
СНИЖЕНИЕ РИСКОВ И ЛИКВИДАЦИЯ ПОСЛЕДСТВИЙ ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЙ. ОБЕСПЕЧЕНИЕ БЕЗОПАСНОСТИ ПРИ ЧС

Научная статья

УДК 656.13(1-21):621.43.06:504.3.064; DOI: 10.61260/1998-8990-2023-3-8-16

МОНИТОРИНГ ДОРОЖНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ В ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ УСЛОВИЯХ РАСПРОСТРАНЕНИЯ СМОГА ТОРФЯНОГО ПОЖАРА

✉ Ложкин Владимир Николаевич;

Смирнов Алексей Сергеевич;

Шарапов Сергей Владимирович.

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

✉ vnlojkin@yandex.ru

Аннотация. Исследуется физическое явление формирования смога от горящих торфяных болот и устойчивого загрязнения ими воздуха на автомобильной магистрали. Показано, что твердые частицы смога малых размеров PM_{10} и $PM_{2.5}$ способны, как на ядрах конденсации, создавать оптически плотные аэрозольные туманы и тем самым уменьшать дальность видимости на проезжей части до 50 и менее метров, существенно повышая риск дорожно-транспортных происшествий. Доказывается, что вместе с угарным газом CO смог насыщает воздух поллютантами до опасных значений концентраций, способных существенно ослабить рефлекторные реакции водителей на изменяющуюся дорожную обстановку. В комплексе это приводит к чрезвычайной ситуации, сопровождающейся транспортным коллапсом, требующим подключения сил и средств аварийного реагирования.

Ключевые слова: горящий болотный торф, смог, магистраль, безопасность движения, чрезвычайная ситуация

Для цитирования: Ложкин В.Н., Смирнов А.С., Шарапов С.В. Мониторинг дорожной безопасности в чрезвычайных условиях распространения смога торфяного пожара // Проблемы управления рисками в техносфере. 2023. № 3 (67). С. 8–16. DOI: 10.61260/1998-8990-2023-3-8-16.

Scientific article

MONITORING ROAD SAFETY UNDER SMOG EMERGENCY PEAT FIRE

✉ Lozhkin Vladimir N.;

Smirnov Aleksey S.;

Sharapov Sergey V.

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

✉ vnlojkin@yandex.ru

Abstract. The physical phenomenon of smog formation from burning peat bogs and its persistent air pollution on the highway is investigated. It is shown that particulate smog particles of small sizes PM_{10} and $PM_{2.5}$ are capable, as on condensation nuclei, of creating optically dense aerosol fogs and, thereby, reducing the visibility range on the roadway to 50 meters or less, significantly increasing the risk of traffic accidents. It is proved that, together with carbon monoxide

© Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России, 2023

CO, smog saturates the air with pollutants to dangerous concentrations that can significantly weaken the reflex reactions of drivers to changing traffic conditions. In combination, this leads to an emergency situation, accompanied by a transport collapse, requiring the involvement of forces and means of emergency response.

Keywords: burning bog peat, smog, highway, traffic safety, emergency

For citation: Lozhkin V.N., Smirnov A.S., Sharapov S.V. Monitoring road safety under smog emergency peat fire // Problemy upravleniya riskami v tekhnosfere = Problems of risk management in the technosphere. 2023. № 3 (67). P. 8–16. DOI: 10.61260/1998-8990-2023-3-8-16.

Состояние вопроса

Мониторинг и борьба с лесными пожарами являются одними из основных актуальных задач огнеборцев во всех странах мира [1–5]. В заболоченных регионах Российской Федерации особую опасность для населения представляют тлеющие торфяники, способные создавать чрезвычайные ситуации как в зимнее время [4], так и в летние засушливые периоды, часто сопутствуя лесным пожарам [5]. Крупные тлеющие торфяники при неблагоприятных метеорологических ситуациях могут создавать комплексное чрезвычайно-опасное воздействие, включая дорожно-транспортные происшествия с долговременным нарушением нормальной жизнедеятельности в регионе [4]. Зарубежными и отечественными учеными изучена физика появления и развития торфяных пожаров с математическим моделированием специфичного беспламенного горения углеводов болот [5]. По выходу из тлеющего болота с частицами аэрозольного дыма в атмосфере происходят трансформации, способствующие формированию оптически плотного токсичного «смога».

