

ОЦЕНКА ЗАГРЯЗНЕНИЯ ВОЗДУХА И ПОСЛЕДСТВИЙ ДЛЯ ЗДОРОВЬЯ ОТ ПИРОТЕХНИЧЕСКИХ ИЗДЕЛИЙ: ВЫЗОВЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ



Исаев Сардор Алишеревич

главный научный сотрудник Исследовательского института криминологии

Аннотация. В статье представлены результаты метаанализа 145 исследований, посвящённых влиянию пиротехнических изделий на качество атмосферного воздуха, уровень шума и санитарное состояние населения, проанализированы физические травмы, вызванные фейерверками, и шумовое загрязнение, влияющее на людей и животных. Сделаны выводы о необходимости просвещения населения и развития нормативно-правовой базы с целью минимизации последствий пиротехнической активности.

Ключевые слова: фейерверк, пиротехника, загрязнение воздуха, тяжёлые металлы, газообразные загрязнители, шумовое загрязнение, здоровье человека, дыхательные заболевания, канцерогены, экологическая безопасность, альтернативы фейерверкам, лазерные шоу, контроль выбросов, пиротехнические травмы.

PIROTEKNIKA MAHSULOTLARIDAN KELIB CHIQUADIGAN HAVO IFLOSLANISHI VA SOG'LIQ UCHUN OQIBATLARNING BAHOLANISHI: MUAMMOLAR VA ISTIQBOLLAR

Annotatsiya. Ushbu maqolada pirotekhnika vositalarining atmosfera havosi sifati, shovqin darajasi va aholining sanitariya holatiga ta'siri bo'yicha 145 ta tadqiqotning meta-tahlil natijalari taqdim etilgan. Feyer-vertklar sababli yuzaga kelgan jismoniy jarohatlar va insonlar hamda hayvonlarga ta'sir qiluvchi shovqin ifloslanishi tahlil qilingan. Pirotekhnika faoliyatining oqibatlarini minimallashtirish maqsadida aholining xabardorligini oshirish va normativ-huquqiy bazani rivojlantirish zarurligi haqida xulosa chiqarilgan.

Kalit so'zlar: feyerverk, pirotekhnika, havo ifloslanishi, og'ir metallar, gaz holatidagi ifloslantiruvchi moddalar, shovqin ifloslanishi, inson salomatligi, nafas olish kasalliklari, kanserogenlar, ekologik xavfsizlik, feyerverklarga alternativalar, lazer shoulari, chiqindilarni nazorat qilish, pirotekhnika jarohatlari.

ASSESSMENT OF AIR POLLUTION AND HEALTH IMPACTS FROM PYROTECHNIC DEVICES: CHALLENGES AND PERSPECTIVES

Abstract. This article presents the results of a meta-analysis of 145 studies dedicated to the impact of pyrotechnic devices on atmospheric air quality, noise levels, and public health conditions. It analyzes physical injuries caused by fireworks and noise pollution affecting humans and animals. Conclusions are drawn regarding the necessity of public awareness and the development of regulatory frameworks to minimize the consequences of pyrotechnic activities.

Keywords: fireworks, pyrotechnics, air pollution, heavy metals, gaseous pollutants, noise pollution, human health, respiratory diseases, carcinogens, environmental safety, fireworks alternatives, laser shows, emission control, pyrotechnic injuries.

Различные мероприятия во многих культурах традиционно сопровождаются использованием пиротехнических изделий – фейерверков, римских свечей, петард и бенгальских огней [1]. Эти элементы являются неотъемлемой

частью торжеств, включая свадьбы, дни рождения, государственные и муниципальные праздники, массовые культурные и спортивные события. Несмотря на повсеместную популярность и визуальную привлекательность фейерверков, их экологические

последствия остаются недооценёнными широкой общественностью. Между тем, пиротехника представляет собой значительный источник загрязнения атмосферного воздуха.

