

Краткое сообщение

УДК 504.064.2.001.18: 504.054

DOI: 10.18384/2712-7621-2024-3-62-79

ПРИМЕНЕНИЕ ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ДЛЯ ОЦЕНКИ И ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ГАЗОЭМИССИОННЫХ ПРОЦЕССОВ НА ПОЛИГОНАХ ТКО

Ашихмина Т. В.¹, Жидова М. В.², Котов Д. В.³

¹ Воронежский государственный технический университет

394006, г. Воронеж, ул. 20-летия Октября, д. 84, Российская Федерация

e-mail: tv_ashikhmina@bk.ru; ORCID: 0000-0002-2451-2321

² АО Концерн «Созвездие»

394018, г. Воронеж, ул. Плехановская, д. 14, Российская Федерация

e-mail: zhidovamargarita@gmail.com; ORCID: 0009-0002-8161-0531

³ АО Концерн «Созвездие»

394018, г. Воронеж, ул. Плехановская, д. 14, Российская Федерация

e-mail: kotoff34@mail.ru; ORCID: 0009-0008-5685-5039

Поступила в редакцию 12.06.2024

После доработки 19.08.2024

Принята к публикации 05.09.2024

Аннотация

Цель. Разработка программных продуктов для моделирования и прогнозирования газовых эмиссий на разных этапах жизненного цикла полигонов ТКО, а также при горении отходов.

Процедура и методы. В ходе работы использованы: системный подход к моделированию процессов взаимодействия объектов размещения отходов с окружающей средой, расчёт и моделирование газоземиссионных процессов на основе существующих методик, информационные технологии программирования алгоритмов расчётов заданных газоземиссионных параметров с получением программного продукта.

Результаты. Применение информационных технологий на базе известных методик позволило разработать удобные программы для экспрессной оценки и прогнозирования газоземиссионных процессов на полигонах ТКО с графической и географической визуализацией результатов.

Теоретическая и/или практическая значимость. Разработанные программные продукты способствуют решению актуальной задачи оценки и прогноза штатных и аварийных газоземиссионных процессов на объектах размещения твёрдых коммунальных отходов. Представленные в статье программы позволяют оптимизировать применение известных методик расчётов выбросов загрязняющих веществ при эксплуатации объектов, а также при горении отходов.

Ключевые слова: моделирование и прогнозирование эмиссии биогаза, горение отходов, программные продукты

Short communications

APPLICATION OF INFORMATION TECHNOLOGIES FOR ESTIMATION AND FORECASTING OF GAS EMISSION PROCESSES AT LANDFILLS

T. Ashikhmina¹, M. Zhidova², D. Kotov³

¹ Voronezh State Technical University

ul. 20-letiya Oktyabrya, Voronezh 394006, Russian Federation

e-mail: tv_ashikhmina@bk.ru; ORCID: 0000-0002-2451-2321

² JSC Concern "Constellation"

ul. Plekhanovskaya 14, Voronezh 394018, Russian Federation

e-mail: zhidovamargarita@gmail.com; ORCID: 0009-0002-8161-0531

³ JSC Concern "Constellation"

ul. Plekhanovskaya 14, Voronezh 394018, Russian Federation

e-mail: kotoff34@mail.ru; ORCID: 0009-0008-5685-5039

Received 12.06.2024

Revised 19.08.2024

Accepted 05.09.2024

Abstract

Aim. Development of software products for modeling and forecasting gas emissions at different stages of the life cycle of municipal solid waste landfills, as well as during waste combustion.

Methodology. The work uses: a systematic approach to modeling the processes of interaction of waste disposal facilities with the environment, calculation and modeling of gas emission processes based on existing methods, information technologies for programming algorithms for calculating specified gas emission parameters with the receipt of a software product.

Results. The use of information technologies based on known methods made it possible to develop convenient programs for express assessment and forecasting of gas emission processes at municipal solid waste landfills with graphical and geographical visualization of the results.

Research implications. The developed software products contribute to solving the urgent problem of assessing and forecasting routine and emergency gas emission processes at municipal solid waste disposal facilities. The programs presented in the article allow optimizing the application of known methods for calculating pollutant emissions during the operation of facilities, as well as during waste combustion.

Keywords: biogas emission modeling and forecasting, waste combustion, software products

Введение

Проблематика обращения с отходами приобретает всё большую актуальность и включает различные аспекты. Экологические проблемы в этой сфере обусловлены, прежде всего, размещением отходов в окружающей среде, которое происходит в течение дли-

тельного времени, как на специализированных объектах, так и бесконтрольно [5; 7; 12; 17].

Ключевым направлением реформы в сфере обращения с отходами, осуществляющейся в нашей стране, является максимальное вовлечение отходов в производственные процессы

с целью снижения антропогенной нагрузки на окружающую среду посредством:

- минимизации объёмов поступления отходов в окружающую среду [15];
- сокращения потребления природных ресурсов, в т. ч. энергетических [1];
- использования энергетического потенциала отходов для разработки возобновляемых и экологически безопасных источников энергии [10; 11].

Тем не менее к настоящему времени накоплено значительное количество объектов размещения твёрдых коммунальных отходов (ТКО), являющихся источником существенной антропогенной нагрузки на окружающую среду [2; 16; 18]. Так, газоэмиссионные процессы ОРО¹ оказывают воздействие на качественный и количественный состав воздушного компонента окружающей среды [6; 9]. В частности, в атмосферу поступает значительное количество биогаза, а также продуктов горения отходов, которое часто возникает в пожароопасный период года [4; 8; 14].

Первоначальным этапом деятельности по снижению нагрузки на атмосферу от ОРО является моделирование и прогнозирование газоэмиссионных процессов различной природы на основе имеющейся методологической базы. Применение современных информационных технологий в этой сфере позволяет ускорить получение и визуализировать результаты моделирования и прогнозирования для принятия оптимальных природоохранных решений.

