

Научная статья
УДК 656.1.08
DOI: <https://doi.org/10.26518/2071-7296-2026-23-3-474-483>
EDN: XZCIJD



МЕТОД ТЕМПЕРАТУРНОГО РАНЖИРОВАНИЯ ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННЫХ КЛАСТЕРОВ ДТП ДЛЯ ПРИОРИТЕЗАЦИИ ГОРОДСКИХ ОЧАГОВ АВАРИЙНОСТИ

Н.А. Никитин¹ ✉, П.И. Роговой², И.В. Данилов², И.В. Абросимов³

¹Балтийский федеральный университет имени Иммануила Канта,
г. Калининград, Россия

²ООО «Мобилитика»,
г. Калининград, Россия

³Колледж НОЧУ ВО «Московский финансово-промышленный университет «Синергия»,
г. Москва, Россия

✉ ответственный автор
ninikitin@kantiana.ru

АННОТАЦИЯ

Введение. Актуальность исследования обусловлена необходимостью перехода от кумулятивного учёта дорожно-транспортных происшествий (ДТП) к динамическим методам оценки, позволяющим выделять точки с наиболее актуальным риском для целевого распределения ресурсов. Целью работы является создание и апробация метода температурного ранжирования для интеллектуального выявления и ранжирования локальных очагов аварийности.

Материалы и методы. В основе метода лежит расчёт интегрального показателя «температуры» для точки дорожной сети как суммы взвешенных вкладов всех ДТП, произошедших в её окрестности, с экспоненциальным затуханием вклада по времени. Используемые подходы включают пространственно-временную кластеризацию, параметрическое взвешивание видов ДТП по критериям частоты и управляемости и математическое моделирование с параметром памяти (τ). Методологический аппарат реализован в виде программного модуля на PHP, интегрируемого в системы анализа данных.

Результаты. 1. Формализован алгоритм, количественно дифференцирующий риск в точках с одинаковым числом ДТП, но разной структурой и свежестью событий. 2. Предложена и обоснована трёхуровневая система весов видов ДТП. 3. На реальных данных трёх перекрёстков г. Калининграда (2022–2024 гг.) проведена сравнительная апробация, показавшая корректное ранжирование локаций по уровню актуального риска.

Обсуждение и заключение. Научная новизна заключается в синтезе пространственной близости, временной релевантности и типологической значимости событий в едином адаптируемом показателе. Практическая значимость метода состоит в предоставлении органам управления дорожным хозяйством и ГАИ инструмента для обоснованного формирования планов по снижению аварийности на улично-дорожных сетях.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: дорожно-транспортные происшествия, пространственно-временной анализ, кластеризация, температурная модель, показатель риска, ранжирование, безопасность дорожного движения, управление инфраструктурой

БЛАГОДАРНОСТИ: авторы выражают благодарность коллективу проекта «Мобилитика» за предоставление данных для анализа.

Статья поступила в редакцию 17.03.2026; одобрена после рецензирования 13.04.2026; принята к публикации 15.06.2026.

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

Прозрачность финансовой деятельности: авторы не имеют финансовой заинтересованности в представленных материалах и методах. Конфликт интересов отсутствует.

© Никитин Н.А., Роговой П.И., Данилов И.В., Абросимов И.В., 2026



Контент доступен под лицензией
Creative Commons Attribution 4.0 License.

Для цитирования: Никитин Н.А., Роговой П.И., Данилов И.В., Абросимов И.В. Метод температурного ранжирования пространственно-временных кластеров ДТП для приоритизации городских очагов аварийности // Вестник СиБАДИ. 2026. Т. 23, № 3. С. 474-483. <https://doi.org/10.26518/2071-7296-2026-23-3-474-483>

Original article

DOI: <https://doi.org/10.26518/2071-7296-2026-23-3-474-483>

EDN: XZCIJD

TEMPERATURE RANKING METHOD FOR SPATIO-TEMPORAL ROAD ACCIDENT CLUSTERS TO PRIORITIZE URBAN BLACK SPOTS

Nikolai A. Nikitin¹ ✉, Pavel I. Rogovoy², Ilya V. Abrosimov³, Ilya V. Danilov²

¹Immanuel Kant Baltic Federal University,
Kaliningrad, Russia

²Mobilitika LLC,
Kaliningrad, Russia

³Moscow Financial and Industrial University Synergy College,
Kaliningrad, Russia

✉ corresponding author
ninikitin@kantiana.ru

ABSTRACT

Introduction. The relevance of the study is due to the need to shift from the cumulative road traffic accidents (RTAs) tracking to dynamic assessment methods that can identify points with the highest risk for targeted resource allocation. The aim of the work is to develop and test a temperature ranking method for the intelligent identification and ranking of local accident clusters.

Materials and Methods. The research is based on calculating an integral temperature indicator for a road network location as the weighted sum of all RTAs in its vicinity, with an exponential decay of the contribution over time. The approaches used include spatio-temporal clustering, parametric weighting of RTA types based on frequency and controllability criteria, and mathematical modeling with a memory parameter (τ). The methodological apparatus is implemented as a PHP software module integrated into data analysis systems.

