

## ДИНАМИКА ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННЫХ ОСОБЕННОСТЕЙ ФОРМИРОВАНИЯ РИСКА ДОРОЖНО-ТРАНСПОРТНОЙ АВАРИЙНОСТИ В КРУПНЫХ ГОРОДАХ РОССИИ (2015–2023)

А. И. Петров<sup>1</sup>, Е. В. Лихайрова<sup>2</sup>

Тюменский индустриальный университет, Тюмень, Россия

<sup>1</sup> e-mail: ArtIgPetrov@yandex.ru

<sup>2</sup> e-mail: lihajrovaev@tyuiu.ru

**Аннотация.** В ходе практической реализации Стратегии безопасности дорожного движения в Российской Федерации профильные специалисты осознают не только нереальность достижения ее целей в установленные сроки, но и декларативность этого документа и отсутствие соответствующего научно-методического инструментария, использование которого могло бы помочь в решении поставленных задач. Одним из важных элементов этого инструментария могла бы быть методика количественной оценки рисков дорожно-транспортной аварийности. Другим элементом – результаты оценки пространственно-временной специфики процессов формирования рисков.

Целью исследования, некоторые результаты которого представлены в данной статье, является изучение динамики пространственно-временных особенностей формирования рисков гибели россиян в ДТП (для случая крупных городов).

В статье представлены методика и результаты оценки рисков дорожно-транспортной аварийности в российских городах с численностью населения  $N_{\text{гор}} = 501...1000$  тыс. чел. Специфика риска дорожно-транспортной аварийности рассматривается с позиции оценки статистической связи между двумя частными составляющими риска аварийности – «Риска участия в абстрактном дорожно-транспортном происшествии (ДТП)  $P_{\text{РТА}}$ » (Показатель 1) и «Совокупности последствий ДТП (Риска гибели в конкретном ДТП  $\text{Cons}_{\text{РТА}}$ » (Показатель 2). Результаты проведенного исследования характеризуются научной новизной. В частности, установлено, что частные характеристики риска аварийности  $P_{\text{РТА}}$  и  $\text{Cons}_{\text{РТА}}$  можно рассматривать с позиций диалектического противопоставления. При росте одной из них, другая снижается, и наоборот. По сути, это один из примеров реализации общенаучного закона сохранения (вещества, энергии, информации). В данной случае, обнаруженные эффекты можно интерпретировать с позиции закона сохранения информации. Также в статье представлены оценки пространственно-временной специфики рисков дорожно-транспортной аварийности. По результатам проведенных исследований сделан вывод о необходимости использования в технологиях обеспечения БДД в различных городах страны не однотипных, а принципиально различных подходов, учитывающих специфику риска аварийности. Дальнейшие исследования в сфере изучения специфики рисков аварийности могут быть направлены как на расширение числа объектов исследования (т. е. посвящены исследованию рисков аварийности в российских городах с меньшей или большей численностью населения), так и на исследование связи между рисками аварийности и важнейшими факторами большой сложной системы «Человек – Автомобиль – Дорога – Среда» (ЧАДС).

**Ключевые слова:** безопасность дорожного движения, дорожно-транспортная аварийность, специфика дорожно-транспортной аварийности, риск дорожно-транспортной аварийности, риск участия в ДТП, совокупность последствий ДТП.

**Для цитирования:** Петров А. И., Лихайрова Е. В. Динамика пространственно-временных особенностей формирования риска дорожно-транспортной аварийности в крупных городах России (2015–2023) // Интеллект. Инновации. Инвестиции. – 2024. – № 5. – С. 64–81. – <https://doi.org/10.25198/2077-7175-2024-5-64>.



Original article

## SPATIAL AND TEMPORAL DYNAMICS OF THE SPECIFICS OF THE RISK OF ROAD TRAFFIC ACCIDENTS IN LARGE RUSSIAN CITIES (2015–2023)

A. I. Petrov<sup>1</sup>, E. V. Likhayrova<sup>2</sup>

Industrial University of Tyumen, Tyumen, Russia

<sup>1</sup> e-mail: ArtIlgPetrov@yandex.ru

<sup>2</sup> e-mail: lihajrovaev@tyuiu.ru

**Abstract.** *In the course of practical implementation of the Road Safety Strategy in the Russian Federation, relevant specialists realize not only the unreality of achieving its goals within the established time frame, but also the declarative nature of this document and the lack of appropriate scientific and methodological tools, the use of which could help in solving the tasks set. One of the important elements of this tool could be a methodology for quantitative assessment of the risks of road traffic accidents. Another element is the results of assessing the spatio-temporal specificity of risk formation processes.*

*The purpose of the study, some results of which are presented in this article, is to study the dynamics of spatio-temporal features of the formation of risks of death of Russians in road accidents (for the case of large cities).*

*The article presents the methodology and results of assessing the risks of road traffic accidents in Russian cities with a population of Ngor = 501 ... 1000 thousand people. The specificity of the risk of road traffic accidents is considered from the position of assessing the statistical relationship between two particular components of the accident risk – «Risk of participation in an abstract road traffic accident (RTA) P RTA» (Indicator 1) and «Total consequences of an accident (Risk of death in a specific accident Cons RTA» (Indicator 2). The results of the study are characterized by scientific novelty. In particular, it was found that particular characteristics of the accident risk P RTA and Cons RTA can be considered from the position of dialectical opposition. With an increase in one of them, the other decreases, and vice versa. In fact, this is one of the examples of the implementation of the general scientific law of conservation (of matter, energy, information). In this case, the discovered effects can be interpreted from the position of the law of conservation of information. The article also presents assessments of the spatio-temporal specificity of the risks of road traffic accidents. Based on the results of the studies, a conclusion was made about the need to use fundamentally different approaches in road safety technologies in various cities of the country, taking into account the specificity of the accident risk. Further research in the area of studying the specifics of accident risks can be aimed both at expanding the number of objects of study (i.e. devoted to the study of accident risks in Russian cities with a smaller or larger population), and at studying the relationship between accident risks and the most important factors of a large complex system «Person – Car – Road – Environment» (CCRE).*

**Key words:** *road safety, road traffic accidents, specifics of road traffic accidents, risk of road traffic accidents, risk of participation in an accident, totality of consequences of an accident.*

**Cite as:** Petrov, A. I., Likhayrova, E. V. (2024) [Spatial and temporal dynamics of the specifics of the risk of road traffic accidents in large Russian cities (2015–2023)]. *Intellekt. Innovacii. Investicii* [Intellect. Innovations. Investments]. Vol. 5, pp. 64–81. – <https://doi.org/10.25198/2077-7175-2024-5-64>.

### Введение

Дорожно-транспортная аварийность – феномен, имеющий почти 130-летнюю историю, начиная с весны 1896 г., когда был зафиксирован факт первого дорожно-транспортного происшествия (ДТП) с участием автомобиля. В последние годы (2015–2023) в мире в ДТП погибают до 1,1...1,2 млн чел. в год<sup>1</sup>. Гибель в ДТП среди множества других является сегодня пер-

вой по значимости причиной потери жизни для людей в возрасте от 5 до 29 лет [1; 9; 10].

Россия не является исключением среди других стран и для нее также во всей полноте характерна серьезность проблемы низкого уровня безопасности дорожного движения (БДД) [1]. По данным Научного Центра БДД МВД РФ<sup>2</sup> в течение последних 9 лет (2015–2023) в РФ зафиксировано 1397158 ДТП,

<sup>1</sup> Стратегия безопасности дорожного движения в Российской Федерации на 2018 - 2024 годы. Распоряжение Правительства РФ от 8 января 2018 г. № 1-р. – URL: <http://static.government.ru/media/files/g6BXGgDI4fCEiD4xDdJUwIxdPATBC12.pdf> (дата обращения: 15.03.2024).

<sup>2</sup> Дорожно-транспортная аварийность в Российской Федерации за 2022 год. Информационно-аналитический обзор / К. С. Баканов [и др.]. – М.: ФКУ «НЦ БДД МВД России». – 2023. – 150 с.

в которых погибло 157407 чел. и получили ранения 1770472 чел. Известно, что ежегодный ущерб от дорожно-транспортной аварийности в разных странах мира варьируется в диапазоне от 0,4% до 4,1% ВВП. Для России, по разным оценкам<sup>3</sup>, социально-экономический ущерб, связанный с дорожно-транспортной аварийностью, в разные годы последних двух десятилетий варьировался в диапазоне от 0,5% до 2,5% ВВП. И это достаточно серьезные потери для экономики страны. В этой связи поиск научно-методических решений, практическая реализация которых могла бы повлиять на снижение этих неблагоприятных последствий дорожной аварийности, является важным и востребованным как руководством страны, так и всем российским народом.

Силами Научного центра БДД МВД РФ, начиная с 2015 г., ведется детализированный учет и анализ абсолютно всех ДТП, фиксируемых на территории Российской Федерации с указанием локализации и конкретной фактологии. И эта информация позволяет исследовать специфику дорожно-транспортной аварийности в данной статье рассматривается с позиций оценки риска, а само понятие «Риск дорожно-транспортной аварийности» может быть дифференцирован на две составляющие: «Риск участия в абстрактном ДТП» и «Риск гибели в конкретном ДТП» [9; 10]. Под риском участия в ДТП понимается, прежде всего, вероятность активного и пассивного участия в абстрактном ДТП, а под риском гибели в конкретном ДТП – совместный учет масштабности ДТП и тяжести последствий ДТП. С целью минимизации лингвистического разночтения понятия «Риск гибели в ДТП» укажем, что это понятие идентично понятию «Совокупность последствий ДТП».

