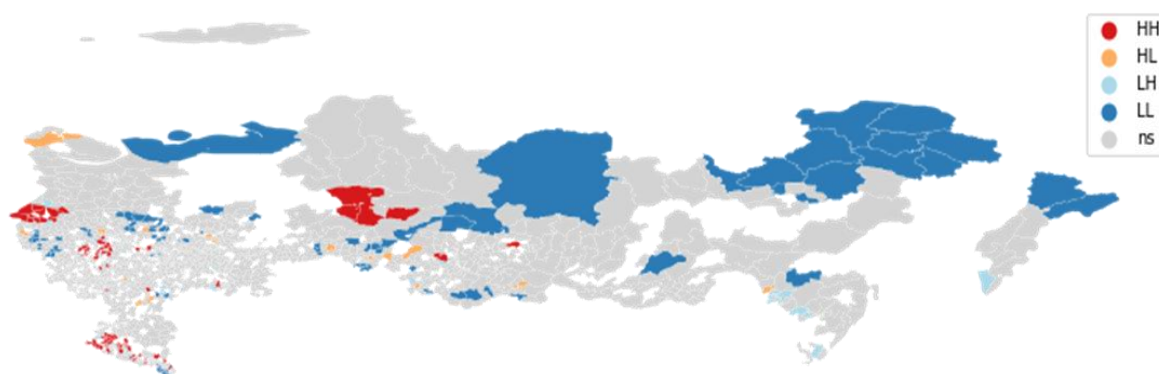


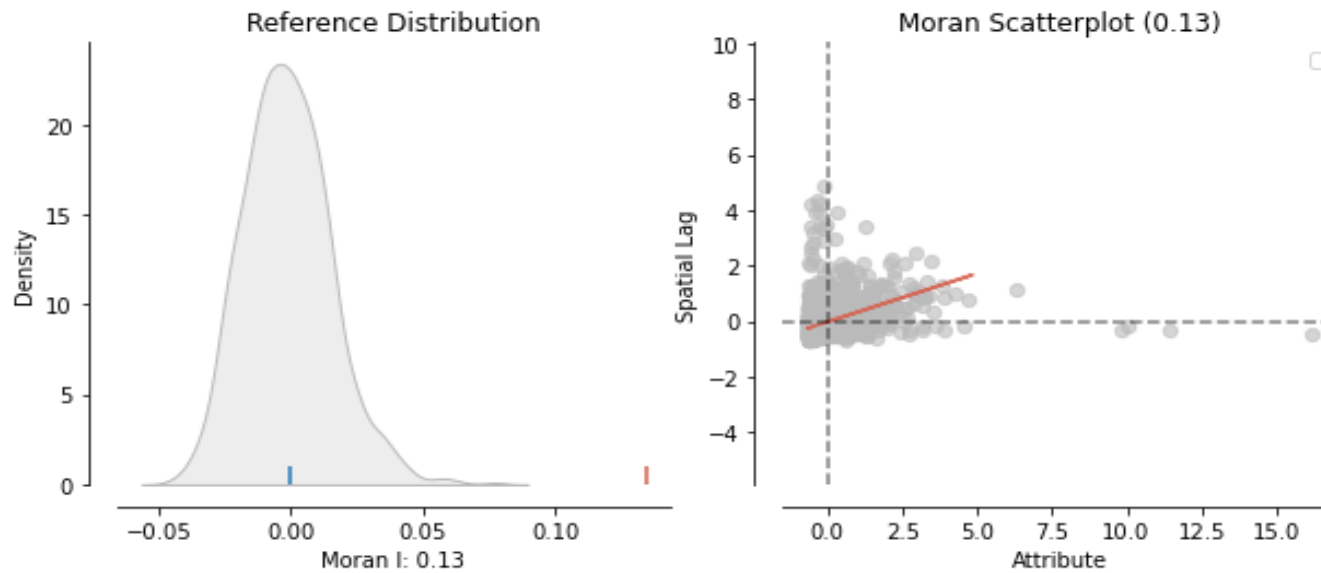
Рисунок 2 – Индекс Морана для показателей смертности по ДТП, усредненным по муниципальными образованиям 6-го уровня

На рисунке 2 были получены четыре квадранта, отмеченные на графике различными цветами. Красному цвету (квадрант HH- high-high) соответствуют территории, характеризующимися высокой смертностью от ДТП (выше среднего) и имеющих схожих соседей. Категория low-high (LH) это районы с смертностью от ДТП ниже среднего, но имеющие схожесть с соседними территориями. Наконец территории high-low (HL) и low-low (LL) можно охарактеризовать как буферные зоны. Белым цветом выделены территории, для которых не просматривается наличие пространственных связей (статистика Морана не значима). По рисунку 2 видно, что мало территорий имеют высокую пространственную корреляцию между собой.

Дополнительным тестом на наличие пространственных зависимостей служит диаграмма рассеивания Морана – график, на котором по горизонтальной оси откладываются количество смертей от ДТП, соответствующих каждой пространственной единицы, а по вертикальной – значение пространственных лагов для данной единицы, рассчитываемое как среднее от значений цен ее соседей.