Results. The research findings include: 1) an algorithm is formalized which quantitatively differentiates the risk at locations with the same number of RTAs but different event structures and recency; 2) a three-level system of weights for RTA types is proposed and justified; 3) a comparative pilot test on real data from three intersections in Kaliningrad (2022-2024) is carried out showing correct ranking of locations by current risk level.

Discussion and Conclusions. The scientific novelty lies in integrating spatial proximity, temporal relevance, and typological significance of events into a single adaptable indicator. The practical value of the method is related to providing road management authorities and traffic police with a tool for well-founded planning accident reduction on road networks.

KEYWORDS: road traffic accidents, spatio-temporal analysis, clustering, temperature model, risk indicator, ranking, road safety, infrastructure management

ACKNOWLEDGEMENTS. The authors thank the team of Mobilitika project for providing data.

The article was submitted: March 17, 2026; approved after reviewing: April 13, 2026; accepted for publication: June 15, 2026.

All authors have read and approved the final manuscript.

Financial transparency: the authors have no financial interest in the presented materials or methods. There is no conflict of interest.

For citation: Nikitin N.A., Rogovoy P.I., Abrosimov I.V., Danilov I.V. Temperature ranking method for spatio-temporal road accident clusters to prioritize urban black spots. *The Russian Automobile and Highway Industry Journal*. 2026; 23 (3): 474-483. <https://doi.org/10.26518/2071-7296-2026-23-3-474-483>

© Nikitin Nikolai A., Rogovoy Pavel I., Abrosimov Ilya V., Danilov Ilya V., 2026



Content is available under the license
Creative Commons Attribution 4.0 License.

ВВЕДЕНИЕ

Повышение безопасности дорожного движения остаётся одной из ключевых задач устойчивого развития городов. Традиционные методы анализа аварийности, основанные на статистике ДТП за длительный период по административным районам или магистралям, имеют определённый недостаток: они не позволяют дифференцировать историческую концентрацию событий от текущей, актуальной опасности конкретного места [1, 2, 3, 4]. В результате ресурсы на улучшение инфраструктуры могут распределяться неэффективно – на участки, где пик аварийности уже прошёл, в ущерб точкам, где риск является максимальным «здесь и сейчас» [5].

Существующие подходы к выявлению очагов аварийности, такие как анализ плотности (Kernel Density Estimation), методы сеточного учёта или пространственно-временной кластеризации (например, ST-DBSCAN), решают задачу локализации скоплений событий, но, как правило, не предоставляют непрерывной количественной меры для их сравнительного ранжирования с учётом временной динамики [6, 7, 8]. Возникает потребность в методе, который не просто констатирует наличие кластера, но и оценивает его «температуру» – комплексный показатель, отражающий интенсивность, «свежесть» и качественный состав происшествий.

Целью данного исследования является разработка и практическая апробация метода температурного ранжирования пространственно-временных кластеров ДТП. Метод призван стать инструментом для интеллектуальной приоритизации городских очагов аварийности путём расчёта для каждого потенциально опасного места интегрального показателя, синтезирующего пространственную близость, временную релевантность и типологическую значимость происшедших ДТП.

Обзор литературы

Проблема анализа и ранжирования очагов аварийности широко освещена в научной литературе. Рассматриваемые работы [9, 10, 11, 12, 13] посвящены методам пространственной кластеризации и анализа «горячих точек» (hot spots). Однако эти методы часто ограничиваются двумерным пространственным анализом, слабо интегрируя временную компоненту [14].

Подходы, учитывающие время, такие как пространственно-временная кластеризация, (ST-DBSCAN) [15] и методы пространствен-

но-временной оценки плотности (STKDE) [16, 17], позволяют выявлять кластеры в определённом временном окне, но их результат часто носит бинарный характер (кластер/не кластер) и зависит от субъективного выбора ширины окна, что затрудняет сравнительное ранжирование множества мест [18].

Концепция «затухания» значимости события со временем, аналогичная используемой в финансовых и социальных моделях (например, экспоненциальное сглаживание), применяется в анализе аварийности фрагментарно, в основном для прогнозирования [19, 20, 21]. Работы, синтезирующие пространственную близость, экспоненциальное временное затухание и взвешивание по типу события в едином показателе для целей оперативного ранжирования, в доступных авторам источниках не обнаружены, что подтверждает научную новизну предлагаемого подхода.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Метод температурного ранжирования реализуется в виде алгоритма, состоящего из последовательных шагов. Его ядром является расчёт показателя температуры $T(y_0)$ для заданной точки дорожной сети на определённый момент времени (год y_0).

1. Пространственно-временная фильтрация. Для целевой точки с координатами (x_0, y_0) формируется исходный кластер C_0 , включающий все ДТП из базы данных, произошедшие в радиусе R (в данном исследовании $R=50$ м). Затем применяется временной фильтр, исключающий из рассмотрения события, произошедшие позднее анализируемого года y_0 (будущие события) и ранее установленной нижней границы периода $y_{\min}$ (в данном исследовании $y_{\min}=2022$). Формально в расчёт попадают события, для которых выполняется условие: $y_{\min} \leq y_i \leq y_0$.