Исследуя поставленную в работе проблему связи аэрозольного смога тлеющего торфяника с дальностью видимости на магистрали и безопасностью движения, потребуется принимать во внимание вероятность появления тумана – плотной воздушной взвеси капель воды, образующихся на мелких частицах дымового аэрозоля тлеющего торфяника, как на «ядрах» конденсации. Этому явлению способствуют особые (неблагоприятные) метеоусловия в приземной тропосфере: слабый ветер, инверсии температуры. Физическая природа образования такого водно-аэрозольного смога применительно к загрязнению приземной тропосферы аэрозолем антропогенной природы в г. Дели (Индия) исследована в работе [6].

Индийские ученые обнаружили [6], что процессы образования и роста жидких капель на частицах аэрозоля в атмосферном воздухе, насыщенном водяным паром, происходят лавинообразно при достижении определенного «порога» – критических взаимозависимых значений температуры и парциального давления в воздухе насыщенного водяного пара. Ими было установлено, что явления образования и роста жидких капель в атмосферном воздухе являются конкурирующими процессами. Теоретические особенности конкуренции этих физических явлений, имеющих особое значение для понимания загрязнения атмосферы тлеющими торфяниками, описаны в той же работе [6]. Они зависят уже от предпочтительности роста, начиная с определенного критического размера, физической поверхности капель за счет выделения на ней конденсируемых из водяного газа/пара молекул воды.

Можно ожидать, что тлеющий торфяник выбросом в атмосферу частиц аэрозоля микронного размера, аналогично выбросу аэрозольных частиц в атмосферу от автотранспорта и промышленных предприятий в городах [4, 6, 7], при неблагоприятных метеоусловиях может инициировать процессы образования водно-аэрозольного смога или путем дополнительного повышения общей концентрации частиц усилить его токсическую опасность. На основании анализа результатов исследований работы [8] можно достоверно предположить, что повышение токсического действия поллютантов смога тлеющего торфяника способно ослабить рефлекторные реакции у водителей и совместно с уменьшением дальности обзора в замутненной аэрозолем воздушной среде над проезжей частью дороги (рис. 1) повысить риск дорожно-транспортных происшествий (ДТП).

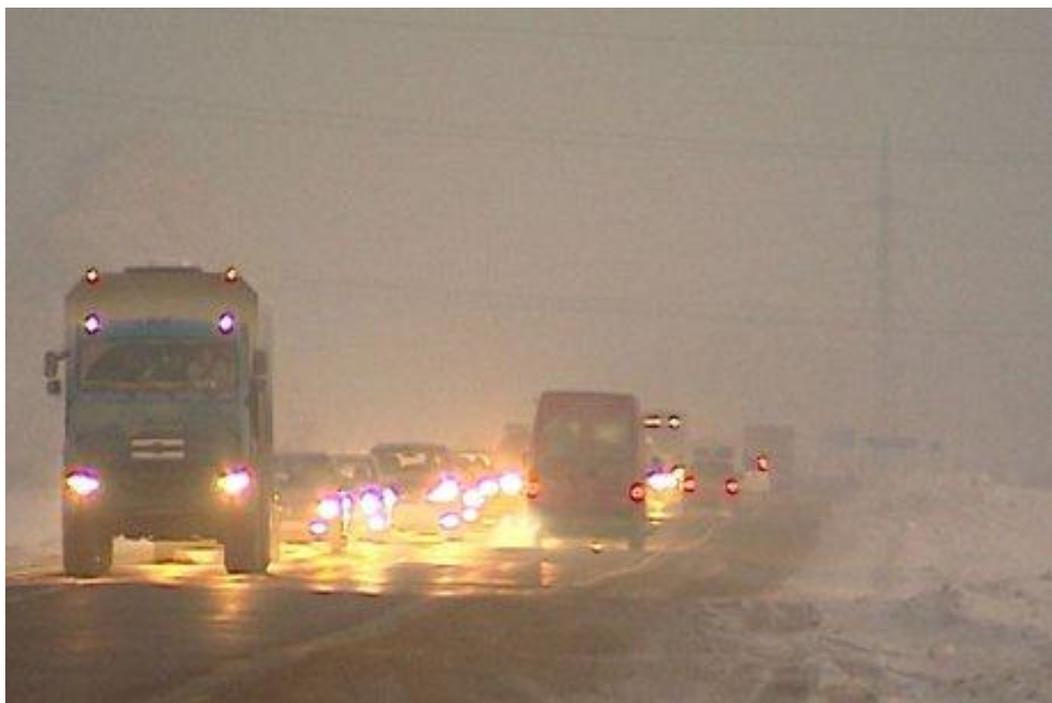


Рис. 1. Картина замутнения воздуха на дороге смогом тлеющего торфяника [4]

В статье приведена математическая модель и методика расчетного мониторинга дорожной безопасности в чрезвычайных условиях распространения смога от тлеющего торфяника.

