

СТАТЬИ

УДК 504.75.05:504.064.36:614.72

**МОНИТОРИНГ ПОЖАРНОЙ ОПАСНОСТИ ПОЛИГОНОВ
ТВЕРДЫХ КОММУНАЛЬНЫХ ОТХОДОВ (ТКО)
С УЧЕТОМ ГЕОЭКОЛОГИЧЕСКИХ
И МЕДИКО-ЭКОЛОГИЧЕСКИХ АСПЕКТОВ**

Ашихмина Т.В., Жидова М.В.

*ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет», Воронеж,
e-mail: priem@vgasu.vrn.ru*

В настоящее время возгорание коммунальных отходов является ежегодно повторяющимся неотъемлемым фактором эксплуатации полигонов и свалок. Горение отходов сопровождается выбросами в атмосферу значительного количества токсичных веществ, распространяющихся далеко за пределы территории полигона. В статье проанализированы геоэкологические и медико-экологические аспекты, определяющие пожарную опасность объектов размещения отходов, на примере полигона ТКО в Новоусманском районе Воронежской области. С учетом многокомпонентности отходов, сложности процессов их преобразования, а также ограниченного объема информации по экологическому состоянию объектов их размещения анализ их негативного воздействия на окружающую среду и здоровье населения проводился на основе расчетов и моделирования процессов рассеивания загрязняющих веществ от объекта размещения отходов в период их максимального залпового выброса в условиях пожара. Геоэкологическая опасность продуктов горения обусловлена снижением прозрачности атмосферы, тепловым загрязнением атмосферы, выбросом токсичных для живых организмов веществ, усилением парникового эффекта. Медико-экологическая опасность связана с потенциальным риском причинения вреда здоровью населения близлежащих территорий химическими соединениями, образующимися при горении отходов на полигоне. Проведенные исследования показали необходимость комплексного подхода к формированию системы мониторинга пожарной опасности полигонов ТКО. Разработанная авторами схема такого мониторинга включает три основных раздела (этапа): превентивный мониторинг пожарной опасности, мониторинг процесса горения отходов с прогнозированием зоны задымления, мониторинг загрязнения воздушной среды и здоровья населения, попавших в зону воздействия пожара. Для каждого раздела представлены: перечень контролируемых параметров, нормативно-методическое обеспечение, технические возможности осуществления мониторинга.

Ключевые слова: полигон ТКО, пожар, геоэкологические факторы, риски здоровью населения, моделирование, зоны токсического задымления, мониторинг пожарной опасности полигонов ТКО

**MONITORING OF FIRE HAZARDS IN LANDFILLS
OF SOLID MUNICIPAL WASTE (MSW) CONSIDERING
GEO-ENVIRONMENTAL AND MEDICAL-ENVIRONMENTAL ASPECTS**

Ashikhmina T.V., Zhidova M.V.

Voronezh State Technical University, Voronezh, e-mail: priem@vgasu.vrn.ru

At present, municipal waste combustion is a recurring part of the operation of landfills and dumps every year. The burning of wastes is accompanied by atmospheric emissions of a considerable quantity of toxic substances which spread far beyond the territory of the landfill. In the article geo-ecological and medical-ecological aspects determining a fire hazard of waste disposal objects are analyzed on the example of a landfill in Novousmanskiy district of Voronezh region. Taking into account multicomponent waste, complexity of their transformation processes and limited information on the ecological condition of disposal facilities, the analysis of their negative impact on the environment and public health was carried out on the basis of calculations and modeling of dispersion processes of pollutants from the waste disposal facility during their maximum volley release under fire conditions. The geoecological hazard of combustion products is caused by a decrease in atmospheric transparency, thermal pollution of the atmosphere, the release of substances toxic to living organisms, and the intensification of the greenhouse effect. Medical and environmental hazards are associated with the potential risk of harm to the health of the population of nearby areas by chemical compounds during combustion of waste at the landfill. The conducted research showed the necessity of a comprehensive approach to forming a system of monitoring the fire hazard of solid waste landfills. The scheme of such monitoring developed by the authors includes three main sections (stages): preventive monitoring of fire danger, monitoring of waste combustion process with forecasting of smoke zone, monitoring of air pollution and health of population caught in the zone of fire impact. For each section the following is presented: a list of controlled parameters, normative-methodological support, technical capabilities of monitoring implementation.

