

УДК 656.1

© А. А. Абросимова, канд. техн. наук, доцент  
© А. Е. Пушкарев, д-р техн. наук, профессор  
© Т. В. Виноградова, канд. техн. наук, доцент  
© Т. О. Жуковская, аспирант  
(Санкт-Петербургский государственный  
архитектурно-строительный университет,  
Санкт-Петербург, Россия)  
E-mail: anzhelicka.abrosimova@yandex.ru,  
pushkarev-agn@mail.ru, tvin-205@yandex.ru,  
zhukovskayato@mail.ru

DOI 10.23968/1999-5571-2024-21-3-105-110

© A. A. Abrosimova, PhD in Sci. Tech., Associate Professor  
© A. E. Pushkarev, Dr. Sci. Tech., Professor  
© T. V. Vinogradova, PhD in Sci. Tech., Associate Professor  
© T. O. Zhukovskaya, post-graduate student  
(Saint Petersburg State University  
of Architecture and Civil Engineering,  
St. Petersburg, Russia)  
E-mail: anzhelicka.abrosimova@yandex.ru,  
pushkarev-agn@mail.ru, tvin-205@yandex.ru,  
zhukovskayato@mail.ru

## ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ ПРИРОДНО-КЛИМАТИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ НА ВЕРОЯТНОСТЬ ДОРОЖНО-ТРАНСПОРТНЫХ ПРОИСШЕСТВИЙ В МЕЖСЕЗОНЬЕ\*

### ASSESSMENT OF THE INFLUENCE OF NATURAL AND CLIMATIC FACTORS ON THE PROBABILITY OF ROAD ACCIDENTS IN THE OFF-SEASON

Исследована статистика дорожно-транспортных происшествий (ДТП) по фактору «идет снег» методами теории вероятностей и математической статистики. Установлено наличие корреляционной связи между вероятностью возникновения ДТП и температурой воздуха по фактору «идет снег», которая описывается полиномом третьей степени. Этот результат хорошо согласуется с выводами других авторов. Полученные прогнозные модели дают возможность вовремя предпринимать организационные, технические, информационные меры для обеспечения безопасности дорожного движения.

*Ключевые слова:* природно-климатические факторы, вероятность возникновения ДТП, нелинейное влияние осадков на аварийность, статистические и корреляционные зависимости.

The statistics of road traffic accidents (RTA) by the factor «it is snowing» is studied by the methods of probability theory and mathematical statistics. It has been found out that there is a correlation between the probability of road accidents and air temperature on the factor «it is snowing», which is described by a polynomial of the third degree. This result agrees well with the conclusions made by other authors. The obtained forecasting models make it possible to take organizational, technical and informational measures in time to ensure road safety.

*Keywords:* natural-climatic factors, probability of road traffic accidents, non-linear effect of precipitation on accident rates, statistical and correlation dependencies.

#### Введение

Причиной любого ДТП является случайный набор неблагоприятных факторов

\* Статья публикуется по результатам научно-исследовательской работы в рамках конкурса грантов на выполнение научно-исследовательских работ научно-педагогическими работниками СПбГАСУ (ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет») в 2024 г.

и стечений обстоятельств, что затрудняет выявление действительных причин при их анализе. В настоящее время рассмотрение проблемы обеспечения безопасности дорожного движения строится внутри системы «водитель–автомобиль–дорога–среда» (ВАДС), каждой из подсистем которой

соответствует свой набор факторов. При этом факторы подсистемы «внешняя среда» являются непрогнозируемыми, неуправляемыми и нерегламентированными, чем и объясняется меньшее внимание к ним научного сообщества [1, 2]. Однако эти факторы являются иницирующими, сопутствующими возникновению ДТП, а значит, они должны быть учтены при анализе причин и вероятности дорожно-транспортных происшествий.

По официальной статистике ГИБДД РФ в 2023 г. в Российской Федерации произошло 132 466 дорожно-транспортных происшествий (ДТП), что на 4,5 % больше, чем в 2022 г. Поэтому особую значимость приобретает прогнозирование аварийности, а выявление взаимосвязей между факторами «внешней среды» и вероятностью ДТП является важной составляющей, позволяющей принимать эффективные решения, вовремя организовывать необходимые организационные, технические, информационные и другие мероприятия [3, 4].

