

Научная статья

УДК 614.841.2

АНАЛИЗ ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЙ НА АВТОМОБИЛЬНОМ ТРАНСПОРТЕ, ВЫЗВАННЫХ ВОЗДЕЙСТВИЕМ ТУМАНА И ДЫМА ПРИРОДНЫХ ПОЖАРОВ

✉ Ложкина Ольга Владимировна;

Орловцев Сергей Викторович;

Нефедьев Сергей Аркадьевич.

Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России, Санкт-Петербург, Россия

✉ oljkina@yandex.ru

Аннотация. Статья посвящена анализу дорожно-транспортных происшествий, обусловленных снижением видимости на дороге вследствие воздействия мелкодисперсных аэрозолей тумана и/или дыма природных пожаров. На основе анализа отечественных и зарубежных источников информации установлено, что доля таких дорожно-транспортных происшествий может достигать 0,7–5 % от общего числа аварий. Такие аварии чаще, по сравнению с дорожными происшествиями в условиях ясной погоды, являются более массовыми и приводят к тяжелым последствиям (наличие раненых и погибших). В статье также приведен обзор моделей для оценки вероятности аварийности и оценки тяжести последствий дорожно-транспортных происшествий в условиях недостаточной видимости, разработанных на основе логистической порядковой регрессии.

Ключевые слова: чрезвычайные ситуации, дорожно-транспортные происшествия, туман, дым природных пожаров, снижение видимости, порядковые логистические модели

Для цитирования: Ложкина О.В., Орловцев С.В., Нефедьев С.А. Анализ чрезвычайных ситуаций на автомобильном транспорте, вызванных воздействием тумана и дыма природных пожаров // Проблемы управления рисками в техносфере. 2023. № 2 (66). С. 72–83.

Scientific article

ANALYSIS OF TRAFFIC ACCIDENTS RELATED TO FOG AND WILDFIRE SMOKE

✉ Lozhkina Olga V.;

Orlovtssev Sergey V.;

Nefed'ev Sergey A.

Saint-Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia, Saint-Petersburg, Russia

✉ oljkina@yandex.ru

Abstract. The paper analyses traffic accidents caused by low visibility due to fine aerosols of fog and/or smoke from wildfires. Based on the analysis of Russian and foreign sources of information, it was found that the share of such accidents can reach 0,7–5 % of the total number of accidents. Compared to accidents under good visibility conditions, fog/smoke related crashes tend to result in more severe injuries and involve more vehicles. The paper also provides an overview of models for assessing crash occurrence under different levels of visibility with respect to temporal distribution and influential factors of accidents and estimating the effects of various factors on injury severity in low visibility conditions, – all developed on the basis of logistic ordinal regression.

Keywords: emergencies, traffic accidents, fog, wildfires smoke, low visibility, ordinal logistic models

© Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России, 2023

For citation: Lozhkina O.V., Orlovtssev S.V., Nefed'ev S.A. Analysis of traffic accidents related to fog and wildfire smoke // Problemy upravleniya riskami v tekhnosfere = Problems of risk management in the technosphere. 2023. № 2 (66). P. 72–83.

Введение

Уже более 120 лет, начиная с 1900 г., на мировом уровне идет постоянное наблюдение за динамикой средней температуры воздуха на планете. Анализ данных свидетельствует об увеличении этого показателя к 2021 г. на 1,1 °С по сравнению с 1900 г. [1]. Такой, на первый взгляд, небольшой рост средней температуры воздуха фактически приводит к серьезным изменениям на планете, проявляющимся в таянии ледников и вечной мерзлоты, повышении уровня мирового океана, увеличении продолжительности периодов жаркой сухой погоды, увеличении числа наводнений и прочих стихийных бедствий. Одними из ключевых последствий глобального потепления считаются природные пожары, число и масштабы которых из года в год увеличиваются как в нашей стране, так и за рубежом [2, 3]. Взаимозависимость изменения климата и лесных пожаров уже неоднократно доказана учеными из разных стран [2–6].

Длительные природные пожары наносят колоссальный экономический ущерб и оказывают крайне негативное влияние на жизнедеятельность населения, проживающего в зонах влияния дыма природных пожаров, и на транспортные процессы.

С точки зрения влияния на условия дорожного движения воздействие дыма аналогично воздействию тумана – снижение видимости, но, в отличие от тумана, токсичные продукты горения и мелкодисперсные взвешенные частицы могут оказывать воздействие на самочувствие водителей и их способность управлять транспортным средством [7, 8].

Несмотря на исключительную важность дальности видимости для безопасности дорожного движения и у нас в стране, и за рубежом, при оформлении дорожно-транспортных происшествий (ДТП) условия видимости детально не анализируются и не документируются, поэтому в отечественной и зарубежной научной литературе очень мало работ, посвященных количественным оценкам риска ДТП от условий видимости [9–14].

Цель данного исследования заключалась в анализе чрезвычайного воздействия тумана и дыма природных пожаров на безопасность дорожного движения, анализе моделей оценки вероятности аварийности и оценки тяжести последствий ДТП в условиях недостаточной видимости.

