

Научная статья

УДК 614.841.1; DOI: 10.61260/2218-13X-2025-1-11-21

ТУШЕНИЕ ПОДЗЕМНОГО ГОРЕНИЯ ПОЛИГОНОВ ПРОМЫШЛЕННЫХ ОТХОДОВ

Каблов Виктор Федорович;

✉ Хлобжева Инна Николаевна.

Волжский политехнический институт (филиал) Волгоградского государственного технического университета, г. Волжский, Россия.

Бегматова Жамила Шарабидиновна.

Медицинский колледж Ошского государственного университета,
г. Ош, Республика Кыргызстан

✉ innanic.i@yandex.ru

Аннотация. Проанализированы теоретические сведения о подземных пожарах на полигонах твердых промышленных отходов. Основным фактором, влияющим на процессы самовозгорания на полигонах, является наличие влажности, кислорода и микроорганизмов, что способствует увеличению температурного режима в толще грунтового массива.

Обоснована неэффективность тушения полигона промышленных отходов водой. Широко применяемые способы и огнетушащие составы не всегда оказывают должный эффект при тушении подповерхностных очагов горения промышленных отходов.

Проведены натурные испытания на полигоне захоронения отходов производства резинотехнических изделий. Предлагается способ тушения глубинного возгорания промышленных отходов, а также рецептура разработанной огнетушащей супензии.

Определено, что применяемый способ подачи полученной пожаротушащей супензии позволит уменьшить доступ кислорода к очагу возгорания и тем самым значительно снизить температуру горения. Рассмотрены преимущества способа тушения новым составом на основе фосфорсодержащей супензии и перлита, и антиоксидантов.

Ключевые слова: полигон промышленных отходов, возгорание отходов, микробиологическое самовозгорание, температура возгорания, горение резинотехнических изделий, натурные испытания, фосфорсодержащие добавки, перлит, антипирины

Для цитирования: Каблов В.Ф., Хлобжева И.Н., Бегматова Ж.Ш. Тушение подземного горения полигонов промышленных отходов // Науч.-аналит. журн. «Вестник С.-Петербург. ун-та ГПС МЧС России». 2025. № 1. С. 11–21. DOI: 10.61260/2218-13X-2025-1-11-21.

Scientific article

GORENJE UNDERGROUND BURNING OF INDUSTRIAL WASTE LANDFILLS

Kablov Victor F.;

✉ Khlobzheva Inna N.

Volga polytechnic institute (branch) of Volgograd state technical university, Volzhsky, Russia.
Begmatova Zhamila Sh.

Medical college of Osh state university, Osh, Republic of Kyrgyzstan

✉ innanic.i@yandex.ru

Abstract. The article analyzes theoretical data on underground fires at solid industrial waste landfills. The main factors influencing spontaneous combustion processes at landfills are the presence of humidity, oxygen, microorganisms, which significantly contributes to an increase in the temperature regime in the thickness of the soil massif.

The inefficiency of extinguishing an industrial waste landfill with water is substantiated. Widely used methods and fire extinguishing compositions do not always have the desired effect in extinguishing subsurface sources of combustion of industrial waste.

Full-scale tests were carried out at a landfill for the disposal of waste from the production of rubber products. A method for extinguishing deep combustion of industrial waste is proposed, as well as a formula for the developed fire extinguishing suspension.

It is determined that the applied method of supplying the resulting fire extinguishing suspension will reduce the access of oxygen to the source of combustion and thereby significantly reduce the combustion temperature. The advantages of the extinguishing method with a new composition based on a phosphorus-containing suspension and perlite, and antioxidants are considered.

Keywords: industrial waste landfill, waste ignition, microbiological spontaneous combustion, ignition temperature, combustion of rubber products, full-scale tests, phosphorus-containing additives, perlite, fire retardants

For citation: Kablov V.F., Khlobzheva I.N., Begmatova Zh.Sh. Gorenje underground burning of industrial waste landfills // Scientific and analytical journal «Vestnik Saint-Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia». 2025. № 1. P. 11–21. DOI: 10.61260/2218-13X-2025-1-11-21.