Keywords: landfill, fire, geo-ecological factors, public health risks, modeling, toxic smoke zones, monitoring of fire hazards of landfills

Размещение твердых коммунальных отходов (ТКО) на специально выделенных территориях в течение многих десятилетий являлось наиболее распространенным способом обращения с такими отходами. Исследованиями доказана экологическая

опасность объектов размещения ТКО (полигонов), обусловленная эмиссиями загрязняющих веществ в компоненты окружающей среды в период эксплуатации объектов и более интенсивными, залповыми выбросами токсичных веществ при пожарах [1, 2, 3].

Неотъемлемой частью эксплуатации полигонов и свалок являются процессы горения отходов. Согласно статистическим данным [4], доля пожаров, связанных с мусором, за последние несколько лет остается стабильно высокой – около 25–29% от общего количества. При этом доля прямого материального ущерба от таких пожаров в 2021 г. выросла на порядок по сравнению с предыдущими годами, а процент случаев со смертельным исходом увеличился до 0,20%. Также анализ статистики показал, что количество погибших людей на пожарах, в результате отравления токсичными газами и ядовитыми веществами на протяжении нескольких лет постоянно растет.

Факторы, определяющие возможность, интенсивность, продолжительность горения отходов, а также негативное воздействие процесса на окружающую среду и здоровье людей, включают техногенные (состав отходов, организация эксплуатации полигонов и инженерно-технических сооружений на них), и геоэкологические (климатические и метеорологические условия района размещения отходов, рельеф местности) составляющие. Также, учитывая относительную близость объектов размещения отходов к населенным пунктам, важным аспектом пожарной опасности полигонов ТКО является оценка риска здоровью населения от негативного воздействия загрязняющих веществ, выделяющихся при горении отходов.

Стабильность частоты пожаров на полигонах ТКО, многокомпонентный состав и многофакторность пожарной опасности таких объектов требуют глубокой и комплексной проработки вопросов формирования системы мониторинга пожарной опасности.

Целями исследования являлись анализ геоэкологических и медико-экологических аспектов пожарной опасности полигона ТКО в Воронежской области и разработка на его основе комплексной схемы мониторинга таких объектов.

Основные задачи включают:

- анализ экологических аспектов горения отходов на полигонах ТКО и медико-экологической опасности продуктов горения;
- моделирование процессов рассеивания загрязняющих веществ от полигона ТКО в Воронежской области в период их максимального залпового выброса в условиях пожара;
- разработку схемы мониторинга пожарной опасности полигонов ТКО с учетом геоэкологических и медико-экологических аспектов.

Материал и методы исследования

Объектом исследования является полигон ТКО, расположенный в Новоусманском районе Воронежской области.

Размещение отходов на объекте осуществляется с 2006 г. Возгорание отходов происходит, как правило, в теплый период года с положительными среднемесячными температурами, а наиболее пожароопасный период установлен с середины апреля до конца сентября [5, 6, 7].

С учетом многокомпонентности отходов, сложности процессов их преобразования, а также ограниченного объема информации по экологическому состоянию объектов их размещения оценка их негативного воздействия на окружающую среду и здоровье населения проводилась на основе расчетов и моделирования процессов рассеивания загрязняющих веществ от объекта размещения отходов в период их максимального залпового выброса в условиях пожара.