1. Аналитическая часть

2.1. Анализ аварийности в условиях недостаточной видимости, обусловленной туманом или дымом природных пожаров

Согласно результатам исследований, выполненных в Бразилии и основанных на статистических данных Федерального дорожного патруля (Federal highway patrol), туман явился причиной 11 763 ДТП, произошедших в стране в период с 2011 по 2020 г., что составило примерно 5 % от общего числа аварий, случившихся при неблагоприятных погодных условиях (дождь, туман, снег, сильный ветер и т.д.) [15].

Из анализа научных работ американских ученых следует, что в обобщенном за 2008–2018 гг. антирейтинге США по числу ДТП, случившихся при недостаточной видимости в условиях тумана или дыма природных пожаров, лидируют Калифорния, Техас и Флорида [11, 16]. В работах [11, 16] авторы приводят следующие статистические данные: во Флориде в 2008–2012 гг. произошло по этой причине 4 945 аварий (4,2 % от общего числа аварий, случившихся при неблагоприятных погодных условиях), а в 2013–2017 гг. – 9 103, то есть их количество увеличилось в 1,84 раза. Исследователи установили, что 64 % аварий

случились в утренние часы с 5 до 9 утра (максимум в 5–6 утра). Ими также было выявлено, что подавляющее большинство (71,1 %) ДТП произошло на нескоростных дорогах (преимущественно сельских неосвещенных), тогда как на скоростных значительно меньше – 9,3 %. Около 67 % аварий произошли непосредственно на дорогах, а 31 % – на перекрестках. Анализ аварий по типу показал, что преобладали наезды сзади (27,7 %), далее – съезд с дороги (18,8 %) и ДТП с участием одного автомобиля (8,3 %), то есть все типы аварий, напрямую связанные с ограниченной видимостью. Штат Флорида печально известен чрезвычайными ДТП, вызванными явлением, получившим название «суперсмог» [17, 18]. Суперсмог представляет собой высококонцентрированный гетерогенный аэрозоль, образующийся в результате накопления в приземном слое атмосферы в условиях температурной инверсии твердых частиц дыма и микрокапель тумана. Видимость в таких условиях становится практически нулевой (менее 3 м).

Ниже перечислены самые крупные аварии с массовой гибелью и ранением людей, случившиеся во Флориде:

- несколько ДТП 3 марта 2022 г. в Volusia County на скоростной автодороге Interstate-95, в результате которых погибли 3 чел. и более 10 чел. были ранены;
- несколько ДТП 31 января 2012 г. в Северной Флориде на скоростной автодороге Interstate-75, в результате которых погибли 11 чел. и были ранены 18 чел.;
- ДТП с участием 70 автомобилей, случившееся 9 января 2008 г. на скоростной автодороге Interstate-4 между г. Орландо и г. Тампой, в котором погибли 5 чел. и были ранены 38 чел.

При этом следует отметить, что в 2008 и 2022 гг. задымление на трассе было вызвано санкционированными властями палами растительности на близлежащих территориях. Все эти аварии произошли в ранние утренние часы практически при нулевой видимости в условиях суперсмога.

В нашей стране влияние погодных условий на безопасность дорожного движения анализировалось в работах И.А. Новикова [19]. Анализ большого массива статистических данных об аварийности в Белгородской обл. в период 2014–2018 гг. показал, что из 1 260 ДТП 816 (60,3 %) произошло в ясную погоду, а 444 (39,7 %) – в пасмурную, из них 146 случились в пасмурную погоду в условиях недостаточной видимости: 9 аварий в условиях тумана, 70 – в дождь и 67 – в снегопад.

Среди чрезвычайных происшествий на дороге, случившихся в условиях тумана в нашей стране, наиболее масштабными были:

- серия ДТП на дороге федерального значения Р-228 Сызрань – Саратов – Волгоград в 7 ч 45 мин 12 марта 2023 г. с суммарным участием 24 автотранспортных средств, в результате аварии 13 чел. получили ранения [20];
- серия ДТП на дороге федерального значения М5 Урал в 8 ч 10 мин 10 февраля 2015 г. в Подмоскowie около г. Жуковский с участием более 30 автомобилей; в результате чрезвычайного происшествия несколько человек получили ранения, погибших не было [21].

На рис. 1 представлены фотографии с места ДТП во Флориде (рис. 1 а), произошедшего 3 марта 2022 г., и места ДТП в Саратовской обл. (рис. 1 б), имевшего место 12 марта 2023 г.

При исследовании данной тематики авторами были обнаружены сведения о массовых ДТП, имевших место в Кемеровской обл. в апреле 2017, 2018, 2019, 2020 и 2022 гг. и обусловленных критическим снижением видимости из-за задымления, вызванного палом травы вблизи автодорог региона. Сведения о чрезвычайных происшествиях обобщены на основе анализа карточек ДТП, находящихся в открытом доступе на официальном сайте ГИБДД Российской Федерации (URL: <http://stat.gibdd.ru/>), и представлены в таблице.