Методика исследования

Закономерности процессов распространения и накопления вблизи автомобильной дороги CO , PM_{10} , $PM_{2.5}$ смога от тлеющего торфяника моделируются оригинальным способом искусственных нейронных сетей с использованием Гауссиана как радиальной базисной функции [9]. Концентрация поллютанта C ($г/м^3$) в любой точке пространства над дорогой вблизи тлеющего торфяника при допущении нормального закона распределения определяется согласно уравнению:

$$C(t, x, y, z) = \frac{M \exp\left(-\frac{1}{2}\left(\frac{(x-x_0-Ut)^2}{(\sigma_x)^2 t} + \frac{(y-y_0)^2}{(\sigma_y)^2 t} + \frac{(z-z_0)^2}{(\sigma_z)^2 t}\right)\right)}{(\sqrt{2\pi t})^3 \sigma_x \sigma_y \sigma_z}, \quad (1)$$

где x_0 , y_0 , z_0 – декартовы координаты тлеющего торфяника как источника выброса поллютанта, м, с интенсивностью M , г/с; U – скорость движения воздуха (ветра) в направлении оси Ox , м/с; σ_x , σ_y , σ_z – значения средних квадратичных отклонений для текущего времени t по осям координат Ox , Oy , Oz .

Применение принципа суперпозиции позволяет из уравнения (1) получить выражение для расчета концентрации поллютанта:

$$C(t, x, y, z) = \int_0^t \frac{M \exp\left(-\frac{1}{2}\left(\frac{(x-x_0-Ut)^2}{(\sigma_x)^2 t} + \frac{(y-y_0)^2}{(\sigma_y)^2 t} + \frac{(z-z_0)^2}{(\sigma_z)^2 t}\right)\right)}{(\sqrt{2\pi t})^3 \sigma_x \sigma_y \sigma_z} dt. \quad (2)$$

После перехода к кубатурным формулам с заменой интеграла конечной суммой:

$$C_n(t, x_i, y_i, z_i) = \sum_{i=1}^n R_i \frac{Q \exp\left(-\frac{1}{2}\left(\frac{(x_i-x_0-V_x t)^2}{(\sigma_x)^2 t} + \frac{(y_i-y_0)^2}{(\sigma_y)^2 t} + \frac{(z_i-z_0)^2}{(\sigma_z)^2 t}\right)\right)}{(\sqrt{2\pi t})^3 \sigma_x \sigma_y \sigma_z}, \quad (3)$$

где R_i – численный коэффициент; $x_i \in [0; t]$; (x_i, y_i, z_i) – точки, в которых производится интегрирование; $i = 0, 1, 2, 3, \dots, n$.

Настройка весов искусственной нейронной сети, а именно пропорционально и непропорционально входящих коэффициентов R_i и (x_i, y_i, z_i) в уравнение (3), производится путем минимизации значений итерационных вычислений по уравнению, именуемому в теории искусственных нейронных сетей «функционалом ошибки» по методике [9] для уточняющих наборов исходных параметров, например, скорости и направления движения воздуха. В качестве гетерогенных параметров, уточняющих («обучающих») модель (3), использовались как измерения газоанализаторами [9], так и данные расчетов по адекватным моделям [10, 11] распределения концентраций поллютантов в шлейфе облака смога тлеющего торфяника.

Для оценки дальности обзора на дороге в горизонтальной плоскости (L_o) в условиях «замутнения» воздушной среды обводненным аэрозолем [4] может быть использовано, например, эмпирическое выражение, полученное авторами [6] в ходе полевых измерений дальности видимости в городских условиях г. Дели (Индия) для частиц антропогенного аэрозоля в спектре размеров от 0,3 до 20 мкм:

$$C_{PM} = \alpha \cdot (L_o)^{-\beta}, \quad (4)$$

где C_{PM} – концентрация частиц аэрозоля в плотном смоговом тумане размера от 0,3 до 20 мкм, частиц/литр; $\alpha = 4 \cdot 10^8$, частиц/(литр·м); L_o – дальность обзора, м; $\beta = 0,77$. Соотношение (4) связывает концентрацию аэрозольных частиц с дальностью обзора в условиях возникновения плотного тумана.