Введение

Обширные территории, на которых размещены твердые промышленные отходы вокруг промышленных комплексов, характеризуются изменением состава и свойств компонентов природной среды, преобразуя ее в загрязненную природно-техногенную среду.

Промышленные отходы достигают качества «окончательного хранения» на полигоне за период от 30 лет и более после их складирования. Массив полигона захоронения отходов должен достигнуть «инертного» состояния, чтобы эмиссии полигона не оказывали негативного воздействия на объекты окружающей среды в течение длительного периода времени [1].

На полигонах захоронения промышленных отходов часто происходят подземные пожары, которые продолжаются длительное время. Их сложно тушить из-за трудностей, возникающих при подаче огнетушащих веществ к очагу возгорания. Кроме этого, тушение подповерхностных пожаров осложняется возможностью перехода к пламенному горению в случае притока кислорода [2].

Возникновение пожаров в основном обусловлено образованием метана и других легковоспламеняющихся газов из промышленных отходов, что, в свою очередь, создает условия для образования шлейфов [3]. Накопление газов в приповерхностных слоях инициируют процесс самовозгорания, что обусловлено совокупностью природно-климатических, антропогенных факторов размещения полигона, а также особенностями физико-химического и биологического режима свалочного тела [4].

Многие продукты разложения химических веществ, идентифицированных при тестовых сжиганиях, включают золу (в состав которой входят: углерод, оксид цинка, диоксид титана, диоксид кремния и пр.); соединения серы (дисульфид углерода, диоксид серы, сульфид водорода); хлорорганические соединения, полициклические ароматические углеводороды (бензо(а)пирен, хризен, бензо(а)антрацен и пр.), оксины углерода и азота; твердые частицы и различные ароматические углеводороды, включающие в себя толуол, диметилбензол и пр. [5].

Наибольший риск для здоровья человека представляют взвешенные вещества, диоксид азота, оксид углерода и формальдегид, хлорорганические соединения [6].

Поэтому все промышленные полигоны захоронения отходов являются объектами повышенной экологической и пожарной опасности как на этапе эксплуатации объекта, так и после его закрытия.

Актуальность исследования связана с частым возникновением пожаров на полигонах захоронения твердых отходов производства, в частности резинотехнических изделий, которые чрезвычайно сложно тушить. Так, при горении каучука, резины температура их горения может достигать до 1 200 °C с выделением огромного количества тепла – более 900 кДж/кг (10 000 ккал/кг).

Натуральные и некоторые синтетические виды каучука (СКИ, СКД) при температуре выше 125 °C начинают плавиться, что приводит к их растеканию и увеличению площади горения. При сгорании каучука образуются капли, которые распыляются, что усугубляет пожароопасную ситуацию на полигоне. Кроме того, газообразные вещества, образующиеся в результате термического разложения каучука, могут накапливаться и представлять опасность взрыва. Средняя скорость выгорания каучука составляет 21...35 кг/м²·ч, а резины – 40 кг/м²·ч.

Практика тушения пожаров показала, что при горении каучука и резинотехнических изделий применяют воду, хотя их смачиваемость не является удовлетворительной. Рекомендуемая минимальная интенсивность подачи воды в виде распылённых и компактных струй, а также при подаче воды со смачивателем требует значительных объёмов – 0,3 л/с·м². Хорошо зарекомендовала себя при тушении пожаров каучука пена средней кратности, подаваемая с интенсивностью 0,2...0,3 л/с·м² (по раствору) [7].

Процессы горения на промышленном полигоне захоронения отходов можно охарактеризовать с помощью расчета критических условий процесса самовозгорания материалов, содержащихся в массиве промышленного полигона, который выполняется с учетом значений теплофизических параметров веществ.