Анализ масштабов задымления при пожаре на объекте проводился для реальной ситуации с возгоранием отходов в 2014 г. [8], а также в условиях моделирования процессов рассеивания загрязняющих веществ при возгорании отходов, накопившихся на полигоне к 2021 г. Рассеивание токсичных веществ в атмосфере определяется режимом ветра, температурой, влажностью, временем года, атмосферными осадками и явлениями. Расчет массы загрязняющих веществ произведен согласно Временным рекомендациям по расчету выбросов вредных веществ в атмосферу в результате сгорания на полигонах твердых бытовых отходов и размера предъявляемого иска за загрязнение атмосферного воздуха [9]. Параметры, принятые для расчетов и моделирования: масса сгоревших ТКО – 10% от всей массы размещенных отходов [10], ширина зоны горения – 110 м; средняя скорость ветра за расчетный период – 2 м/с, степень устойчивости приземного слоя атмосферы: 2014 г. – инверсия, 2021 г. – конвекция.

Расчет зон загрязнения производился с учетом метеорологических условий расчетного периода согласно методическим указаниям по прогнозированию чрезвычайных ситуаций природного характера [11].

Моделирование процессов рассеивания загрязняющих веществ для ситуации с возгоранием отходов в 2021 г. произведено на основе усредненных метеорологических параметров пожароопасного периода с учетом направления перемещения воздушных масс над объектом во время пожара [7].

**Результаты исследования
и их обсуждение**

Основной причиной возгораний отходов и распространения пожаров является биогаз с высоким содержанием метана, формирующийся в толще отходов и выделяющийся в воздушную среду [12]. Накопление метана в приповерхностных слоях полигона приводит к самовозгоранию, чему способствуют высокая температура воздуха летом (до 38–45°C), неосторожное обращение с огнем, умышленный поджог свалок. Пожароопасная ситуация осложняется в связи с переполненностью полигонов и скоплением большого количества свалочного газа метана [13].

Эмиссии газообразных загрязняющих веществ происходят на протяжении всего периода эксплуатации полигонов. Образующийся при трансформации отходов биогаз включает различные компоненты [14]. Состав газовых выбросов полигона ТКО значительно усложняется в случае пожаров [15].

Анализ литературных данных позволяет сделать вывод, что количество загрязняющих веществ, выбрасываемых в атмосферу при горении отходов, в 2 раза больше, чем выделяющихся с биогазом в период эксплуатации полигона.

Экологические аспекты горения отходов на полигонах ТКО включают две составляющие:

- возникновение процесса горения обусловлено климатическими условиями (режимом температуры и осадков), составом и количеством отходов, количеством и временем выделения биогаза из тела полигона;
- факторами воздействия процесса горения отходов на окружающую среду являются продукты горения различных видов отходов, влияющие на состав и состояние атмосферы и оказывающие токсичное воздействие на население.

Геоэкологическая опасность продуктов горения определяется:

- снижением прозрачности атмосферы;

- тепловым загрязнением атмосферы;
- выбросом токсичных для живых организмов веществ;
- усилением парникового эффекта.

Снижение прозрачности атмосферы обусловлено выбросом сажи и твердых частиц. Исследованиями М.А. Хаджмурадова и иных [16] установлено, что в зонах тления и горения температура на поверхности почвы составляла 33–37°C (при температуре окружающего воздуха 0°C), возрастая вглубь почвы до 85°C, что связано с протеканием экзотермических химических реакций и микробиологической активностью. Парниковый эффект обусловлен высокими концентрациями метана и диоксида углерода, составляющих основную массу биогаза. При горении отходов выбросы диоксида углерода возрастают на порядок.

Также образующиеся при горении отходов токсичные химические соединения являются потенциально опасными для здоровья персонала объекта и жителей близлежащих населенных территорий [17].

Результаты расчета массы загрязняющих веществ и параметров зоны их распространения приведены в таблицах 1, 2.

Проведенные расчеты показали, что масса сажи и твердых загрязняющих веществ в выбросах при пожаре возрастает пропорционально количеству отходов на объекте. Таким образом, фактор, обуславливающий прозрачность атмосферы, имеет тенденцию к усилению воздействия по мере накопления отходов на полигоне, т.е. его опасность усиливается с возрастом объекта.