В частности, механические (аэрозольные) частицы, образующиеся в результате сгорания фейерверков, способствуют кратковременному, но интенсивному увеличению концентраций взвешенных веществ в воздухе. Группа исследователей из США и КНР провела метаанализ 145 научных публикаций, соответствующих строгим критериям отбора, с целью количественной оценки уровня загрязнения воздуха, обусловленного пиротехнической активностью [2]. Анализ охватывал работы, выполненные преимущественно в Азии (более 70% выборки), а также в Европе и Северной Америке. Основное внимание уделялось концентрациям взвешенных частиц различной размерной фракции, их морфологии и химическому составу.

Согласно данным, полученным в ходе исследований, проведённых в Китае, Индии и Германии, при проведении массовых мероприятий наблюдались резкие скачки концентраций суммарных взвешенных частиц (TSP) – до 39 800 мкг/м³ в течение 50 минут (с 23:40 до 00:30) в новогоднюю ночь. В среднем уровни TSP варьировались в пределах от 330,5 до 670,8 мкг/м³ в Китае и Индии, что в 1,05–2,84 раза превышает фоновые значения.

Фракционный анализ показал, наибольшие средние концентрации частиц PM10 достигали 2237,3 мкг/м³ во время праздника Дивали в Салкии (Индия) [3], что почти в 110 раз превышает минимальный зарегистрированный фоновый уровень – 20,5 мкг/м³ на Мальте [4]. В качестве справочного значения: фоновая концентрация PM10 в Нью-Дели обычно составляет 122,1–167,8 мкг/м³. Во время фестивалей средний уровень PM10 достигал 469,3 мкг/м³ в Китае и 479,8 мкг/м³ в

Индии, что более чем в 4 раза превышает установленный в Индии предел допустимой концентрации (100 мкг/м³) [5]. В странах ЕС, таких как Испания и Италия, зарегистрированы более низкие показатели: средняя концентрация PM10 составила 71,5 мкг/м³, что в 1,4 раза превышает установленный в Евросоюзе норматив (50 мкг/м³).

Фракции мелкодисперсных частиц PM2.5 представляют наибольшую опасность для здоровья человека, поскольку отличаются высокой проникающей способностью. Эти частицы способны длительное время оставаться во взвешенном состоянии в атмосфере и достигать альвеол лёгких, вызывая воспалительные процессы и повреждение дыхательной системы. В связи с этим особенно важно отслеживать концентрации PM2.5, образующихся при использовании пиротехнических изделий.

Во время проведения международного фестиваля фейерверков в Канаде максимальное зарегистрированное среднее значение PM2.5 составило 6378,6 мкг/м³, что в 212 раз превышает предельно допустимую концентрацию, установленную в стране – (30 мкг/м³) [6]. Такое значительное загрязнение воздуха возникло вследствие серии из девяти фейерверков продолжительностью 40 минут каждый, растянутых на один месяц [7]. В различных странах, включая Китай, Индию, Канаду, США, Испанию и Германию, средние значения PM2.5 колебались в диапазоне от 61 до 6378,6 мкг/м³ и превышали фоновый уровень в четыре раза.

Дополнительные измерения в Нагпуре (Индия) показали, что концентрация ультрадисперсных частиц диаметром 0,25–1,0 мкм во время фейерверков достигала в среднем 4,4 миллиона частиц на литр, а максимальное значение превысило 8,9 миллиона частиц/л. Это в 3–5 раз выше фонового уровня, что подтверждает преобладание частиц с диаметром менее 1 мкм.

Во время массовых мероприятий, таких как футбольные матчи, наблюдается резкий рост концентрации наночастиц в атмосфере, по причине использования сигнальных огней (фейеров) [8]. В частности, после начала горения численная концентрация наночастиц увеличивалась в 12 раз, при этом доминировали частицы размером около 155 нм. Расчёты показали, что средняя кумулятивная доза вдыхаемых частиц игроками и зрителями составляла примерно 7×10^8 частиц на килограмм массы тела – на 300% выше фоновой дозы.