В данной статье эта проблематика рассмотрена с позиций диалектического противопоставления этих двух составляющих дорожно-транспортной аварийности на примере конкретной фактологии (2015–2023) для крупных городов РФ.

### Постановка задачи

Необходимо оценить динамику пространственно-временных особенностей формирования рисков дорожно-транспортной аварийности в крупных городах России в течение 9 лет (2015–2023 гг.). Выбор временного периода определяется наличием информации об аварийности в некотором, ограниченном числе городов РФ, представленной на сайте ГИБДД МВД России<sup>4</sup>.

<sup>3</sup> Доклад о состоянии безопасности дорожного движения в Европейском регионе ВОЗ // Всемирная организация здравоохранения. – 2019. – URL: [https://гибдд.рф/upload/site1000/news/link/Doklad\\_VOZ.pdf](https://гибдд.рф/upload/site1000/news/link/Doklad_VOZ.pdf) (дата обращения: 15.03.2024).

<sup>4</sup> Сайт ГИБДД МВД // Показатели состояния БДД. – 2024. – URL: <http://stat.gibdd.ru/> (дата обращения: 03.03.2024).

Риск дорожно-транспортной аварийности – довольно широкое по смысловой нагрузке понятие. Поэтому важно оговорить, что далее речь пойдет о риске гибели в ДТП в течение конкретного года  $Risk_{RTA\ died\ 200}$ .

Термин «специфика» идентифицирует какие-либо особенности изучаемого феномена, его отличительные признаки. Под спецификой рисков дорожно-транспортной аварийности в рамках данной статьи будут пониматься три обстоятельства, первое из которых связано непосредственно с расчетом величины риска  $Risk_{RTA\ died\ 200}$ , а два других относятся к атрибутам «Пространство – Время» [7; 8].

Итак, первое – величина расчетного значения риска гибели в ДТП в течение конкретного года  $Risk_{RTA\ died\ 200}$  – позволяет ранжировать крупные российские города по степени опасности транспортной системы города для его жителей.

Второе (пространственное) [7; 8] – соотношение для конкретной группы городов (крупных, к числу которых относятся города с численностью населения от 501 до 1000 тыс. чел.) двух удельных показателей – «Вероятность участия в ДТП для отдельного жителя города в течение года  $P_{RTA\ 200}$ » и «Совокупность последствий ДТП  $Cons_{RTA\ 200}$ ». Это соотношение можно оценивать посредством учета специфики моделей  $Cons_{RTA} = f(P_{RTA})$ , построенных для данных конкретного года, в частности – через соотношения между координатами пространственного расположения крайних точек зависимости  $Cons_{RTA} = f(P_{RTA})$  на координатной плоскости.

Третье (учитывающее временной аспект) [7; 8] – оценка динамики во времени изменений характеристик  $P_{RTA}$  и  $Cons_{RTA}$ . Имея набор таких моделей (для данных 2015–2023 гг.), можно оценивать как изменение параметров моделей, так и статистическую значимость самих моделей.

### Идея и методика аналитических расчетов характеристик рисков дорожно-транспортной аварийности

Прежде всего, необходимо представить процесс формирования дорожно-транспортной аварийности в виде причинно-следственной цепочки [7; 8] (рисунок 1) и связать блоки этой цепочки с характеристиками дорожно-транспортной аварийности (Социальный риск; масштабность ДТП; тяжесть ДТП) и частными характеристиками рисков аварийности (вероятность ДТП  $P_{RTA}$  и Совокупность последствий ДТП  $Cons_{RTA}$ ).

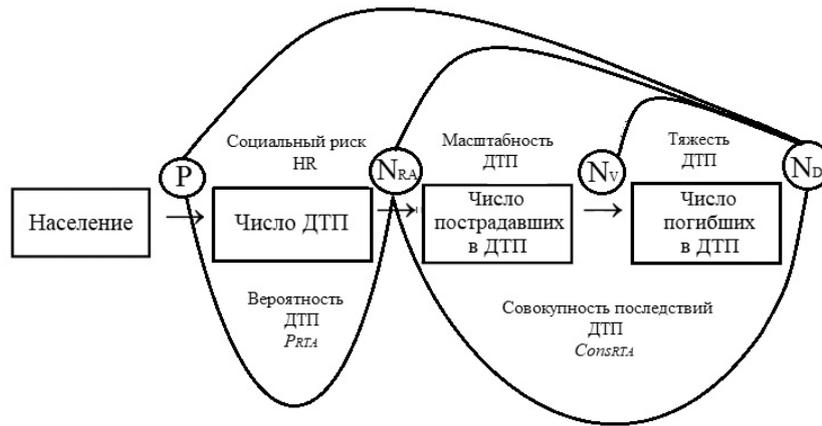


Рисунок 1. Причинно-следственная цепочка дорожно-транспортной аварийности и место и роль в формировании риска гибели людей в ДТП вероятности участия в ДТП и совокупности последствий ДТП  
 Источник: разработано авторами

Представим принципиальные идеи разложения процесса формирования дорожно-транспортной аварийности в форме причинно-следственной цепочки (рисунок 1) и ее связь с рисками аварийности в форме следующих формул (1)–(5).

Риск дорожно-транспортной аварийности можно представить в форме *риска гибели в ДТП* в течение конкретного года  $Risk_{RTA\ died\ год}$  (1):

$$Risk_{RTA\ died\ год} = P_{RTA\ год} \cdot Cons_{RTA\ год}, \quad (1)$$

где

$P_{RTA\ год}$  – вероятность (по отношению к отдельной персоне) участия в ДТП в течение года;  
 $Cons_{RTA\ год}$  – совокупность последствий ДТП.

Вероятность участия в абстрактном ДТП в течение года  $P_{RTA\ год}$  для отдельного жителя города определяется по формуле (2):

$$P_{RTA\ год} = N_{RTA\ year} / P, \quad (2)$$

где

$N_{RTA\ год}$  – годовое число ДТП в городе, ед.;  
 $P$  – население города, чел.

Совокупность последствий ДТП  $Cons_{RTA\ год}$  (или риск гибели в конкретном ДТП) рассчитывается по формуле (3):

$$Cons_{RTA\ год} = Sc_{RTA} \cdot Sv_{RTA}, \quad (3)$$

где

$Sc_{RTA}$  – масштабность ДТП, число пострадавших / 1 ДТП, чел./ДТП;  
 $Sv_{RTA}$  – тяжесть ДТП, доля погибших среди пострадавших в ДТП.

Масштабность ДТП  $Sc_{RTA}$  и Тяжесть ДТП  $Sv_{RTA}$  определяются по формулам (4) и (5):

$$Sc_{RTA} = N_{Victim} / N_{RTA}, \quad (4)$$

где

$N_{Victim}$  – число пострадавших в ДТП (сумма погибших и травмированных), чел;  
 $N_{RTA}$  – число ДТП.

$$Sv_{RTA} = N_{died} / N_{Victim}, \quad (5)$$

где

$N_{died}$  – число погибших в ДТП, чел.

Характеристика «Совокупность последствий ДТП  $Cons_{RTA_{год}}$ » по смысловой нагрузке идентична риску гибели в конкретном ДТП.

Используя представленные методы и анализируя официальную статистику ГИБДД МВД России, необходимо сначала рассчитать численные значения показателей «Вероятность участия в ДТП в течение года  $P_{RTA_{год}}$  для отдельного жителя города» и Совокупность последствий ДТП  $Cons_{RTA_{год}}$ , а затем на основании соответствующих данных построить зависимости  $Cons_{RTA_{год}} = f(P_{RTA})$ .

**Методика сбора и обработки необходимых экспериментальных данных**

С учетом рисунка 1 для расчетов  $Risk_{RTA_{died_{год}}}$ ,  $P_{RTA_{год}}$  и  $Cons_{RTA_{год}}$  необходимы данные о численности населения городов, годовом числе ДТП, количестве пострадавших и погибших в ДТП. Для соответствующего анализа [7; 8], с учетом цели и задач исследования, использовалась статистика аварийности в городах с численностью

населения  $H_{гор} = 501-1000$  тыс. чел. Список городов в совокупностях данных незначительно, но менялся в связи с динамикой численности населения в этих городах. Так, среди данных 2015–2019 гг. присутствуют Астрахань и Липецк и отсутствует Балашиха. Начиная с 2019 г., напротив, Балашиха вошла в экспериментальный список, а Астрахань и Липецк из него выбыли. Все необходимые для построения зависимостей  $Cons_{RTA_{год}} = f(P_{RTA})$  данные были сведены в годовые таблицы (2015–2023) число которых насчитывает 9, по числу лет, для которых есть соответствующая статистика.

В таблице 1 представлен пример данных, которые были использованы для расчета вероятности участия в ДТП в течение года  $P_{RTA_{год}}$  для отдельного жителя города, величины совокупности последствий ДТП  $Cons_{RTA_{год}}$  по формулам (2) и (3). Пример такого расчета для г. Тюмени и Балашихи представлен в таблице 1. Выбор для сравнения именно этих городов определяется именно спецификой дорожно-транспортной аварийности в этих городах.