Целью исследования является разработка программных продуктов, позволяющих:

- осуществлять прогнозирование и графическую иллюстрацию динамики и объёмов выбросов биогаза на ОРО;
- осуществлять расчёт глубины и картографически визуализировать зону потенциально возможного токсического задымления в случае горения отходов на ОРО.

Задачи:

1. проанализировать существующие методики оценки газовых выбросов от объектов размещения отходов на предмет удобства их использования для прогнозирования динамики и масштабов газоэмиссионных процессов ОРО;
2. проанализировать существующие методики оценки выбросов загрязняющих веществ в атмосферу при горении отходов на объектах их размещения на предмет возможности их использования для прогнозирования зоны токсического задымления;
3. разработать компьютерную программу для моделирования объёмов и динамики газоэмиссионных процессов на полигонах ТКО;
4. разработать программу, позволяющую рассчитать и смоделировать в пространстве потенциально возможную область токсического задымления при горении ТКО на полигонах;
5. разработать рекомендации по практическому применению созданных программных обеспечений, а также рассмотреть направления их дальнейшей модификации.

¹ ОРО – объекты размещения отходов.

Разработка программного обеспечения для оценки газоэмиссионных процессов на объектах размещения отходов

Рассмотрим существующие в настоящее время методики расчётов и оценки газоэмиссионных процессов на ОРО (табл. 1).

Представленные методики были адаптированы для моделирования процессов воздействия системы «полигон ТКО – окружающая среда» на воздушную среду [3]. Однако использование приведённых методик предполагает проведение громоздких многоступенчатых расчётов и получение числовых значений, требующих дальнейшего анализа и обработки, что затрудняет их применение для опера-

тивной оценки и прогнозирования ситуации с газовыми эмиссиями на ОРО.

В связи с этим были разработаны программы для ЭВМ, позволяющие не только рассчитать динамику и параметры газовых выбросов, но и визуализировать результаты расчётов:

– программа для моделирования объёмов и динамики газоэмиссионных процессов на полигонах твёрдых коммунальных отходов (ТКО)¹;

¹ Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2024684907 Российская Федерация. Программа для моделирования объёмов и динамики газоэмиссионных процессов на полигонах твердых коммунальных отходов: № 2024683528: заявл. 10.10.2024; опубл. 22.10.2024 / Т. В. Ашихмина, М. В. Жидова, Д. В. Котов.

Таблица 1 / Table 1

Сравнительный анализ методик оценки газоэмиссионных процессов на объектах размещения отходов / Comparative analysis of methods for assessing gas emission processes at waste disposal facilities

Название методики	Назначение и объекты применения методики	Содержание методики	Представление результатов
Методика расчёта количественных характеристик выбросов загрязняющих веществ в атмосферу от полигонов твёрдых бытовых и промышленных отходов	Методика предназначена для использования при проведении инвентаризации выбросов вредных (загрязняющих) веществ в атмосферный воздух и разработке проектов нормативов предельно допустимых и временно согласованных выбросов для полигонов твёрдых бытовых и промышленных отходов (ТБО и ПО), контроле за соблюдением установленных нормативов ПДВ (ВСВ) и при оценке выбросов от полигонов ТБО и ПО в предпроектной и проектной документации на размещение новых и расширение существующих объектов	Методика содержит примерный морфологический состав и основные характеристики отходов, вывозимых на полигоны; поэтапную временную характеристику процессов, происходящих в толще отходов, захороненных на полигонах; способы определения количественного и качественного состава выделяемого полигонами биогаза; методы расчёта удельных и валовых выбросов образующегося биогаза в целом и по компонентам	Числовые значения рассчитанных параметров

Окончание табл. 1

Рекомендации по расчёту образования биогаза и выбору систем дегазации полигонов захоронения твёрдых бытовых отходов	Методика позволяет рассчитать метановый потенциал для каждой фракции отходов, полный потенциал генерации метана, скорость образования и объём метана. Также в методике содержатся рекомендации по выбору систем дегазации полигонов ТКО, рекомендации по проведению мониторинга биогаза на закрытых полигонах	Методика расчёта базируется на модели процесса анаэробной деструкции целлюлозосодержащих отходов. Исходными данными для расчёта являются: морфологический состав биоразлагаемой части ТБО; зольность отходов, А, начальная влажность ТБО	Числовые значения рассчитанных параметров
Временные рекомендации по расчёту выбросов вредных веществ в атмосферу в результате сгорания на полигонах твёрдых бытовых отходов и размера предъявляемого иска за загрязнение атмосферного воздуха	Рекомендации предназначены для территориальных органов Минэкологии России. Позволяют рассчитать количество вредных веществ, образовавшихся в результате горения отходов на полигонах ТКО, а также размер платы за выбросы этих веществ	Сгорание твёрдых бытовых отходов (ТБО) рассматривается как аварийный выброс загрязняющих веществ в атмосферу. Исходными данными для расчёта этого выброса являются: расположение объекта, объём сгоревших отходов, плотность отходов на полигоне. Количественные параметры выбросов по компонентам определяются на основе удельных выбросов, представленных в методике	Числовые значения рассчитанных параметров
Методика расчёта выбросов вредных веществ в атмосферу в результате сгорания на полигонах твёрдых бытовых отходов	Методика расчёта разработана на основании Временных рекомендаций по расчёту выбросов вредных веществ в атмосферу в результате сгорания на полигонах твердых бытовых отходов и размера предъявляемого иска за загрязнение атмосферного воздуха, утвержденных Министерством экологии и природных ресурсов Российской Федерации 02.11.1992, и Заключения по результатам расчётно-экспертных оценок образования загрязняющих веществ при свободном горении ТКО» (н. з. 0120514), ОАО «ВТИ». М., 2020. Настоящая методика устанавливает алгоритм расчёта выбросов вредных (загрязняющих) веществ, поступивших в атмосферный воздух в результате сгорания твёрдых коммунальных отходов на объектах их размещения, по удельным показателям выбросов вредных (загрязняющих) веществ	Содержание методики в части расчётов количеств загрязняющих веществ, выбрасываемых в воздух при горении отходов на полигоне ТКО, аналогично Временным рекомендациям... Расчёт размера платы за выбросы этих веществ методикой не предусмотрены	Числовые значения рассчитанных параметров