На поведение водителя, функционирование транспортного средства, а также на состояние дорожного покрытия влияет погода как природно-климатический фактор подсистемы «среда» системы ВАДС, проявляет провоцирующий, способствующий повышению вероятности ДТП характер, то есть является сопутствующим фактором в системе [5].

Цель данного исследования — установление взаимосвязей аварийности и природно-климатических факторов и построение на их основе прогнозных моделей для оценки сложности дорожной обстановки.

Ранее нами была подтверждена гипотеза о том, что в переходные периоды осень–зима и зима–весна локальные всплески количества ДТП попадают на так называемый «критический» месяц (индивидуальный для каждой климатической зоны РФ), характеризующийся скачками температуры воздуха в диа-

пазоне  $0 \pm 4$  °С и обильными осадками. Однако эти данные являются лишь начальным этапом комплексного исследования и носят качественный характер [6].

Определению влияния факторов внешней среды на аварийность посвящены исследования различных научных школ [7]. При этом тесную связь между ДТП и сопутствующими природно-климатическими факторами по своим методикам определили все авторы, чьи результаты представлены ниже.

В работах В. В. Биндиной [8], М. Е. Елисеевой, Л. Н. Мазуновой, И. Н. Елисеевой [9], А. В. Ширяевой [7], К. А. Борзых, Ю. Ю. Пономарева [10], Е. В. Печатновой, К. Э. Сафронова [11] и др. показано следующее:

- влияние снега, дождя, ветра, тумана и солнечной погоды на аварийность с использованием непараметрического критерия  $\chi^2$  Пирсона;
- повышение вероятности ДТП при комплексном воздействии факторов, таких как температура воздуха, атмосферное давление, относительная влажность, скорость ветра;
- повышение аварийности на 5–15 % при увеличении толщины выпавшего снега [9];
- согласованность оценок пуассоновской модели и модели бинарного выбора, в которых при гололедице и мокром дорожном покрытии вероятность ДТП увеличивается на 25–35 % и 55–105 % и на 22–29 % и 35–50 % соответственно;
- наличие не прямой пропорциональности влияния количества осадков на аварийность, описанного полиномом 3-го порядка для оценки текущего риска ДТП.

Однако в представленных результатах применительно к переходным периодам не выявлено влияние конкретного вида осадков в виде снега, который является одним из ключевых факторов обострения дорожной ситуации в указанные периоды.

#### Методы

Для анализа использовалась информация из карточек учёта ДТП с официального сай-

та ГИБДД за 2014–2023 гг. по городу Санкт-Петербургу. Всего исследовано 15 844 карточки учета ДТП.

Данное исследование направлено на выявление закономерностей, определяющих влияние природно-климатических факторов на аварийность на основе сбора и обработки статистических данных по ДТП в конкретных погодных условиях для Санкт-Петербурга за последние 10 лет (с 2014 г. по 2023 г.) для построения прогнозных моделей и принятия организационно-технических решений, что является важной научно-технической задачей. При этом реализуются два блока работ:

- теоретические исследования статистики количества ДТП в сопоставлении с динамикой изменения климатических факторов по месяцам за последние 10 лет на примере Санкт-Петербурга;

- получение эмпирических зависимостей с использованием методов теории вероятности и математической статистики, отражающих влияние температуры воздуха по фактору «идет снег» на аварийность.