На основе проведенных расчетов составлены: карта рассеивания токсичных веществ при залповом выбросе во время пожара на исследуемом полигоне ТКО в 2014 г. (рис. 1), карта возможного загрязнения атмосферы сернистым ангидридом, окислами азота, окисью углерода при моделировании ситуации с возгоранием отходов на Новоусманском полигоне ТКО в расчетный период 2021 г. (рис. 2).

Таблица 1

Расчетные параметры выбросов газообразных загрязняющих веществ при горении отходов на исследуемом полигоне ТКО

Загрязняющее вещество	Выброс загрязняющих веществ при пожаре, т		Глубина пороговой зоны распространения, м		Ширина пороговой зоны распространения, м	
	2014 г.	2021 г.	2014 г.	2021 г.	2014 г.	2021 г.
Сернистый ангидрид	17,61	165,01	2850	7 070	2 390	5 766
Окислы азота	29,35	2751,65	900	10 127	814	8 212
Окись углерода	146,75	1375,83	4000	10 127	3 376	8 212

Таблица 2

Расчет массы сажи и твердых частиц, выбрасываемых в атмосферу
при возгорании отходов на исследуемом объекте

Параметры	Период проведения исследований	
	2014 г.	2021 г.
Общая масса отходов, т [18]	58 700	550 330
твердые частицы	7,3375	68,7913
сажа	3,66875	34,3956



Рис. 1. Зона задымления при пожаре на полигоне ТКО в 2014 г.

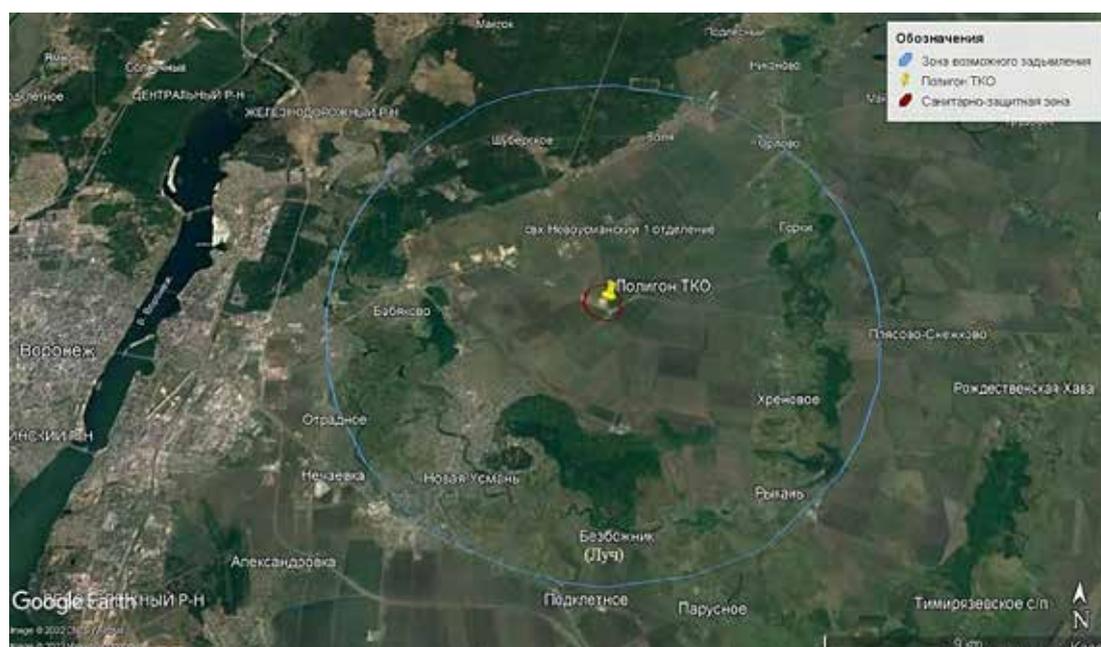


Рис. 2. Зона возможного распространения загрязняющих веществ
при горении отходов на объекте исследования (моделирование, 2021 г.)