Источник: составлено авторами на основе: Временные рекомендации по расчёту выбросов вредных веществ в атмосферу в результате сгорания на полигонах твёрдых бытовых отходов и размера предъявляемого иска за загрязнение атмосферного воздуха

[Электронный ресурс]. URL: <https://normativ.kontur.ru/document?moduleId=1&documentId=15444> (дата обращения: 06.07.2024); Методика расчёта количественных характеристик выбросов загрязняющих веществ в атмосферу от полигонов твёрдых бытовых и промышленных отходов / Н. Ф. Абрамов, Э. С. Санников, Н. В. Русаков, М. Б. Миляев, Р. Г. Халевин, А. В. Лифанов, Н. С. Буренин и др. М., 2004. 21 с.; Методика расчёта выбросов вредных веществ в атмосферу в результате сгорания на полигонах твёрдых бытовых отходов. М., 2020. 7 с.; Рекомендации по расчёту образования биогаза и выбору систем дегазации полигонов захоронения твёрдых бытовых отходов разработаны в соответствии с нормативными материалами по охране окружающей среды / Я. И. Вайсман, С. В. Максимова, И. С. Глушанкова, Г. М. Батракова, О. Я. Вайсман, В. Н. Коротаев, Л. В. Рудакова. М., 2003. 27 с.

– программа для расчёта и пространственного моделирования области токсического задымления при горении твёрдых коммунальных отходов на полигонах¹.

Программа для моделирования объёмов и динамики газоземиссионных процессов на полигонах ТКО предназначена для расчёта и графического отображения динамики объёмов биогаза, образующегося на протяжении жизненного цикла полигонов твёрдых коммунальных отходов (ТКО).

Область применения: прогнозирование продолжительности и объёма эмиссий биогаза на проектируемых, действующих и закрытых полигонах ТКО для оценки возможности сбора и утилизации биогаза, а также ретроспективное воспроизведение динамики и объёмов газовых эмиссий на закрытых и длительно эксплуатирующихся объектах за весь период их существования.

Разработанный программный продукт может применяться для объек-

тов, находящихся в любых природно-климатических условиях.

Программа разработана на основе методики расчёта количественных характеристик выбросов загрязняющих веществ в атмосферу от полигонов твёрдых бытовых и промышленных отходов² и имеет следующий алгоритм:

1. загрузка и обработка значений среднесуточных температур атмосферного воздуха по данным ближайшей к полигону ТКО метеостанции за заданный период (в программе использованы данные ВНИИ гидрометеорологической информации [13]) (рис. 1);

1. загрузка исходных характеристик отходов на полигоне ТКО: процентное содержание органической составляющей, в т. ч. жироподобных, углеводородных, белковых веществ, фактическая влажность отходов, % (рис. 2);

2. указание временного периода эксплуатации исследуемого объекта, для которого необходимо произвести расчёт, и ежегодного количества завозимых отходов (рис. 3);

¹ Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2024666880 Российская Федерация. Программа для расчёта и пространственного моделирования области токсического задымления при горении твёрдых коммунальных отходов на полигонах: № 2024665424: заявл. 04.07.2024; опублик. 17.07.2024 / Т. В. Ашихмина, П. С. Куприенко, М. В. Жидова, А. В. Кидинова.

² Методика расчёта количественных характеристик выбросов загрязняющих веществ в атмосферу от полигонов твёрдых бытовых и промышленных отходов / Н. Ф. Абрамов, Э. С. Санников, Н. В. Русаков, М. Б. Миляев, Р. Г. Халевин, А. В. Лифанов, Н. С. Буренин и др. М., 2004. 21 с.

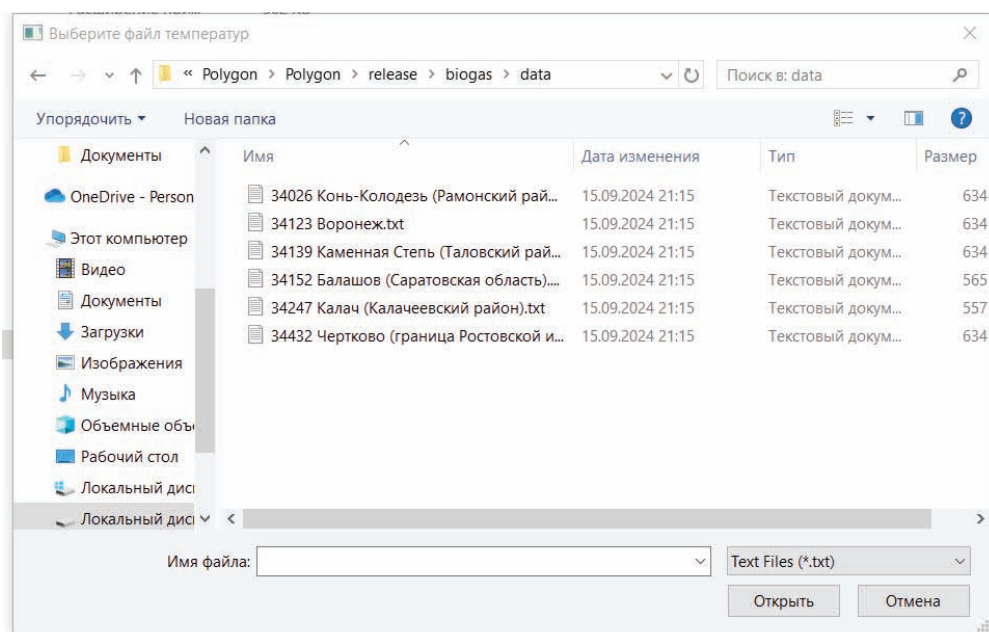


Рис. 1/ Fig. 1. Интерфейс базы метеорологических данных, заложенных в программе / The interface of the meteorological database embedded in the program