Химический анализ состава аэрозольных частиц, образующихся при сгорании пиротехники, выявил наличие как макроэлементов (калий, сера, кальций, медь), так и токсичных соединений, таких как барий. Присутствие калия и серы связано с использованием чёрного пороха, в то время как медь, как правило, накапливается в частицах размером 250–500 нм и может оказывать вредное воздействие на организм.

Морфологический анализ показал, что частицы до и после горения имеют как правильную, так и неправильную сферическую форму. Образование сферических частиц летучей золы при высоких температурах подтверждает высокотемпературную природу процессов, происходящих при сгорании фейерверков. Присутствие в атмосфере элементов, таких как алюминий, железо, калий и стронций в период массовых запусков, указывает на их пиротехническое происхождение.

Суммарный анализ 60 из 145 исследованных публикаций продемонстрировал, что средняя концентрация твёрдых частиц в воздухе во время пиротехнических мероприятий превышала фоновый уровень в 5 раз.

Что касается химических загрязнителей, основным источником выбросов служит чёрный порошок, в состав которого входят восстановители (древесный уголь, сера) и окислители (чаще всего нитрат калия, реже –

перхлорат калия). Для получения различных цветовых эффектов в состав фейерверков также добавляют металлы: алюминий, железо, сурьму и другие неорганические соединения. При сгорании этих компонентов выделяются газы (углекислый газ, оксиды азота и серы), а также твёрдые частицы, включая оксиды металлов.

Многие из этих загрязняющих веществ растворимы в воде и оседают вместе с атмосферными осадками, вступая во взаимодействие с природными экосистемами и потенциально влияя на гидрологический цикл.

В частности, было идентифицировано 13 видов водорастворимых ионов, среди которых 5 катионов (Na^+ , Mg^{2+} , K^+ , Ca^{2+} , NH_4^+) и 8 анионов (F^- , Cl^- , ClO_4^- , NO_2^- , NO_3^- , SO_3^{2-} , SO_4^{2-} , CO_3^{2-}). Некоторые из них, включая нитрит, сульфит и карбонат, встречаются реже, но также потенциально опасны при накоплении.

Во время массовых праздников и фестивалей фиксируется резкий рост концентраций ряда неорганических и органических соединений в атмосфере, особенно сульфатов (SO_4^{2-}) и ионов калия (K^+). Их уровни достигают 23 мкг/м³ и 13 мкг/м³ соответственно, что превышает повседневные значения в 38,3 и 2,7 раза. Это объясняется тем, что сера и калий входят в состав чёрного пороха, широко применяемого в пиротехнических изделиях. При сгорании сера образует диоксид серы (SO_2), который может быстро окисляться в сульфаты – как фотохимически, так и при участии металлических катализаторов. Калий, в свою очередь, поступает из калийной селитры или перхлората калия.

Анализ распределения концентраций водорастворимых ионов показал следующую иерархию: $\text{CO}_3^{2-} > \text{NO}_3^- > \text{Cl}^- > \text{NH}_4^+ > \text{Ca}^{2+} > \text{Mg}^{2+} > \text{Na}^+ > \text{NO}_2^- > \text{SO}_3^{2-} > \text{F}^-$. Это указывает на преобладание вторичных компонентов аэрозоля – карбонатов, нитратов и аммония – в дни с активным

использованием фейерверков. Средние концентрации этих ионов во время пиротехнических мероприятий составляли 15 мкг/м³ (CO₃²⁻), 14 мкг/м³ (NO₃⁻) и 8,7 мкг/м³ (NH₄⁺), а их отношение к фоновым уровням достигало 30,3, 2,2 и 4 соответственно. Такие показатели используются в качестве индикаторов наличия пиротехнической активности в атмосфере.