2. Система весов типов ДТП. Каждому i -му ДТП в кластере присваивается вес $w_{type(i)}$ на основе его типа. Система весов разработана эвристически с учётом двух критериев: частоты типа в общем массиве данных и его управляемости (таблица 1). Схожие подходы к формированию интегрального индекса тяжести для ранжирования очагов (Crash Severity Index) рассматриваются в аналогичных исследованиях аварийности [22]. Управляемость понимается как степень, в которой на частоту данного типа ДТП можно повлиять мерами по изменению инфраструктуры или организации движения.

Таблица 1

Система весовых коэффициентов для видов ДТП

Источник: составлено авторами.

Table 1

System of weighting factors for road accident types

Source: compiled by the authors.

Вес (w)	Категория	Критерий назначения	Виды ДТП ¹
1,0	Высокий вес	Высокая частота и/или высокая управляемость. Прямые индикаторы системных проблем места	1 – Столкновение. 5 – Наезд на пешехода. 6 – Наезд на велосипедиста. 91 – Съезд с дороги. б/н – Наезд на лицо, использующее для передвижения СИМ (новый вид ДТП в официальной статистике ГАИ)
0,5	Средний вес	Средняя частота или ограниченная управляемость. Связь с постоянным дефектом места менее очевидна	2 – Опрокидывание. 3 – Наезд на стоящее ТС. 4 – Наезд на препятствие. 8 – Падение пассажира
0,2	Низкий вес	Низкая частота и/или низкая управляемость. Высокая концентрация в точке – редкое исключение	0 – Наезд на животное. 7 – Наезд на гужевой транспорт. 9 – Иной вид ДТП. 92 – Наезд на внезапно возникшее препятствие. 93 – Падение груза. 94 – Отбрасывание предмета. 95-97 – Наезд на лицо, не являющееся участником дорожного движения. б/н – Возгорание вследствие технической неисправности движущегося или остановившегося ТС, участвующего в дорожном движении (новый вид ДТП в официальной статистике ГАИ)

3. Расчёт вклада события и итоговой температуры. Вклад каждого *i*-го ДТП в температуру точки зависит от его веса и времени, прошедшего с момента его возникновения, и вычисляется по формуле экспоненциального затухания

$$\text{вклад}_i = w_{type(i)} \cdot \exp\left(-\frac{\Delta y_i}{\tau}\right),$$

где $\Delta y_i = y_0 - y_i$ – разница в годах между анализируемым годом и годом *i*-го ДТП;

τ – параметр временной памяти системы, определяющий скорость «забывания» старых событий (в данной работе $\tau=1,45$).

Итоговая температура точки рассчитывается как сумма вкладов всех *n* ДТП в отфильтрованном кластере:

$$T(y_0) = \sum_{i=1}^n \text{вклад}_i.$$

Чем выше значение $T(y_0)$, тем «горячее» будет считаться точка, то есть будет выше актуальный риск возникновения нового ДТП.

4. Программная реализация. Алгоритм реализован в виде объектно-ориентированного модуля на языке PHP. Класс Temperature наследует базовый класс StatManager, отвечающий за фильтрацию данных, и содержит метод compute(), выполняющий расчёт по приведённой формуле. Система весов типов загружается из связанной таблицы базы данных, что обеспечивает гибкость настройки.

¹ ОДМ 218.6.015–2015 «Рекомендации по учету и анализу дорожно-транспортных происшествий на автомобильных дорогах Российской Федерации»: дата введения 18-05-2015 / ФГБУ «РОСДОРНИИ» Изд. официальное. М.: Федеральное дорожное агентство. 2015. 81 с.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Для апробации метода были выбраны три локации (кластера) на улично-дорожной сети в г. Калининграде, на которых за 2022–2024 гг. имеются сведения о ДТП (таблица 2). Во всех трёх кластерах общее количество ДТП одинаково (N=7), что позволяет наглядно продемонстрировать способность метода дифференци-

ровать риск на основе структуры и свежести событий.

Расчёт температуры для каждой локации был выполнен на дату 31.12.2024 ($y_0=2024$) с параметром $\tau=1,45$. Детализированные результаты, включая вклад каждого события, представлены в таблице 3.

Таблица 2
Характеристики исследуемых локаций (кластеров)
Источник: составлено авторами.

Table 2
Characteristics of locations (clusters) under study
Source: compiled by the authors.

Условное обозначение кластера	Адресная привязка кластера	Качественное описание паттерна кластера
Loc_A	Пересечение улиц Черняховского и Горького	Смешанный тип: наезды на пешеходов, столкновения, падения пассажиров
Loc_B	Ленинский пр-кт, район остановки ОТ «Гостиница «Калининград»	Концентрация ДТП с уязвимыми участниками: наезды на пешеходов/велосипедистов, столкновения
Loc_C	Пересечение Советского проспекта и улицы Озерова	Преобладание ДТП с тяжёлыми последствиями: частые столкновения и наезды на пешеходов (включая летальный случай в 2024 г.)

Таблица 3
Результаты анализа и ранжирования кластеров
Источник: составлено авторами.