Источник: составлено авторами

Рис. 2/ Fig. 2. Окно загрузки характеристик отходов / The window for loading waste characteristics

Источник: составлено авторами

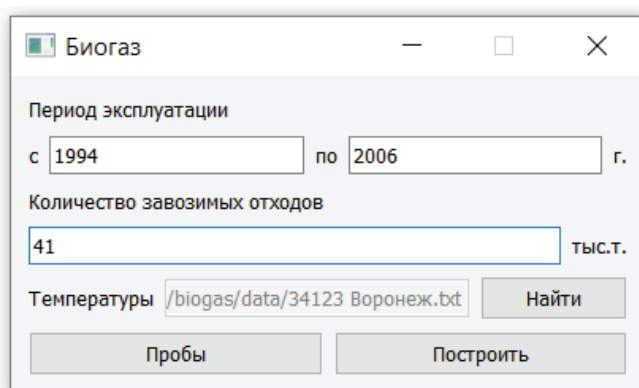


Рис. 3/ Fig. 3. Окно загрузки данных для последующего расчёта / Data download window for subsequent calculation

Источник: составлено авторами

4. расчёт и графическое построение динамики накопления отходов и эмиссии биогаза за заданный расчётный период (рис. 4–5).

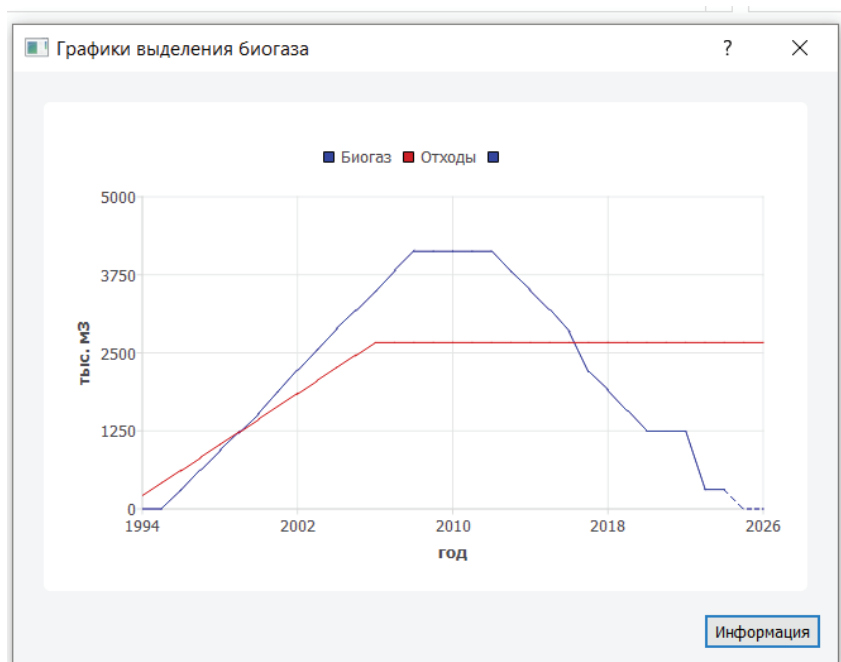


Рис. 4 / Fig. 4. Графическое отображение результатов расчёта / Graphical display of calculation results

Источник: составлено авторами

Dialog

Q 0.170236

	Год	Период сбраживания, лет	Биогаз, м3	Отходы, м3
1	1994	19	0	205
2	1995	17	0	410
3	1996	18	294.458	615
4	1997	19	623.559	820
5	1998	19	934.376	1025
6	1999	16	1228.83	1230
7	2000	16	1523.29	1435
8	2001	17	1872.96	1640
9	2002	17	2222.63	1845
10	2003	19	2551.73	2050
11	2004	18	2880.83	2255
12	2005	17	3175.29	2460
13	2006	18	3486.11	2665
14	2007	0	3815.21	2665
15	2008	0	4126.02	2665
16	2009	0	4126.02	2665
17	2010	0	4126.02	2665
18	2011	0	4126.02	2665
19	2012	0	4126.02	2665
20	2013	0	3796.92	2665
21	2014	0	3502.47	2665
22	2015	0	3191.65	2665
23	2016	0	2841.98	2665
24	2017	0	2197.85	2665
25	2018	0	1903.39	2665
26	2019	0	1574.29	2665
27	2020	0	1245.19	2665
28	2021	0	1245.19	2665
29	2022	0	1245.19	2665
30	2023	0	310.817	2665
31	2024	0	310.817	2665
32	2025	0	0	2665
33	2026	0	0	2665

OK

Рис. 5/ Fig. 5. Числовые значения параметров формирования биогаза / Numerical values of biogas formation parameters

Источник: составлено авторами

Применение программы для эксплуатирующегося ОРО позволит прогнозировать объёмы и период образования биогаза с учётом дальнейшего использования или закрытия объекта, разработать соответствующую систему мониторинга атмосферного воздуха, оценить целесообразность утилизации биогаза.

Применение программы для ретроспективного моделирования газоэмис-

сионных процессов на закрытом полигоне ТКО позволит оценить прошлый экологический ущерб атмосфере.

Применение программы на этапе проектирования объекта размещения отходов позволяет прогнозировать объёмы и временной период эмиссии биогаза на основе предполагаемого срока эксплуатации и производственной мощности объекта (рис. 6–8).