Таблица 1. Пример исходных данных (2023) для расчета рисков аварийности в городах России

Город	Значение показателей (2023)				
	население, чел.	ДТП, ед.	число раненых в ДТП, чел.	число погибших в ДТП, чел.	число пострадавших в ДТП, чел.
Тюмень	855618	1825	2260	34	2294
.....					
Балашиха	526851	94	111	11	122

Источник: разработано авторами на основе официальных данных ГИБДД МВД России

Таблица 2. Результат расчета (2023) для двух городов России показателей  $P_{RTA_{год}}$ ,  $Cons_{RTA_{год}}$  и  $Risk_{RTA_{died_{год}}$

Город	Значение показателей (2023)				
	вероятность участия в ДТП $P_{RTA_{2023}}$	масштабность ДТП $Sc_{RTA_{2023}}$ пострадавших / ДТП	тяжесть ДТП $Sv_{RTA_{2023}}$ доля погибших среди пострадавших	совокупность последствий ДТП $Cons_{RTA_{2023}}$ погибших / ДТП	риск гибели в ДТП для жителя города в течение года $Risk_{RTA_{died_{2023}}$
Тюмень	0,002133	1,256986	0,014821	0,018630	0,0000397
.....					
Балашиха	0,000178	1,297872	0,090164	0,117021	0,0000208

Примечание. Понятие «Совокупность последствий ДТП  $Cons_{RTA}$ » по смысловой нагрузке идентично понятию «Риск гибели в конкретном ДТП».

Источник: разработано авторами на основе официальных данных ГИБДД МВД России

Легко увидеть, что вероятность участия в ДТП в Тюмени в 12 раз выше, чем в Балашихе, зато по совокупности последствий (рisku гибели в конкретном ДТП) показатель Балашихи выше тюменского аналога

в 6,3 раза. В целом, риск гибели в ДТП для среднестатистического тюменца почти в 2 раза выше, чем для жителя Балашихи.

В соответствии с представленной методикой были собраны 9 (2015–2023) наборов данных по вероятности участия в ДТП в течение года  $P_{RTA\ год}$  для отдельного жителя города и по величине совокупности последствий ДТП  $Cons_{RTA\ год}$  для 19–20 (это число для различных лет изменялось) городов России с населением  $H_{гор} = 501–1000$  тыс. чел. На основании этих дан-

ных были построены зависимости  $Cons_{RTA\ год} = f(P_{RTA})$ .

**Оценка риска гибели в ДТП  $Risk_{RTA\ died\ 2023}$  для среднестатистического жителя крупных российских городов (2015 / 2023)**

В данном разделе представлены ранжированные по величине данные (таблица 3), характеризующие риск гибели в ДТП  $Risk_{RTA\ died}$  для среднестатистического жителя крупных российских городов в 2015 и 2023 гг.

Таблица 3. Величина риска гибели в ДТП  $Risk_{RTA\ died}$  для жителей крупных городов России (2015 / 2023)

№ № ранга	Город	Величина $Risk_{RTA\ died\ 2015}$	№ № ранга	Город	Величина $Risk_{RTA\ died\ 2023}$
2015			2023		
1	Махачкала	0,0001089	1	Хабаровск	0,0000599
2	Липецк	0,0000962	2	Оренбург	0,0000560
3	Кемерово	0,0000827	3	Кемерово	0,0000491
4	Барнаул	0,0000805	4	Махачкала	0,0000467
5	Иркутск	0,0000783	5	Рязань	0,0000458
6	Хабаровск	0,0000765	6	Владивосток	0,0000418
7	Ярославль	0,0000730	7	Тольятти	0,0000417
8	Рязань	0,0000697	8	Ярославль	0,0000403
9	Оренбург	0,0000678	9	Барнаул	0,0000401
10	Пенза	0,0000671	10	Тюмень	0,0000397
11	Томск	0,0000664	11	Саратов	0,0000392
12	Саратов	0,0000654	12	Новокузнецк	0,0000356
13	Тюмень	0,0000603	13	Иркутск	0,0000343
14	Новокузнецк	0,0000599	14	Ижевск	0,0000322
15	Ульяновск	0,0000567	15	Ульяновск	0,0000319
16	Владивосток	0,0000547	16	Ставрополь	0,0000291
17	Тольятти	0,0000459	17	Томск	0,0000272
18	Набережные Челны	0,0000440	18	Набережные Челны	0,0000238
19	Астрахань	0,0000433	19	Балашиха	0,0000208
20	Ижевск	0,0000329			

Примечания. 1. Ранжирование городов по степени риска гибели горожан в ДТП проведено по убыванию величины  $Risk_{RTA\ died}$ . 2. В совокупности 2015 – 20 крупных городов; в совокупности 2023 – 19 крупных городов.

Источник: разработано авторами на основе официальных данных ГИБДД МВД России

Анализ данных таблицы 3 позволяет сделать три важных вывода:

- с позиций пространственных особенностей какой-либо специфики риска гибели в ДТП не выявлено;
- с позиции динамики во времени (2023 / 2015) риски гибели в ДТП  $Risk_{RTA\ died}$  снижаются для жителей всех крупных городов. Степень этого снижения варь-

ируется и может достигать как весьма значительных значений (в Махачкале – более чем двукратное), так и относительно невысоких величин (для Ижевска – 2%; Тольятти – 10%);

- сравнение для каждой совокупности (2015 / 2023) городов максимальной  $Risk_{RTA\ died\ max}$  и минимальной  $Risk_{RTA\ died\ min}$  величины риска гибели в ДТП позво-

лило установить практически трехкратную разницу между этими величинами:

$$Risk_{RTA\ died\ 2015\ max} / Risk_{RTA\ died\ 2015\ min} = 3,31$$

$$Risk_{RTA\ died\ 2023\ max} / Risk_{RTA\ died\ 2023\ min} = 2,87.$$

Это позволяет сделать вывод о наличии значительных резервов повышения БДД в городах с высокими значениями риска гибели в ДТП  $Risk_{RTA\ died}$ .

### Зависимости $Cons_{RTA\ 200} = f(P_{RTA})$

На рисунках 2–10 представлены соответствующие графические изображения зависимостей  $Cons_{RTA\ 200} = f(P_{RTA})$ , характерных для 2015–2023 гг.

В таблице 4 представлены модели, описывающие эти зависимости.

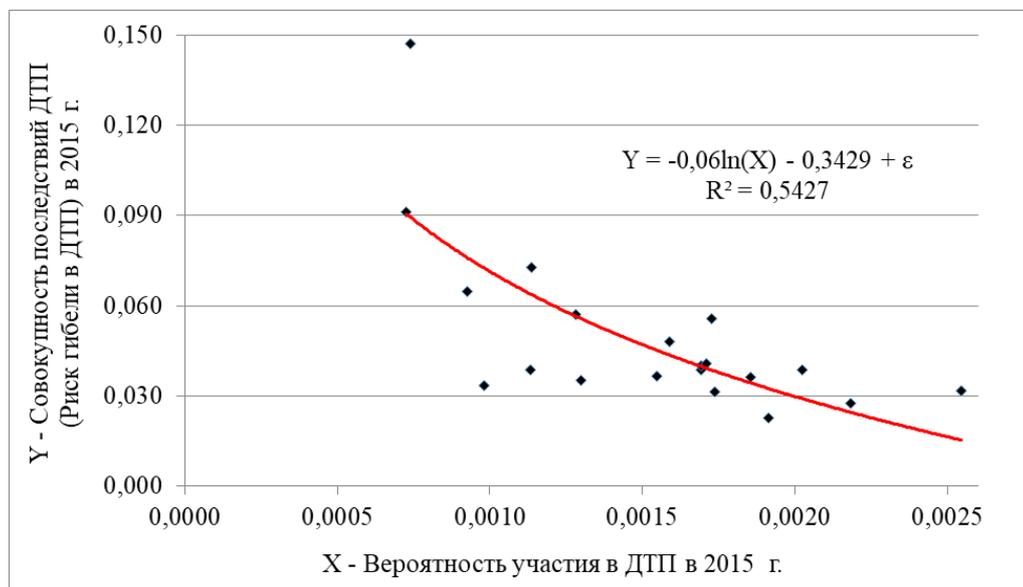


Рисунок 2. Графическое изображение зависимости  $Cons_{RTA\ 2015} = f(P_{RTA\ 2015})$  для данных 2015 г.