а

б

Рис. 1. Фотографии с места ДТП во Флориде, произошедшего на автомагистрали Interstate-95 3 марта 2022 г. в результате сильного задымления (а) и с места ДТП в Саратовской обл., произошедшего на автомагистрали Р-228 12 марта 2023 г. в результате сильного тумана (б) (<https://www.mynews13.com/fl/orlando/traffic/2022/03/03/fatal-crashes-on-i95-in-volusia-county> и <https://www.saratov.kp.ru/daily/27476.5/4732257/>)

Таблица

Сведения о чрезвычайных дорожных происшествиях в Кемеровской обл., обусловленных задымлением автодорог вследствие природных пожаров в 2017–2022 гг.

| Дата ДТП | Место ДТП | Вид ДТП | Число ТС | Число участников | Число раненых | Число погибших | Ссылка на информацию в СМИ* |
|----------|--|-------------------------------------|------------------------|------------------|---------------|----------------|-----------------------------|
| 28.04.22 | Дорога Кемерово – Новокузнецк, 117 км | Наезд на стоящее ТС | 4 | 4 | 1 | 1 | А |
| 23.04.20 | Дорога Новосибирск – Ленинск – Кузнецкий – Кемерово – Юрга, 220 км | Столкновение (одновременно два ДТП) | 11 (9 авт., 2 прицепа) | 9 | 4 | 0 | Б |
| 12.04.19 | Дорога Ленинск – Кузнецкий – Прокопьевск – Новокузнецк, 106 км | Столкновение | 3 | 12 | 9 | 0 | В |
| 12.04.19 | Дорога Ленинск – Кузнецкий – Прокопьевск – Новокузнецк, 106 км | Столкновение | 3 | 4 | 2 | 0 | В |
| 20.04.18 | Дорога Ленинск – Кузнецкий – Прокопьевск – Новокузнецк, 2 км | Опрокидывание | 1 | 2 | 1 | 0 | Г |
| 27.04.17 | Дорога Ленинск – Кузнецкий – Новокузнецк – Междуреченск, 46 км | Столкновение | 11 | 11 | 0 | 0 | Д |

Примечания: *

а) Сардакова Е.В. В Новокузнецке ограничили движение по Ильинскому шоссе из-за возгорания травы. 1 мая 2022 г. URL: <https://www.kem.kp.ru/online/news/4730550/> (дата обращения: 18.03.2023).

б) В Кузбассе из-за дыма от пала травы столкнулись восемь автомобилей. 24 апреля 2020 г. URL: <https://42.mvd.rf/сми-о-полиции-кузбасса/item/20044088/> (дата обращения: 18.03.2023).

в) Второе за сутки ДТП из-за дыма от горящей травы произошло в Кузбассе. 12 апреля 2019 г. URL: <https://www.interfax-russia.ru/siberia/news/vtoroe-za-sutki-dtp-iz-za-dyma-ot-goryashchey-travy-proizoshlo-v-kuzbasse?ysclid=lh57y5ekr149990889> (дата обращения: 18.03.2023).

г) Огненный ужас под Новокузнецком: из-за пала травы на трассе образовалась дымовая завеса. 23 апреля 2018 г. URL: <https://nk-tv.com/206041.html?ysclid=lh59344ggn632282854> (дата обращения: 18.03.2023).

д) Сразу 11 автомобилей столкнулись в Кемеровской области из-за дыма. 28 апреля 2017 г. URL: <https://ren.tv/news/x/188043-srazu-11-avtomobilei-stolknulis-v-kemerovskoi-oblasti-iz-za-dyma?ysclid=lgy5iqp8dl192480731> (дата обращения: 18.03.2023)

Проведенный анализ показал, что резкое снижение видимости из-за тумана или дыма приводит к массовым ДТП с участием большого количества автотранспортных средств. Для разработки эффективных мер, направленных на снижение аварийности в условиях воздействия дыма или тумана, необходима разработка моделей по оценке вероятности (риска) возникновения таких ДТП с определением значимости различных сопутствующих факторов (например, интенсивности движения, геометрических характеристик дорог, освещенности и т.д.) и степени тяжести последствий. В двух следующих разделах рассмотрены примеры таких моделей.

2.2. Логистическая порядковая модель для оценки вероятности дорожной аварийности в условиях недостаточной видимости, обусловленной дождем или туманом

Subasish Das с коллегами в своей работе [12], посвященной анализу аварийности в штате Флорида в 2010–2012 гг., подчеркивают, что, несмотря на свою важность для безопасности дорожного движения, условия видимости во время ДТП часто не документируются с высокой степенью детализации, и это представляет сложность для выявления количественной зависимости аварийности от дальности видимости.