В связи с тем, что при загрязнении воздуха на дороге тлеющим торфяником вероятно ожидать как появление туманов, так и их отсутствие, в настоящем исследовании для оценки дальности обзора на дороге в горизонтальной плоскости (L_o) была использована обобщенная формула *W. Traberta* [12]:

$$L_o = \alpha^* \cdot \frac{\rho}{q} \cdot r_e,$$

где α^* – постоянная величина, зависящая от распределения частиц по размеру в местах контроля их концентрации на дороге; q – концентрация частиц аэрозоля в воздухе над дорогой, г/м³; ρ – плотность массы частиц аэрозоля, г/м³; r_e – средний размер частицы аэрозоля в поперечнике, м.

Принимая во внимание, что загрязнение воздуха поллютантами тлеющего торфяника имеет риск острого воздействия на самочувствие водителей и, как следствие, ослабления рефлекторных реакций на дорожные опасности, оценки токсического влияния делались с использованием действующего Р 2.1.10.1920–04 «Руководства оценки риска для здоровья населения при воздействии химических веществ, загрязняющих окружающую среду» по методике, отмеченной в публикации [4]. Анализ приказа МЧС России от 8 июля 2004 г. № 329 «Об утверждении критериев информации о чрезвычайных ситуациях» позволяет рекомендовать порог наступления комплексной чрезвычайной опасности воздействия тлеющего торфяника на дорожную безопасность числовыми параметрами: 5 ПДК_{МР} поллютанта и обзорность дороги водителем 50 м.

Результаты исследования

Проверка адекватности и работоспособности подхода расчетного контроля дорожной безопасности осуществлялась по модельным сценариям развития чрезвычайных дорожных ситуаций от тлеющих торфяников, вероятных для заболоченного региона Иркутской обл. (табл. 1) [9].

Таблица 1

Характеристика сценариев для развития опасной дорожной ситуации от тлеющего торфяника

№ сценария / Исходные характеристики и условия	1	2
Опасные химические вещества	CO, PM _{2,5} , PM ₁₀	CO, PM _{2,5} , PM ₁₀
Направление ветра	На магистраль	На магистраль
Сила ветра	От 1 м/с до 2 м/с	От 0,5 м/с до 1 м/с
Расстояние до дороги	От 2 км до 5 км	От 2 км до 5 км
Поверхность тлеющего торфяника, га	<i>в пределах 20 га</i>	<i>в пределах 40 га</i>
Диапазон температур воздушной среды, °С	От -20 до -10 °С	От -20 до -10 °С
Физическая устойчивость стратифицированной атмосферы [11]	В пределах 180	В пределах 250
Скорость подъема дымового смога над поверхностью тлеющего торфяника	Менее 2,5 м/с	Менее 2,5 м/с
Средняя интенсивность эмиссии поллютантов тлеющим торфяником	По CO – 118 г/с; По PM _{2,5} – 16 г/с; По PM ₁₀ – 17 г/с	По CO – 252 г/с; По PM _{2,5} – 29 г/с; По PM ₁₀ – 38 г/с
Вероятность образования тумана	нет	да

В табл. 2 представлено предлагаемое ранжирование опасности дорожной ситуации к возникновению ДТП на дорогах при воздействии смога от горящего торфяника, а на рис. 2 – результаты в форме ГИС-карты численного эксперимента в окрестности автомобильной дороги ФАД Р-255 «Сибирь», проведенного с помощью математической модели (1–3) для концентрации оксида углерода CO (мг/м³) (с обучением модели по измерениям Росгидромета).