Очевидно, что загрязняющие вещества, выделяющиеся при пожаре на полигоне, распространяются далеко за пределы его санитарно-защитной зоны. В зоне потенциального риска вреда здоровью населения может оказаться значительное количество населенных пунктов и инфраструктур.

Предварительная скрининговая оценка потенциального риска причинения вреда здоровью населения близлежащих территорий химическими соединениями при горении отходов на полигоне, сделанная на основе проведенных расчетов

и построения зон возможного токсического задымления, показала, что максимальная вероятность попадания населенного пункта в зону задымления в долях единицы – $1,52 \cdot 10^{-1}$ – определена для трех населенных пунктов: с. Орлово, пос. Воля с. Горки, минимальная – $0,98 \cdot 10^{-1}$ – для двух населенных пунктов: с. Новая Усмань, пос. Отрадное [17].

Проведенные исследования позволили разработать схему комплексного мониторинга пожарной опасности объектов размещения отходов (табл. 3).

Таблица 3

Схема мониторинга пожарной опасности объекта размещения отходов

Разделы (этапы) мониторинга	Контролируемые параметры	Нормативно-методическое обеспечение мониторинга	Технические возможности для проведения мониторинга
Превентивный мониторинг	Температура атмосферного воздуха	Требования к проведению наблюдений за состоянием окружающей среды, ее загрязнением, утв. приказом Минприроды России от 30.07 2020 г. № 524	Измерения температуры атмосферного воздуха на стационарных и передвижных постах
	Объем и скорость образования биогаза в массе отходов	Методика расчета количественных характеристик выбросов загрязняющих веществ в атмосферу от полигонов твердых бытовых и промышленных отходов [14]	Газовая съемка, использование поточных камер [14] Применение искусственных нейронных сетей [19]
	Температурный режим поверхности отходов	–	Термометрические исследования в скважинах; Замеры температуры отходов в теле полигона с помощью почвенных термометров; Спектрональная аэрофото-съемка [3] Тепловизионная съемка с беспилотных летательных аппаратов [20]
	Морфологический состав поступающих на полигон отходов	ПНД Ф 16.3.55-08 «Твердые бытовые отходы. Определение морфологического состава гравиметрическим методом»	Лабораторный контроль отобранных проб отходов
	Влажность отходов	ПНД Ф 16.1:2.2:2.3:3.58-08 Методика выполнения измерений массовой доли влаги в твердых и жидких отходах производства и потребления, почвах, осадках, шламах, активном иле, донных отложениях гравиметрическим методом	
	Плотность отходов	Методика расчета плотности отходов, размещенных на объекте их размещения (по данным о морфологическом составе отходов) составлена ФГБУ «ГосНИИЭНП»	Расчет по данным морфологического состава отходов

Окончание табл.

Разделы (этапы) мониторинга	Контролируемые параметры	Нормативно-методическое обеспечение мониторинга	Технические возможности для проведения мониторинга
Мониторинг процесса горения отходов, прогнозирования задымления	Площадь горения отходов	–	Съемка с беспилотных летательных аппаратов
	Направление и скорость ветра	Требования к проведению наблюдений за состоянием окружающей среды, ее загрязнением, утв. приказом Минприроды России от 30.07.2020 г. № 524	Измерения скорости и направления ветра на стационарных и передвижных постах
	Площадь и направление зоны задымления	Временные рекомендации по расчету выбросов вредных веществ в атмосферу в результате сгорания на полигонах твердых бытовых отходов и размера предъявляемого иска за загрязнение атмосферного воздуха, утв. Минприроды России 02.11.1992 г.	Прогнозные расчеты, съемка с беспилотных летательных аппаратов
Мониторинг состояния окружающей среды и здоровья населения, попавших в зону воздействия пожара	Концентрации загрязняющих веществ в воздухе	СанПиН 1.2.3685-21 «Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания», утв. постановлением Главного государственного санитарного врача РФ от 28.01.2021 г. № 2	Лабораторный контроль и проведение инструментальных измерений
	Показатели здоровья населения и состояния среды обитания человека	Методика проведения социально-гигиенического мониторинга Методические рекомендации № 2001/83, утв. Первым заместителем Министра здравоохранения РФ Г.Г. Онищенко 25.05.2001 г.	Эпидемиологический контроль и надзор за инфекционными и неинфекционными заболеваниями