Теплотехнические характеристики отходов приведены в табл. 1 [8], из которой видно, что наибольшей теплотворностью обладают бумага, дерево, текстиль и резина. Учитывая достаточно высокое содержание компонентов в этом морфологическом составе твердых промышленных отходов, можно характеризовать этот объект как пожароопасный.

Таблица 1

Теплотехнические характеристики промышленных отходов

№ п/п	Компоненты	Влага, % от общей массы	Выход летучих компонентов, %	Средняя теплотворность, ккал/кг
1	Бумага, картон	22	49,05	3 390
2	Текстиль	1	53,59	3 460
3	Резина	1	1,40	5 670
4	Полимерные материалы	6,5	2,97	–
5	Металл	3,0	–	49
6	Стекло	15	–	23
7	Керамика, отходы строительства, камни	19	7,88	23

На полигонах твердых промышленных отходов происходят сложные взаимосвязанные биологические и химические процессы, над которыми невозможно осуществить полный контроль. Химические реакции сопровождаются повышением температуры, которая нередко достигает уровня самовозгорания отходов. Самовозгорание возникает, когда материалы нагреваются выше точки воспламенения. Увеличение температуры фиксируется в подповерхностном слое полигона из-за протекания экзотермических реакций, приводящих к самонагреву твердых отходов. Также было замечено, что наличие влаги способствует как биологическому, так и химическому самонагреванию [2].

При увеличении содержания влаги в грунтовом слое полигона наблюдается снижение проницаемости твердых промышленных отходов, что сопровождается поглощением большого количества энергии по мере испарения воды [9]. Повышенная влажность способствует активизации жизнедеятельности бактерий и повышению тепловыделения. Присутствие воды в отходах в количестве, при котором выделение тепла микроорганизмами не может быть компенсировано теплопроводностью влажного материала, служит причиной самовозгорания [10].

Основные характеристики механизма самовозгорания заключаются в следующем: отдельные фракции отходов, которые поступают на полигон, активно окисляются в воздухе при относительно низких температурах. В процессе окисления температура вещества возрастает, что приводит к увеличению скорости реакции и дальнейшему самопроизвольному нагреву. Для воспламенения вещества не требуется внешний источник зажигания, оно воспламеняется под воздействием тепла, выделяющегося в ходе химических реакций окисления. Самопроизвольный нагрев веществ и материалов чаще всего происходит при постоянном распределении температур в объеме, что связано с различными условиями теплообмена в каждой точке с окружающей средой. В объеме вещества формируются отдельные участки с максимальной температурой [11].

Полигон можно рассматривать как большой биохимический реактор, внутри которого в процессе эксплуатации, а также в течение нескольких десятилетий после закрытия в результате биоразложения отходов образуется биогаз (40...60 % метана, 30...45 % диоксида углерода, а также примеси сероводорода, кислорода, азота и др.). Выделение биогаза зависит от многих параметров: влажности, температуры, плотности, состава отходов, кислотности и т.д. Метанобразующие микроорганизмы появляются в твердых отходах при содержании воды более 50 % и температуре больше 30 °C. Оптимальная для выделения биогаза температура – 35...40 °C, влажность – 90...96 % [11].

Необходимо учитывать, что жизнедеятельность микроорганизмов является одной из основных причин самовозгорания, развитие процесса после их гибели происходит по тепловому механизму. Чем глубже расположен очаг, тем ниже его температура горения. Однако при поступлении кислорода в полость горения при тушении данных объектов будет происходить резкое повышение температуры. Материалы, подверженные микробиологическому самовозгоранию, обладают двумя ключевыми характеристиками: во-первых, они могут служить питательной средой для микроорганизмов, таких как бактерии, актиномицеты и грибы, а, во-вторых, их температура самонагревания не превышает 70 °C. Это объясняется тем, что в процессе жизнедеятельности микроорганизмов температура в материале может возрасти до 70–75 °C. При температуре выше этого уровня микроорганизмы погибают, что приводит к резкому снижению выделения тепла. В некоторых научных источниках температурный предел их биологической активности составляет до 85...88 °C.