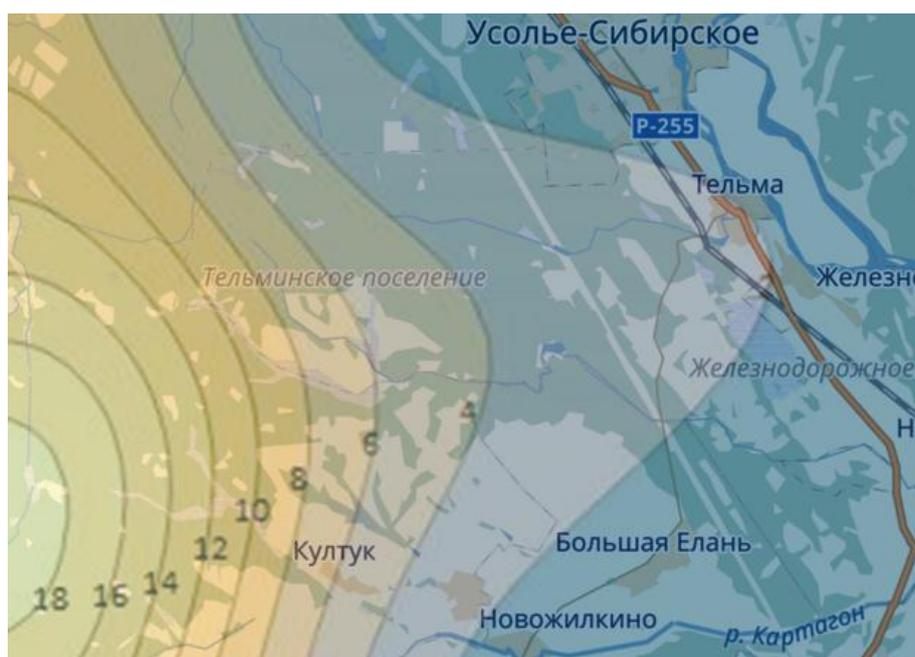


Рис. 2. ГИС-карта распределения концентрации CO (мг/м³) от тлеющего торфяника [9]

Таблица 2

Соотнесение дальности обзора к опасности ДТП

Ранжирование опасности ДТП в зависимости от дальности обзора на дороге					
Обзор, м	≥800	От 300 до 799	От 130 до 299	От 51 до 129	≤50
Ситуация	Допустимая	Удовлетворительная	Неудовлетворительная	Опасная	Чрезвычайно опасная

Из анализа результатов рис. 2 можно сделать вывод о том, что при метеорологических условиях для рассеяния в воздушной среде поллютантов, соответствующих согласно нормативному документу [11] «нормально неблагоприятным», санитарный уровень воздействия оксида углерода СО на водителей не превысит ПДК_{МР} = 5 мг/м³: в населенном пункте Тельма концентрация СО может приблизиться к значению 2 мг/м³; на других участках ФАД Р-255 «Сибирь», попадающих под влияние смога тлеющего торфяника, значения концентрации СО окажутся значительно меньше опасных величин.

Для других условий формирования и распространения смога от тлеющего торфяника согласно данным табл. 1 ситуация может оказаться чрезвычайно опасной (сценарий № 2, табл. 3): по РМ_{2,5} острота санитарно-гигиенического воздействия 0,788 [4, 9]; по обзорности дороги – 18 м [4].

Таблица 3

Оценка комплексных рисков от поллютантов и от ограничения обзорности на дороге для водителей по опасности ДТП [4, 9]

Показатель риска ЧС	№ сценария	Поселок «Тельма»
По СО	1	0,001
	2	0,067
По РМ _{2,5}	1	0,001
	2	0,788
По РМ ₁₀	1	0,001
	2	0,5
По обзорности дороги, м	1	538
	2	18

Критический анализ расчетных данных, указанных в табл. 3, позволяет сделать вывод о том, что при вероятных для данного региона Российской Федерации климатических и метеорологических аномально неблагоприятных условиях в сочетании с мощными выбросами поллютантов СО, РМ_{2,5}, РМ₁₀ от тлеющего торфяника и образования в приземной тропосфере над дорогой плотного тумана визуально контролируемый водителем обзор дороги может сократиться до 18 м и менее. При сохранении таких экстремально неблагоприятных, по природе гетерогенных, факторов на несколько часов и дней в условиях интенсивного движения (как сейчас принято говорить «трафика») вероятно ожидание ДТП и, возможно, чрезвычайного транспортного коллапса [4, 9].