Заключение

К опасным факторам горения отходов на полигонах ТКО относятся геоэкологические – загрязнение атмосферы, влияющее на ее состав и состояние, а также медико-экологические – риск повышения заболеваемости населения прилегающих территорий, обусловленный токсическим задымлением.

Произведенные расчет и моделирование токсического задымления при пожаре на полигоне ТКО в Воронежской области с учетом геоэкологических условий местности позволили определить направление и размеры зон загрязнения воздушной среды продуктами горения, а также произвести предварительную оценку количества и вероятности попадания населенных пунктов в зону задымления.

Проведенные исследования показали необходимость комплексного подхода к формированию системы мониторинга пожарной опасности полигонов ТКО. Разработанная авторами схема такого мониторинга

включает три основных раздела (этапа): превентивный мониторинг пожарной опасности, мониторинг процесса горения отходов с прогнозированием зоны задымления, мониторинг загрязнения воздушной среды и здоровья населения, попавших в зону воздействия пожара. Для каждого раздела представлены: перечень контролируемых параметров, нормативно-методическое обеспечение, технические возможности осуществления мониторинга.

Список литературы

1. Ашихмина Т.В. Геоэкологический анализ состояния окружающей среды и природоохранные рекомендации в районе расположения полигонов ТБО Воронежской области: дис. ... канд. геогр. наук. Москва, 2014. 136 с.
2. Ашихмина, Т.В., Каверина Н.В., Куприенко П.С. Анализ негативных экологических последствий эксплуатации полигона твердых коммунальных отходов г. Воронежа на разных этапах его жизненного цикла // Региональные геосистемы. 2020. Т. 44. № 3. С. 343-358.
3. Зомарев А. М. Мониторинг атмосферного воздуха в зоне влияния полигона твердых бытовых отходов // Здоровье населения и среда обитания. ЗНиСО. 2007. № 2(167). С. 48-53.