Для решения этой проблемы исследователи сопоставили метеорологические данные, собранные Национальным управлением океанических и атмосферных исследований (NOAA) на метеорологических станциях вблизи аэропортов, с данными о ДТП в районах, прилегающих к аэропортам (на удалении не более 5 миль от них), и разработали на их основе порядковую логистическую модель, связывающую аварийность и условия видимости. Условия видимости были разделены на три категории: плохая видимость в условиях тумана (0–0,5 мили), средняя видимость в условиях дождя (0,5–4,0 мили), хорошая видимость в ясную погоду (> 4 мили). Для каждого исследуемого участка улично-дорожной сети данные по аварийности в условиях ограниченной видимости сопоставлялись с данными по аварийности в условиях ясной погоды не более чем за неделю до или неделей позже периода плохой погоды.

Порядковую логистическую регрессию можно рассматривать как расширение простой логистической регрессии для бинарной переменной отклика. В простой логистической регрессии логарифм шансов возникновения события моделируется как линейная комбинация независимых переменных. При выполнении порядкового логистического регрессионного анализа выполняется анализ упорядоченной логит-модели, в которой используется накопление событий для логарифма вычисленных шансов [22].

В разработанной модели в качестве переменной отклика рассматривается аварийность в зависимости от условий видимости, и рассматриваются три порядковые категории отклика: хорошая видимость, средняя видимость и плохая видимость [12]. Кумулятивная модель строится на основе порядковой переменной отклика Y_i . Кумулятивная вероятность определяется как:

$$Y_{ik} = P(Y_i \leq k) = \pi_{i1} + \dots + \pi_{ik},$$

где k – число категорий порядковой зависимой переменной (переменной отклика) минус 1; π_{ik} – вероятность i -го наблюдения для категории отклика k .

Кумулятивная логистическая функция записывается следующим образом:

$$\text{logit}(y_{ik}) = \text{logit}(P(Y_i \leq k)) = \log \left[\frac{P(Y_i \leq k)}{1 - P(Y_i \leq k)} \right] = \theta_k - x_{\mu},$$

где θ_k – интерсепт (константа регрессии) для категории отклика k ; x_{μ} – транспонент вектора независимых переменных (предикторов); $x_{\mu} = \sum_1^i \beta_i x_i$ (x_i – независимые переменные, β_i – их коэффициенты); x_{μ} зависит от категорий k .

В этом исследовании в качестве независимых переменных рассматривались: среднегодовая дневная интенсивность движения, возраст водителя, процент грузовиков, средняя ширина обочины, максимальная скорость, тяжесть последствий аварии.

Было установлено, что отношение шансов тяжелых последствий при ДТП при недостаточной видимости по сравнению с условиями средней и хорошей видимости вместе взятых составляет 1,304, что указывает на 30 %-й рост вероятности аварий, приводящих к серьезному травмированию при плохой видимости (при условии, что все остальные переменные остаются постоянными).

При оценке влияния скорости было показано, что отношение шансов аварий при недостаточной видимости по сравнению с условиями средней и хорошей видимости составляет 1,008 при увеличении скорости движения на каждые 5 миль/ч.

Ширина обочины и процент грузовиков в автотранспортном потоке практически не оказывают влияние на аварийность.

Среднегодовая интенсивность движения также не имела существенного влияния на аварийность в условиях плохой видимости по сравнению с условиями средней и хорошей видимости (отношение шансов было равно 1), что может быть связано с тем, что люди, по возможности, отказываются от передвижения на машине в ненастье.

Вероятность аварии в условиях плохой видимости с участием пожилых водителей (старше 50 лет) ниже, чем с участием водителей молодого и среднего возраста (от 20 до 50 лет), что неудивительно, поскольку водители старшего возраста проявляют большую осторожность и отказываются от поездки на автомобиле в некомфортных погодных условиях.

2.3. Многоуровневая порядковая логистическая модель для оценки тяжести последствий ДТП в условиях недостаточной видимости

Mohamed Abdel-Aty вместе с коллегами провел масштабные исследования дорожно-транспортных происшествий, случившихся во Флориде в условиях воздействия тумана или дыма природных пожаров [11, 13, 16], в том числе изучил особенности таких аварий по степени тяжести, типу, дорожным условиям и другим параметрам [11].

В базе данных аварий тяжесть ДТП определяется в соответствии с пятью категориями тяжести травмирования участников движения: С1 – «без травм/только материальный ущерб», С2 – «возможны травмы», С3 – «травмы, не приводящие к потере трудоспособности» – считаются нетяжелыми авариями, а С4 – «травмы, приводящие к потере трудоспособности» и С5 – «смертельный исход (в течение 30 дней)» считаются авариями с тяжелыми последствиями.

Среди видов аварий были проанализированы следующие:

- 1) наезд сзади;
- 2) лобовое столкновение;
- 3) боковое столкновение;
- 4) столкновение под углом;
- 5) столкновение при левом повороте.