Для создания зрелищных визуальных эффектов в состав фейерверков целенаправленно добавляют определённые металлы. Так, стронций (Sr) используется для красного цвета, барий (Ba) – для жёлто-зелёного, сурьма (Sb) и свинец (Pb) – для светло-зелёного, натрий (Na) – для жёлтого, калий (K) – для фиолетового, медь (Cu) – для синего. Кроме того, хлориды и сульфаты кальция (Ca) усиливают оранжевый цвет пламени, а цинк (Zn) применяется для образования дыма. Марганец (Mn) используется как топливо для увеличения яркости, хром (Cr) – как катализатор для ускорения горения, магний (Mg) и алюминий (Al) – для образования искр и повышения температуры горения.

В результате анализа частиц, выбрасываемых в атмосферу при сгорании пиротехники, было выявлено присутствие 47 различных химических элементов. Наиболее часто встречающиеся включают: K, S, Ca, Al, Si, Mg, Na, Fe, Ba, Zn, Pb, Cu, Ti, Sr, Mn, Cr, As и Cd. Из них калий и сера показали наивысшие средние концентрации – 9637,3 и 9681,9 нг/м³ соответственно, что связано с их активным применением в составе пороха и окислителей.

Значительное присутствие кремния (Si), алюминия (Al) и кальция (Ca) также объясняется добавлением порошков этих веществ для повышения температуры горения и насыщенности цвета. Их средние концентрации составили 4678,5, 2488,7 и 2481,9 нг/м³ соответственно. Среди цветообразующих элементов средние уровни меди (Cu), цинка

(Zn) и железа (Fe) составили 103, 511,3 и 1263,7 нг/м³. Кадмий (Cd) и мышьяк (As), несмотря на более низкие концентрации (179,3 и 21,5 нг/м³), представляют опасность из-за своей токсичности. Эти элементы, как правило, не добавляются напрямую, а попадают в состав как примеси при обработке других металлов, таких как свинец и цинк.

Для сравнения, фоновый уровень содержания тяжёлых и потенциально канцерогенных элементов, таких как свинец (Pb), барий (Ba) и мышьяк (As), колебался в пределах: Pb – около 192 нг/м³, Ba – от 1 до 70 нг/м³, As – от 7 до 29 нг/м³. Многие из этих тяжёлых металлов обладают нейротоксичными и канцерогенными свойствами.

Важно учитывать, что фейерверки – не единственный источник данных загрязнителей. Значительный вклад в атмосферные концентрации этих элементов вносят также выбросы от сжигания биомассы и ископаемого топлива, мусора, а также автомобильный транспорт.

Помимо неорганических соединений, при сгорании фейерверков в атмосферу попадают органические загрязнители, включая частицы органического и элементарного углерода, а также полициклические ароматические углеводороды (ПАУ). В 19 из 145 рассмотренных исследований сообщается об их повышенных концентрациях во время пиротехнических шоу. По данным 12 исследований, содержание органического углерода значительно возрастает из-за использования древесного угля в составе чёрного пороха и горения внешней оболочки фейерверков. Средние значения органического углерода варьировались от 5,1 до 80,4 мкг/м³, что в 1,5–6,3 раза выше фоновых уровней. Разнообразные материалы, применяемые в конструкции фейерверков – цветная бумага, шерсть, волокна – также вносят вклад в общий уровень органических частиц.

Элементарный углерод, хотя и составляет небольшую долю общей массы аэрозолей, оказывает значительное влияние на оптические свойства атмосферы – он снижает прозрачность воздуха примерно на 12%. Средняя концентрация элементарного углерода при запуске фейерверков достигала 9,6 мкг/м³, что в 1,1–15 раз превышает нормальный уровень. Отношение органического к элементарному углероду в аэрозолях достигает своего максимума во время фестивалей (от 1,3 до 7,9), и этот показатель рассматривается как дополнительный индикатор пиротехнической активности при мониторинге состояния атмосферы.