Источник: разработано авторами

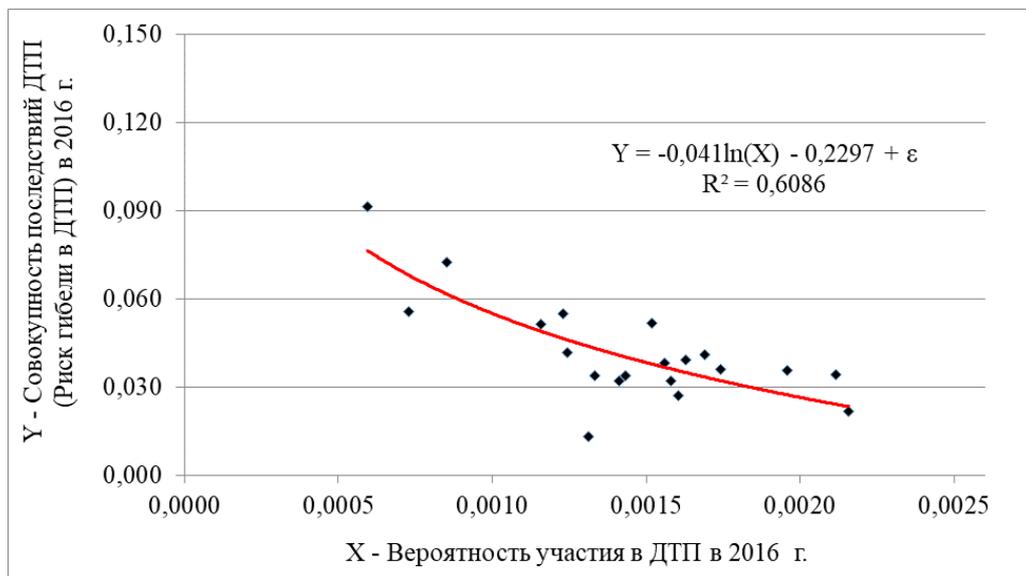


Рисунок 3. Графическое изображение зависимости  $Cons_{RTA\ 2016} = f(P_{RTA\ 2016})$  для данных 2016 г.

Источник: разработано авторами

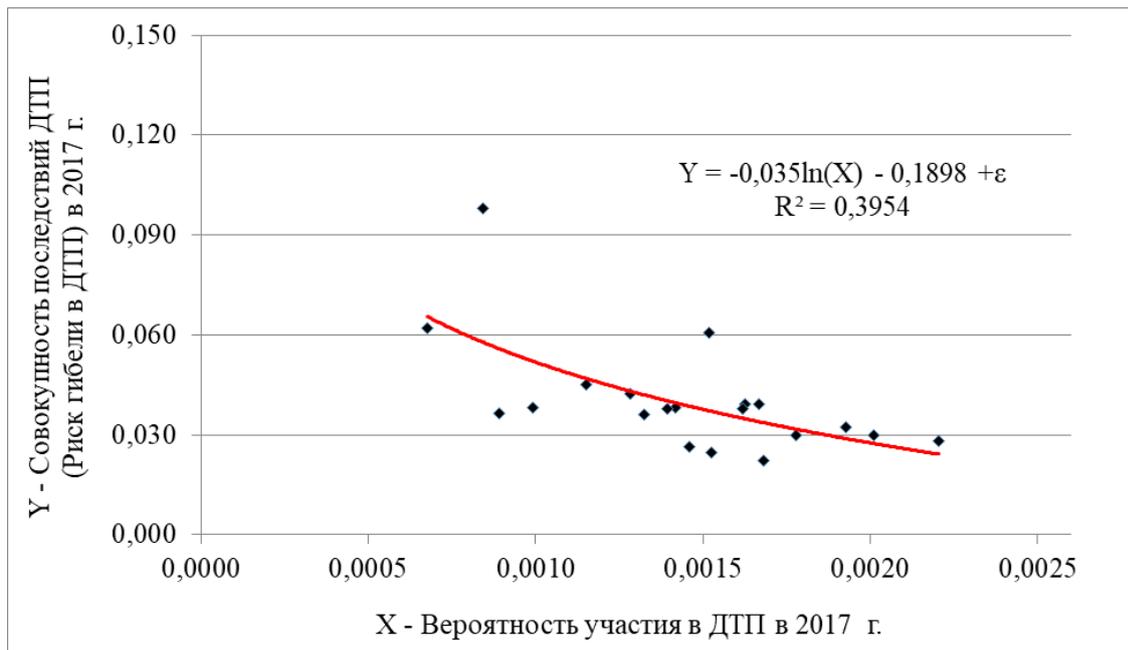


Рисунок 4. Графическое изображение зависимости  $Cons_{RTA 2017} = f(P_{RTA 2017})$  для данных 2017 г.  
Источник: разработано авторами

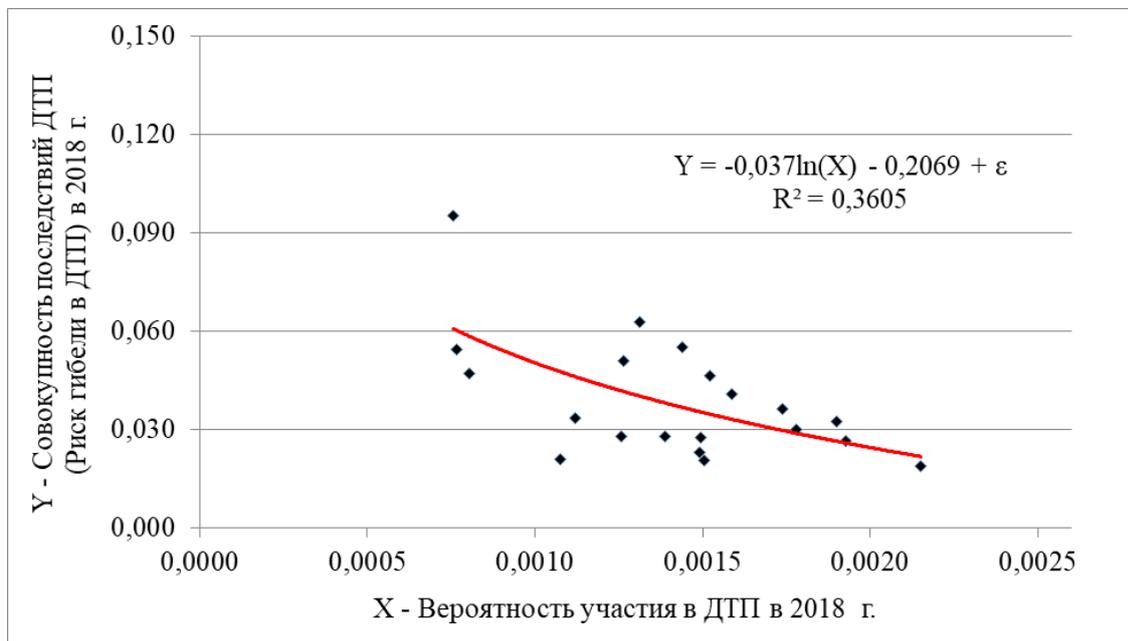


Рисунок 5. Графическое изображение зависимости  $Cons_{RTA 2018} = f(P_{RTA 2018})$  для данных 2018 г.  
Источник: разработано авторами

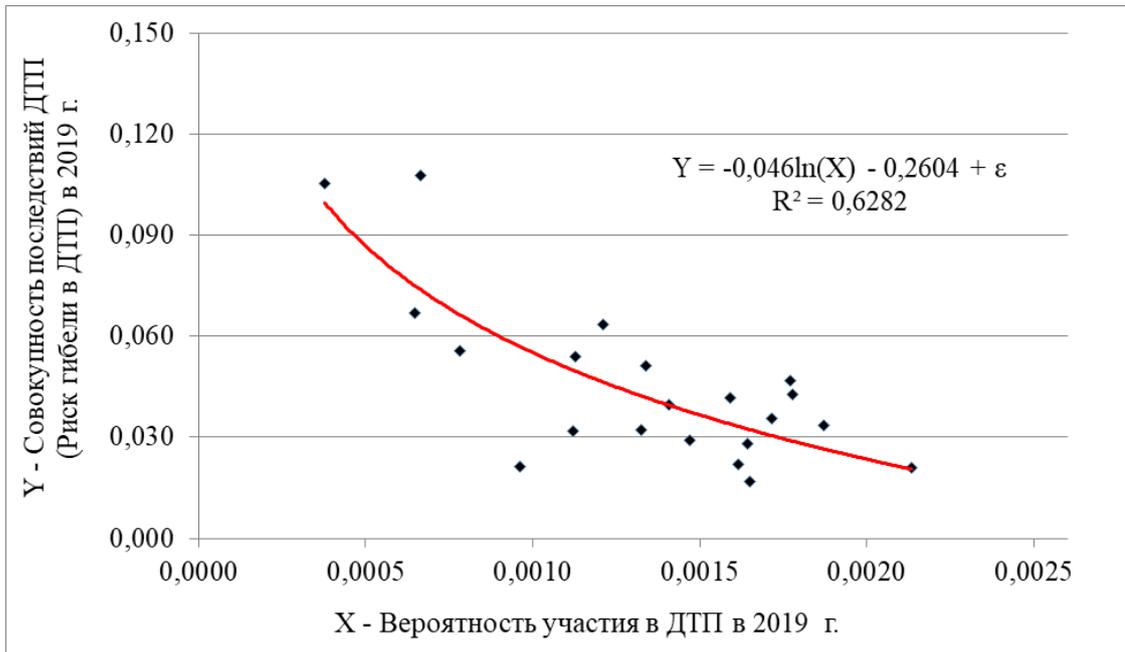


Рисунок 6. Графическое изображение зависимости  $Cons_{RTA 2019} = f(P_{RTA 2019})$  для данных 2019 г.  
Источник: разработано авторами