В предыдущих исследованиях [6] были выбраны «критические месяцы» для Санкт-Петербурга, характеризующиеся такими неблагоприятными природными условиями, как обильные осадки, гололедица, переходы температуры воздуха через 0 °С и т. д. Поэтому в данном исследовании использована статистика переходного периода «осень–зима» за ноябрь и декабрь, а «зима–весна» — за февраль–март. Далее из карточек ДТП по Санкт-Петербургу с 2014 г. по 2023 г. была собрана информация о количестве ДТП, произошедших с 1 ноября по 31 декабря и с 1 февраля по 31 марта за все 10 лет<sup>1</sup>. В качестве природно-климатического фактора были выбраны осадки в виде снега, являющиеся неуправляемым, но сопутствующим факто-

ром в ДТП. На официальном сайте Гидрометцентра России были собраны данные по погоде в период с 2014 г. по 2023 г. для Санкт-Петербурга: осадки и температура воздуха<sup>2</sup>. При наложении данных по ДТП и информации по погоде в каждый из дней месяца были отобраны те дни, когда шел снег. Согласно данным о погоде, в период «ноябрь–декабрь» и «февраль–март» температура воздуха  $T$  попадает в диапазон от –10 °С до 10 °С, поэтому исследование проводилось в рамках этого диапазона температур. Далее для двух переходных периодов за каждый год (с 2014 г. по 2023 г.) были вычислены вероятности возникновения ДТП  $P$  по фактору «идет снег». Вычисление среднеквадратического отклонения позволило свести всю статистику за 10 лет в единую зависимость (для двух периодов по отдельности) (рис. 1, 2).

Результат исследования позволяет уточнить ранее выдвинутую и получившую подтверждение на примере Санкт-Петербурга гипотезу о наличии «критических» температур в переходные периоды межсезонья (ноябрь–декабрь — от –5,95 °С до –1,21 °С и февраль–март — от –7,77 °С до –2,26 °С) [5], когда наблюдаются локальные всплески аварийности.

Из графиков видно, что корреляционная связь между вероятностью возникновения ДТП  $P$  и температурой воздуха  $T$  по фактору «идет снег» действительно есть. В обоих случаях функция описывается полиномами 3 степени с 2 экстремумами с высоким уровнем корреляции ( $R^2 = 0,81$ ,  $R^2 = 0,82$ ):

$$P = -0,0006T^3 - 0,0071T^2 - 0,0023T + 0,1424, \quad (1)$$

$$P = -0,0004T^3 - 0,0061T^2 - 0,005T + 0,1316. \quad (2)$$

В период «ноябрь–декабрь» (см. рис. 1) функция достигает экстремумов в точках, соответствующих температурам воздуха –7,7 °С и –0,2 °С. В точке –7,7 °С наблюдается минимальная вероятность возникновения ДТП по фактору «идет снег» с последующим

<sup>1</sup> Сведения о показателях состояния безопасности дорожного движения: официальный сайт. URL: <http://stat.gibdd.ru/> (дата обращения: 10.03.2024).

<sup>2</sup> Гидрометцентр России: официальный сайт. URL: <https://meteoinfo.ru/> (дата обращения: 10.03.2024).