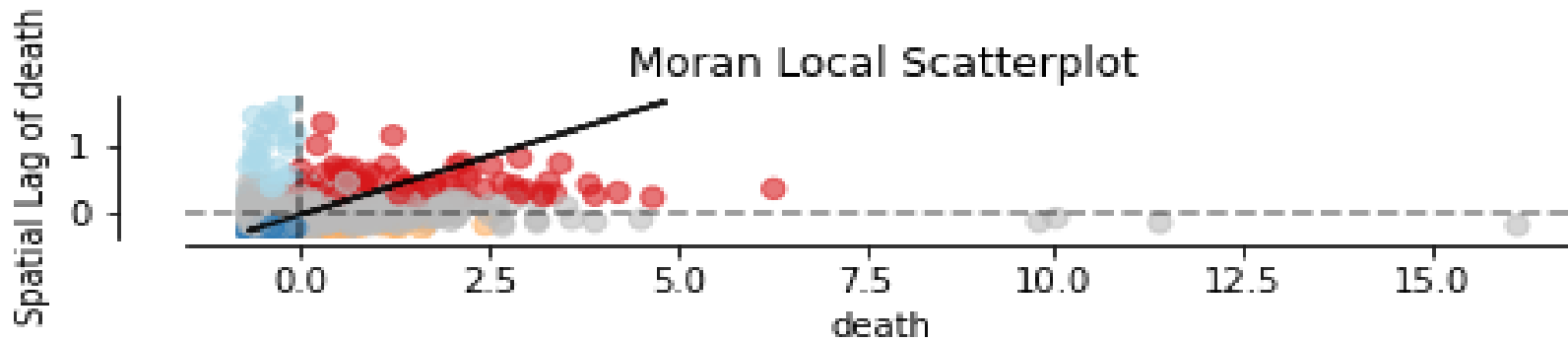
Прямая линия, проходящая под углом 45 градусов, характеризует наличие пространственной корреляции между показателями смертности от ДТП в различных районах России. В данном случае линия имеет наклон чуть менее 45 градусов. Однако значение индекса Морана составляет 0.02, что соответствует наличию очень слабой положительной пространственной корреляции. Значение нормированного индекса Морана составило 0.13.

Результаты оценки моделей пространственных данных для показателей смертности от ДТП представлены в таблице 8.



Примечание – Источник: составлено авторами.

Рисунок 3 – Диаграмма рассеивания Морана



Примечание – Источник: составлено авторами.



Рисунок 4 – Локальная диаграмма рассеивания Морана

Таблица 8 – Результаты оценки моделей пространственных данных для показателей смертности от ДТП (в логарифмах) на региональном уровне

Переменная		Модель			
		SLX	SAR (ML_lag)	SEM (ML_Error)	
	Const	0.979 ***	0.768 ***	0.986 ***	
Категория улицы <sup>19</sup>	Велосипедные дорожки	1.164	1.256	1.403	
	Вне НП	0.011 *	0.012 *	0.012 *	
	Второстепенные ул. в жилой застройке, включая переулки	-0.102 **	-0.101 **	-0.098 **	
	Главные улицы	0.018	0.013	0.017	
	Магистральные автомобильные дороги	0.121 ***	0.117 ***	0.117 ***	
	Магистральные ул. общегор. значения	-0.015	-0.015	-0.015 **	
	Магистральные ул. район. значения	-0.008	-0.008	-0.007 ***	
	Парковые дороги	1.161	1.154	1.217	
	Дороги в парках, пешеходные зоны, включая пешеходные улицы	-0.380	-0.351	-0.300	
	Пешеходные улицы	-0.119	-0.118	-0.104	
	Поселковые дороги	-0.068 *	-0.069 *	-0.070 *	
	Проезды	-0.158	-0.160	-0.167	
	Улицы и автодороги местного значения, пролегающие в зоне жилой застройке	-0.007	-0.006	-0.007	
	Улицы и автодороги местного значения в производств., промзонах, включая коммунально-складские зоны	-0.168	-0.185	-0.187	
	Улицы и автодороги местн. значения научно-производств. пром. и коммунально-складских районов	0.019	0.019	0.018	
Хозпроезды, скотопрогоны	-2.679	-2.674	-2.728		
Значение дороги <sup>20</sup>	Автодорога регионального или межмуниципального значения	0.053 ***	0.052 ***	0.052 ***	
	Автодорога федерального значения	0.067 ***	0.067 ***	0.067 ***	
	Частная автодорога	0.192 **	0.183 **	0.203 **	
Состояние проезжей части <sup>21</sup>	Гололедица	-0.136 *	-0.132 *	-0.126	
	Загрязненное	-0.453 **	-0.443 **	-0.446 **	
	Залитое (покрытое) водой	-0.668	-0.651	-0.646	
	Заснеженное	-0.073 ***	-0.073 ***	-0.071 **	

<sup>19</sup> Относительно категории «Автодороги, являющиеся основными улицами в жилой застройке».

<sup>20</sup> Относительно категории «Автодорога местного значения, включая относящиеся к собственности поселений, муниц. районов, гор. округов».

<sup>21</sup> Относительно категории «Сухое».

Продолжение таблицы 8

Переменная	Модель			
	SLX	SAR (ML_lag)	SEM (ML_Error)	
Мокрое	Обработанное противогололедными материалами	-0.017	-0.018	-0.018
	Пыльное	-0.016	-0.013	-0.009
	Свежеуложенная поверхностная обработка	0.077	0.068	0.061
	Со снежным накатом	-0.033	-0.031	-0.031
	Освещение <sup>22</sup>	В темное время суток при работающем освещении	-0.013	-0.014
Освещение <sup>22</sup>	В темное время суток при выключенном освещении	0.245 **	0.242 **	0.223 **
	В темное время суток, при отсутствующем освещении	0.186 ***	0.182 ***	0.187 ***
	Сумерки	-0.107 **	-0.109 **	-0.109 **
Тип привода <sup>23</sup>	С задним приводом	0.039 **	0.039 **	0.039 **
	С передним приводом	-0.041 ***	-0.042 ***	-0.041 ***
	Пол водителя = мужской	0.073 ***	0.074 ***	0.074 ***
	Возраст	0.001 ***	0.001 ***	0.001 ***
	Использовался ремень безопасности	-0.070	-0.067	-0.060
	$\rho(Wy)$		0.0068309 p-value: 0.6247081	
	$\gamma(Wu)$			0.0216836 p-value: 0.5673087
	Moran I нормир		0.13	
	Moran I		0.02275	
	N		1563	

Примечания:

1 уровень статистической значимости: \*\*\* p<0.01, \*\* p<0.05, \* p<0.1;

2 источник: составлено авторами.