Рис. 6 / Fig. 6. Исходные данные для прогнозирования выхода биогаза / Initial data for forecasting biogas output

Источник: составлено авторами

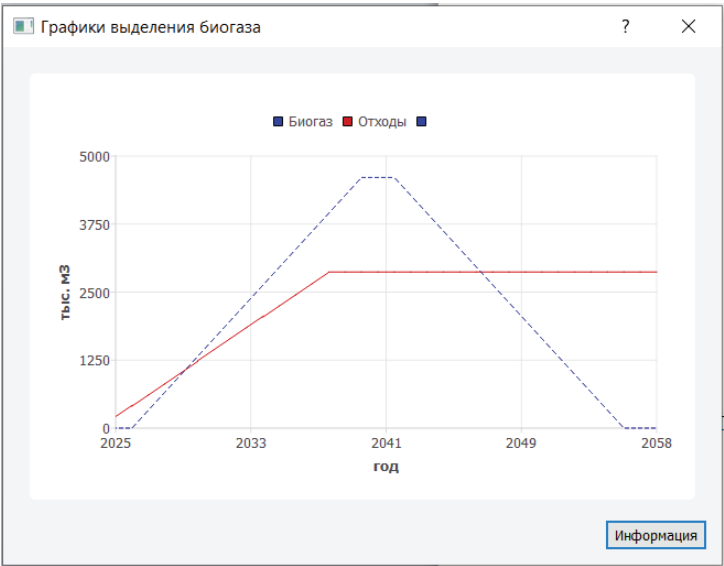


Рис. 7 / Fig. 7. Графическое отображение результатов прогнозирования выхода биогаза / Graphical display of the biogas output forecasting results

Источник: составлено авторами

Dialog

Q 0.170236

	Год	Период сбраживания, лет	Биогаз, м3	Отходы, м3
1	2025	17	0	205
2	2026	17	0	410
3	2027	17	329.1	615
4	2028	17	658.201	820
5	2029	17	987.301	1025
6	2030	17	1316.4	1230
7	2031	17	1645.5	1435
8	2032	17	1974.6	1640
9	2033	17	2303.7	1845
10	2034	17	2632.8	2050
11	2035	17	2961.9	2255
12	2036	17	3291	2460
13	2037	17	3620.1	2665
14	2038	17	3949.2	2870
15	2039	0	4278.3	2870
16	2040	0	4607.41	2870
17	2041	0	4607.41	2870
18	2042	0	4607.41	2870
19	2043	0	4278.3	2870
20	2044	0	3949.2	2870
21	2045	0	3620.1	2870
22	2046	0	3291	2870
23	2047	0	2961.9	2870
24	2048	0	2632.8	2870
25	2049	0	2303.7	2870
26	2050	0	1974.6	2870
27	2051	0	1645.5	2870
28	2052	0	1316.4	2870
29	2053	0	987.301	2870
30	2054	0	658.201	2870
31	2055	0	329.1	2870
32	2056	0	0	2870
33	2057	0	0	2870
34	2058	0	0	2870

OK

Рис. 8 / Fig. 8. Числовые значения прогнозируемых параметров формирования биогаза / Numerical values of the predicted parameters of biogas formation

Источник: составлено авторами

Представленный прогноз является отправной точкой для формирования системы энергоэффективной утилизации образующегося биогаза.

Программа для расчёта и пространственного моделирования области токсического задымления при горении ТКО на полигонах предназначена для расчёта и визуализации зоны токсического задымления при горении твёрдых коммунальных отходов на полигонах.

Область применения: расчёт количества, а также расчёт параметров и визуализация пространственного распространения загрязняющих веществ, образующихся при горении отходов на полигонах.

Предлагаемый подход к моделированию и прогнозированию воздействия горения отходов на воздушную среду позволяет оценить количественные и пространственные масштабы этого процесса по некоторым компонентам дымовых газов, что актуально для разработки систем экологического мониторинга при пожарах на полигонах ТКО.

Программный продукт разработан для объектов, находящихся на территории Воронежской области.

Программа разработана на основе временных рекомендаций по расчёту выбросов вредных веществ в атмосферу в результате сгорания на полигонах ТБО и размера предъявляемого иска за загрязнение атмосферного воздуха¹ и имеет следующий алгоритм:

¹ Временные рекомендации по расчёту выбросов вредных веществ в атмосферу в результате сгорания на полигонах твёрдых бытовых отходов и размера предъявляемого иска за загрязнение атмосферного воздуха [Электронный ресурс]. URL: <https://normativ.kontur.ru/document?moduleId=1&documentId=15444> (дата обращения: 06.07.2024).

1. из имеющейся в программе базы данных о полигонах ТКО в Воронежской области выбирается объект, отмеченный маркером, на котором необходимо провести моделирование (рис. 9);

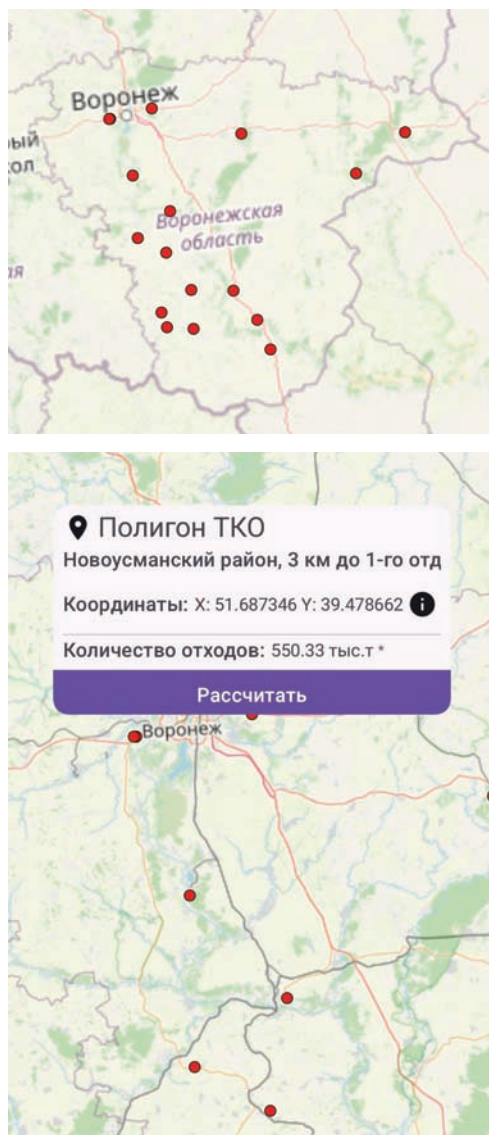


Рис. 9 / Fig. 9. Интерфейс базы данных о полигонах ТКО в Воронежской области, заложенной в программе / Interface of the database on MSW landfills in the Voronezh region included in the program

Источник: составлено авторами

2. вводятся (выбираются в программе) исходные параметры для расчёта: токсичное вещество, местность, время суток, облачность, скорость и направление ветра, процент сгоревших отходов, количество отходов, накопленных на полигоне (рис. 10);

3. производится расчёт и построение на карте потенциальной зоны распространения токсичных веществ (рис. 11).