Для того чтобы оценить, приводят ли аварии в условиях тумана/дыма к тяжелым ранениям и какие типы аварий характерны для таких условий, был использован метод отношения шансов (odd ratio – OR):

$$OR_i = \frac{N_i^{FS}/N_i^{CV}}{N^{FS}/N^{CV}},$$

где OR_i – отношение шансов для i -го типа ДТП (например, по тяжести последствий (пять категорий, описаны выше) или вида аварии (пять видов, описаны выше), массовости аварии (массовые с участием более 2 ТС и немассовые с участием 1–2 ТС); N_i^{FS} – количество аварий i -го типа в условиях тумана или дыма; N_i^{CV} – количество аварий i -го типа в условиях ясной погоды; N^{FS} – общее количество аварий в условиях тумана или дыма; N^{CV} – общее количество аварий в условиях ясной погоды.

В результате было установлено, что в условиях тумана или дыма чаще происходят аварии с тяжелыми последствиями, чем при ясной погоде (OR=3,24). Несмотря на то что в таких условиях случаются все вышеупомянутые виды аварий, наиболее часто имеют место лобовые столкновения (OR=3,66). Эти данные хорошо согласуются с ранее установленным фактом, что большинство аварий в условиях тумана или дыма произошли во Флориде на неосвещенных сельских дорогах без разделения полос встречного движения.

Для дальнейшего анализа ДТП, имевших место в условиях недостаточной видимости, обусловленной туманом или дымом, авторами была разработана многоуровневая порядковая логистическая модель, суть которой описана ниже.

Переменная y_{ij} – это переменная, характеризующая степень тяжести i -й аварии, произошедшей в j -м сегменте сети дорог ($i = 1, \dots, 994$; $j = 1, \dots, 597$), и имеющая пять возможных интервалов значений, соответствующих пяти категориям тяжести аварий C1, ..., C5, в соответствии с четырьмя пороговыми значениями ($k=1, 2, 3, 4$). Для учета межсегментной неоднородности задается набор переменных пороговых значений для отдельных сегментов. Пороговые значения определяют границы между интервалами, соответствующими наблюдаемым результатам тяжести последствий ДТП.

Предполагается, что существует скрытая переменная y_{ij}^* , также зависящая от вышеописанных факторов, в зависимости от значений которой наблюдаемая категориальная переменная y_{ij} принимает те или иные значения; y_{ij} связана с y_{ij}^* следующим образом:

$$y_{ij} = \begin{cases} 1, & \text{если } -\infty < y_{ij}^* \leq \gamma_{1j} \\ k, & \text{если } \gamma_{(k-1)j} < y_{ij}^* \leq \gamma_{kj}, k = 2, 3, 4, \\ 5, & \text{если } \gamma_{4j} < y_{ij}^* < +\infty \end{cases}$$

где логистическая функция записывается в следующем виде:

$$y_{ij}^* = \theta_{ij} + \varepsilon_{ij} \text{ и } \theta_{ij} = \sum_{p=1}^P \beta_p x_{pij},$$

где x_{pij} – p -й ковариант (независимая переменная) i -й аварии, произошедшей в j -м сегменте; θ_{ij} – вектор параметров модели; ε_{ij} – соответственно случайная составляющая (ошибка); β_p – коэффициент регрессии. Предполагается, что ε_{ij} имеет логистическое распределение с кумулятивной плотностью F .

Тогда кумулятивная вероятность может быть выражена следующим образом:

$$P_{ij(k)} = \Pr(y_{ij} \leq k) = F(\gamma_{kj} - \theta_{ij}) = \frac{\exp(\gamma_{kj} - \theta_{ij})}{1 + \exp(\gamma_{kj} - \theta_{ij})},$$

где $k=1, 2, 3, 4$, что соответствует следующей кумулятивной логистической модели:

$$\text{Logit}(P_{ij(k)}) = \log \left[\frac{P_{ij(k)}}{1-P_{ij(k)}} \right] = \log \left[\frac{\Pr(y_{ij} \leq k)}{\Pr(y_{ij} > k)} \right] = \gamma_{kj} - \theta_{ij},$$

где $k = 1, 2, 3, 4$.

Из 18 проанализированных ковариантов статистически значимыми были признаны 8 [11], из которых наибольшую значимость продемонстрировали переменные «ln(ADT)» (ADT – усредненная суточная интенсивность движения), «сельская дорога», «отсутствие освещения», «молодой водитель».

Проведенный с помощью разработанной модели анализ показал, что увеличение интенсивности дорожного движения оказывает положительное влияние на снижение уровня тяжести травматизма в авариях, что может быть объяснено снижением скоростей движения автотранспортных потоков при возрастании числа участников. Также было установлено, что серьезные аварии гораздо чаще происходят в сельской местности, нежели в городах или пригородах. Это может быть связано с тем, что на сельских дорогах водители, как правило, двигаются с большей скоростью и менее внимательны из-за низкой интенсивности движения. Движение на высокой скорости, особенно в условиях недостаточной видимости из-за тумана или дыма, снижает способность водителя избежать столкновения. Также было доказано, что эта проблема усугубляется ночью на дорогах без освещения. Кроме того, результаты показали, что ДТП в условиях дыма/тумана с участием молодых водителей, как правило, имели менее тяжкие последствия, чем с участием возрастных водителей. Этот результат может быть объяснен лучшим физическим состоянием молодых водителей (лучшим зрением, реакцией, физической подготовкой), что может помочь им избежать серьезных травм при столкновении в условиях недостаточной видимости. Тем не менее стоит отметить, что риск ДТП с участием молодых водителей был выше, чем с участием пожилых водителей.