Table 3
Results of cluster analysis and ranking
Source: compiled by the authors.

Локация	Состав кластера (год, тип, вес)	Σ Вкладов (Температура, T)
Loc_A	2022, Наезд на пешехода, 1,0. 2022, Наезд на пешехода, 1,0. 2023, Падение пассажира, 0,5. 2023, Падение пассажира, 0,5. 2024, Столкновение, 1,0. 2024, Столкновение, 1,0. 2024, Падение пассажира, 0,5	2,95
Loc_B	2022, Наезд на пешехода, 1,0. 2023, Наезд на пешехода, 1,0. 2023, Столкновение, 1,0. 2024, Наезд на велосипедиста, 1,0. 2024, Наезд на пешехода, 1,0. 2024, Столкновение, 1,0. 2024, Падение пассажира, 0,5	3,88
Loc_C	2022, Наезд на пешехода, 1,0. 2022, Столкновение, 1,0. 2023, Наезд на пешехода, 1,0. 2023, Столкновение, 1,0. 2024, Столкновение, 1,0. 2024, Столкновение, 1,0. 2024, Наезд на пешехода (лет), 1,0	4,57

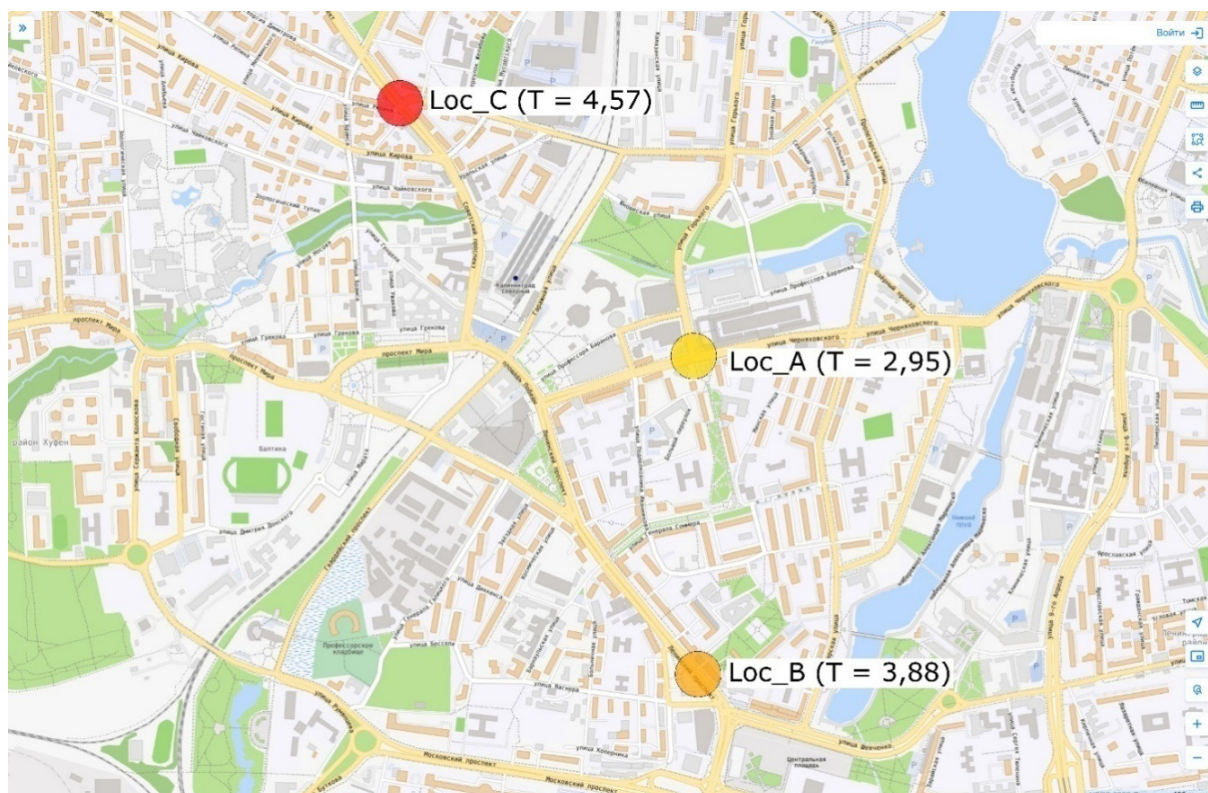


Рисунок – Ранжирование трёх локаций по показателю температуры (T)
Источник: составлено авторами.

Figure – Ranking of three locations by temperature indicator (T)
Source: compiled by the authors.