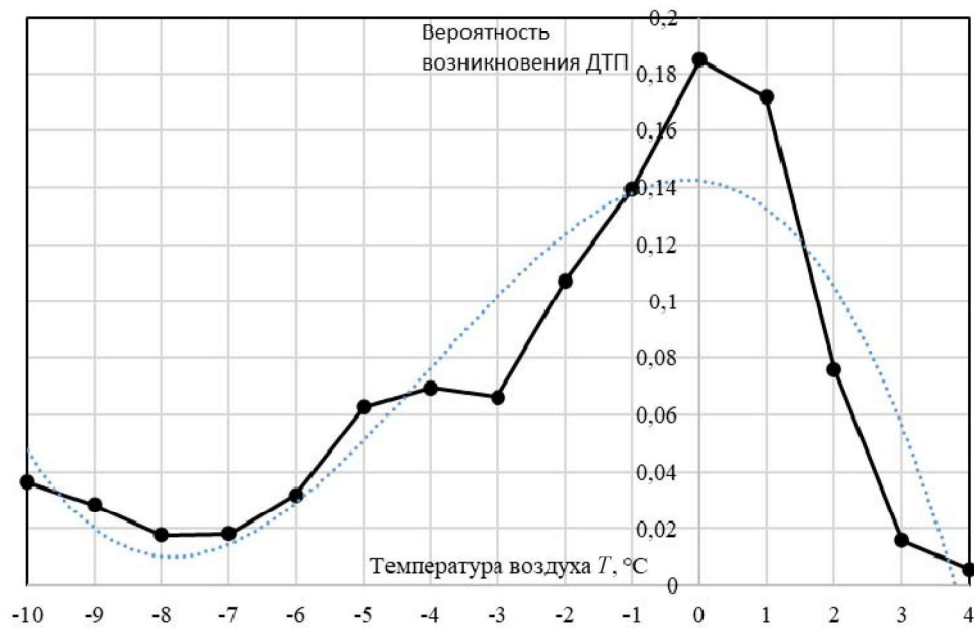


Рис. 1. Зависимость вероятности ДТП  $P$  от температуры воздуха  $T$  по фактору «идет снег» за ноябрь–декабрь 2014–2023 гг.

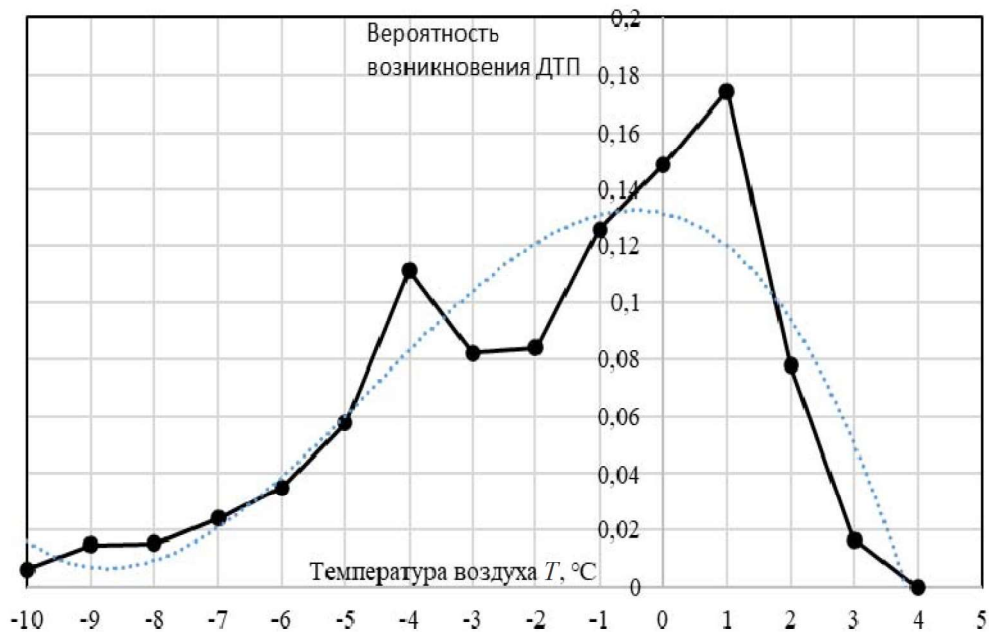


Рис. 2. Зависимость вероятности ДТП  $P$  от температуры воздуха  $T$  по фактору «идет снег» за февраль–март 2014–2023 гг.

ростом. На наш взгляд, температуру  $-7,7$  °C можно считать началом критического периода. На интервале от  $-7,7$  °C до  $-0,2$  °C наблюдается рост вероятности ДТП с максимумом в точке  $-0,2$  °C с последующим падением ве-

роятности ДТП по фактору «идет снег» до 0 в точке  $3,7$  °C, которую можно считать концом «критического» периода.

Аналогично в период «февраль–март» (см. рис. 2) функция достигает экстремумов

в точках, соответствующих температурам воздуха  $-9\text{ }^{\circ}\text{C}$  и  $-0,5\text{ }^{\circ}\text{C}$ . В точке  $-9\text{ }^{\circ}\text{C}$  наблюдается минимальная вероятность возникновения ДТП по фактору «идет снег» с последующим ростом. Принимаем температуру  $-9\text{ }^{\circ}\text{C}$  моментом начала критического периода. На интервале от  $-9\text{ }^{\circ}\text{C}$  до  $-0,5\text{ }^{\circ}\text{C}$  наблюдается рост вероятности ДТП с максимумом в точке  $-0,5\text{ }^{\circ}\text{C}$  с последующим падением вероятности ДТП по фактору «идет снег» до 0 в точке  $3,8\text{ }^{\circ}\text{C}$ , которую считаем концом «критического» периода.