Заключение

Проведенный анализ показал, что проблема аварийности на автомобильных дорогах в условиях недостаточной видимости, вызванной туманом или дымом природных пожаров, актуальна для Российской Федерации и зарубежных стран. Доля таких аварий составляет от 0,7 до 5 % от общего числа ДТП. Подобные аварии чаще, по сравнению с дорожными происшествиями в условиях ясной погоды, являются более массовыми и приводят к тяжелым последствиям: в ДТП в Саратовской обл. 12 марта 2023 г. суммарно столкнулись 24 автомобиля, 11 чел. получили ранения разной степени тяжести; во Флориде 9 января 2008 г. произошло одно из самых массовых ДТП с участием 70 автомобилей, 5 чел. погибли, 38 были ранены.

Высокая дорожная аварийность по причине воздействия тумана и дыма природных пожаров во Флориде обусловила необходимость разработки различных расчетных моделей для оценки вероятности (риска) ДТП и вероятности (риска) их тяжелых последствий. Для решения этой задачи исследователи применяют модели на основе порядковой логистической регрессии.

Subasish Das с коллегами с использованием этого подхода на примере анализа аварийности во Флориде установили, что хотя в ненастную погоду при плохой видимости, обусловленной туманом, наблюдается тенденция к снижению интенсивности движения и снижению скорости движения, риск ДТП возрастает примерно на 30 %.

Mohamed Abdel-Aty с коллегами также на примере исследования ДТП во Флориде с помощью разработанной ими многоуровневой порядковой логит-модели выявили, что аварии в условиях плохой видимости, обусловленной туманом или дымом природных

пожаров, более распространены на скоростных автодорогах, дорогах без разделительной полосы, дорогах без обочин и двухполосных сельских дорогах. Они чаще всего происходят ночью или рано утром на дорогах без освещения.

В обоих исследованиях было показано, что риск таких аварий с участием водителей молодого и среднего возраста (20–50 лет) выше, чем с участием водителей старшего возраста.

Учитывая наблюдающуюся тенденцию потепления климата, изменения погодных условий, увеличения масштабов и длительности природных пожаров, а следовательно, и возрастания площади территорий, находящихся в зонах опасного влияния мелкодисперсных частиц дыма, правомерно ожидать возрастания дорожной аварийности в условиях недостаточной видимости. Для адекватного реагирования на подобные чрезвычайные дорожные ситуации потребуется, в том числе, разработка моделей для прогнозирования риска таких ДТП и оценки эффективности мероприятий, направленных на их сокращение.

Список источников

1. IPCC: AR6 Climate Change 2021: The physical science basis. Geneva, Switzerland. 2021.
2. Ложкина О.В., Орловцев С.В., Савинов А.Г. Анализ влияния изменения климата на природные пожары на примере Российской Федерации и ряда зарубежных стран // Проблемы управления рисками в техносфере. 2022. № 2 (63). С. 111–121.
3. Ложкина О.В., Орловцев С.В. Анализ влияния изменения климата на природные пожары на примере России // Пожарная безопасность: современные вызовы. Проблемы и пути решения: материалы Всерос. науч.-практ. конф. СПб., 2022. С. 191–194.
4. Spreading like Wildfire – The rising threat of extraordinary landscape fires // A UNEP rapid response assessment. United Nations Environment Programme (2022). Nairobi, 2022. 126 p.
5. Щеглова Е.Г. О влиянии погодных условий на пожары природных объектов // Вестник ОГУ. 2013. № 1 (150). С. 166–170.
6. Дубровская О.А., Мальбахов В.М., Шлычков В.А. Влияние массовых лесных пожаров на циклонические процессы в Сибири // Вычислительные технологии. 2007. Т. 12. № 2. С. 58–66.
7. Ложкин В.Н. Исследование влияния торфяного пожара на комплексную безопасность автотранспортного движения // Проблемы управления рисками в техносфере. 2022. № 2 (62). С. 88–93.
8. Ложкин В.Н. Моделирование опасного для населения воздействия торфяного пожара // Сибирский пожарно-спасательный вестник. 2022. № 3 (26). С. 16–19.
9. Комплексная оценка и анализ показателей дорожно-транспортных происшествий на примере регионов Черноземья / А.С. Бобешко [и др.] // Мир транспорта и технологических машин. 2018. № 4. С. 62–68.
10. Научно-методологический подход к снижению аварийности на дорогах Российской Федерации / И.А. Новиков [и др.] // Мир транспорта и технологических машин. 2019. № 3. С. 58–65.
11. A study on crashes related to visibility obstruction due to fog and smoke / M. Abdel-Atya [et al.] // Accident analysis and prevention. 2011. № 43. P. 1 730–1 737.
12. Association of reduced visibility with crash outcomes / S. Das [et al.] // IATSS Research. 2018. № 42. P. 143–151.
13. Real-time assessment of fog-related crashes using airport weather data: a feasibility analysis / M.M. Ahmed [et al.] // Accid. Anal. Prev. 2014. № 72. P. 309–317.
14. Wu Y., Abdel-Aty M., Lee J. Crash risk analysis during fog conditions using real-time traffic data // Accident Analysis & Prevention. 2018. Vol. 114. P. 4–11.
15. Calsavara F., Kabbach F.I., Larocca A.P.C. Effects of fog in a brazilian road segment analyzed by a driving simulator for sustainable transport: drivers' speed profile under in-vehicle warning systems // Sustainability. 2021. Vol. 13: 10501.