<sup>22</sup> Относительно категории «Светлое время суток».

<sup>23</sup> Относительно категории «Полноприводные».

Полученные результаты оценки различных пространственных моделей, представленные в таблице 8 показывают уточненный уровень значимости для переменных, рассмотренных в предыдущем подразделе, но уже с учетом пространственного влияния. Полученные оценки показывают, что в моделях Spatial Lag и Spatial error соответствующие коэффициенты  $\rho$  и  $\gamma$  оказались незначимыми. Таким образом, статистических подтверждений пространственной взаимосвязи между рассмотренными переменными не обнаружено. В пользу отсутствия пространственной взаимосвязи между смертностью в ДТП на региональном уровне свидетельствуют также результаты визуального анализа, проведенного на основе диаграммы по индексу Морана.

При этом, стоит отметить, что статистическая значимость сохранилась у следующих показателей, влияющими на смертность в ДТП: освещение, пол, возраст водителя, а также состояние проезжей части (мокрая, заснеженная, загрязненная), и является ли дорога муниципальной, частной или региональной.

Одной из причин отсутствия значимого пространственного влияния может являться выбранный уровень агрегирования территорий. Для проверки данного предположения проводится оценка трех рассмотренных пространственных моделей (SLX, SAR, SEM) отдельно для каждого региона на основе детализированных данных. При этом расчет матрицы весов для каждого региона проводился с использованием метода ближайших соседей (KNN). При использовании данного метода построение матрицы весов происходит на основе  $k$  ближайших соседей. При проведении исследования на основе анализа международного опыта было выбрано значение  $k = 5$ .

Результаты оценки соответствующих моделей были получены для 83-х субъектов Российской Федерации за 2019 год. Для оценки статистической значимости переменных, с помощью которых проводилась оценка пространственного влияния

- для модели SLX использовалась статистика Морана и тест Lagrange Multiplier (lag) / (error) / (SARMA);

- для модели SAR определялась значимость коэффициента при пространственном лаге у зависимой переменной –  $\rho$ ;

- для модели SEM определялась значимость коэффициента при пространственном лаге у ошибки –  $\gamma$ .

Полученные оценки статистической значимости пространственного влияния на уровне 10% для рассмотренных моделей представлены в таблице 9. Важно отметить, что для каждого региона в общей выборке за 2019 год было представлено разное количество

наблюдений, что обуславливает возможные погрешности в результатах из-за разной численности наблюдений.

Таблица 9 – Результаты оценки моделей пространственных данных для показателей смертности от ДТП (в логарифмах) на региональном уровне

Модель	Регионы, для которых обнаружено значимое пространственное влияние
SLX	Самарская область, Ставропольский край, Новосибирская область, Удмуртская республика, Ханты-Мансийский АО, Курская область, Тамбовская область, Белгородская область, Архангельская область, Амурская область, Республика Бурятия, Республика Мордовия, Республика Коми, Мурманская область, Республика Саха –Якутия
SAR	Краснодарский край, Республика Башкортостан, Самарская область, Ставропольский край, Новосибирская область, Удмуртская республика, Курская область, Тамбовская область, Белгородская область, Архангельская область, Амурская область, Республика Бурятия, Республика Мордовия, Республика Коми, Мурманская область, Республика Саха (Якутия)
SEM	Самарская область, Саратовская область, Новосибирская область, Курская область, Архангельская область, Амурская область, Республика Бурятия, Республика Коми, Мурманская область, Республика Саха (Якутия)

Примечание – Источник: составлено авторами.

Полученные результаты для модели SLX (пространственный лаг независимых переменных) показали наличие пространственной зависимости, в основном, в северных регионах и регионах с большой территорией и малой заселенностью. В то же время значимые результаты были получены и для некоторых центральных регионов, что может быть связано с плохим состоянием дорог в этих регионах. Подтверждением этого может служить и значимость основных объясняющих переменных, которые отражают уровень дорог и освещения, аналогичная рассмотренной выше в пуассоновской и logit моделях.

Для модели SAR (пространственный лаг зависимой переменной) значимые результаты пространственного влияния также были получены для ряда северных регионов, что также может объясняться их малой заселенностью. В то же время значительно увеличилось количество регионов центральной России. Поскольку данная модель позволяет оценить наличие пространственной зависимости именно для зависимой переменной, найденную взаимосвязь можно объяснить, например, культурой вождения в соответствующих регионах.

Для модели SEM (пространственный лаг ошибки) для ряда регионов также были получены значимые оценки наличия пространственной взаимосвязи в ошибке. Это свидетельствует о наличии пропущенных факторов. При этом, большая часть регионов, для которых было получено значимое пространственное влияние совпадает с набором регионов, для которых было получено значимое пространственное влияние в моделях SLX и SAR. Таким образом с помощью оценки этих моделей было учтено пространственное влияние в зависимой и независимых переменных.

Интерес представляет оценка рассмотренных пространственных моделей на детализированном уровне для всей территории России, а не только отдельных регионов,

как было рассмотрено выше. При проведении анализа все наблюдения, которые имели не уникальные координаты были удалены (повторяющиеся наблюдения). Это было сделано для того, чтобы построить матрицу весов с помощью метода метод ближайших соседей (KNN, k=5).