Применение программы на этапе проектирования объекта размещения отходов позволяет проводить прогнозирование параметров зон токсического задымления с учётом преоблада-

ющих метеорологических параметров местности, разрабатывать программу экологического мониторинга при возникновении аварийной ситуации – горения отходов.

Применение программы в случае пожара на полигоне ТКО позволит оперативно прогнозировать распространение токсического задымления, проводить анализ риска загрязнения прилегающих, в т. ч. населённых, территорий, корректировать программу экологического мониторинга соответствующих объектов и территорий.

Заключение

Разработанные программные продукты способствуют решению актуальной задачи оценки и прогноза штатных и аварийных газоэмиссионных процессов на объектах размещения твёрдых коммунальных отходов. Представленные в статье программы позволяют оптимизировать применение известных методик расчётов выбросов загрязняющих веществ при эксплуатации объектов, а также при горении отходов.

Программа для моделирования объёмов и динамики газоэмиссионных процессов на полигонах ТКО позволяет спрогнозировать газовый потенциал для таких объектов на разных этапах жизненного цикла, а также на этапе проектирования, что, в свою очередь, предоставляет возможность оценить целесообразность энергетически эффективной утилизации биогаза. Посредством ретроспективного моделирования газоэмиссионных процессов с расчётами их количественных параметров возможно провести оценку экологического ущерба, причинённого в прошлый период эксплуатации объектов.

область Липецк

Ввод параметров

Токсичное вещество: Сернистый ангидрид

Местность: Степь (Сельхоз угодья)

Время суток: День

Облачность: Ясно (Переменная облачность)

Скорость ветра: 1.9 м/с

Направление ветра: СВ

Процент сгоревших отходов: 7.0 %

Количество отходов: 550.3 тыс.т

ОТМЕНА ОК

Рис. 10/ Fig. 10. Окно ввода данных для расчёта зоны токсического задымления / Data entry window for calculating the toxic smoke zone

Источник: составлено авторами

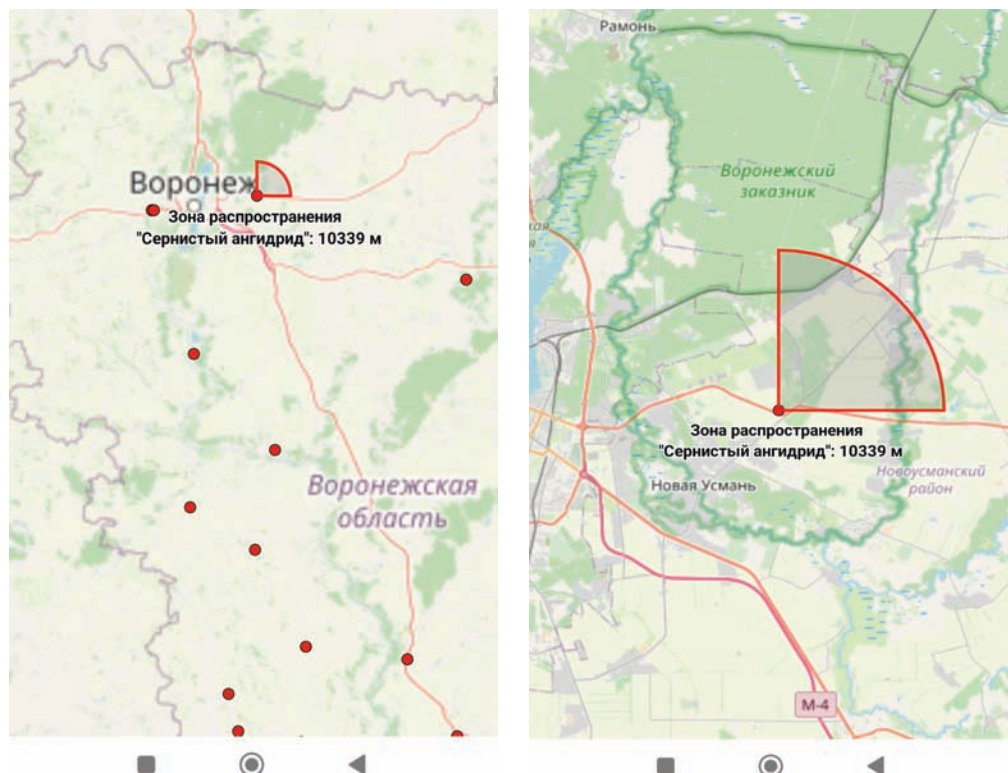


Рис. 11 / Fig. 11. Визуализация зоны токсичного дыма при сжигании отходов на полигоне ТКО Горенье / Visualization of the toxic smoke zone during the combustion of waste at the MSW landfill Gorenje

Источник: составлено авторами

Программа для расчёта и пространственного моделирования области токсического задымления при горении твёрдых коммунальных отходов на полигонах позволяет оперативно прогнозировать направление и глубину распространения продуктов горения отходов, корректировать параметры экологического мониторинга на объекте и прилегающих территориях, попадающих в зону токсического задымления,

а также предусмотреть меры по минимизации последствий таких ситуаций.

Дальнейшее направление исследований предполагает создание унифицированных программ для проведения расчётов, расширение перечня определяемых показателей, проработку вопросов оценки зоны воздействия газоэмиссионных процессов. Такие исследования позволят сделать расчёты более точными и информативными.