16. Lee J., Abdel-Aty M.A. Investigation of low visibility related crashes in Florida // Final report. Contract BDV24-977-31. University of central Florida. 2019. 78 p.
17. Ложкина О.В. Обзор зарубежных подходов для моделирования распространения дыма природных пожаров и прогнозирования его воздействия на безопасность дорожного движения // Проблемы управления рисками в техносфере. 2020. № 1 (53). С. 100–105.
18. Ложкина О.В., Онов В.А., Комашинский В.И. Информационный процесс мониторинга и прогнозирования опасного воздействия дыма торфяного пожара на безопасность дорожного движения // Науч.-аналит. журн. «Вестник С.-Петерб. ун-та ГПС МЧС России». 2021. № 3. С. 21–28.
19. Новиков И.А. Методология прогнозирования и предупреждения дорожно-транспортных происшествий: дис. ... д-ра техн. наук. 2019. Орел: ОГУ им. И.С. Тургенева. 305 с.
20. Дорожно-транспортные происшествия за 12 марта 2023 года на территории Саратовской области // Официальный сайт Главного управления МВД России по Саратовской области. URL: <https://64.xn--b1aew.xn--p1ai/news/item/36436455/> (дата обращения: 12.03.2023).
21. Крупное ДТП произошло в районе подмосковного города Жуковский // 1 канал. Новости. URL: https://www.1tv.ru/news/2015-02-10/26867-krupnoe_dtp_proizoshlo_v_rayone_podmoskovnogo_goroda_zhukovskiy (дата обращения: 12.03.2023).
22. Основы работы в программной среде R при анализе биомедицинских данных / В.Л. Егошин [и др.] // Экология человека. 2018. № 7. С. 55–64.

References

1. IPCC: AR6 Climate Change 2021: The physical science basis. Geneva, Switzerland. 2021.
2. Lozhkina O.V., Orlovcev S.V., Savinov A.G. Analiz vliyaniya izmeneniya klimata na prirodnye pozhary na primere Rossijskoj Federacii i ryada zarubezhnyh stran // Problemy upravleniya riskami v tekhnosfere. 2022. № 2 (63). S. 111–121.
3. Lozhkina O.V., Orlovcev S.V. Analiz vliyaniya izmeneniya klimata na prirodnye pozhary na primere Rossii // Pozharnaya bezopasnost': sovremennye vyzovy. Problemy i puti resheniya: materialy Vseros. nauch.-prakt. konf. SPb., 2022. S. 191–194.
4. Spreading like Wildfire – The rising threat of extraordinary landscape fires // A UNEP rapid response assessment. United Nations Environment Programme (2022). Nairobi, 2022. 126 p.
5. Shcheglova E.G. O vliyanii pogodnyh usloviy na pozhary prirodnyh ob"ektov // Vestnik OGU. 2013. № 1 (150). S. 166–170.
6. Dubrovskaya O.A., Mal'bahov V.M., Shlychkov V.A. Vliyanie massovyh lesnyh pozharov na ciklonicheskie processy v Sibiri // Vychislitel'nye tekhnologii. 2007. T. 12. № 2. S. 58–66.
7. Lozhkin V.N. Issledovanie vliyaniya torfyanogo pozhara na kompleksnuyu bezopasnost' avtotransportnogo dvizheniya // Problemy upravleniya riskami v tekhnosfere. 2022. № 2 (62). S. 88–93.
8. Lozhkin V.N. Modelirovanie opasnogo dlya naseleniya vozdejstviya torfyanogo pozhara // Sibirskij pozharno-spatatel'nyj vestnik. 2022. № 3 (26). S. 16–19.
9. Kompleksnaya ocenka i analiz pokazatelej dorozhno-transportnyh proissheshtvij na primere regionov Chernozem'ya / A.S. Bobeshko [i dr.] // Mir transporta i tekhnologicheskikh mashin. 2018. № 4. S. 62–68.
10. Nauchno-metodologicheskij podhod k snizheniyu avarijnosti na dorogah Rossijskoj Federacii / I.A. Novikov [i dr.] // Mir transporta i tekhnologicheskikh mashin. 2019. № 3. S. 58–65.
11. A study on crashes related to visibility obstruction due to fog and smoke / M. Abdel-Atya [et al.] // Accident analysis and prevention. 2011. № 43. P. 1 730–1 737.
12. Association of reduced visibility with crash outcomes / S. Das [et al.] // IATSS Research. 2018. № 42. P. 143–151.
13. Real-time assessment of fog-related crashes using airport weather data: a feasibility analysis / M.M. Ahmed [et al.] // Accid. Anal. Prev. 2014. № 72. P. 309–317.