Заключение

Предлагаемая методика расчетного мониторинга и прогнозирования риска ДТП от тлеющих торфяников на автомобильных дорогах с интенсивным «трафиком», основанная на оригинальном подходе искусственной нейронной сети, получаемой и обучаемой одновременно с использованием апробированных фундаментальных представлений о рассеянии поллютантов в стратифицированной тропосфере и данных непосредственных измерений их концентраций, прошла адаптацию с подтверждением работоспособности применительно к реальным и гипотетически вероятным сценариям развития чрезвычайных ситуаций на автомобильных дорогах, включая сценарий образования смога в условиях продолжительных туманов.

Авторы выражают благодарность кандидату технических наук В.Д. Тимофееву за предоставление расчетно-аналитических материалов, критический анализ которых позволил внести методические уточнения в совместно разработанный подход прогноза влияния поллютантов тлеющих торфяников на риск возникновения ДТП.

Список источников

1. Wael K. Al-Delaimy and others health of people, health of planet and our responsibility. Climate change, air pollution and health // eBook, Springer, XXIII. 2020. 417 s. DOI: 10.1007/978-3-030-31125-4.
2. Public values for integration in natural disaster management and planning: A case study from Victoria, Australia / A. Rawluk [et al.] // J. Environ. Manage. 2017. Vol. 185. P. 11–20.
3. Fann N., Alman B., Broome R.A. The health impacts and economic value of wildland fire episodes in the U.S.: 2008–2012 // Sci. Total Environ. 2018. Vol. 610–611. P. 802–809. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2017.08.024.
4. Ложкин В.Н. Моделирование опасного для населения воздействия торфяного пожара // Сибирский пожарно-спасательный вестник. 2022. № 3. С. 16–19. DOI: 10.34987/vestnik.sibpsa.2022.25.88.005.
5. On physical and mathematical modeling of the initiation and propagation of peat fires / A.M. Grishin [et al.] // Inzh.-Fiz. Zh. 2009. Vol. 82. № 6. P. 1210–1217.
6. Manju M., Swagata P. Aerosol number concentrations and visibility during dense fog over a subtropical urban site // Journal of nanomaterials. Vol. 2014. Article ID 495457. DOI: 10.1155/2014/495457.
7. Lozhkina O.V., Lozhkin V.N. Estimation of road transport related air pollution in Saint Petersburg using European and Russian calculation models // Transportation Research Part D. Transport and Environment. 2015. № 36. P. 178–189. DOI: 10.1016/j.trd.2015.02.013.
8. Reported prevalence of health conditions that affect drivers / F. Alonso // Cogent medicine. 2017. Vol. 4. DOI: 10.1080/2331205X.2017.1303920.
9. Нейросетевой подход в решении задач прогнозирования загрязнения воздуха торфяным пожаром / В.Д. Тимофеев [и др.] // Нейрокомпьютеры и их применение: материалы XV Всерос. науч. конф. М.: ФГБОУ ВО МГППУ, 2017. С. 104–106.
10. Берлянд М.Е., Генихович Е.Л., Оникул Р.И. Моделирование загрязнения атмосферы выбросами из низких и холодных источников // Метеорология и гидрология. 1990. № 5. С. 5–16.
11. Об утверждении методов расчетов рассеивания выбросов вредных (загрязняющих) веществ в атмосферном воздухе: приказ Минприроды России от 6 июня 2017 г. № 273. URL: <http://docs.cntd.ru/document/456074826> (дата обращения: 17.05.2023).
12. Kampe H.J., Weickmann H.K. Traberts's formula and the determination of the water content in clouds // Journal of meteorology. 1952. Vol. 9. P. 167–171.