Интенсивный саморазогрев твердых промышленных отходов вызывает гетерогенное горение в виде тления внутри их массы, которое может происходить при низком содержании кислорода (2...5 %) и температуре 500...700 °C. При глубоком расположении очага и поступлении кислорода в полость наблюдается резкое повышение температуры за счет интенсификации процесса горения. Лёгкие газы выходят на поверхность, а тяжёлые углеводороды, образующиеся в результате термического разложения твёрдых горючих материалов, имеющие молекулярную массу больше молекулярной массы воздуха, скапливаются в основном в нижних полостях полигонов.

Таким образом, для более глубокого понимания причин появления подгрунтовых пожаров на начальных этапах важно учитывать концентрацию подповерхностных газов и их комбинации, которые оказывают влияние на температурный градиент [12]. Тушение полигона промышленных отходов водой неэффективно, поскольку она скатывается по поверхности уплотненного слоя отходов, не попадая в те пустоты, где скапливается газ и происходит горение, помимо этого все токсичные и ядовитые вещества вместе с водой уходят глубоко в грунтовые слои и проникают в водоносные горизонты почвы.

Для полигонов, обладающих большой территорией со сложным рельефом, перспективно применять систему пожаротушения «взрывчатым» водяным туманом, который обладает высокой эффективностью при тушении, может использоваться вдали от очага возгорания и т.д., поэтому оно имеет широкие перспективы применения в полевых условиях [13].

Применение воды в виде водяного тумана выделит большое количество тепла и перекроет доступ кислорода к очагу возгорания [12].

Для тушения полигонов промышленных отходов активно применяются различные составы на основе галоидоуглеводородов, содержащие смачиватели, антипенные средства и т.д., что позволяет существенно снизить количество возгораний.

Предлагаемые способы и составы для тушения не всегда оказывают должный эффект при ликвидации подповерхностных очагов горения промышленных отходов. Поэтому проблема разработки мероприятий и способов своевременного тушения глубинного залегания очагов пожаров на территории полигонов промышленных отходов является актуальной.

Основная задача – разработка технологии тушения глубинных пожаров и рецептуры составов для предотвращения пожаров на основе анализа экологических аспектов горения отходов на промышленном полигоне, а также проведение натурных испытаний способов тушения подземных возгораний на исследовательском участке полигона промышленных отходов.

Материалы и методы исследования

Для получения пожаротушащих фосфорсодержащих составов направленного действия для тушения глубинных пожаров на полигоне отходов резинотехнических изделий выбраны следующие компоненты: двойной суперфосфат, перлит, ацетоналил, вода.

Фосфаты, содержащиеся в $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$, являются эффективными антипиренами, которые замедляют процесс воспламенения и горения материалов. Следует подчеркнуть, что фосфорсодержащие системы часто применяются для производства вспенивающихся антипиренов [14, 15].

Механизм действия антипиренов определяется несколькими факторами:

- разрушение под воздействием огня с поглощением тепла и образованием невоспламеняемых газов;
- изменение процесса разложения материала, приводящее к образованию негорючих газов и трудногорючего коксового остатка;
- замедление окислительных процессов в газовой и конденсированной фазах, образование пенококса на поверхности теплозащитного слоя;
- изменение направления реакций в предпламенной области, что способствует образованию сажеподобных продуктов [16].

Вспученный перлит используется в качестве средства для удержания влаги в почве. Он способен поглощать воду в количестве до 300 % своего веса и долгое время постепенно отдавать её окружающей среде. Это делает его эффективным водоудерживающим компонентом в почвах засушливых регионов. Кроме того, растворы с его добавлением не выделяют токсичных газов.

Применение в рецептуре пожаротушащей суспензии ацетоналила Н (антиоксиданта класса пространственно затрудненных аминов) основано на ингибировании процессов окисления углеводородов при тушении глубинного пожара.

Вода в рецептуре применяется для гомогенизации дисперсионной среды и в качестве носителя компонентов предложенного состава, а также тушащего и охлаждающего средства.