Полученные результаты анализа по всей выборке, представленные в таблице 10, показали, что гипотеза об отсутствии пространственной зависимости для модели SLX отвергается. При этом значимость и порядок остальных коэффициентов в модели не изменился, если сравнивать с результатами отдельно по регионам, или усредненным значениям по административным территориям, представленными выше.

Таблица 10 – Результаты оценки моделей пространственных данных для показателей смертности от ДТП (в логарифмах) в административных единицах (по 6 уровню территориального деления)

Переменная	SLX	
Const	0.0200700 ***	
Категория улицы <sup>24</sup>	Велосипедные дорожки	-0.0560115
	Вне НП	0.0525277 ***
	Второстепенные улицы в жилой застройке (переулки)	0.0030341
	Главные улицы	0.0177133 ***
	Магистральные дороги	-0.0227223 ***
	Магистральные улицы общегородского значения	-0.0206113 ***
	Магистральные улицы районного значения	-0.0170138 ***
	Парковые дороги	0.0697469
	Парковые дороги, пешеходные улицы (пешеходные зоны)	-0.0758303
	Пешеходные улицы	-0.0302624
	Поселковые дороги	0.0085305
	Проезды	-0.0132569
	Улицы и дороги местного значения в жилой застройке	-0.0179177 ***
	Улицы и дороги местного значения в производственных, промышленных и коммунально-складских зонах	-0.0049897
	Улицы и дороги местного значения научно-производственных промышленных и коммунально-складских районов	-0.0171968 ***
Хозяйственные проезды, скотопрогоны	-0.1238738	
Значение дороги <sup>25</sup>	Региональная или межмуниципальная (дорога регионального или межмуниципального значения)	0.0484331 ***
	Федеральная (дорога федерального значения)	0.0678865 ***
	Частная (дорога, относящиеся к частной и иным формам собственности)	-0.0045315
Состояние проезжей части <sup>26</sup>	Гололедица	-0.0215093 ***
	Загрязненное	-0.0003318
	Залитое (покрытое) водой	0.1201799 ***
	Заснеженное	-0.0298325 ***
	Мокрое	-0.0035057 **
	Обработанное противогололедными материалами	-0.0158016 ***
Пыльное	-0.0100255	

<sup>24</sup> Относительно категории «Основные улицы в жилой застройке»

<sup>25</sup> Относительно категории «Местного значения (дорога местного значения, включая относящиеся к собственности поселений, муниципальных районов, городских округов)»

<sup>26</sup> Относительно категории «Сухое»

Продолжение таблицы 10

Переменная	SLX	
	Свежеуложенная поверхностная обработка	-0.0116035
	Со снежным накатом	-0.0205827 ***
Освещение <sup>27</sup>	В темное время суток, освещение включено	0.0276415 ***
	В темное время суток, освещение не включено	0.0855114 ***
	В темное время суток, освещение отсутствует	0.1166280 ***
	Сумерки	0.0256120 ***
Тип привода <sup>28</sup>	С задним приводом	0.0096482 ***
	С передним приводом	- 0.0083062 ***
	Пол водителя = мужской	0.0348616 ***
	Возраст	0.0002472 ***
	Использовался ремень безопасности	0.0373803 ***
	Moran I	0.0147 ***
	Lagrange Multiplier (lag)	164.899 ***
	Lagrange Multiplier (error)	98.684 ***

Примечания:

1 уровень статистической значимости: \*\*\*  $p < 0.01$ , \*\*  $p < 0.05$ , \*  $p < 0.1$ ;

2 источник: составлено авторами.

<sup>27</sup> Относительно категории «Светлое время суток»

<sup>28</sup> Относительно категории «Полноприводные»

При проведении анализа с использованием детализированных данных на уровне отдельных субъектов РФ для ряда регионов были обнаружены пространственные взаимосвязи как для зависимой, так и для независимых переменных. При этом, если для части таких регионов наличие пространственной зависимости может быть обусловлено их географическими особенностями, для других наличие такой взаимосвязи может объясняться плохим состоянием дорог, а также культурой вождения в этих регионах. Полученные оценки для всей России с использованием уже детализированных данных также показали значимость пространственных эффектов при оценке влияния на смертность в ДТП, то есть, если в заданном районе наблюдается большое количество ДТП со смертельным исходом, это оказывает влияние на показатели смертности в ДТП в соседних районах.

#### **4.2 Анализ и оценка влияния выявленных детерминант ДТП и смертности в ДТП на реализацию национальных проектов и достижение целей иных стратегических и программных документов**

Анализ и оценка влияния выявленных детерминант ДТП и смертности в ДТП на реализацию национальных проектов является непростой задачей. Она подразумевает необходимость проведения оценки вклада каждого из мероприятий с указанием канала влияния, которых зачастую может быть несколько тысяч, в достижение конкретного показателя, включая оценку потенциала использования тех или иных механизмов для достижения цели.

В настоящем подразделе представлены результаты учета прямого и косвенного влияния отдельных мероприятий в рамках системы стратегических документов России, включая национальные проекты, федеральные проекты, государственные программы и иные стратегические документы. Полученные оценки сформированы на основе количественной оценки влияния каждого результата в рамках системы стратегических документов на достижение заданного целевого показателя.

На первом шаге была подробно рассмотрена Методика расчета значения показателя «Количество погибших в ДТП», выделены отдельные компоненты из которых складывается показатель. На втором шаге формируется набор факторов, которые влияют на соответствующие компоненты из методики расчета целевого показателя на основе проведенного анализа детерминант смертности в ДТП, а также с учетом анализа международной литературы.