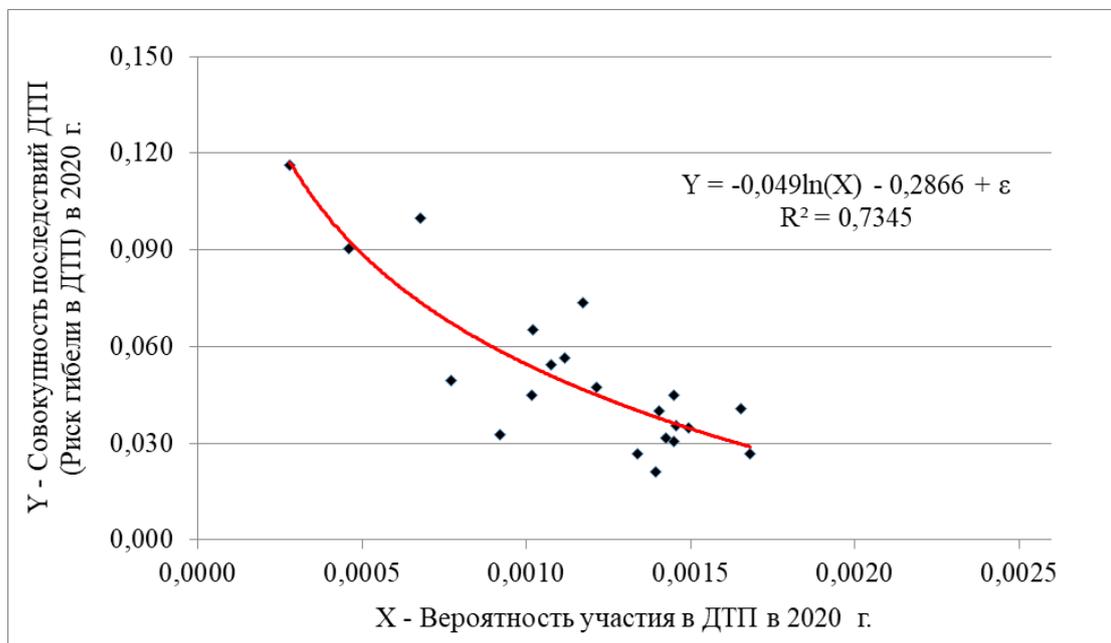


Рисунок 7. Графическое изображение зависимости  $Cons_{RTA 2020} = f(P_{RTA 2020})$  для данных 2020 г.  
Источник: разработано авторами

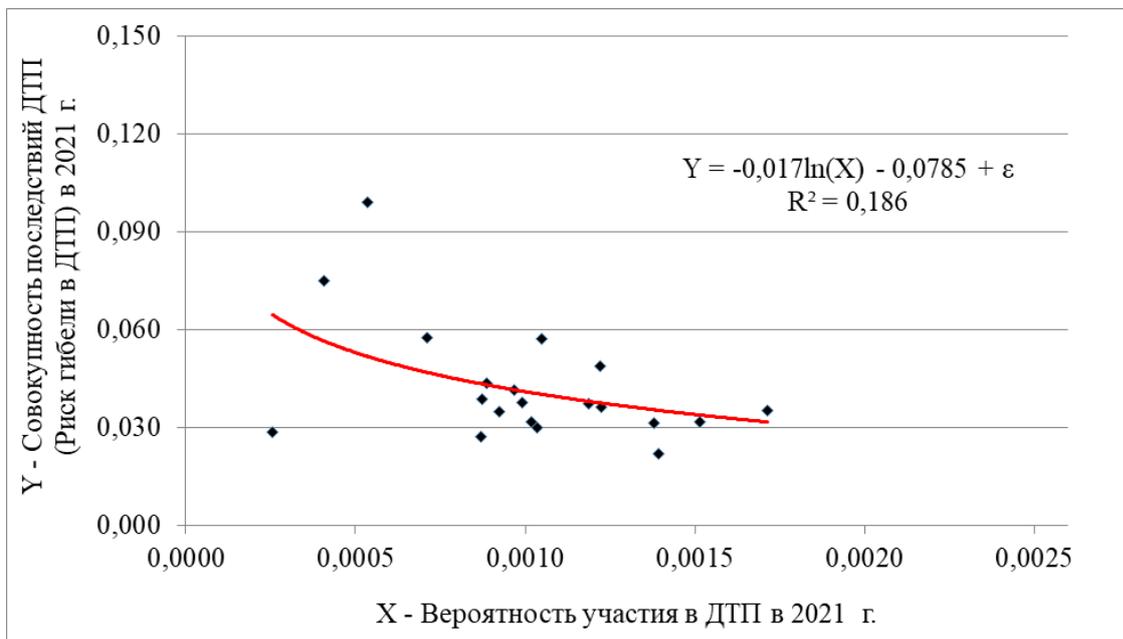


Рисунок 8. Графическое изображение зависимости  $Cons_{RTA\ 2021} = f(P_{RTA\ 2021})$  для данных 2021 г.  
Источник: разработано авторами

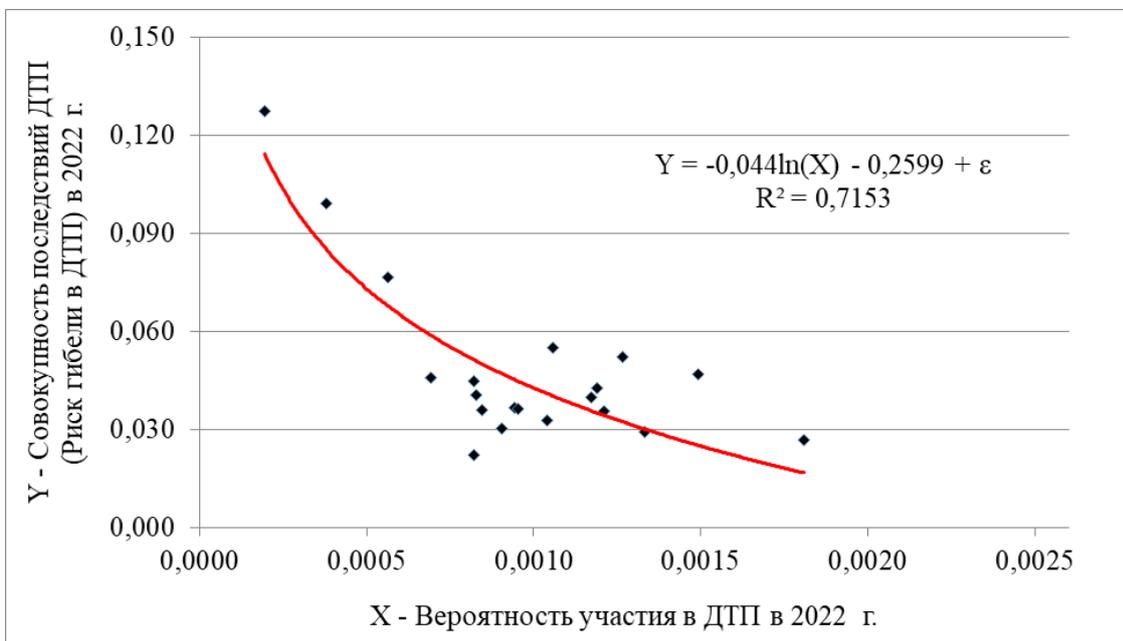


Рисунок 9. Графическое изображение зависимости  $Cons_{RTA\ 2022} = f(P_{RTA\ 2022})$  для данных 2022 г.  
Источник: разработано авторами

Главное, что представляют эти зависимости [5] – наличие диалектического противопоставления между вероятностью участия в ДТП  $P_{RTA}$  и величиной совокупности последствий ДТП  $Cons_{RTA}$ . При повышении вероятности участия в ДТП  $P_{RTA}$  снижается риск гибели в ДТП  $Cons_{RTA}$  и наоборот.

Рассмотрим этот феномен детально на примере зависимости  $Cons_{RTA год} = f(P_{RTA год})$ , построенной для данных 2023 г.

Первое, что нужно отметить – крайняя левая точка (по оси абсцисс) зависимости (идентифицирующая г. Балашиха) и крайняя правая точка (идентифицирующая г. Тюмень) – примеры диалектических антиподов в сфере обеспечения БДД.

В таблице 4 приведены данные о координатах этих точек на координатной плоскости. Очевидно, что *организация и управление БДД в этих городах построены на основе абсолютно противоположных принципов.*

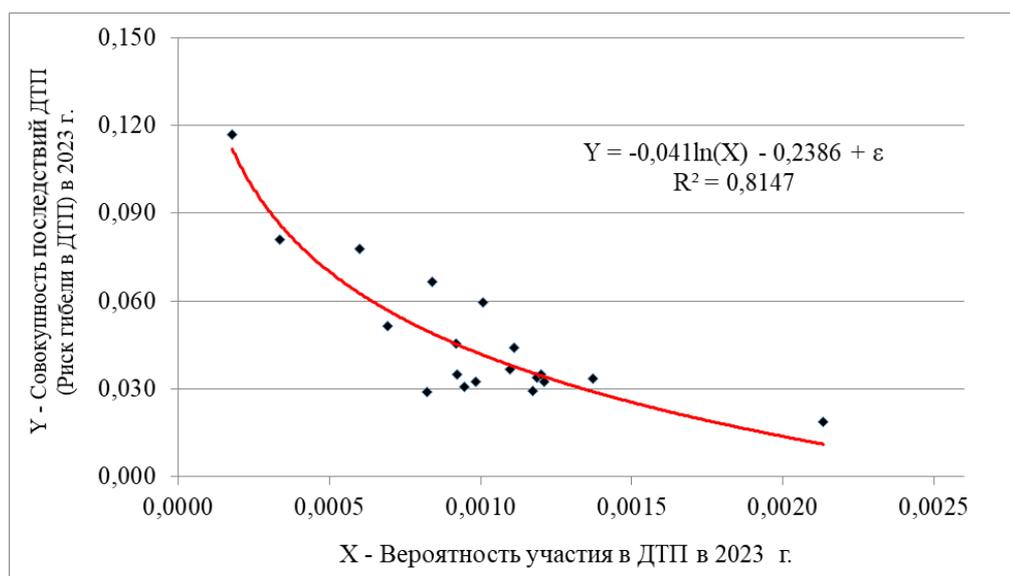


Рисунок 10. Графическое изображение зависимости  $Cons_{RTA 2023} = f(P_{RTA 2023})$  для данных 2023 г.