Исследования проводились на полигоне промышленных отходов в промышленной зоне г. Волжского Волгоградской обл.

Для объективной оценки эксплуатации полигона твердых промышленных отходов необходимо изучение климатических, геологических, гидрогеологических особенностей в районе функционирования полигона.

Климатические условия Волгоградской обл. характеризуются резкой континентальностью. Лето продолжительное, сухое, знойное, наступающее сразу после зимы без длительного весеннего периода. Наиболее жаркий месяц – июль, температура воздуха достигает +45 °C, а на почве – +70 °C. Знойное лето усиливает процессы химического и биологического разложения соединений, входящих в состав отходов, способствует образованию токсичных веществ в жидкой и коллоидной форме. Образующиеся опасные вещества поступают в фильтрационные воды полигона, а с ними в подземные водоисточники.

Полигон расположен на местности с подстилающей материнской глинистой породой грунта. Верхнечетвертичные лессовидные отложения представлены желтовато-коричневыми суглинками. Коэффициенты фильтрации у суглинов недостаточны для природных геологических барьеров [17].

Поверхность полигона характеризуется слоистой структурой. По мере заполнения каждого отдельного участка на полигоне производится послойное уплотнение отходов. Их состав на полигоне: пластик, изоляционные материалы, резинотехнические отходы.

Результаты и их обсуждение

Для проведения натурных испытаний выбран экспериментальный участок с идентичными условиями на всей территории полигона промышленных отходов, характеризующийся наличием глубинного беспламенного горения.

Перед проведением испытаний щупом-термометром при постепенном погружении в почвогрунтовые слои определялась температура возле очага возгорания, которая составляет до 285 °C. Внешний вид экспериментального участка, представлен на рис. 1.



Рис. 1. Внешний вид исследовательского участка перед испытанием пожаротушащего состава

Пожаротушащий состав был изготовлен на основе технической воды, подаваемой из емкости пожарной машины. Суспензия подавалась на территорию экспериментального участка промышленного полигона в объеме до 400 л.

К месту возгорания состав доставлялся через рукавную линию, которая соединялась с бочкой, содержащей фосфорсодержащую суспензию. С помощью пожарного штуцера и помпы состав закачивался на глубину 1,5 м. Подача пожаротушащего состава рукавной линией приведена на рис. 2.



Рис. 2. Введение тушащей фосфорсодержащей суспензии в очаг возгорания

При введении фосфорсодержащей суспензии в зону возгорания наблюдалось интенсивное образование пара, что свидетельствует о высокой температуре в очаге. Внешний вид исследовательского участка через 15–20 мин после ликвидации возгорания представлен на рис. 3.

Для предотвращения остаточного возгорания проводилось «глушение» устья скважин суспензией перлита, что необходимо после предварительного заполнения очага горения специально разработанной огнетушащей суспензией, состоящей из фосфатов, перлита, воды и антиоксиданта.



Рис. 3. Внешний вид исследовательского участка через 15–20 мин после тушения возгорания

Проведено мониторинговое исследование температурного контроля через 48 ч с помощью щупа-термометра при постепенном погружении в свалочное тело полигона, сформированного частично ферментированными промышленными отходами. Температурные изменения с течением времени приведены в табл. 2.

Таблица 2

Результаты изменения температуры с течением времени

№ скважины	Объём подачи сусpenзии, л	Temperatura, °C				
		перед подачей сусpenзии	через 48 ч после подачи сусpenзии (расстояние от скважины, м)			
			в скважине	0,5	1	1,5
1	200–250	до 270...285	50...60	50...60	45–50	45–50

Натурные испытания показали (табл. 2), что применение разработанной сусpenзии приводит к снижению температуры грунта в самом очаге до пяти раз по сравнению с аналогичным участком, где огнетушащий состав не применялся. Кроме того, низкая температура подпочвенных горизонтов промышленных отходов сохраняется и в радиусе до 1,5 м вокруг очага.