### Обсуждение

Наличие корреляционной связи между вероятностью возникновения ДТП и температурой воздуха по фактору «идет снег», которая описывается полиномом третьей степени, подтверждает нелинейное влияние климатического фактора «идет снег» на аварийность.

Развитие модели будет включать в себя увеличение объема статистических данных и изучение влияния на аварийность других видов осадков, времени суток и дней недели.

Полученные эмпирические прогнозные модели дают возможность вовремя предпринимать организационные, технические, информационные меры для обеспечения безопасности дорожного движения.

### Выводы

1. В ходе проведенных исследований были получены прогнозные модели изменения вероятности ДТП в переходные периоды от температуры воздуха по фактору «идет снег».

2. Наличие взаимосвязи между количеством ДТП в переходные периоды и природно-климатическим фактором «идет снег», построение прогнозных моделей делают возможным определение вероятности дорожно-транспортных происшествий и принятие обоснованного решения о проведении необходимых мероприятий, направленных на обеспечение безопасных параметров дорожного покрытия и тем самым создание условий для снижения количества ДТП.

### Библиографический список

1. *Евтюков С. С.* Методология оценки и повышения эффективности дорожно-транспортных экспертиз.: автореф. дис. ... д-ра техн. наук: 05.22.10. СПб., 2020. 47 с.
2. *Евтюков С. А., Евтюков С. С., Васильев Я. В.* Прогнозирование изменения технико-эксплуатационных показателей подсистемы автомобильных дорог в системе ВАДС: монография. СПб.: Петрополис, 2017. 232 с.
3. *Евтюков С. А., Евтюков С. С., Васильев Я. В.* Методы измерения и прогнозирования изменения температуры во времени и по глубине дорожной одежды (при оценке уровня безопасности дорожного движения): монография. СПб.: Петрополис, 2017. 208 с.
4. *Леонович И. И., Нестерович И. В.* Автоматизированная система управления зимним содержанием автомобильных дорог // Наука и техника. 2008. № 5. С. 51–58.
5. *Куракина Е. В.* Методология оценки и повышения эффективности дорожно-транспортных экспертиз: автореф. дис. ... д-ра техн. наук: 05.22.10. СПб., 2022. 42 с.
6. *Абросимова А. А., Пушкарев А. Е., Виноградова Т. В., Дружинин П. В.* Анализ роли климатических факторов в системе «водитель–автомобиль–дорога–среда» // Грузовик. 2024. № 3. С. 32–37. DOI 10.36652/1684-1298-2024-3-32-37.
7. *Ширяева А. В.* Метеорологические условия функционирования автотранспорта на территории Москвы и Московской области // Известия РАН. Серия географическая. 2016. № 6. С. 94–101.
8. *Биндина В. В.* Влияние неблагоприятных метеоявлений на риск возникновения транспортных происшествий // Молодой учёный. 2020. № 3 (293). С. 30–32.
9. *Елисеев М. Е., Мазунова Л. Н., Елисеева И. Н.* Статистический и корреляционный анализ погодных факторов в интерактивной информационной системе повышения безопасности дорожного движения // Труды НГТУ им. Р. Е. Алексеева. 2020. № 2 (129). С. 28–40.
10. *Борзых К. А., Пономарев Ю. Ю.* Анализ основных детерминант количества ДТП и смертности на дорогах в России // Экономическое развитие России. 2022. Т. 29, № 12. С. 63–73.
11. *Печатнова Е. В., Сафронов К. Э.* Оценка влияния количества осадков на аварийность на дорогах вне населенных пунктов // Вестник СибАДИ. 2020. № 17 (4). С. 512–522.

### References

1. Evtukov S. S. *Metodologiya otsenki i povysheniya effektivnosti dorozhno-transportnykh ekspertiz. Avtoref.*

*diss. dokt. tekhn. nauk* [Methodology of an estimation and increase of efficiency of road-transport expertise. Author's thesis of Dr. Sci. Tech. diss.]. St. Petersburg, 2020, 47 p.