Дополнительно к твёрдым и газообразным загрязнителям, внимание исследователей было направлено на органические соединения, в особенности канцерогенные ПАУ как нафталин, аценафтен, фенантрен, антрацен, бензопирен и др. Анализ показал, что их средние концентрации близки к фоновым значениям, что также подтверждается последними исследованиями. Это позволяет предположить, что ПАУ в основном не образуются в результате прямого сгорания пиротехнических изделий.

Однако в ряде случаев фиксировались значительно повышенные уровни других органических загрязнителей – гексахлорбензола, пентахлорфенола и диоксинов. Во время фестивалей их концентрации превышали фоновые показатели в 10 раз, что напрямую связывают с воздействием пиротехники.

Газообразные загрязнители, присутствующие в атмосфере в ходе пиротехнических мероприятий, также оказывают влияние как на состав воздуха, так и на климат, участвуя в передаче солнечного и теплового излучения. К числу таких примесей относятся озон (O₃), оксиды азота (NO_x), угарный газ (CO), диоксид серы (SO₂), метан (CH₄) и другие. Они влияют как на здоровье человека, так и на химическую стабильность атмосферы.

Порядок убывания концентраций газов в дни фестивалей таков: CO > SO₂ > NO > NO₂ > O₃. Концентрация угарного газа (CO) вырастает примерно в пять раз – с фонового уровня 264 мкг/м³ до 1298,9 мкг/м³. Это вещество образуется в процессе неполного сгорания углеродсодержащих веществ. Среднее значение SO₂ достигает 217,6 мкг/м³ – в 9,2 раза выше обычного уровня (23,7 мкг/м³). В одном из китайских городов зафиксирована максимальная концентрация SO₂ – 3470 мкг/м³, что превышает норму почти в 44 раза.

Оксиды азота также увеличиваются в атмосфере во время запуска фейерверков. Так, средняя концентрация NO составила 99,9 мкг/м³, а NO₂ – 46,2 мкг/м³, что примерно в 1,3 раза выше фонового уровня (34,6 мкг/м³). Озон (O₃), в отличие от других газов, демонстрировал слабую реакцию: значительный рост наблюдался только в одном исследовании, где его концентрация выросла в 1,4 раза по сравнению с фоном (30 мкг/м³).

Звуковое сопровождение фейерверков – важная часть зрелищности, однако оно также является источником интенсивного шумового загрязнения, способного нанести вред здоровью [9]. Семь из 145 проанализированных работ были посвящены оценке уровня шума в период проведения праздников. Большинство измерений проводились в коммерческих районах. Средний уровень шума составлял 90 дБ, что на 12 дБ выше фонового уровня (78 дБ). При этом в дневное время уровень достигал 92 дБ, а ночью снижался до 78 дБ.

Во многих случаях значения превышали допустимые пределы, установленные национальными стандартами. Например, в Китае предельно допустимый уровень – 60 дБ днём и 78 дБ ночью; в Индии – 65 дБ и 55 дБ соответственно; в Испании – всего 30 дБ. В жилых зонах во время праздника Дивали уровень окружающего шума достигал в среднем 97 дБ (с колебаниями от 89 до 105 дБ),

тогда как в обычные дни он составлял около 86 дБ (72–98 дБ). Таким образом, уровень шума в период фестивалей в Индии оказался в 1,7 раза выше предельной нормы для жилых районов (50 дБ).

Последствия постоянного воздействия шума от фейерверков могут быть весьма серьезными: от быстрой утомляемости и бессонницы до повышения тревожности, депрессии и даже риска сердечно-сосудистых заболеваний. Зарегистрировано увеличение уровня холестерина и повышение риска инфаркта. Однако наиболее тяжёлым последствием является стойкая потеря слуха.

Не остаются в стороне и животные. Например, в ночь на 1 января 2021 года в Риме сотни птиц были найдены мёртвыми возле двух центральных вокзалов. Свидетели сообщали, что тротуары и улицы были буквально усыпаны телами птиц. По мнению экспертов, причиной их гибели стали сильный стресс и, вероятно, сердечные приступы, вызванные взрывами фейерверков и петард.