Заключение

Тушение полигонов промышленных отходов с помощью воды неэффективно, так как при этом в подповерхностном слое активизируются биологические процессы разложения. В пустотах грунта накапливается метан и другие горючие газы, что способствует ускорению процесса возгорания и в конечном итоге самому горению. Кроме того, токсичные вещества вместе с водой проникают глубоко в землю, достигая грунтовых вод.

Для прекращения горения необходимо исключить поступление кислорода и горючих веществ в зону горения, а также охладить эту область ниже температуры воспламенения или самовоспламенения.

Предложенный метод «глушения» устьев скважин является важной составляющей после их заполнения разработанной огнетушащей сусpenзией, состоящей из фосфатов, перлита, антиоксиданта и воды.

Применение предлагаемого способа и разработанной сусpenзии для тушения глубинного пожара на полигоне отходов позволяет снизить температуру грунта в самом очаге более чем в пять раз. Кроме того, низкая температура грунта сохраняется и вокруг очага возгорания более чем на 1,5 м.

Список источников

1. Завицион Ю., Слюсарь Н., Коротаев В. Геоэкологическая оценка состояния полигонов захоронения твердых коммунальных отходов // Экология и промышленность России. 2019. № 23 (8). С. 50–56.
2. Хайдаров А.А., Королева Л.А., Смирнов А.С. Прогнозирование возникновения и распространения подземных пожаров на полигонах твердых коммунальных отходов // Науч.-аналит. журн. «Вестник С.-Петерб. ун-та ГПС МЧС России». 2022. № 4. С. 41–50.
3. Muleya M., Hinchliffe G., Petterson M. The environmental impact of landfill fires and their contaminant plumes at the Chunga landfill site // African Journal of Environmental Science and Technology. 2021. № 15 (12). Р. 569–579. DOI: 10.5897/AJEST2021.3008.
4. Ашихмина Т.В., Жидова М.В. Мониторинг пожарной опасности полигонов твердых коммунальных отходов (ТКО) с учетом геоэкологических и медико-экологических аспектов // Успехи современного естествознания. 2022. № 9. С. 21–27.

5. ГОСТ Р 54095–2010. Ресурсосбережение. Требования к экобезопасной утилизации отработавших шин. М.: Стандартинформ, 2011. С. 34.
6. Андреева Е.С., Климов П.В., Штенске К.С. Загрязнение атмосферного воздуха как один из факторов неканцерогенного риска здоровью населения Ростова-на-Дону // География и природные ресурсы. 2021. Т. 42. С. 32–36. DOI: 10.1134/S1875372821010030.
7. Пожаротушение в промышленных зданиях. Сер.: Пожаротушение / В.В. Теребнев [и др.]. М.: Пожнаука, 2008. Кн. 2. 125 с.
8. Снижение пожаровзрывоопасности объектов депонирования отходов / Т.Г. Середа [и др.] // Пожарная безопасность. 2008. № 3. С. 84–89.
9. Shadi Yu., Moqbel B.S. Characterizing spontaneous fires in Landfills. Jordan: M.S. University of Science & Technology, 2004.
10. Таубкин И.С. Микробиологическое самовозгорание как причина пожаров: методические рекомендации для следователей и экспертов // Теория и практика судебной экспертизы. 2016. № 4 (44). С. 73–85. DOI: 10.30764/1819-2785-2016-4-73-85.
11. Итышев И.К., Потапова С.О. О проблемах пожарной безопасности твердых бытовых отходов и мест их хранения // Пожарная безопасность: проблемы и перспективы. 2018. Т. 1. № 9. С. 292–300.
12. Detection and extinguishment approaches for municipal solid waste landfill fires: a mini review PMID: 37148210 / G.S. Manjunatha [et al.]. DOI: 10.1177/0734242X231168797.
13. Кудрин А.Н., Роенко В.В., Халиков Р.В. Система пожаротушения твёрдых коммунальных отходов на полигоне водной средой в метастабильном фазовом состоянии // Пожары и чрезвычайные ситуации: предотвращение, ликвидация. 2023. № 4. С. 13–19. DOI: 10.25257/FE.2023.4.13-19.
14. Зыбина О.А. Теоретические принципы и технология огнезащитных вспучивающихся материалов: дис. ... д-ра техн. наук. СПб., 2015. 260 с.
15. Балакин В.М., Полищук Е.Ю. Азот-фосфорсодержащие антипригары для древесины и древесных композиционных материалов (литературный обзор) // Пожаровзрывобезопасность. 2008. № 2. С. 43–51.
16. Каблов В.Ф., Кейбал Н.А., Новопольцева О.М. Огнетеплозащитные полимерные материалы с функционально-активными компонентами. Ч. 1. Волгоград: ВолгГТУ, 2016. С. 209.
17. Бобунова Г.А. Эколого-гигиеническое обоснование показателей оценки безопасности эксплуатации полигонов твердых бытовых отходов: на примере Волгоградской области: дис. ... канд. биол. наук. М, 2010. С. 149.