ЛИТЕРАТУРА

1. Анализ основных тенденций развития системы обращения с отходами в России: проблемы и перспективы / Ю. Жукова, С. Никулина, О. Яковлева, Е. Чериканова // Экология и промышленность России. 2020. № 24. С. 66–71.
2. Ашихмина Т. В. Геоэкологический мониторинг в управлении экологической безопасностью объектов размещения твёрдых коммунальных отходов (ТКО) // Успехи современного естествознания. 2022. № 11. С. 28–34. DOI: 10.17513/use.37924
3. Ашихмина Т. В. Моделирование влияния объектов размещения отходов на воздушную среду (на примере полигонов ТКО Воронежской области) // Географическая среда и живые системы. 2023. № 3. С. 59–79. DOI: 10.18384/2712-7621-2023-3-59-7
4. Ашихмина Т. В., Жидова М. В. Мониторинг пожарной опасности полигонов твёрдых коммунальных отходов (ТКО) с учётом геоэкологических и медико-экологических аспектов // Успехи современного естествознания. 2022. № 9. С. 21–27. DOI: 10.17513/use.37887
5. Ашихмина Т. В., Каверина Н. В., Куприенко П. С. Анализ негативных экологических последствий эксплуатации полигона твёрдых коммунальных отходов г. Воронежа на разных этапах его жизненного цикла // Региональные геосистемы. 2020. Т. 44. № 3. С. 343–358. DOI: 10.18413/2712-7443-2020-44-3-343-358
6. Балакин В. А., Труфманова Е. П., Старых Ю. Ю. Газогеохимические исследования для целей рекультивации полигонов // Твёрдые бытовые отходы. 2017. № 9. С. 22–25.
7. Витковская С. Е. Захоронение твёрдых бытовых отходов как один из факторов антропогенного воздействия на глобальные циклы элементов в биосфере // Вестник Государственной полярной академии. 2010. № 10. С. 47–50.
8. Джамалова Г. А. Эмиссия токсичного и взрывоопасного биогаза полигонами твёрдых коммунальных отходов // Известия Санкт-Петербургского государственного технологического института (технического университета). 2013. № 22. С. 092–095.
9. Жажков В., Чусов А., Политаева Н. Исследование и оценка состава биогаза на полигоне ТКО и рекомендации по его использованию // Экология и промышленность России. 2021. № 25. С. 4–9. DOI: 10.18412/1816-0395-2021-5-4-9
10. Медведков А. А. Адаптация к климатическим изменениям: глобальный эколого-экономический тренд и его значение для России // Вестник Московского государственного областного университета. Серия: Естественные науки. 2018. № 4. С. 11–19. DOI: 10.18384/2310-7189-2018-4-11-19
11. Медведков А. А., Полищук М. И., Никитин Б. В. Размещение новых производств по переработке отходов в регионе // Твёрдые бытовые отходы. 2020. № 12. С. 52–56.
12. Оценка воздействия объекта твёрдых коммунальных отходов на окружающую среду / Т. В. Олива, Ю. Б. Коновалова, Л. А. Манохина, Н. В. Андреева // Успехи современного естествознания. 2022. № 11. С. 66–72. DOI: 10.17513/use.37930
13. Описание массива срочных данных об основных метеорологических параметрах на станциях России / О. Н. Булыгина, В. М. Веселов, В. Н. Разуваев, Т. М. Александрова [Электронный ресурс]. URL: <https://aisori-m.meteo.ru> (дата обращения: 06.07.2024).
14. Патынская Е. И. Противопожарная безопасность на полигонах ТКО // Твёрдые бытовые отходы. 2024. № 3. С. 54–63.
15. Утилизация отходов в России: история и современность / Д. Г. Хаяров, Е. В. Сотникова, Н. С. Ступина, Т. Ю. Сычева, К. Д. Сычев, А. В. Федорова // Международный научно-исследовательский журнал. 2022. № 9. С. 17. DOI: 10.23670/IRJ.2022.123.80
16. Шаповалов Д. А., Горин В. В., Королев Я. С. Экологические и санитарно-эпидемиологические последствия обращения с твёрдыми коммунальными отходами в

Московской области // Московский экономический журнал. 2019. № 7. С. 10. DOI: 10.24411/2413-046X-2019-17025

17. Ashikhmina T. V., Kaverina N. V. The main aspects of the formation of a complex geochemical anomaly on the territory of the waste disposal facility // Scientific research of the SCO countries: synergy and integration. Beijing: Инфинити, 2022. P. 139–144.
18. Technogenic geochemical abnormalities in the soils and bottom sediments of Voronezh / N. V. Kaverina, S. A. Kurolap, P. M. Vinogradov, T. V. Dubovitskaya, N. N. Nazarenko, R. A. Kondaurov // Revista Ingenieria UC. 2021. Vol. 28. № 1. P. 83–96.