Анализ результатов показывает, что, несмотря на одинаковое количество событий, метод корректно присвоил наибольшую температуру кластеру **Loc_C** (см. рисунок). Это обусловлено максимальной концентрацией ДТП с большим весом (w) и их временной «свежестью» (три события, включая летальный наезд, произошли в 2024 г.). Кластер **Loc_B**, также обладающий свежими событиями с большим весом, но с менее плотной исторической группой, занял второе место. Кластер

Loc_A получил наименьшую температуру из-за наличия трёх событий со средним весом ($w=0,5$) и более ранних сроков наездов на пешеходов. Похожие по смыслу карты приоритизации городских очагов на основе статистики Getis–Ord G_i^* и визуализация различий между кластерами с помощью KDE и ГИС демонстрируются в других исследованиях аварийности, что косвенно говорит о перспективности данного направления анализа ДТП [23, 24, 25].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате исследования разработан и апробирован метод температурного ранжирования пространственно-временных кластеров ДТП. Метод решает актуальную задачу перехода от учёта кумулятивной статистики к оценке актуального риска, предоставляя количественный показатель $T(y_0)$, интегрирующий пространственную близость, временную релевантность (через параметр памяти τ) и типологическую значимость (через систему весов w) дорожных происшествий.

Практическая апробация на данных г. Калининграда подтвердила работоспособность и диагностическую ценность метода: алгоритм успешно дифференцировал три перекрёстка с одинаковым числом ДТП, но разной структурой, присвоив наибольший приоритет точке с наиболее тяжёлыми и свежими инцидентами.

Научная ценность работы заключается в формализации подхода к синтезу пространственных и временных характеристик аварийности в едином адаптируемом показателе для задач сравнительного ранжирования. Практическая значимость состоит в создании инструментария (включая программный модуль) для органов управления, позволяющего обоснованно формировать планы превентивных мероприятий и оптимально распределять бюджет на повышение безопасности дорожной инфраструктуры.

Основным направлением дальнейших исследований является разработка процедур автоматической калибровки ключевых параметров модели (радиуса R , параметра памяти τ , системы весов w) на основе исторических данных и их региональной специфики, а также интеграция метода в системы прогнозного анализа и поддержки принятия решений.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Гантимурова Ю.О. Применение топографического анализа для выявления участков концентрации дорожно-транспортных происшествий // Сборник научных трудов Ангарского государственного технического университета. 2024. № 21. С. 189–192. EDN PQJDUM.
2. Горяев Н.К., Любецкий С.П. Сбор, обработка и анализ открытых данных по дорожно-транспортным происшествиям // Вестник СибАДИ. 2023. Т. 20, № 5(93). С. 574–585. <https://doi.org/10.26518/2071-7296-2023-20-5-574-585>. EDN SGIFUS.
3. Kamh H., Alyami S.H., Khattak A., Alyami M., Almujibah H. «Exploring Road Traffic Accidents Hotspots Using Clustering Algorithms and GIS-Based Spatial Analysis» in IEEE Access, vol. 13, pp. 60944–60954, 2025, <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2024.3443245>
4. Soltani A., Roohani Qadikolaei M. Space-time analysis of accident frequency and the role of built environment in mitigation // Transport Policy. 2024. Vol. 150. P. 189–205. <https://doi.org/10.1016/j.tranpol.2024.02.006>
5. Singh N., Kumar M. A novel analytical framework to identify and classify accident hotspots integrating gradient classifier and spatial clustering. *Earth Sci Inform* 18, 168, 2025. <https://doi.org/10.1007/s12145-024-01540-y>
6. Израилев Л.А., Гордиенко Л.В. Геоинформационный метод выявления и анализа участков концентрации дорожно-транспортных происшествий // ИнтерКарто. ИнтерГИС. 2024. Т. 30, № 2. С. 445–455. <https://doi.org/10.35595/2414-9179-2024-2-30-445-455>. EDN CSPQNX.
7. Syed Saqib Ali Kazmi, Mehreen Ahmed, Rafia Mumtaz, Zahid Anwar, Spatiotemporal Clustering and Analysis of Road Accident Hotspots by Exploiting GIS Technology and Kernel Density Estimation, *The Computer Journal*, Volume 65, Issue 2, February 2022, Pages 155–176, <https://doi.org/10.1093/comjnl/bxz158>
8. Al Hamami M, Matisziw TC. Measuring the spatiotemporal evolution of accident hot spots. *Accid Anal Prev*. 2021 Jul;157:106133. <https://doi.org/10.1016/j.aap.2021.106133>. Epub 2021 May 11. PMID: 33989871.
9. Alsahfi T. Spatial and Temporal Analysis of Road Traffic Accidents in Major Californian Cities Using a Geographic Information System. *ISPRS Int. J. Geo-Inf*. 2024, 13, 157. <https://doi.org/10.3390/ijgi13050157>
10. Khosravi Y., Hosseinali F., Adresi M. Identifying accident prone areas and factors influencing the severity of crashes using machine learning and spatial analyses. *Sci Rep* 14, 29836 (2024). <https://doi.org/10.1038/s41598-024-81121-7>
11. H.Thi Le Vu, T.Phuong Thi Do, T.Phuong Thi. «A study on identifying and analyzing road traffic incident hotspots on National Highway 1A, Thanh Hoa province, Vietnam, employing Statistical and GIS Techniques». *Journal of Mining and Earth Sciences*, 65(6), pp.22-33. [https://doi.org/10.46326/JMES.2024.65\(6\).03](https://doi.org/10.46326/JMES.2024.65(6).03)
12. Abdrhman H., Qiu, Y., Shams, H., Damos, M. GIS-Based Identification of Traffic Incident Hot Spots and Severity Index in Khartoum, Sudan. *TuijinJishu/ Journal of Propulsion Technology*, Volume 45, Issue 4, 2024, ISSN 1001-4055, <https://propulsiontechjournal.com/index.php/journal/article/view/8436/5289>
13. Berhanu Y., Schroeder D., Teklu B., Alemayehu E. Spatial analysis of road traffic accidents: Identifying hotspots for improved road safety in Addis Ababa, Ethiopia. *Cogent Engineering*, Volume 10, Issue 2, 2023. <https://doi.org/10.1080/23311916.2023.2269655>
14. Truong Long T., Somenahalli, Sekhar V. 2011. Using GIS to Identify Pedestrian-Vehicle Crash Hot Spots and Unsafe Bus Stops. *Journal of Public Transportation*, 14 (1): 99-114. <http://doi.org/10.5038/2375-0901.14.1.6>