14. Wu Y., Abdel-Aty M., Lee J. Crash risk analysis during fog conditions using real-time traffic data // *Accident Analysis & Prevention*. 2018. Vol. 114. P. 4–11.
15. Calsavara F., Kabbach F.I., Larocca A.P.C. Effects of fog in a brazilian road segment analyzed by a driving simulator for sustainable transport: drivers' speed profile under in-vehicle warning systems // *Sustainability*. 2021. Vol. 13: 10501.
16. Lee J., Abdel-Aty M.A. Investigation of low visibility related crashes in Florida // Final report. Contract BDV24-977-31. University of central Florida. 2019. 78 p.
17. Lozhkina O.V. Obzor zarubezhnyh podhodov dlya modelirovaniya rasprostraneniya dyma prirodnyh pozharov i prognozirovaniya ego vozdejstviya na bezopasnost' dorozhnogo dvizheniya // *Problemy upravleniya riskami v tekhnosfere*. 2020. № 1 (53). S. 100–105.
18. Lozhkina O.V., Onov V.A., Komashinskij V.I. Informacionnyj process monitoring i prognozirovaniya opasnogo vozdejstviya dyma torfyanogo pozhara na bezopasnost' dorozhnogo dvizheniya // *Nauch.-analit. zhurn. «Vestnik S.-Peterb. un-ta GPS MCHS Rossii»*. 2021. № 3. S. 21–28.
19. Novikov I.A. Metodologiya prognozirovaniya i preduprezhdeniya dorozhno-transportnyh proisshestvij: dis. ... d-ra tekhn. nauk. 2019. Orel: OGU im. I.S. Turgeneva. 305 c.
20. Dorozhno-transportnye proisshestviya za 12 marta 2023 goda na territorii Saratovskoj oblasti // Oficial'nyj sajt Glavnogo upravleniya MVD Rossii po Saratovskoj oblasti. URL: <https://64.xn--b1aew.xn--p1ai/news/item/36436455/> (data obrashcheniya: 12.03.2023).
21. Krupnoe DTP proizoshlo v rajone podmoskovnogo goroda Zhukovskij // 1 kanal. Novosti. URL: https://www.1tv.ru/news/2015-02-10/26867-krupnoe_dtp_proizoshlo_v_rayone_podmoskovnogo_goroda_zhukovskiy (data obrashcheniya: 12.03.2023).
22. Osnovy raboty v programmnoj srede R pri analize biomedicinskih dannyh / V.L. Egoshin [i dr.] // *Ekologiya cheloveka*. 2018. № 7. S. 55–64.

Информация о статье:

Статья поступила в редакцию: 17.05.2023; одобрена после рецензирования: 20.05.2023; принята к публикации: 23.05.2023

The information about article:

The article was submitted to the editorial office: 17.05.2023; approved after review: 20.05.2023; accepted for publication: 23.05.2023

Информация об авторах:

Ложкина Ольга Владимировна, профессор кафедры физико-химических основ процессов горения и тушения Санкт-Петербургского университета ГПС МЧС России (196105, Санкт-Петербург, Московский пр., д. 149), доктор технических наук, кандидат химических наук, профессор, e-mail: olojkina@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0001-8604-2698>

Орловцев Сергей Викторович, адъюнкт Санкт-Петербургского университета ГПС МЧС России (196105, Санкт-Петербург, Московский пр., д. 149), e-mail: osv-01@yandex.ru

Нефедьев Сергей Аркадьевич, профессор кафедры пожарной безопасности технологических процессов и производств Санкт-Петербургского университета ГПС МЧС России (196105, Санкт-Петербург, Московский пр., д. 149), доктор военных наук, профессор, e-mail: doktorsan@mail.ru

Information about the authors:

Lozhkina Olga V., professor of the department of chemistry and combustion processes of Saint-Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia (196105, Saint-Petersburg, Moskovsky ave., 149), doctor of technical sciences, candidate of chemical sciences, professor, e-mail: olojkina@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0001-8604-2698>

Orlovtssev Sergey V., adjunct of the faculty of training of highly qualified personnel of Saint-Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia (196105, Saint-Petersburg, Moskovsky ave., 149)

Nefed'ev Sergey A., professor of the department of fire safety of technological processes and productions of the Saint-Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia (196105, Saint-Petersburg, Moskovsky ave., 149), doctor of military sciences, professor, e-mail: doktorsan@mail.ru