References

1. Zavizion Yu., Slyusar' N., Korotaev V. Geoekologicheskaya ocenka sostoyaniya poligonov zahoroneniya tverdyh kommunal'nyh othodov // Ekologiya i promyshlennost' Rossii. 2019. № 23 (8). S. 50–56.
2. Hajdarov A.A, Koroleva L.A., Smirnov A.S. Prognozirovanie vozniknoveniya i rasprostraneniya podzemnyh pozharov na poligonah tverdyh kommunal'nyh othodov // Nauch.-analit. zhurn. «Vestnik S.-Peterb. un-a GPS MCHS Rossii». 2022. № 4. S. 41–50.
3. Muleya M., Hinchliffe G., Petterson M. The environmental impact of landfill fires and their contaminant plumes at the Chunga landfill site // African Journal of Environmental Science and Technology. 2021. № 15 (12). P. 569–579. DOI: 10.5897/AJEST2021.3008.
4. Ashihmina T.V., Zhidova M.V. Monitoring pozharnoj opasnosti poligonov tverdyh kommunal'nyh othodov (TKO) s uchetom geoekologicheskikh i mediko-ekologicheskikh aspektov // Uspekhi sovremennoego estestvoznanija. 2022. № 9. S. 21–27.
5. GOST R 54095–2010. Resursosberezenie. Trebovaniya k ekobezopasnoj utilizacii otrobotavshih shin. M.: Standartinform, 2011. S. 34.