15. Derya Birant, Alp Kut, ST-DBSCAN: An algorithm for clustering spatial-temporal data, *Data & Knowledge Engineering*, Volume 60, Issue 1, 2007, Pages 208-221, ISSN 0169-023X. <https://doi.org/10.1016/j.datak.2006.01.013>

16. Yunxuan L., Shuo W., Xin G., Meng L., Yanyan C. A Spatial-Temporal Kernel Density Estimate Method for Traffic Violation Hotspot Identification, 23rd COTA International Conference of Transportation Professionals, 2023, Pages 1626-1636. <https://doi.org/10.1061/9780784484869.155>

17. Han Y., Hu Y., Zhu H., Wang F. A cyclically adjusted spatio-temporal kernel density estimation method for predictive crime hotspot analysis, *Annals of GIS*, Volume 29, Issue 1, 2023, Pages 177-191. <https://doi.org/10.1080/19475683.2023.2166584>

18. Rico Krueger, Prateek Bansal, Prasad Budhavarapu, A new spatial count data model with Bayesian additive regression trees for accident hotspot identification, *Accident Analysis & Prevention*, Volume 144, 2020, 105623, ISSN 0001-4575, <https://doi.org/10.1016/j.aap.2020.105623>

19. Полетайкин А.Н., Тузова А.А. Разработка Иад-системы для процесса идентификации аварийно-опасных участков в разрезе возрастного состава участников ДТП // *Научные записки НГУЭУ*. 2025. № 2. С. 49–61. EDN LRRWCC.

20. Behboudi Noushin, Sobhan Moosavi, Rajiv Ramnath. Recent advances in traffic accident analysis and prediction: A comprehensive review of machine learning techniques. *arXiv preprint arXiv:2406.13968* (2024). <https://doi.org/10.48550/arXiv.2406.13968>

21. Gao P., Shuai B., Zhang R., Wang B. ST-CAGNN-RNKDE: a traffic accident prediction model for spatiotemporal combinatorial attention graph neural networks using Ripley's K and network kernel density estimation. *Reliability Engineering & System Safety*, Volume 265, 2026. <https://doi.org/10.1016/j.res.2025.111593>

22. Muduli K., Sahu D., Ghosh I. An Adaptable Framework for Identifying and Prioritising Road Traffic Accident Hotspots. *Traffic & Transportation*, Volume 37, Issue 2, 2025, Pages 321-337. <https://doi.org/10.7307/ptt.v37i2.751>

23. Abid Dr. Rana Ibrahim. Identifying Spatial Patterns of Road Accidents in Madaba City by Applying Getis-Ord Gi* Spatial Statistic. *International Journal of Engineering and Advanced Technology*, Volume 13, Issue 4, 2024, Pages 1-8. <https://doi.org/10.35940/ijeat.C4387.13040424>

24. Köfteci S., Yalçın M.A., QGIS-based Analysis of Traffic Accident Regions in Muratpasa District in Antalya City. *Gazi University Journal of Science Part A: Engineering and Innovation*, Volume 11, Issue 4, 2024, Pages 771-779. <https://doi.org/10.54287/guj-sa.1581268>

25. Siregar A.Z., Awaluddin M., Wahyuddin Y. Identification of Traffic Accidents Vulnerability Level Using Kernel Density And K-Medoids Methods (Case Study: Depok and Kalasan Districts, Sleman Regency). *Jurnal Ilmiah Geomatika*, Volume 3, Issue 1, 2023. <https://doi.org/10.31315/imagi.v3i1.9241>

REFERENCES

1. Gantimurova Yu.O. Application of topographic analysis to identify areas of concentration of road accidents. *Sbornik nauchnykh trudov Angarskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta*. 2024; № 21: 189-192. (In Russ.).

2. Goryaev N.K. Collection, processing and analysis of open data on road accidents. *Vestnik Sibirskogo gosudarstvennogo avtomobilno-dorozhnogo universiteta*. 2023; Vol. 20, № 5(93): 574-585. (In Russ.)