С учетом полученных результатов оценки эмпирических моделей, а также анализа факторов, использующихся в международных исследованиях можно выделить следующий обобщенный набор факторов: доля автомобильных дорог общего пользования,



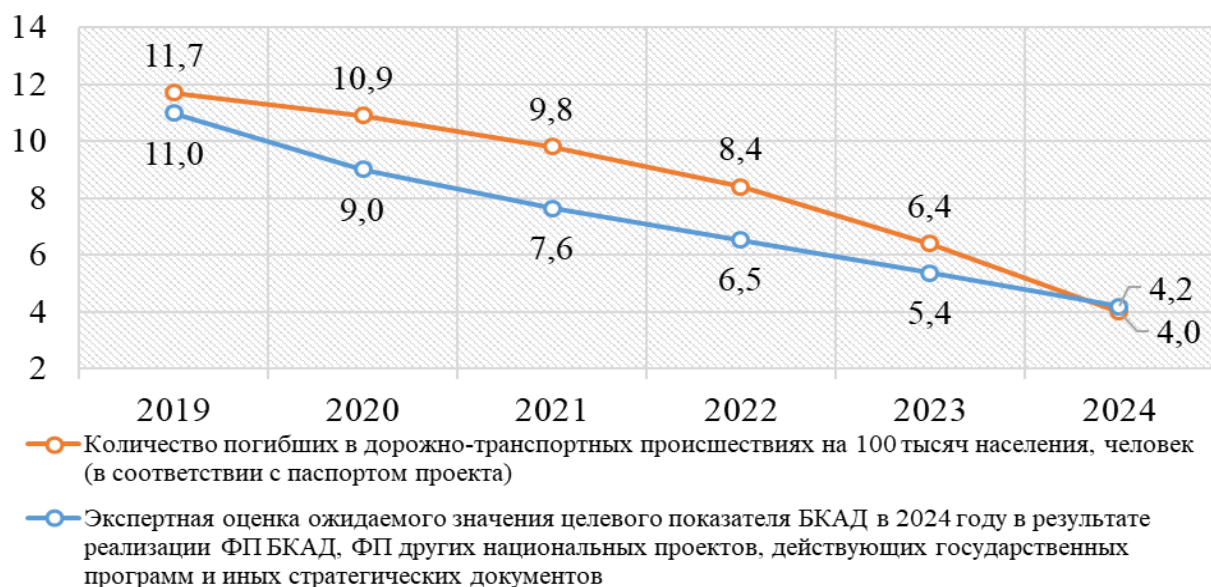
соответствующих нормативным требованиям, в субъекте Российской Федерации; количество нарушений ПДД на дорожной сети общего пользования на территории субъекта Российской Федерации; доля водителей, управляющих транспортным средством в состоянии алкогольного опьянения; среднее время доезда скорой помощи до места ДТП; создание и развитие площадок отдыха и объектов дорожного сервиса.

Далее на основе детального анализа каждого мероприятия из набора стратегических документов производится экспертная оценка влияния данного результата на достижения целевого показателя с помощью одного или нескольких выбранных факторов и вычисляется количественная оценка влияния, например, с использованием соответствующих эластичностей.

Необходимо отметить, что все результаты в рамках стратегических документов, оказывающие влияние на достижение выбранного целевого показателя, можно разделить на 4 группы: влияние отсутствует; влияние через один из выбранных факторов; прямое количественное влияние; непосредственное влияние отсутствует, однако мероприятие является институциональным, то есть без его реализации невозможно достижение целевого показателя, например, принятие необходимых НПА.

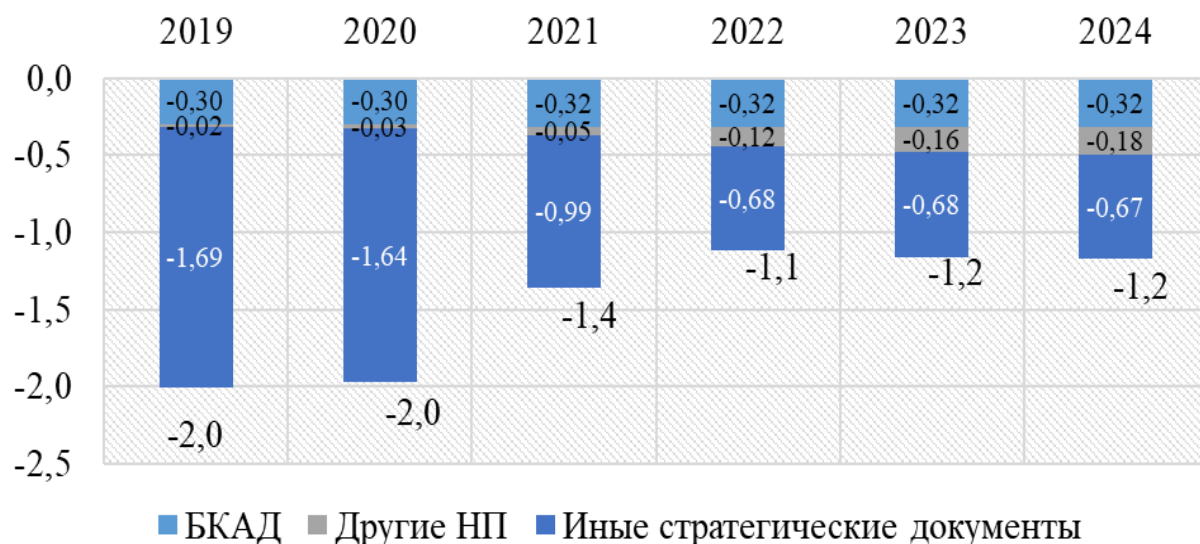
По итогам детального рассмотрения всех интересующих результатов стратегических документов становится возможным проведение агрегирования полученных количественных оценок и формирование совокупной оценки достижимости выбранного целевого показателя, а также оценку того, через какие факторы осуществляется наибольшее влияние.