6. Andreeva E.S., Klimov P.V., Shtenske K.S. Zagryaznenie atmosfernogo vozduha kak odin iz faktorov nekancerogennogo riska zdorov'yu naseleniya Rostova-na-Donu // Geografiya i prirodnye resursy. 2021. T. 42. S. 32–36. DOI: 10.1134/S1875372821010030.
7. Pozharotushenie v promyshlennyh zdaniyah. Ser.: Pozharotushenie / V.V. Terebnev [i dr.]. M.: Pozhnauka, 2008. Kn. 2. 125 s.
8. Snizhenie pozharovzryvoopasnosti ob"ektov deponirovaniya othodov / T.G. Sereda [i dr.] // Pozharnaya bezopasnost'. 2008. № 3. S. 84–89.
9. Shadi Yu., Moqbel B.S. Characterizing spontaneous fires in Landfills. Jordan: M.S. Jordan University of Science & Technology, 2004.
10. Taubkin I.S. Mikrobiologicheskoe samovozgoranie kak prichina pozharov: metodicheskie rekomendacii dlya sledovatelej i ekspertov // Teoriya i praktika sudebnoj ekspertizy. 2016. № 4 (44). S. 73–85. DOI: 10.30764/1819-2785-2016-4-73-85.
11. Ityshev I.K., Potapova S.O. O problemah pozharnoj bezopasnosti tverdyh bytovyh othodov i mest ih hraneniya // Pozharnaya bezopasnost': problemy i perspektivy. 2018. T. 1. № 9. S. 292–300.
12. Detection and extinguishment approaches for municipal solid waste landfill fires: a mini review PMID: 37148210 / G.S. Manjunatha [et al.]. DOI: 10.1177/0734242X231168797.
13. Kudrin A.N., Roenko V.V., Halikov R.V. Sistema pozharotusheniya tverdyh kommunal'nyh othodov na poligone vodnoj sredoj v metastabil'nom fazovom sostoyanii // Pozhary i chrezvychajnye situacii: predotvrashchenie, likvidaciya. 2023. № 4. S. 13–19. DOI: 10.25257/FE.2023.4.13-19.
14. Zybina O.A. Teoreticheskie principy i tekhnologiya ognezashchitnyh vspuchivayushchihsya materialov: dis. ... d-ra tekhn. nauk. SPb., 2015. 260 s.
15. Balakin V.M., Polishchuk E.Yu. Azot-fosforsoderzhashchie antipireny dlya drevesiny i drevesnyh kompozicionnyh materialov (literaturnyj obzor) // Pozharovzryvobezopasnost'. 2008. № 2. S. 43–51.
16. Kablov V.F., Kejbal N.A., Novopol'ceva O.M. Ogneteplozashchitnye polimernye materialy s funkcional'no-aktivnymi komponentami. Ch. 1. Volgograd: VolgGTU, 2016. S. 209.
17. Bobunova G.A. Ekologo-gigienicheskoe obosnovanie pokazatelej ocenki bezopasnosti ekspluatacii poligonov tverdyh bytovyh othodov: na primere Volgogradskoj oblasti: dis. ... kand. biol. nauk. M, 2010. S. 149.

Информация о статье:

Статья поступила в редакцию: 07.02.2025; одобрена после рецензирования: 20.03.2025;
принята к публикации: 22.03.2025

Information about the article:

The article was submitted to the editorial office: 07.02.2025; approved after review: 20.03.2025;
accepted for publication: 22.03.2025

Сведения об авторах:

Каблов Виктор Федорович, профессор кафедры ««Химическая технология полимеров и промышленная экология» Волжского политехнического института (филиала) Волгоградского государственного технического университета (404111, г. Волжский, пр. Ленина, д. 72), доктор технических наук, e-mail: vkablov5@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-2970-6109>, SPIN-код: 1093-9003

Хлобжева Инна Николаевна, доцент кафедры ««Химическая технология полимеров и промышленная экология» Волжского политехнического института (филиала) Волгоградского государственного технического университета (404111, г. Волжский, пр. Ленина, д. 72), кандидат сельскохозяйственных наук, e-mail: innanic.i@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-0068-9667>

Бегматова Жамила Шарабидиновна, старший преподаватель предметно-цикловой комиссии «Естествознания и точных наук» медицинского колледжа Ошского государственного университета (723500, Республика Кыргызстан, г. Ош, ул. Ленина, д. 331), e-mail: zhamilabegmatova@gmail.com, <https://orcid.org/0009-0004-0930-5641>

Information about authors:

Kablov Viktor F., professor of the department «Chemical technology of polymers and industrial ecology» of the Volga polytechnic institute (branch) Volgograd state technical university (404111, Volzhsky, Lenin ave., 72), doctor of technical sciences, e-mail: vkablov5@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-2970-6109>, SPIN: 1093-9003

Khlobzheva Inna N., associate professor of the department «Chemical technology of polymers and industrial ecology» of the Volga polytechnic institute (branch) Volgograd state technical university (404111, Volzhsky, Lenin ave., 72), candidate of agricultural sciences, e-mail: innanic.i@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-0068-9667>

Begmatova Zhamila Sh., senior lecturer at the subject-cycle commission «Natural sciences and exact sciences» of the Medical college of Osh state university (723500, Kyrgyzstan, Osh, Lenin str., 331), e-mail: zhamilabegmatova@gmail.com, <https://orcid.org/0009-0004-0930-5641>