4. Пожары и пожарная безопасность в 2021 году // Статист. сб. Балашиха. П 46 ФГБУ ВНИИПО МЧС России. 2022. 114 с.
5. Постановление Правительства Воронежской области от 07.04.2021 № 166 «Об установлении особого противопожарного режима на территории Воронежской области». [Электронный ресурс]. URL: <http://publication.pravo.gov.ru/Document/View/3600202104070001?index=3&rangeSize=1> (дата обращения: 27.09.2022).
6. Постановление Правительства Воронежской области от 29.09.2021 № 555 «Об отмене на территории Воронежской области особого противопожарного режима». [Электронный ресурс]. URL: <http://pravo.gov.ru/content/postanovlenie-pravitelstva-voronezhskoy-oblasti-ot-29092021-n-555> (дата обращения: 27.09.2022).
7. Официальный сайт Росгидромет. [Электронный ресурс]. URL: <https://www.meteorf.ru/> (дата обращения: 04.09.2022).
8. Экономические деловые новости регионов Черноземья. [Электронный ресурс]. URL: https://abireg.ru/n_40279.html (дата обращения: 11.09.2022).
9. Временные рекомендации по расчету выбросов вредных веществ в атмосферу в результате сгорания на полигонах твердых бытовых отходов и размера предъявляемого иска за загрязнение атмосферного воздуха, утв. Министерством экологии и природных ресурсов Российской Федерации 2.11.1992 г. [Электронный ресурс]. URL: <https://normativ.kontur.ru/document?moduleId=1&documentId=15444> (дата обращения: 05.09.2022).
10. 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. С. 292-300.
11. Храмов Б.А., Болотских Т.Г., Юрьев А.М. Прогнозирование чрезвычайных ситуаций природного характера. Методические указания. // Белгород: Изд-во БГУ им. В.Г. Шухова, 2006. С. 25-27.
12. Балакин В. А., Труфанова Е.П., Старых Ю.Ю. Газогеохимические исследования для целей рекультивации полигонов // Твердые бытовые отходы. 2017. № 9 (135). С. 22-25.
13. Шарова О.А., Бармин А.Н. Экологический мониторинг на полигонах твердых бытовых и промышленных отходов // Научные ведомости Белгородского государственного университета Серия Естественные науки. 2013. № 3 (146). Выпуск 22. С.166-169.
14. Абрамов Н.Ф., Санников Э.С., Русаков Н.В., Милев М.Б., Халевин Р.Г., Лифанов А.В., Буренин Н.С., Турбин А.С. Методика расчета количественных характеристик выбросов загрязняющих веществ в атмосферу от полигонов твердых бытовых и промышленных отходов // Научно-производственное предприятие (НПП) «ЭКОПРОМ»; Академия коммунального хозяйства (АКХ) им. К.Д. Памфилова; НИИ экологии человека и гигиены окружающей среды им. А.Н. Сысина; Научно-исследовательский институт (НИИ) АТМОС-ФЕРА; НПП «ЛОГУС». М. 2004. 21 с.
15. Международные карты химической безопасности (ICSC) [Электронный ресурс]. URL: <https://www.ilo.org/dyn/icsc/showcard.listCards3> (дата обращения: 08.09.2022).
16. Хаджмурадов М.А., Карнацевич Л.В., Колободов В.Г. Проблема ограничения эмиссии метана в атмосферу из свалок бытовых отходов. [Электронный ресурс]. URL: <https://waste.ua/cooperation/2004/thesis/chashmuradov.html> (дата обращения: 10.09.2022).
17. Жидова М. В., Ашихмина Т. В. Моделирование зоны токсического задымления при пожаре на полигоне ТКО для оценки потенциального риска вреда здоровью населения // Сборник трудов VII межвузовской научно-практической конференции «Гигиенические, эпидемиологические и экологические аспекты профилактики заболеваемости на региональном уровне», посвященной 100-летию основания санитарно-эпидемиологической службы Российской Федерации (г. Воронеж, 25 марта 2022 г.). Воронеж: Издательство ФГБОУ ВО ВГМУ им. Н.Н. Бурденко Минздрава России. 2022. С. 152-155.
18. Об утверждении Территориальной схемы обращения с отходами на территории Воронежской области: Приказ Департамента природных ресурсов и экологии Воронежской области от 26 августа 2016 года № 356 [Электронный ресурс]. URL: <https://docs.cntd.ru/document/453149000> (дата обращения: 10.09.2022).
19. Хайдаров А.Г., Королева Л.А., Михайлов И.А., Холоднов В.А. Система автоматизированного прогнозирования эмиссии биогаза и возникновения пожароопасной ситуации на полигонах твердых коммунальных отходов // Системный анализ в проектировании и управлении: сборник научных трудов XXV Международной научной и учебно-практической конференции (г. Санкт-Петербург, 13-14 октября 2021 г.), ч. 3. [Электронный ресурс]. URL: <http://elib.spbstu.ru/dl/2/id21-368.pdf> (дата обращения: 10.09.2022).
20. Дударева Д.А., Батракова Г.М. Тепловая съемка территорий полигонов захоронения отходов // Система управления экологической безопасностью: сборник трудов XIII международной научно-практической конференции (г. Екатеринбург, 31 мая 2019 г.). Екатеринбург: УрФУ, 2019. С. 241-245.