Источник: разработано авторами

Для Тюмени вероятность попасть в ДТП  $P_{RTA}$  находится на самом высоком уровне, однако совокупность последствий ДТП  $Cons_{RTA}$  относительно незначительна. Для участников дорожного движения в Балашихе, напротив, обеспечивается относительно низкая вероятность попасть в ДТП  $P_{RTA}$ , однако по совокупности последствий ДТП  $Cons_{RTA}$  факт участия в ДТП будет иметь отрицательные последствия [2; 3; 4].

Второе – это диалектическое противопоставление различных вариантов комбинаций составляющих риска аварийности, определяющее непосредствен-

но специфику аварийности [6; 9; 10], присущее всем 9 версиям (2015–2023 гг.) зависимости  $Cons_{RTA год} = f(P_{RTA год})$ .

Третье – для описания зависимостей выбран вариант логарифмической модели [11], а это значит, что присутствует некоторая нелинейность между диалектической парой *Показателя 1* и *Показателя 2*.

Модели, вид которых представлен на рисунках 2–10 и в таблице 4 позволяют представить специфику изменения дорожно-транспортной аварийности в крупных городах в пространстве и времени.

Таблица 4. Набор моделей зависимости  $Cons_{RTA год} = f(P_{RTA год})$

Год	Модель	R <sup>2</sup>
2015	$Cons_{RTA 2015} = -0,060\ln(P_{RTA}) - 0,3429 + \epsilon$	0,5427
2016	$Cons_{RTA 2016} = -0,041\ln(P_{RTA}) - 0,2297 + \epsilon$	0,6086
2017	$Cons_{RTA 2017} = -0,035\ln(P_{RTA}) - 0,1898 + \epsilon$	0,3954
2018	$Cons_{RTA 2018} = -0,037\ln(P_{RTA}) - 0,2069 + \epsilon$	0,3605

Продолжение таблицы 4.

Год	Модель	R <sup>2</sup>
2019	$Cons_{RTA\ 2019} = -0,046\ln(P_{RTA}) - 0,2604 + \varepsilon$	0,6282
2020	$Cons_{RTA\ 2020} = -0,049\ln(P_{RTA}) - 0,2866 + \varepsilon$	0,7345
2021	$Cons_{RTA\ 2021} = -0,017\ln(P_{RTA}) - 0,0785 + \varepsilon$	0,1860
2022	$Cons_{RTA\ 2022} = -0,044\ln(P_{RTA}) - 0,2599 + \varepsilon$	0,7153
2023	$Cons_{RTA\ 2023} = -0,041\ln(P_{RTA}) - 0,2386 + \varepsilon$	0,8147

Примечание. Примем, что при значениях коэффициента детерминации  $R^2 < 0,36$  (или при  $r_{xy} < 0,6$ ) степень тесноты связи между X и Y не позволяет признать зависимость статистически объективной.

Источник: разработано авторами

### Оценка специфики рисков дорожно-транспортной аварийности, характерной для разных городов

При оценке специфики рисков аварийности [6; 11; 12; 13; 14; 15] анализировать нужно как общий вид зависимостей таблицы 3, так и их динамику во времени, причем с учетом пространственных изменений. Попробуем провести этот анализ.

**Пространственная специфика.** Оценим пространственную специфику рисков аварийности по-

средством расчета количественного соотношения между минимальными и максимальными значениями  $Cons_{RTA}$  и  $P_{RTA}$ , характерными для оцениваемых систем обеспечения БДД сравниваемых городов (таблица 5).

Анализ Соотношений Max / Min для значений  $Cons_{RTA}$  и  $P_{RTA}$  (таблица 5) говорит о том, что пространственная форма зависимости постоянно изменяется, становясь то более компактной, то более растянутой на координатной плоскости.

Таблица 5. Оценка пространственного расположения крайних (с позиций максимизации значений  $Cons_{RTA}$  и  $P_{RTA}$ ) точек зависимости  $Cons_{RTA\ год} = f(P_{RTA})$  на координатной плоскости

Год	Значения $P_{RTA}$ (Показатель 1)			Значения $Cons_{RTA}$ (Показатель 2)		
	Max	Min	Соотношение Max / Min	Max	Min	Соотношение Max / Min
2015	0,002544	0,000727	3,50	0,147196	0,022633	6,50
2016	0,002158	0,000595	3,62	0,091429	0,013025	7,02
2017	0,002203	0,000675	3,26	0,098196	0,022201	4,42
2018	0,002150	0,000756	2,84	0,095344	0,018765	5,08
2019	0,002134	0,000379	5,63	0,107769	0,016807	6,41
2020	0,001680	0,000281	5,97	0,116438	0,021041	5,53
2021	Без оценки, т. к. $R^2 = 0,1860$ – возможна ошибка в исходных данных					
2022	0,001808	0,000196	9,22	0,127451	0,022222	5,73
2023	0,002133	0,000178	11,98	0,117021	0,018630	6,28

Источник: разработано авторами

Важно отметить, что в течение последних 9 лет иерархический порядок расположения городов в списке по критерию величины показателей 1 и 2 изменялся крайне незначительно. Так, в период 2015–2019 гг. лидером среди городов РФ с населением 501–1000

тыс. чел. по рискам гибели в конкретном ДТП был г. Махачкала, а начиная с 2020 г. это лидерство перехватил г. Балашиха, однако г. Махачкала продолжает удерживать по данному показателю вторую позицию. В свою очередь, по риску участия в абстракт-

ном ДТП все 9 лет (2015–2023 гг.) первое-второе места делят г. Барнаул и г. Тюмень. Этот факт свидетельствует о некоторой устойчивости распределения позиций городов в системе «Вероятность ДТП – Риск гибели в ДТП» и способствует формулированию вывода о существовании устойчивых, привычных для конкретного города формах и методах управления БДД, следствием чего являются весьма специфические результаты этой деятельности<sup>5, 6</sup>.

Специфика изменения значений  $P_{RTA}$  и  $Cons_{RTA}$  во времени. Рассматривать этот аспект применительно

к системам обеспечения БДД [13] всех исследуемых городов – достаточно объемная работа, поэтому ограничимся анализом такого рода лишь применительно к городам, для которых значения  $Cons_{RTA}$  и  $P_{RTA}$  являются экстремальными (самыми высокими и самыми низкими) для группы. В частности, построим временные ряды изменения  $Cons_{RTA}$  и  $P_{RTA}$  для городов-антиподов – Махачкалы и Тюмени.

В таблицах 6 и 7 представлены все необходимые для этого данные.

Таблица 6. Динамика (2015–2023) показателей  $Cons_{RTA}$  и  $P_{RTA}$  для системы обеспечения БДД в г. Махачкала

Характеристика	Значения по годам			
	2015	2016	2017	2018
$P_{RTA}$	0.000740	0.000595	0.000842	0.000756
$Cons_{RTA}$	0.147196	0.091429	0.098196	0.095344

Источник: разработано авторами

Характеристика	Значения по годам				
	2019	2020	2021	2022	2023
$P_{RTA}$	0.000664	0.000679	0.000534	0.000565	0.000601
$Cons_{RTA}$	0.107769	0.100000	0.099099	0.076705	0.077889

Источник: разработано авторами

Таблица 7. Динамика (2015–2023) показателей  $Cons_{RTA}$  и  $P_{RTA}$  для системы обеспечения БДД в г. Тюмень

Характеристика	Значения по годам			
	2015	2016	2017	2018
$P_{RTA}$	0.002181	0.001957	0.002203	0.002150
$Cons_{RTA}$	0.027647	0.035461	0.028049	0.018765

Источник: разработано авторами

Характеристика	Значения по годам				
	2019	2020	2021	2022	2023
$P_{RTA}$	0.002134	0.001680	0.001713	0.001808	0.002133
$Cons_{RTA}$	0.020796	0.026549	0.035124	0.026762	0.018630

Источник: разработано авторами

<sup>5</sup> Клявин В. Э. Разработка научных методов повышения уровня системной безопасности дорожного движения: дис. ... д-ра. техн. наук. – Липецк, 2017. – 331 с.

<sup>6</sup> Куракина Е. В. Методология обеспечения безопасности дорожного движения по критерию «нулевой смертности» в дорожно-транспортных происшествиях: дис. ... д-ра. техн. наук. – Санкт-Петербург, 2022. – 424 с.