Воздействие фейерверков на здоровье можно условно разделить на два основных аспекта: физические травмы и вред от химических загрязнителей. Взрывы пиротехники часто становятся причиной ожогов и травм глаз, кожи и рук. Особенно высок риск повреждений глаз: спектр варьируется от легких раздражений до полной утраты зрения или даже самого глаза.

Так, в Дании зарегистрировано в среднем 0,012 случая глазных травм на каждую тонну фейерверков. В Швеции у 38% пострадавших последствия оказались необратимыми. Подобные инциденты в новогодние праздники были зафиксированы в Норвегии, США, Великобритании, Франции, Австрии, Новой Зеландии, Китае, Индии, Иране и других странах. Примечательно, что более 80% пострадавших – мужчины, и около 70% из них – моложе 18 лет [10].

Искры и раскалённые частицы от фейерверков могут воспламенить одежду или легковоспламеняющиеся материалы, вызывая ожоги. Помимо этого, пиротехника выбрасывает в атмосферу большое количество твёрдых и газообразных загрязнителей, включая тяжёлые металлы, что негативно влияет на органы дыхания, сердечно-сосудистую систему и может повышать риск онкологических заболеваний.

Краткосрочные последствия вдыхания пиротехнического дыма могут проявляться в виде кашля, затруднённого дыхания, повышения температуры, а в тяжёлых случаях – острой эозинофильной пневмонии.

Вещества, выделяющиеся при горении фейерверков, такие как:

Pm10 – усугубляют течение бронхиальной астмы и ХОБЛ;

SO₂ – проникает в нижние отделы лёгких, вызывая отдалённые последствия;

NO₂ – способен вызвать биохимические нарушения и хронические повреждения дыхательной системы;

O₃ и CO – увеличивают риск бронхиальной астмы, одышки и воспалений;

Пары хлора – раздражают слизистые и могут спровоцировать острый респираторный дистресс-синдром.

Исследования показали, что канцерогенный потенциал дыма от свистящих бенгальских огней превышает таковой у менее дымных вариантов – главным образом за счёт содержания тяжёлых металлов. В частности, Cd, Pb, Cr и Ni представляют опасность для людей с астмой и ассоциируются с риском развития рака лёгких.

Тяжёлые металлы и полициклические ароматические углеводороды в составе PM2.5 проникают в организм через дыхательные пути и кожу, повышая как канцерогенные, так и неканцерогенные риски. Риск от воздействия неканцерогенных металлов оценивается в следующем порядке:

Pb > Zn > Sr > Cu > Mn > Ba > As > Cr.

Канцерогенный риск для Cr превышает допустимую норму ($>10^{-6}$), что указывает на серьёзную угрозу. В то же время риск от As ниже и составляет $9,16 \times 10^{-7}$, что считается допустимым уровнем. Таким образом, Cr признан наиболее канцерогенным компонентом фейерверков.

Хотя прямые травмы от фейерверков представляют значительную опасность, наибольшую угрозу для здоровья несут микро-частицы и газы, выделяющиеся при сгорании пиротехники.

Для снижения рисков требуется проведение масштабных эпидемиологических исследований, направленных на изучение воздействия пиротехнических загрязнителей на организм человека. Производителям необходимо внедрять экологически безопасные технологии, сокращающие выбросы.

Важно разработать и применять модели прогнозирования пространственно-временного распределения загрязнителей, которые помогут точнее оценивать последствия и совершенствовать нормы регулирования использования фейерверков.

Несмотря на краткосрочный характер праздников, их влияние на окружающую среду и здоровье человека оказывается значительным. По этой причине:

Нужен строгий контроль над производством и продажей пиротехники, с поэтапным отказом от наиболее вредных образцов.

Необходимо регламентировать места и время запуска фейерверков, ограничивая их применение в густонаселённых и чувствительных районах.