2. Evtyukov S. A., Evtyukov S. S., Vasilev Ya. V. *Prognozirovaniye izmeneniya tekhniko-ekspluatatsionnykh pokazateley podsystemy avtomobil'nykh dorog v sisteme VADS* [Predicting changes in technical and operational indicators of the motorway subsystem in the VADS system]. St. Petersburg, Petropolis Publ., 2017, 232 p.

3. Evtyukov S. A., Evtyukov S. S., Vasilev Ya. V. *Metody izmereniya i prognozirovaniya izmeneniya temperatury vo vremeni i po glubine dorozhnoy odezhdyy (pri otsenke urovnya bezopasnosti dorozhnogo dvizheniya)* [Methods of measurement and forecasting of temperature change in time and by depth of road pavement (at estimation of road traffic safety level)]. St. Petersburg, Petropolis Publ., 2017, 208 p.

4. Leonovich I. I., Nesterovich I. V. *Avtomatizirovannaya sistema upravleniya zimnim sodержaniem avtomobil'nykh dorog* [Automated control system for winter maintenance of motorways]. *Nauka i tekhnika – Science and Engineering*, 2008, no. 5, pp. 51–58.

5. Kurakina E. V. *Metodologiya otsenki i povysheniya effektivnosti dorozhno-transportnykh ekspertiz: Avtoref. diss. dokt. tekhn. nauk* [Methodology for assessing and improving the effectiveness of road traffic examinations. Author's thesis of Dr. Sci. Tech. diss.]. St. Petersburg, 2022, 42 p.

6. Abrosimova A. A., Pushkarev A. E., Vinogradova T. V., Druzhinin P. V. *Analiz roli klimaticheskikh faktorov v sisteme «voditel'-avtomobil'-doroga-sreda»* [Analysis of the role of climatic factors in the “driver-automobile-road-

environment” system]. *Gruzovik – Truck*, 2024, no. 3, pp. 32–37. DOI 10.36652/1684-1298-2024-3-32-37.

7. Shiryaeva A. V. *Meteorologicheskie usloviya funktsionirovaniya avtotransporta na territorii Moskvy i Moskovskoy oblasti* [Meteorological conditions of motor transport functioning on the territory of Moscow and Moscow region]. *Izvestiya RAN. Seriya geograficheskaya – Proceedings of the Russian Academy of Sciences. Geographical Series*, 2016, no. 6, pp. 94–101.

8. Bindina V. V. *Vliyaniye neblagopriyatnykh meteoyavleniy na risk vozniknoveniya transportnykh proissheshtviy* [Influence of unfavourable meteorological events on the risk of transport accidents]. *Molodoy uchyonyiy – Young Scientist*, 2020, no. 3 (293), pp. 30–32.

9. Eliseev M. E., Mazunova L. N., Eliseeva I. N. *Statisticheskiy i korrelyatsionniy analiz pogodnykh faktorov v interaktivnoy informatsionnoy sisteme povysheniya bezopasnosti dorozhnogo dvizheniya* [Statistical and correlation analysis of weather factors in an interactive information system for improving road traffic safety]. *Trudy NGTU im. R.E. Alekseeva – Proceedings of R. E. Alekseev NSTU*, 2020, no. 2 (129), pp. 28–40.

10. Borzykh K. A., Ponomarev Yu. Yu. *Analiz osnovnykh determinant kolichestva DTP i smertnosti na dorogakh v Rossii* [Evaluation of the main determinants of the number of road accidents and mortality on the roads in Russia]. *Ekonomicheskoe razvitiye Rossii – Economic Development of Russia*, 2022, vol. 29, no. 12, pp. 63–73.

11. Pechatnova E. V., Safronov K. E. *Otsenka vliyaniya kolichestva osadkov na avariynost' na dorogakh vne naseleennykh punktov* []. *Vestnik SibADI – Bulletin of SibADI*, 2020, no. 17 (4), pp. 512–522.