На рисунках 11 и 12 представлены временные ряды изменения в Махачкале и Тюмени, соответственно, показателей  $P_{RTA}$  (рисунок 11) и  $Cons_{RTA}$  (рисунок 12).

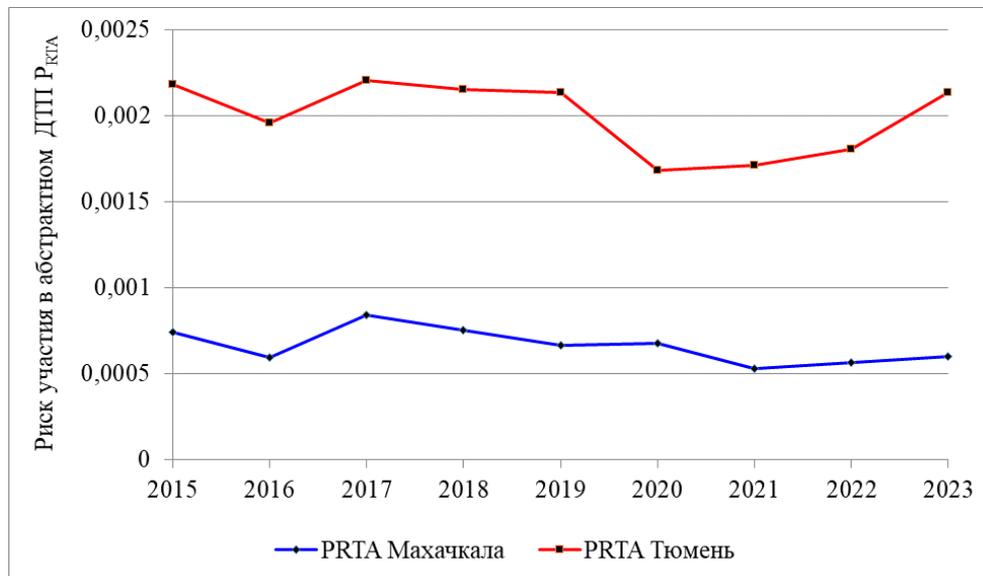


Рисунок 11. Временной ряд (2015–2023) значений  $P_{RTA}$   
Источник: разработано авторами

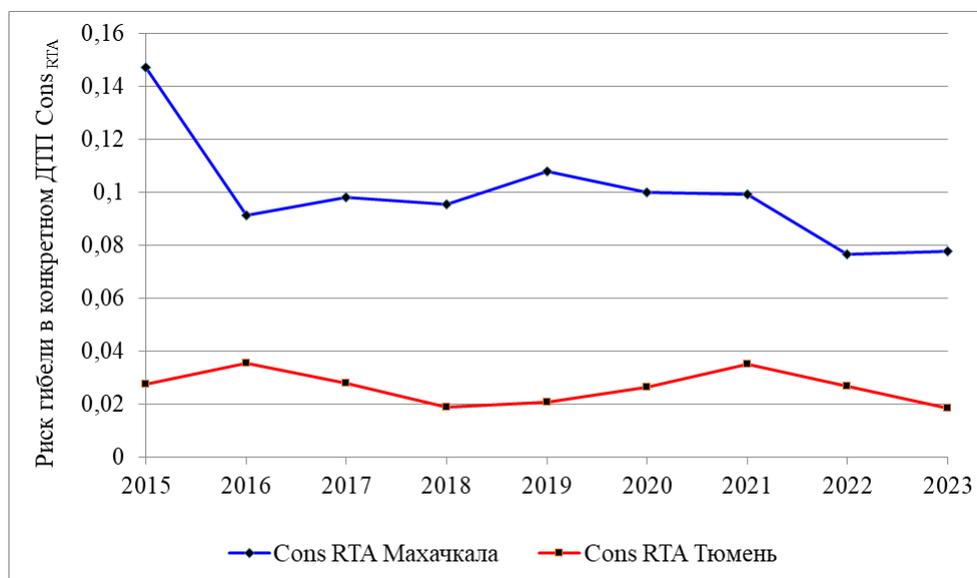


Рисунок 12. Временной ряд (2015–2023) значений  $Cons_{RTA}$   
Источник: разработано авторами

Можно отметить, что значения характеристик  $P_{RTA}$  и  $Cons_{RTA}$ , характерные для систем обеспечения БДД сравниваемых городов, изменяются в определенных

диапазонах. При этом сложно утверждать, что в течение последних 9 лет сформировалась какая-то устойчивая тенденция изменения трендов этих показателей.

### Заключение

Резюмируя материалы, представленные в статье, сформулируем следующие основные выводы.

1. Риск дорожно-транспортной аварийности – сложно построенная характеристика, идентифицированная как «Риск гибели в ДТП  $Risk_{RTA\ died}$ » объединяет две составляющие: «Риск участия в абстрактном ДТП  $P_{RTA}$ » и «Риск гибели в конкретном ДТП  $Cons_{RTA}$ ».

2. Сравнение расчетных данных о Риске гибели в ДТП  $Risk_{RTA\ died}$  для совокупностей данных (2015 / 2023) позволило установить, что в целом риски аварийности снижаются во всех крупных российских городах. Однако темпы этого снижения значительно варьируются (от 2 до 233 %).

3. Специфика рисков дорожно-транспортной аварийности в данном исследовании рассматривается с позиций диалектического противопоставления «Риска участия в абстрактном ДТП  $P_{RTA}$ » и «Риска гибели в конкретном ДТП  $Cons_{RTA}$ ». Установлено, что для группы однотипных (с позиций учета признака «Население») городов характерно определенное диалектическое противопоставление этих двух видов риска – с ростом одного признака риска другой признак показывает деградацию.

4. Тезис о диалектически дуальной сущности характеристик «Риск участия в абстрактном ДТП  $P_{RTA}$ » и «Риск гибели в конкретном ДТП  $Cons_{RTA}$ » доказывает вид экспериментальных зависимостей  $Cons_{RTA\ год} = f(P_{RTA\ год})$ , описываемых логарифмическими моделями.

5. Оценка пространственно-временной специфики рисков дорожно-транспортной аварийности показала, что пространственная форма зависимости постоянно изменяется, становясь то более компактной, то более растянутой на координатной плоскости. Оценка изменения характеристик *показателей 1 и 2*

во времени показывает, что эти показатели, характерные для конкретного города, варьируют во времени в определенном диапазоне значений, не изменяясь качественно.

6. Важным выводом по результатам исследований может быть замечание о необходимости использования в обеспечении БДД в различных городах в управленческой практике не однотипных, а принципиально различных подходов. В частности, для Махачкалы важными с позиции обеспечения БДД управленческими приемами должны стать те действия, которые резко снизят смертность в результате ДТП. Очевидно, это: улучшение скорости и качества оказания скорой медицинской помощи; снижение тяжести последствий ДТП, на которое должно оказать влияние совершенствование парка автомобилей. Для Тюмени же актуальны другие моменты. Главное, чем должны руководствоваться специалисты по обеспечению БДД в Тюмени – идея о необходимости снижения вероятности ДТП. А для этого необходимо, во-первых, совершенствовать инфраструктуру системы обеспечения БДД, схемы светофорного регулирования и т. п. Очевидно, это различие между необходимостью использования различных подходов к обеспечению БДД в разных городах формируется под воздействием социально-экономической, демографической, организационно-транспортной специфики, характерной для разных городов. Данный вывод подразумевает, что эта специфика должна учитываться при выборе методов управления БДД в разных городах России.

7. В плане развития рассматриваемой темы авторы планируют в дальнейшем рассмотреть влияние на значения рассматриваемых вероятностных параметров риска дорожно-транспортной аварийности физических параметров транспортной системы (средняя эксплуатационная скорость, уровень автомобилизации и т. д.).

### Литература

1. Блинкин М. Я., Решетова Е. М. Безопасность дорожного движения: история вопроса, международный опыт, базовые институции. – М.: Изд. дом ВШЭ, 2013. – 240 с.
2. Евтюков С. С., Голов Е. В. Выбор коэффициентов при определении затрат кинетической энергии на деформацию автомобиля // Вестник гражданских инженеров. – 2019. – № 1(72). – С. 152–157. – <https://doi.org/10.23968/1999-5571-2019-16-1-152-157>. – EDN: ZCIJUT.
3. Капский Д. В., Пегин П. А. Методика прогнозирования аварийности по методу конфликтных зон в конфликте «транзитный транспорт – пешеход» на основе моделей движения на регулируемом перекрестке // Наука и техника. – 2015. – № 5. – С. 46–52. – EDN: UMFMTV.
4. Капский Д. В., Пегин П. А., Рябчинский А. И. Прогнозирование аварийности по методу конфликтных зон на пешеходных переходах в зоне искусственных неровностей // Мир транспорта и технологических машин. – 2015. – № 1(48). – С. 111–118. – EDN: TNIJ JV.
5. Кравченко П. А., Олещенко Е. М. Системный подход в управлении безопасностью дорожного движения в Российской Федерации // Транспорт Российской Федерации. – 2018. – № 2 (75). – С. 14–18. – EDN: YXNLLN.
6. Петров А. И. Автотранспортная аварийность в различных странах мира как производная от трудовой занятости граждан // Научное обозрение. – 2015. – № 19. – С. 418–423. – EDN: VCUYJN.