На рисунках 5 и 6 представлены результаты оценки траектории достижения целевого показателя в соответствии с паспортом национального проекта и на основе экспертных оценок с использованием факторной модели. Предложенных мероприятий, в целом, достаточно для достижения целевого показателя за исключением 2024 года, в котором в соответствии с паспортом национального проекта предусмотрено значительное снижение.



Примечание – Источник: расчеты авторов.

Рисунок 5 – Оценка траектории достижимости целевого показателя



Примечание – Источник: расчеты авторов.

Рисунок 6 – Снижение смертности в ДТП в 2019-2024 гг. в разрезе типов проектов (чел. на 100 тыс. населения)

Представленные результаты показывают, что на снижение целевого показателя национального проекта значительное влияние оказывают мероприятия в рамках иных стратегических документов, включая государственные программы и др. В то же время важно отметить, что с течением времени влияния национальных проектов увеличивается, как за счет мероприятий (результатов) в рамках профильного нацпроекта «Безопасные и качественные автомобильные дороги», так и за счет мероприятий других национальных проектов в силу синергетических эффектов от их реализации.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Настоящее исследование посвящено проблеме смертности в ДТП и повышению безопасности состояния дорожного движения. Основной целью исследования было выявление и структуризация ключевых детерминант дорожно-транспортных происшествий, анализ и оценка влияния их динамики и особенностей пространственного распределения на количество ДТП в России для разработки научно-обоснованных подходов к снижению уровня смертности на российской автодорожной сети. Для достижения вышеуказанной цели в ходе выполнения научно-исследовательской работы были решены следующие задачи:

- проведен анализ и систематизация теоретических и эмпирических подходов к моделированию ДТП и смертности в ДТП;
- проведен анализ и систематизации детерминант ДТП и смертности в ДТП на автомобильных дорогах, а также механизмов влияния их пространственного распределения на ДТП и смертность в ДТП;
- разработан подход к эмпирическому анализу и оценке влияния выявленных детерминант и их пространственного распределения на ДТП и смертность в ДТП;
- сформирована база данных для проведения исследования, содержащая детализированную информацию о случаях ДТП в России за ретроспективный период.
- проведен эмпирический анализ, структуризация, анализ и интерпретация полученных результатов, проверка их устойчивости;
- разработаны практические рекомендации на основе полученных результатов исследования.

В рамках первого этапа в настоящем исследовании рассмотрены зарубежные теоретические и эмпирические подходы к моделированию дорожно-транспортных происшествий и смертности в ДТП. Исследованы теоретические и эмпирические подходы к моделированию ДТП и смертности в ДТП, применяемые в российской практике.

Базовыми эмпирическими моделями для проведения анализа детерминант числа ДТП и смертности в ДТП являются различные вариации пуассоновской модели и отрицательная биномиальная модель. Основными проблемами их использования являются отсутствие статистики по региональным и в особенности индивидуальным характеристикам, что приводит к корреляции ошибки с регрессорами и несостоятельности получаемых оценок. Поэтому исследователи применяют иерархические модели, которые позволяют учесть разную степень влияния различных факторов на вероятность ДТП. Для

моделирования смертности в ДТП используются также оценки на основе панельных данных.

Одной из проблем проведения оценок влияния факторов на смертность в ДТП в России является сложность формирования агрегированной базы детализированных данных. И если информацию непосредственно по ДТП, несмотря на отсутствие доступа к всей совокупности данных, можно собрать из отдельных карточек ДТП на основе статистики МВД России, то детализированные данные по отдельным характеристикам участков дорог в открытом доступе отсутствуют, что обуславливает необходимость агрегирования собранных данных по ДТП на уровне административных единиц при проведении оценок.

Собранная база данных включает информацию по ДТП в регионах России за 2015 – 2019 гг. Большинство переменных описывают качественные характеристики, позволяющие группировать ДТП по типам, пространственным параметрам и личным характеристикам участников ДТП. Таким образом, собран ряд наиболее часто используемых факторов при моделировании ДТП, включая поведенческие и персональные характеристики водителей. В качестве прокси для переменных, характеризующих физические характеристики участков дорог в местах ДТП, используются данные по категориям улиц, состоянию проезжей части и уровню освещенности дороги.

В рамках второго этапа проведен эмпирический анализ влияния факторов и их пространственного распределения на ДТП и смертность в ДТП в России, проведена оценка влияние факторов и их пространственного распределения на ДТП и смертность в ДТП в России.

Вероятность наступления ДТП на дорогах вне населенного пункта примерно на 6-7% выше, относительно категории основные улицы в жилой застройке, а вероятность того, что это будет ДТП со смертельным исходом возрастает на 7-10% в сравнении с основными улицами в жилой застройке. При этом, вероятность того, что ДТП будет со смертельным исходом также несколько увеличивается (на 3-7%) на региональных и федеральных трассах в сравнении с дорогами местного значения.

Состояние проезжей части и уровень освещенности также могут оказывать значимое влияние на вероятность возникновения ДТП:

- любое ухудшение состояния дорожного покрытия увеличивают вероятность возникновения ДТП и смертности в ДТП;
- больше всего вероятность ДТП возрастает в случае грязного покрытия, в среднем, примерно в два раза;

– для случаев гололедицы и залитого водой дорожного покрытия вероятность возникновения ДТП увеличивается на 25-35% и 55-105%. Однако стоит отметить, что противогололедная обработка дорожного покрытия снижает вероятность возникновения ДТП на 20-25%.

– в случае с загрязненным или мокрым дорожным покрытием вероятность ДТП со смертельным исходом возрастает на 35-50%. Гололедица также увеличивает вероятность того, что ДТП будет смертельным на 22-29%, однако обработка противогололедными материалами позволяет снизить эти значения до уровня 5-10%.