References

1. Wael K. Al-Delaimy and others health of people, health of planet and our responsibility. Climate change, air pollution and health // eBook, Springer, XXIII. 2020. 417 s. DOI: 10.1007/978-3-030-31125-4.
2. Public values for integration in natural disaster management and planning: A case study from Victoria, Australia / A. Rawluk [et al.] // J. Environ. Manage. 2017. Vol. 185. P. 11–20.
3. Fann N., Alman B., Broome R.A. The health impacts and economic value of wildland fire episodes in the U.S.: 2008–2012 // Sci. Total Environ. 2018. Vol. 610–611. P. 802–809. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2017.08.024.
4. Lozhkin V.N. Modelirovanie opasnogo dlya naseleniya vozdeystviya torfyanogo pozhara // Sibirskij pozharno-spatatel'nyj vestnik. 2022. № 3. С. 16–19. DOI: 10.34987/vestnik.sibpsa.2022.25.88.005.
5. On physical and mathematical modeling of the initiation and propagation of peat fires / A.M. Grishin [et al.] // Inzh.-Fiz. Zh. 2009. Vol. 82. № 6. P. 1210–1217.
6. Manju M., Swagata P. Aerosol number concentrations and visibility during dense fog over a subtropical urban site // Journal of nanomaterials. Vol. 2014. Article ID 495457. DOI: 10.1155/2014/495457.
7. Lozhkina O.V., Lozhkin V.N. Estimation of road transport related air pollution in Saint Petersburg using European and Russian calculation models // Transportation Research Part D. Transport and Environment. 2015. № 36. P. 178–189. DOI: 10.1016/j.trd.2015.02.013.
8. Reported prevalence of health conditions that affect drivers / F. Alonso // Cogent medicine. 2017. Vol. 4. DOI: 10.1080/2331205X.2017.1303920.
9. Nejrosetevoj podhod v reshenii zadach prognozirovaniya zagryazneniya vozduha torfyanym pozharom / V.D. Timofeev [i dr.] // Nejrokomp'yutery i ih primenenie: materialy XV Vseros. nauch. konf. M.: FGBOU VO MGPPU, 2017. С. 104–106.
10. Berlyand M.E., Genihovich E.L., Onikul R.I. Modelirovanie zagryazneniya atmosfery vybrosami iz nizkih i holodnyh istochnikov // Meteorologiya i gidrologiya. 1990. № 5. S. 5–16.
11. Ob utverzhdenii metodov raschetov rasseivaniya vybrosov vrednyh (zagryaznyayushchih) veshchestv v atmosfernom vozduhe: prikaz Minprirody Rossii ot 6 iyunya 2017 g. № 273. URL: <http://docs.cntd.ru/document/456074826> (data obrashcheniya: 17.05.2023).
12. Kampe H.J., Weickmann H.K. Traberts`s formula and the determination of the water content in clouds // Journal of meteorology. 1952. Vol. 9. P. 167–171.

Информация о статье:

Статья поступила в редакцию: 05.07.2023; одобрена после рецензирования: 11.07.2023;
принята к публикации: 14.07.2023

The information about article:

The article was submitted to the editorial office: 05.07.2023; approved after review: 11.07.2023;
accepted for publication: 14.07.2023

Информация об авторах:

Ложкин Владимир Николаевич, профессор кафедры пожарной, аварийно-спасательной техники и автомобильного хозяйства Санкт-Петербургского университета ГПС МЧС России (196105, Санкт-Петербург, Московский пр., д. 149), доктор технических наук, профессор, заслуженный деятель науки Российской Федерации, e-mail: vnlojkin@yandex.ru, SPIN-код: 9496-2451

Смирнов Алексей Сергеевич, первый заместитель начальника Санкт-Петербургского университета ГПС МЧС России (196105, Санкт-Петербург, Московский пр., д. 149), доктор технических наук, профессор, e-mail: sas@igps.ru, <https://orcid.org/0000-0003-1661-9089>, SPIN-код: 1677-1402

Шарапов Сергей Владимирович, профессор кафедры криминалистики и инженерно-технических экспертиз Санкт-Петербургского университета ГПС МЧС России (196105, Санкт-Петербург, Московский пр., д. 149), доктор технических наук, профессор, e-mail: shcsv@mail.ru, SPIN-код: 7386-9524

Information about the authors:

Lozhkin Vladimir N., professor of the department of fire, rescue equipment and automobile economy of the Saint-Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia (196105, Saint-Petersburg, Moskovsky ave., 149), doctor of technical sciences, professor, Honored scientist of the Russian Federation, e-mail: vnlojkin@yandex.ru, SPIN: 9496-2451

Smirnov Alexey S., first deputy head of the Saint-Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia (196105, Saint-Petersburg, Moskovsky ave., 149), doctor of technical sciences, professor, e-mail: sas@igps.ru, <https://orcid.org/0000-0003-1661-9089>, SPIN: 1677-1402

Sharapov Sergey V., professor of the department of criminalistics and engineering expertise of the Saint-Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia (196105, Saint-Petersburg, Moskovsky ave., 149), doctor of technical sciences, professor, e-mail: shcsv@mail.ru, SPIN: 7386-9524