7. Петров А. И. Автотранспортная аварийность как идентификатор качества жизни граждан // Экономические и социальные перемены: факты, тенденции, прогноз. – 2016. – № 3(45). – С. 154–172. – <https://doi.org/10.15838/esc.2016.3.45.9>. – EDN: WCOIP.
8. Петров А. И. К вопросу о простейшей классификации специфических особенностей дорожно-транспортной аварийности в крупнейших городах Российской Федерации (2021) // Транспорт: наука, техника, управление. Научный информационный сборник. – 2022. – № 12. – С. 43–48. – <https://doi.org/10.36535/0236-1914-2022-12-7>. – EDN: UVDYHP.
9. Goniewicz K., et al. (2015) Road accident rates: strategies and programmes for improving road traffic safety, *European Journal of Trauma and Emergency Surgery*, Vol. 42, № 4. Pp. 433–438. – <https://doi.org/10.1007/s00068-015-0544-6>. (In Eng.).
10. Huang H., Abdel-Aty M. A., Darwiche A. L. (2010) County-level crash risk analysis in Florida: Bayesian spatial modeling, *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, Vol. 2148, No. 2148, Pp. 27–37. – <https://doi.org/10.3141/2148-04>. (In Eng.).
11. Khanh Le, Liu Pei, Lin Liang-Tay (2019) Determining the road traffic accident hotspots using GIS-based temporal-spatial statistical analytic techniques in Hanoi, Vietnam, *Geo-spatial Information Science*, 23:2, Pp. 153–164. – <https://doi.org/10.1080/10095020.2019.1683437>. (In Eng.).
12. Kolesov V. I., Danilov O. F., Petrov A. I. (2017) Specific features of goal setting in road traffic safety, *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 2017, Vol. 90, p. 012059. – <https://doi.org/10.1088/1755-1315/90/1/012059>. (In Eng.).
13. Petrov A. I. (2022) Entropy Method of Road Safety Management: Case Study of the Russian Federation, *Entropy*, Vol. 24, Is. 2, № 177. – <https://doi.org/10.3390/e24020177>. – EDN: MUKKRZ. (In Eng.).
14. Wang C., Quddus M., Ison S. (2013) A spatio-temporal analysis of the impact of congestion on traffic safety on major roads in the UK. *Transportmetrica A: Transport Science*. Vol. 9, pp. 124–148. – <https://doi.org/10.1080/18128602.2010.538871>. (In Eng.).
15. Wang W., et al. (2019) Factors influencing traffic accident frequencies on urban roads: A spatial panel time-fixed effects error model, *PLoS ONE*, Vol. 14, No. 4, pp. e0214539. – <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0214539>. (In Eng.).

#### References

1. Blinkin, M. Ya., Reshetova, E. M. (2013) *Bezopasnost' dorozhnogo dvizheniya: istoriya voprosa, mezhdunarodnyj opyt, bazovye institucii* [Road safety: history of the issue, international experience, basic institutions]. Moscow: Publishing House of HSE, 240 p.
2. Evtyukov, S. S., Golov, E. V. (2019) [The choice of coefficients in determining the cost of kinetic energy for the deformation of the car]. *Vestnik grazhdanskih inzhenerov* [Bulletin of the civil inzhenerov]. Vol. 1(72), pp. 152–157. (In Russ.).
3. Kapskij, D. V., Pegin, P. A. (2015) [The methodology for predicting accidents using the method of conflict zones in the conflict «transit transport – pedestrian» based on traffic models at a regulated intersection]. *Nauka i tekhnika* [Science and technology]. Vol. 5, pp. 46–52. (In Russ.).
4. Kapskij, D. V., Pegin, P. A. (2015) [Forecasting of accidents by the method of conflict zones at pedestrian crossings in the zone of artificial irregularities]. *Mir transporta i tekhnologicheskikh mashin* [The world of transport and technological machines]. Vol. 1(48), pp. 111–118. (In Russ.).
5. Kravchenko, P. A., Oleshchenko, E. M. (2018) [A systematic approach to road safety management]. *Transport Rossijskoj Federacii* [Transport of the Russian Federation]. Vol. 2(75), pp. 14–18. (In Russ.).
6. Petrov, A. I. (2015) [Avtotransportnaya avarijnost' v razlichny'x stranax mira kak proizvodnaya ot trudovoj zanyatosti grazhdan] // Nauchnoe obozrenie. [Scientific Review]. Vol. 19, pp. 418–423. (In Russ.).
7. Petrov, A. I. (2016) [Motor transport accident as an identifier of the quality of life of citizens] *Ekonomicheskie i social'nye peremeny: fakty, tendencii, prognoz* [Economic and social change: facts, trends, forecast]. Vol. 3(45), pp. 154–172. (In Russ.).
8. Petrov, A. I. (2022) [On the question of the simplest classification of the specific features of road traffic accidents in the largest cities of the Russian Federation (2021)] *Transport: nauka, tekhnika, upravlenie. Nauchnyj informacionnyj sbornik*. [Transport: science, technology, management. Scientific information collection.]. Vol. 12, pp. 43–48. (In Russ.).
9. Goniewicz, K., et al. (2015) Road accident rates: strategies and programmes for improving road traffic safety,

*European Journal of Trauma and Emergency Surgery*, Vol. 42, No. 4. Pp. 433–438. – <https://doi.org/10.1007/s00068-015-0544-6>. (In Eng.).

10. Huang, H., Abdel-Aty, M. A., Darwiche, A. L. (2010) County-level crash risk analysis in Florida: Bayesian spatial modeling, *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, Vol. 2148, No. 2148, Pp. 27–37. – <https://doi.org/10.3141/2148-04>. (In Eng.).

11. Khanh, Le, Liu Pei, Lin Liang-Tay (2019) Determining the road traffic accident hotspots using GIS-based temporal-spatial statistical analytic techniques in Hanoi, Vietnam, *Geo-spatial Information Science*, 23:2, Pp. 153–164. – <https://doi.org/10.1080/10095020.2019.1683437>. (In Eng.).

12. Kolesov, V. I., Danilov O. F., Petrov A. I. (2017) Specific features of goal setting in road traffic safety, *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 2017, Vol. 90, p. 012059. – <https://doi.org/10.1088/1755-1315/90/1/012059>. (In Eng.).

13. Petrov, A. I. (2022) Entropy Method of Road Safety Management: Case Study of the Russian Federation, *Entropy*, Vol. 24. Is. 2, № 177. – <https://doi.org/10.3390/e24020177>. – EDN: MUKKRZ. (In Eng.).

14. Wang, C., Quddus, M., Ison, S. (2013) A spatio-temporal analysis of the impact of congestion on traffic safety on major roads in the UK. *Transportmetrica A: Transport Science*. Vol. 9, pp. 124–148. – <https://doi.org/10.1080/18128602.2010.538871>. (In Eng.).

15. Wang, W., et al. (2019) Factors influencing traffic accident frequencies on urban roads: A spatial panel time-fixed effects error model, *PLoS ONE*, Vol. 14, No. 4, pp. e0214539. – <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0214539>. (In Eng.).

#### **Информация об авторах:**

**Артур Игоревич Петров**, кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры эксплуатации автомобильного транспорта, Тюменский индустриальный университет, Тюмень, Россия

**ORCID iD:** 0000-0003-2634-0567, **Web of Science Researcher ID:** AAD-1846-2020, **Scopus Author ID:** 57191265004

e-mail: ArtIgPetrov@yandex.ru

**Евгения Владимировна Лихайрова**, аспирант, научная специальность 2.9.5 Эксплуатация автомобильного транспорта, Тюменский индустриальный университет, Тюмень, Россия

**ORCID iD:** 0009-0007-8043-0295, **Scopus Author ID:** 59247083100

e-mail: lihajrovaev@tyuiu.ru

#### **Вклад соавторов:**

**Петров А. И.** – постановка цели и задач исследования, обзор литературных источников, разработка методики проведения исследования, анализ и обсуждение результатов, формулировка выводов.

**Лихайрова Е. В.** – обзор литературных источников, сбор данных, проведение вычислительных работ, анализ и обсуждение результатов, формулировка выводов.

Статья поступила в редакцию: 26.04.2024; принята в печать: 03.09.2024.

Авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

#### **Information about the authors:**

**Artur Igorevich Petrov**, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Exploitation of automobile transport, Industrial University of Tyumen, Tyumen, Russia

**ORCID iD:** 0000-0003-2634-0567, **Web of Science Researcher ID:** AAD-1846-2020, **Scopus Author ID:** 57191265004

e-mail: ArtIgPetrov@yandex.ru

**Evgenia Vladimirovna Likhayrova**, postgraduate student, scientific specialty 2.9.5 Operation of road transport, Industrial University of Tyumen, Tyumen, Russia

**ORCID iD:** 0009-0007-8043-0295, **Scopus Author ID:** 59247083100

e-mail: lihajrovaev@tyuiu.ru

**Contribution of the authors:**

**Petrov A. I.** – statement of the purpose and objectives of the study, review of literary sources, development of research methodology, analysis and discussion of the results, formulation of conclusions.

**Likhayrova E. V.** – review of literary sources, data collection, computational work, analysis and discussion of results, formulation of conclusions.

The paper was submitted: 26.04.2024.

Accepted for publication: 03.09.2024.

The authors have read and approved the final manuscript.