Вероятность возникновения ДТП возрастает в темное время суток:

– в случае, если освещение функционирует исправно, увеличение составляет около 5-7%, а там, где освещение отсутствует, рост составляет уже 15-20%;

– вероятность смертельного ДТП также увеличивается в темное время суток, в случае, если освещение отсутствует – на 15-18%, однако, если освещение включено, то увеличение составляет только 3-6%.

– Распределение ДТП со смертельным исходом на уровне агрегирования территорий по 6-му уровню территориального деления не имеет определенной пространственной зависимости. В то же время при проведении анализа с использованием детализированных данных на уровне отдельных субъектов РФ для ряда регионов были обнаружены пространственные взаимосвязи как для зависимой, так и для независимых переменных. При этом, если для части таких регионов (Ханты-Мансийский АО, Архангельская область, Амурская область, Республика Коми, Мурманская область, Республика Саха –Якутия) наличие пространственной зависимости может быть обусловлено их географическими особенностями, для других (Самарская область, Ставропольский край, Новосибирская область, Удмуртская республика, Курская область, Тамбовская область, Белгородская область, Республика Мордовия, Краснодарский край, Республика Башкортостан) наличие такой взаимосвязи может объясняться плохим состоянием дорог, а также культурой вождения в этих регионах. Полученные оценки для всей России с использованием уже детализированных данных также показали значимость пространственных эффектов при оценке влияния на смертность в ДТП, то есть, если в заданном районе наблюдается большое количество ДТП со смертельным исходом, это оказывает влияние на показатели смертности в ДТП в соседних районах.

Отдельно в рамках настоящего исследования представлены результаты анализа влияния выявленных детерминант смертности в ДТП на реализацию национальных проектов. Полученные результаты показывают, что на снижение целевого показателя

«Количество погибших в дорожно-транспортных происшествиях, человек на 100 тысяч населения» национального проекта «Безопасные и качественные автомобильные дороги» значительное влияние оказывают мероприятия как непосредственно национальных проектов, так и мероприятия в рамках иных стратегических документов, включая государственные программы и др. В то же время важно отметить, что с течением времени влияния национальных проектов увеличивается, как за счет мероприятий (результатов) в рамках профильного нацпроекта «Безопасные и качественные автомобильные дороги», так и за счет мероприятий других национальных проектов в силу синергетических эффектов от их реализации.

Полученные оценки в целом соответствуют аналогичным оценкам в международной литературе. Качество и состояние дорог вне населенных пунктов, зачастую оставляет желать лучшего, что отражается в положительном влиянии соответствующих переменных на число ДТП, а также количество аварий со смертельным исходом. При этом на федеральных трассах ситуация оказывается несколько лучше, что может быть обусловлено более высокой долей автодорог, находящихся в нормативном состоянии.

Значимое и положительное влияние на смертность в ДТП оказывают сложные погодные условия, в частности, к увеличению смертности приводит заснеженное и залитое водой покрытие дорожного полотна. Отсутствие освещения в темное время суток также приводит к увеличению числа ДТП со смертельным исходом.

Представленные результаты подтверждают важность задачи по приведению автомобильных дорог России в нормативное состояние, оборудованию дорог освещением, своевременной обработке дорожного покрытия и внедрении предупредительных мер в случае сложных погодных условий. В этих областях можно отметить значительный потенциал по снижению числа ДТП со смертельным исходом и, как следствие, числа погибших в результате ДТП. Реализация этого потенциала позволит не только достичь обновленных целевых показателей по снижению смертности в ДТП, но и внесет ощутимый вклад в снижение убыли населения России.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Joshua S.C., Garber N.J. Estimating truck accident rate and involvements using linear and Poisson regression models // *Transportation Planning and Technology*. 1990. Vol. 1. No. 15. pp. 41 - 58.
2. Miaou S.P., Lum H. Modeling vehicle accidents and highway geometric design relationships // *Accident Analysis & Prevention*. 1993. Vol. 6. No. 25. pp. 689 - 709.
3. Lord D. Modeling motor vehicle crashes using Poisson-gamma models: examining the effects of low sample mean values and small sample size on the Estimation of the fixed dispersion parameter // *Accident Analysis and Prevention*. 2006. Vol. 4. No. 37. pp. 751 - 766.
4. Brude U., Larsson J. Models for predicting accidents at junctions where pedestrians and cyclists are involved. How well do they fit? // *Accident Analysis and Prevention*. 1993. Vol. 5. No. 25. pp. 499 - 509.
5. Persaud B.N. Accident prediction models for rural roads // *Canadian Journal of Civil Engineering*. 1994. Vol. 4. No. 21. pp. 547 - 554.
6. Karlaftis M., Tarko A. Heterogeneity considerations in accident modeling // *Accident Analysis and Prevention*. 1998. Vol. 4. No. 30. pp. 425 - 433.
7. Miaou S.P., Song J.J., and Mallick B.K. Roadway traffic crash mapping: a space-time modeling approach // *Journal of Transportation and Statistics*. 2003. Vol. 1. No. 6. pp. 33 - 57.
8. Washington S.P., Karlaftis M.G., and Mannering F.L. *Statistical and Econometric Methods for Transportation Data Analysis*. 2nd ed. Boca Raton: Chapman Hall, 2010.
9. Lord D., Bonneson J.A. Calibration of predictive models for estimating the safety of ramp design configurations // *Transportation Research Record*. 2005. No. 1908. pp. 88 - 95.
10. Lord D., Washington S.P., and Ivan J.N. Further notes on the application of zero inflated models in highway safety // *Accident Analysis and Prevention*. 2007. Vol. 1. No. 39. pp. 53 - 57.
11. Maycock G., Hall R.D., "Accidents at 4-Arm Roundabouts," *TRRL Laboratory Report 1120, Transportation and Road Research Laboratory*, 1984.
12. Cameron A.C., Trivedi P.K. *Regression Analysis of Count Data*. Cambridge: Cambridge University Press, 1998.
13. Park E., Lord D. Multivariate Poisson-lognormal models for jointly modeling

crash frequency by severity // *Transportation Research Record*. 2007. No. 2019. pp. 1 - 6.