Требуется экологическая модернизация конструкции фейерверков, чтобы уменьшить количество выбросов и снизить уровень шума. Не менее важной задачей остаётся просвещение населения – люди должны осознавать риски не только для собственного здоровья, но и для окружающей среды. Это особенно актуально на фоне изменений климата, ставших одной из главных угроз современности.

Возможные альтернативы. Фейерверки – давняя культурная традиция, особенно в новогодние и праздничные дни, и отказаться от них непросто. Однако всё больше людей готовы рассматривать экологичные альтернативы, такие как:

- световые и лазерные шоу;
- голографические проекции;
- централизованные городские фейерверки вместо частных запусков.

В опросе, проведённом среди 187 жителей Германии, около 50% респондентов отдали предпочтение лазерным и световым шоу как замене фейерверкам. Среди любителей пиротехники эта доля снизилась до 35%, при этом 36% заявили, что не готовы отказаться от фейерверков ни при каких обстоятельствах. Ещё 10% назвали хорошей альтернативой шоу, организованное муниципалитетом.



Использованные источники

1. Грязная красота фейерверков. Как пиротехника вредит окружающей среде. URL: <https://knife.media/fireworks>.
2. Синьюань Цао, Сюэлэй Чжан, Дэниел Цюй Тун, Вэйвэй Чэнь, Шичунь Чжан, Хунмэй Чжао и Айцзюнь Сю. 2018. Обзор физико-химических свойств загрязняющих веществ, выделяющихся при фейерверках: воздействие на окружающую среду и здоровье, а также профилактика. *Environmental Reviews*. 26 (2): 133–155. URL: <https://doi.org/10.1139/er-2017-0063>.
3. Air pollution from fireworks during festival of lights (Deepawali) in Howrah, India – a case study. *Atmósfera* vol.23 no.4 Ciudad de México oct. 2010. URL: https://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S0187-62362010000400004&script=sci_arttext&lng=en.
4. Renato Camilleri, Alfred J. Vella. Effect of fireworks on ambient air quality in Malta. *Atmospheric Environment*. Volume 44, Issue 35, November 2010, Pages 4521-4527. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1352231010006485?via%3Dihub>.
5. Chirag Verma, D. Deshmukh. The ambient air and noise quality in India during diwali festival: A Review. *Environmental Science. Recent Research in Science and Technology*. Published 9 October 2014. URL: <https://www.semanticscholar.org/paper/The-ambient-air-and-noise-quality-in-India-during-A-Verma-Deshmukh/7bdc94898639225a9de0fb4445fc0f847235ce3?p2df>.
6. Raizenne, M. (2003). Science and Regulation--U.S. and Canadian Overview. *Journal of Toxicology and Environmental Health, Part A*, 66(16–19), 1503–1506. URL: <https://doi.org/10.1080/15287390306445>.
7. Joly A. M.; Smargiassi A.; Kosatsky T.; Fournier M. Characterisation of Particulate Exposure During Fireworks Displays. *Epidemiology* 19(6):p S218, November 2008. | DOI: 10.1097/01.ede.0000340153.76287.42.
8. Luka Pirker, Anton Gradišek. Nanoparticle exposure due to pyrotechnics during a football match. *Atmospheric Environment*. Volume 233, 15 July 2020, 117567. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1352231020303022>.
9. Raghu Betha, Rajasekhar Balasubramanian. PM2.5 Emissions from Hand-Held Sparklers: Chemical Characterization and Health Risk Assessment. and Health Risk Assessment. 2014 - Volume 14 Volume 14, Issue 5, August 2014 16 May 2014 Reach: 6222.
10. K. Sundelin , K. Norrsell. Eye injuries from fireworks in Western Sweden. Comparative Study. *Acta Ophthalmol Scand*. 2000 Feb;78(1):61-4. doi: 10.1034/j.1600-0420.2000.078001061.x. URL: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/10726792/>.