3. Kamh H., Alyami S.H., Khattak A., Alyami M., Almujiab H. «Exploring Road Traffic Accidents Hotspots Using Clustering Algorithms and GIS-Based Spatial Analysis» in *IEEE Access*, vol. 13, pp. 60944-60954, 2025, <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2024.3443245>

4. Soltani A., Roohani Qadikolaei M. Space-time analysis of accident frequency and the role of built environment in mitigation. *Transport Policy*. 2024. Vol. 150. P. 189–205. <https://doi.org/10.1016/j.tranpol.2024.02.006>

5. Singh N., Kumar M. A novel analytical framework to identify and classify accident hotspots integrating gradient classifier and spatial clustering. *Earth Sci Inform* 18, 168 (2025). <https://doi.org/10.1007/s12145-024-01540-y>

6. Israelev L.A. Geoinformation method for identifying and analyzing areas of concentration of road accidents. *InterKarto. InterGIS*. 2024. Vol. 30, № 2: 445-455. (In Russ.)

7. Syed Saqib Ali Kazmi, Mehreen Ahmed, Rafia Mumtaz, Zahid Anwar, Spatiotemporal Clustering and Analysis of Road Accident Hotspots by Exploiting GIS Technology and Kernel Density Estimation, *The Computer Journal*, Volume 65, Issue 2, February 2022, Pages 155–176, <https://doi.org/10.1093/comjnl/bxz158>

8. Al Hamami M, Matisziw TC. Measuring the spatiotemporal evolution of accident hot spots. *Accid Anal Prev*. 2021 Jul;157:106133. <https://doi.org/10.1016/j.aap.2021.106133>. Epub 2021 May 11. PMID: 33989871.

9. Alsahfi, T. Spatial and Temporal Analysis of Road Traffic Accidents in Major Californian Cities Using a Geographic Information System. *ISPRS Int. J. Geo-Inf*. 2024, 13, 157. <https://doi.org/10.3390/ijgi13050157>

10. Khosravi Y., Hosseinali F., Adresi, M. Identifying accident prone areas and factors influencing the severity of crashes using machine learning and spatial analyses. *Sci Rep* 14, 29836 (2024). <https://doi.org/10.1038/s41598-024-81121-7>

11. H.Thi Le, Vu, T.Phuong Thi and Do, T.Phuong Thi. «A study on identifying and analyzing road traffic incident hotspots on National Highway 1A, Thanh Hoa province, Vietnam, employing Statistical and GIS Techniques». *Journal of Mining and Earth Sciences*, 65(6), pp.22-33. [https://doi.org/10.46326/JMES.2024.65\(6\).03](https://doi.org/10.46326/JMES.2024.65(6).03)

12. Abdrhman H., Qiu, Y., Shams, H., Damos, M. GIS-Based Identification of Traffic Incident Hot Spots and Severity Index in Khartoum, Sudan. *TuijinJishu/ Journal of Propulsion Technology*, Volume 45, Issue 4,

2024, ISSN 1001-4055, <https://propulsionejournal.com/index.php/journal/article/view/8436/5289>.

13. Berhanu Y., Schroeder D., Teklu B., Ale-mayehu E. Spatial analysis of road traffic accidents: Identifying hotspots for improved road safety in Addis Ababa, Ethiopia. *Cogent Engineering*, Volume 10, Issue 2, 2023. <https://doi.org/10.1080/23311916.2023.2269655>

14. Truong, Long T & Somenahalli, Sekhar V. 2011. Using GIS to Identify Pedestrian-Vehicle Crash Hot Spots and Unsafe Bus Stops. *Journal of Public Transportation*, 14 (1): 99-114. <http://doi.org/10.5038/2375-0901.14.1.6>

15. Derya Birant, Alp Kut, ST-DBSCAN: An algorithm for clustering spatial-temporal data, *Data & Knowledge Engineering*, Volume 60, Issue 1, 2007, Pages 208-221, ISSN 0169-023X. <https://doi.org/10.1016/j.datak.2006.01.013>

16. Yunxuan L., Shuo, W., Xin, G., Meng, L., Yanyan, C. A Spatial-Temporal Kernel Density Estimate Method for Traffic Violation Hotspot Identification, 23rd COTA International Conference of Transportation Professionals, 2023, Pages 1626-1636. <https://doi.org/10.1061/9780784484869.155>

17. Han Y., Hu Y., Zhu H., Wang F. A cyclically adjusted spatio-temporal kernel density estimation method for predictive crime hotspot analysis, *Annals of GIS*, Volume 29, Issue 1, 2023, Pages 177-191. <https://doi.org/10.1080/19475683.2023.2166584>

18. Rico Krueger, Prateek Bansal, Prasad Budhavarapu, A new spatial count data model with Bayesian additive regression trees for accident hot spot identification, *Accident Analysis & Prevention*, Volume 144, 2020, 105623, ISSN 0001-4575, <https://doi.org/10.1016/j.aap.2020.105623>

19. Poletaikin A.N. Development of data mining system for the identification of accident blackspots in the context of the age composition of road accident participants. *Nauchnye zapiski NGUEU*. 2025; № 2: 49-61. (In Russ.)