REFERENCES

1. Zhukova Yu., Nikulina S., Yakovleva O., Cherikanova E. [Analysis of the main trends in the development of the waste management system in Russia: problems and prospects] In: *Ekologiya i promyshlennost Rossii* [Ecology and industry of Russia], 2020, no. 24, pp. 66–71.
2. Ashikhmina T. V. [Geoecological monitoring in the management of environmental safety of municipal solid waste (MSW) disposal facilities]. In: *Uspekhi sovremennogo yestestvoznaniya* [Advances in modern natural science], 2022, no. 11, pp. 28–34. DOI: 10.17513/use.37924
3. Ashikhmina T. V. [Modeling the impact of waste disposal facilities on the air environment (using MSW landfills in the Voronezh Region as an example)]. In: *Geograficheskaya sreda i zhivyye sistemy* [Geographical environment and living systems], 2023, no. 3, pp. 59–79. DOI: 10.18384/2712-7621-2023-3-59-7
4. Ashikhmina T. V., Zhidova M. V. [Monitoring the fire hazard of municipal solid waste (MSW) landfills taking into account geoecological and medical-ecological aspects]. In: *Uspekhi sovremennogo yestestvoznaniya* [Advances in modern natural science], 2022, no. 9, pp. 21–27. DOI: 10.17513/use.37887
5. Ashikhmina T. V., Kaverina N. V., Kuprienko P. S. [Analysis of the negative environmental consequences of operating a municipal solid waste landfill in Voronezh at different stages of its life cycle]. In: *Regionalnyye geosistemy* [Regional Geosystems], 2020, vol. 44, no. 3, pp. 343–358. DOI: 10.18413/2712-7443-2020-44-3-343-358
6. Balakin V. A., Trufmanova E. P., Sarykh Yu. Yu. [Gas geochemical studies for the purposes of landfill reclamation]. In: *Tvordyye bytovyye otkhody* [Municipal solid waste], 2017, no. 9, pp. 22–25.
7. Vitkovskaya S. E. [Burial of municipal solid waste as one of the factors of anthropogenic impact on global cycles of elements in the biosphere]. In: *Vestnik Gosudarstvennoy polyarnoy akademii* [Bulletin of the State Polar Academy], 2010, no. 10, pp. 47–50.
8. Dzhamalova G. A. [Emission of toxic and explosive biogas by municipal solid waste landfills]. In: *Izvestiya Sankt-Peterburgskogo gosudarstvennogo tekhnologicheskogo instituta (tekhnicheskogo universiteta)* [Bulletin of the St. Petersburg State Technological Institute (Technical University)], 2013, no. 22, pp. 092–095.
9. Zhazhkov V., Chusov A., Politaeva N. [Study and assessment of the composition of biogas at a solid municipal waste landfill and recommendations for its use]. In: *Ekologiya i promyshlennost Rossii* [Ecology and Industry of Russia], 2021, no. 25, pp. 4–9. DOI: 10.18412/1816-0395-2021-5-4-9
10. Medvedkov A. A. [Adaptation to climate change: global ecological and economic trend and its significance for Russia]. In: *Vestnik Moskovskogo gosudarstvennogo oblastnogo universiteta. Seriya: Yestestvennyye nauki* [Bulletin of Moscow State Regional University. Series: Natural Sciences], 2018, no. 4, pp. 11–19. DOI: 10.18384/2310-7189-2018-4-11-19
11. Medvedkov A. A., Polischuk M. I., Nikitin B. V. [Placement of new waste processing facilities in the region]. In: *Tvordyye bytovyye otkhody* [Municipal solid waste], 2020, no. 12, pp. 52–56.

12. Oliva T. V., Konovalova Yu. B., Manokhina L. A., Andreeva N. V. [Assessment of the impact of a municipal solid waste facility on the environment]. In: *Uspekhi sovremennogo yestestvoznaniya* [Advances in modern natural science], 2022, no. 11, pp. 66–72. DOI: 10.17513/use.37930
13. Bulygina O. N., Veselov V. M., Razuvaev V. N., Aleksandrova T. M. [Description of the array of urgent data on the main meteorological parameters at stations in Russia]. Available at: <https://aisori-m.meteo.ru> (accessed: 06.07.2024).
14. Patynskaya E. I. [Fire safety at MSW landfills]. In: *Tvordyye bytovyye otkhody* [Municipal solid waste], 2024, no. 3, pp. 54–63.
15. Khayarov D. G., Sotnikova E. V., Stupina N. S., Sycheva T. Yu., Sychev K. D., Fedorova A. V. [Waste disposal in Russia: history and modernity] In: *Mezhdunarodnyi nauchno-issledovatel'skii zhurnal* [International Scientific Research Journal], 2022, no. №9 (123), p. 17. DOI: 10.23670/IRJ.2022.123.80
16. Shapovalov D. A., Gorin V. V., Korolev Ya. S. [Environmental and sanitary-epidemiological consequences of solid municipal waste management in the Moscow region] In: *Moskovskii ehkonomicheskii zhurnal* [Moscow Economic Journal], 2019, no. 7, p. 10. DOI: 10.24411/2413-046X-2019-17025
17. Ashikhmina T. V., Kaverina N. V. The main aspects of the formation of a complex geochemical anomaly on the territory of the waste disposal facility. In: *Scientific research of the SCO countries: synergy and integration*. Beijing, Инфинити, 2022, pp. 139–144.
18. Kaverina N. V., Kurolap S. A., Vinogradov P. M., Dubovitskaya T. V., Nazarenko N. N., Kondaurov R. A. Technogenic geochemical abnormalities in the soils and bottom sediments of Voronezh. In: *Revista Ingenieria UC*, 2021, vol. 28, no. 1, pp. 83–96.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Ашихмина Татьяна Валентиновна – кандидат географических наук, доцент кафедры техносферной и пожарной безопасности факультета инженерных систем и сооружений Воронежского государственного технического университета;
e-mail: tv_ashikhmina@bk.ru

Жидова Маргарита Валерьевна – программист АО Концерн «Созвездие»;
e-mail: zhidovamargarita@gmail.com

Котов Даниил Вячеславович – старший программист АО Концерн «Созвездие»;
e-mail: kotoff34@mail.ru

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Tatyana V. Ashikhmina – PhD (Geography), Assoc. Prof., Department of Technosphere and Fire Safety, Faculty of Engineering Systems and Structures, Voronezh State Technical University;
e-mail: tv_ashikhmina@bk.ru

Margarita V. Zhidova – programmer, JSC Concern "Constellation";
e-mail: zhidovamargarita@gmail.com

Daniil V. Kotov – senior programmer, JSC Concern "Constellation";
e-mail: kotoff34@mail.ru

ПРАВИЛЬНАЯ ССЫЛКА НА СТАТЬЮ

Ашихмина Т. В., Жидова М. В., Котов Д. В. Применение информационных технологий для оценки и прогнозирования газоэмиссионных процессов на полигонах ТКО // Географическая среда и живые системы. 2024. № 3. С. 62–79.

DOI: 10.18384/2712-7621-2024-3-62-79

FOR CITATION

Ashikhmina T. V., Zhidova M. V., Kotov D. V. Application of information technologies for assessment and forecasting of gas emission processes at MSW landfills. In: *Geographical Environment and Living Systems*, 2024, no. 3, pp. 62–79.

DOI: 10.18384/2712-7621-2024-3-62-79