14. Oh J., Washington S.P., and Nam D. Accident prediction model for railway-highway interfaces // *Accident Analysis and Prevention*. 2006. Vol. 2. No. 38. pp. 346–356.

15. Miaou S., Song J.J. Bayesian ranking of sites for engineering safety improvements: decision parameter, treatability concept, statistical criterion and // *Accident Analysis and Prevention*. 2005. Vol. 4. No. 37. pp. 699-720.

16. Ma J., Kockelman K.M., and Damien P. A multivariate Poisson-lognormal regression model for prediction of crash counts by severity, using Bayesian methods // *Accident Analysis and Prevention*. 2008. Vol. 3. No. 40. pp. 964 - 975.

17. Kumara S.S.P., Chin H.C. Application of Poisson underreporting model to examine crash frequencies at signalized three-legged intersections // *Transportation Research Record*. 2005. No. 1908. pp. 46 - 50.

18. Ma J. the 88th Annual Meeting of the Transportation Research Board // Bayesian analysis of underreporting Poisson regression model with an application to traffic crashes on two-lane highways. Washington, DC. Vol. Paper #09-3192.

19. Kim D., Washington S. The significance of endogeneity problems in crash models: an examination of left-turn lanes in intersection crash models // *Accident Analysis and Prevention*. 2006. Vol. 6. No. 38. pp. 1094 - 1100.

20. Miaou S., Lord D. Modeling traffic crash-flow relationships for intersections: dispersion parameter, functional form, and Bayes versus Empirical Bayes // *Transportation Research Record*. 2003. No. 1840. pp. 31 - 40.

21. Bonneson J.A., Pratt M.P. Procedure for developing accident modification factors from cross-sectional data // *Transportation Research Record*. 2008. No. 2083. pp. 40 - 48.

22. Anastaspoulos P.C., Mannering F.L. A note on modeling vehicle accident frequencies with random-parameters count models // *Accident Analysis and Prevention*. 2009. Vol. 1. No. 41. pp. 153 - 159.

23. Leveque A., Humbelt P.C., and Lagasse R. Premature avoidable deaths by road traffic injuries in Belgium: Trends and geographical disparities // *European Journal of Epidemiology*, 17 (9), pp. 841–45. 2001.

24. Cirera E., Plasencia A., Ferrando J., and Segui-Gomez M. Factors associated with severity and hospital admission of motor-vehicle injury cases in a Southern European Urban Area // *European Journal of Urban Area*. *European Journal of*. 2001.



25. Guerts K., Thomas I., and Wets G. Understanding spatial concentrations of road accidents using frequent item sets // *Accidents analysis and prevention*, 37, pp. 787–99. 2005.
26. Agüero-Valverde J., Jovanis P.P. Spatial analysis of fatal and injury crashes in Pennsylvania. // *Accident Analysis and Prevention*, 38(3), 618–25. 2006.
27. Sipos T. Spatial Statistical Analysis of the Traffic Accidents // *Periodica Polytechnica Transportation Engineering*, 45(2), pp. 101–105. 2017.
28. ADERAMO A.J. Spatial pattern of road traffic accident casualties in Nigeria // *Mediterranean Journal of Social Sciences*, 3 (2), pp. 61–72. 2012.
29. Behbahani N.R., Mohammadi M.J., Nazari S.S.H., Ghadirzadeh M., and Hassanipour S. Studying the epidemiology of fatal traffic accidents in the Khuzestan Province // *Jundishapur J. Health Sci.* , 8, e32114. [CrossRef]. 2016.
30. Alluri S., Cattamanchi S., Voskanyan A., Sarin R.R., Molloy M.S., and Ciottone G.R. Emergency Medical Service Usage and its Effect on Outcomes in Road Traffic Accident Victims in India // *Prehospital Disaster Med.* 2017, 32, S164–S165. [CrossRef]. 2017.
31. Büyüközkan G., Çifçi G., and Güteryüz S. Strategic analysis of healthcare service quality using fuzzy AHP methodology // *Expert Syst. Appl.* 2011, 38, 9407–9424. [CrossRef]. 2011.
32. Krug EG, Sharma GK, Lozano R., "The global burden of injuries," Vol. 90, 2000. pp. 523–526.
33. Mercy J.A. et al., "Public health policy for preventing violence," 1993. pp. 7–29.
34. Haddon J.W., "Advances in the epidemiology of injuries as a basis for public policy," Vol. 95, 1980. pp. 411–421.
35. Peden M. et al., "World report on road traffic injury prevention.," 2004.
36. Пьянкова А. И., Фаттахов Т. А., "Смертность от дорожно-транспортных происшествий в России: подходы к оценке, тенденции и перспективы," Vol. 6, No. 3, 2019. pp. 58–84.
37. Фаттахов Т.А., "Дорожно-транспортный травматизм в России и его факторы," Vol. 44, No. 4, 2015.
38. // Безопасные качественные автомобильные дороги: [сайт]. URL: <https://bkdrf.ru/about20> (дата обращения: 2.июнь.2020).
39. // Всемирная организация здравоохранения: [сайт]. [2018]. URL: <https://www.who.int/ru/news-room/fact-sheets/detail/road-traffic-injuries> (дата обращения:

2.июнь.2020).