20. Behboudi Noushin, Sobhan Moosavi, Rajiv Ramnath. Recent advances in traffic accident analysis and prediction: A comprehensive review of machine learning techniques. *arXiv preprint arXiv:2406.13968* (2024). <https://doi.org/10.48550/arXiv.2406.13968>

21. Gao P., Shuai B., Zhang R., Wang B. ST-CAGNN-RNKDE: a traffic accident prediction model for spatiotemporal combinatorial attention graph neural networks using Ripley's K and network kernel density estimation. *Reliability Engineering & System Safety*, Volume 265, 2026. <https://doi.org/10.1016/j.res.2025.111593>

22. Muduli K., Sahu D., Ghosh I. An Adaptable Framework for Identifying and Prioritising Road Traffic Accident Hotspots. *Traffic & Transportation*, Volume 37, Issue 2, 2025, Pages 321-337. <https://doi.org/10.7307/ptt.v37i2.751>

23. Abid, Dr. Rana Ibrahim. Identifying Spatial Patterns of Road Accidents in Madaba City by Applying Getis-Ord Gi* Spatial Statistic. *International Journal of Engineering and Advanced Technology*, Volume 13, Issue 4, 2024, Pages 1-8. <https://doi.org/10.35940/ijeat.C4387.13040424>

24. Köfteci S., Yalçın M.A., QGIS-based Analysis of Traffic Accident Regions in Muratpasa District in Antalya City. *Gazi University Journal of Science Part A: Engineering and Innovation*, Volume 11, Issue 4, 2024, Pages 771-779. <https://doi.org/10.54287/guj-sa.1581268>

25. Siregar A.Z., Awaluddin M, Wahyuddin Y. Identification of Traffic Accidents Vulnerability Level Using Kernel Density And K-Medoids Methods (Case Study: Depok and Kalasan Districts, Sleman Regency). *Jurnal Ilmiah Geomatika*, Volume 3, Issue 1, 2023. <https://doi.org/10.31315/imagi.v3i1.9241>

ЗАЯВЛЕННЫЙ ВКЛАД АВТОРОВ

Никитин Н.А. Анализ литературы, интерпретация результатов, подготовка и оформление рукописи.

Роговой П.И. Концепция и дизайн исследования. Данилов И.В. Сбор и первичная обработка данных.

Абросимов И.В. Разработка алгоритма, программирование, редактирование текста.

COAUTHORS' CONTRIBUTION

Nikitin N.A. Literature analysis, interpretation of results, writing the manuscript.

Rogovoy P.I. Design of the research concept. Danilov I.V. Data collection and primary processing. Abrosimov I.V. Algorithm development, programming, manuscript editing.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Никитин Николай Андреевич – старший преподаватель Балтийского федерального университета имени Иммануила Канта (236041, г. Калининград, ул. Александра Невского, 14).

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8512-7662>,

SPIN-код: 7386-1111,

Scopus ID: 57193746390,

e-mail: ninikitin@kantiana.ru

Роговой Павел Игоревич – генеральный директор ООО «Мобилитика» (236040, г. Калининград, пл. Победы, д. 10, офис 505 г, д).

ORCID: <https://orcid.org/0009-0001-7881-2792>,

SPIN-код: 7109-1764,

e-mail: rogovoy@mobilitika.ru

Данилов Илья Владимирович – веб-разработчик ООО «Мобилитика» (236040, г. Калининград, пл. Победы, д. 10, офис 505 г, д).

ORCID: <https://orcid.org/0009-0000-5370-4499>,

SPIN-код: 7109-1764,

e-mail: danilov@mobilitika.ru

Абросимов Илья Владимирович – студент 4-го курса специальности «Информационные системы и программирование» Колледжа НОЧУ ВО «Московский финансово-промышленный университет «Синергия» (129090, г. Москва, ул. Мещанская, д. 9/14, стр. 1).

ORCID: <https://orcid.org/0009-0009-8318-5672>,

SPIN-код: 8351-0761,

e-mail: eli.abrosimov@yandex.ru

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Nikitin Nikolai A. – senior lecturer at the Immanuel Kant Baltic Federal University (Alexander Nevsky St., 14, Kaliningrad, 236041).

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8512-7662>,

SPIN-code: 7386-1111,

Scopus ID: 57193746390,

e-mail: ninikitin@kantiana.ru

Rogovoy Pavel I. – general director, Mobilitika LLC (Pobedy Square, 10, office 505 g,d Kaliningrad, 236040).

ORCID: <https://orcid.org/0009-0001-7881-2792>,

SPIN-code: 7109-1764,

e-mail: rogovoy@mobilitika.ru

Danilov Ilya V. – web developer, Mobilitika LLC, (Pobedy Square, 10, office 505 g,d Kaliningrad, 236040).

ORCID ID: <https://orcid.org/0009-0000-5370-4499>,

SPIN-code: 7109-1764,

e-mail: danilov@mobilitika.ru

Abrosimov Ilya V. – undergraduate student, specializes in Information Systems and Programming at the Moscow Financial and Industrial University Synergy College (Meshchanskaya St., 9/14, building 1, Moscow, 129090).

ORCID: <https://orcid.org/0009-0009-8318-5672>,

SPIN-code: 8351-0761,

e-mail: eli.abrosimov@yandex.ru