

СТАТЬИ

УДК 504.064.47:504.064.36

**ГЕОЭКОЛОГИЧЕСКИЙ МОНИТОРИНГ В УПРАВЛЕНИИ
ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТЬЮ ОБЪЕКТОВ РАЗМЕЩЕНИЯ
ТВЕРДЫХ КОММУНАЛЬНЫХ ОТХОДОВ (ТКО)****Ашихмина Т.В.***ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет», Воронеж,
e-mail: priem@vgasu.vrn.ru*

В Воронежской области распространенным способом обращения с твердыми коммунальными отходами (ТКО) является их размещение на специализированных объектах – полигонах, наряду с которыми также существует значительное количество несанкционированных свалок. Накопление и трансформация отходов на локальных территориях в различных геоэкологических условиях в течение длительного времени сопровождается воздействием на все компоненты экогеосферы и формирует открытую, находящуюся в постоянной вещественно-энергетической связи с внешней средой, антропогенную геоэкологическую систему (АГС) «Объект размещения отходов» (ОРО). Сравнительный анализ характеристик объектов размещения ТКО позволяет идентифицировать эти объекты как источники загрязнения окружающей среды, к приоритетным факторам экологической опасности которых относятся: эмиссия биогаза и фильтрата из тела полигона; поверхностный сток; формирование техногенных грунтов и рельефа, патогенной микрофлоры. Геоэкологический мониторинг состояния окружающей среды в районе расположения всех объектов размещения отходов является ключевым аспектом управления их экологической безопасностью. Виды геоэкологического мониторинга определяются на основе анализа и сопоставления приоритетных факторов экологической опасности объектов размещения отходов и условий окружающей среды, подлежащих оценке. Программу мониторинга следует изменять в зависимости от условий эксплуатации полигонов в разных геоэкологических условиях. В статье представлена система геоэкологического мониторинга полигонов ТКО, находящихся в различных природно-ландшафтных районах Воронежской области. Постоянный мониторинг объектов размещения отходов и прилегающих территорий позволяет проанализировать динамические параметры негативных процессов и разработать решения по управлению экологической безопасностью ОРО. Алгоритм принятия решений по управлению экологической безопасностью АГС ОРО включает поэтапный анализ факторов экологической опасности и рисков, прогнозирование масштабов и динамики геоэкологических процессов, оценку накопленного вреда окружающей среде на объектах размещения отходов разных статусов и этапов жизненного цикла.

Ключевые слова: геоэкологический мониторинг, экологическая безопасность, антропогенная геоэкологическая система «объект размещения отходов», полигон ТКО, несанкционированная свалка, управление экологической безопасностью

**GEO-ENVIRONMENTAL MONITORING IN ENVIRONMENTAL
SAFETY MANAGEMENT SAFETY OF SOLID MUNICIPAL
WASTE DISPOSAL FACILITIES****Ashikhmina T.V.***Voronezh State Technical University, Voronezh, e-mail: priem@vgasu.vrn.ru*

In Voronezh Region the common way of solid municipal waste management is their disposal at specialized facilities – landfills, along with a significant number of unauthorized landfills. Accumulation and transformation of waste in local areas in various geoecological conditions for a long time is accompanied by an impact on all components of the ecogeosphere and form an open anthropogenic geoecological system (AGS) “Waste Disposal Facility” (ORO) that is in constant material and energy connection with the environment. A comparative analysis of the characteristics of MSW disposal facilities allows us to identify these objects as sources of environmental pollution, the priority environmental hazard factors of which include: emissions of biogas and leachate from the landfill body; surface runoff; formation of technogenic soil and relief, pathogenic microflora. Geoecological monitoring of the state of the environment in the area where all waste disposal facilities are located is a key aspect of managing their environmental safety. Types of geoecological monitoring are determined based on the analysis and comparison of priority environmental hazard factors for waste disposal sites and environmental conditions to be assessed. The monitoring program should be changed depending on the operating conditions of the landfills in different geoecological conditions. The article presents a system of geoecological monitoring of MSW landfills located in various natural and landscape areas of the Voronezh region. Constant monitoring of waste disposal sites and adjacent territories allows analyzing the dynamic parameters of negative processes and developing solutions for managing the environmental safety of the RDP. The decision-making algorithm for managing the environmental safety of AGS ORO includes a step-by-step analysis of environmental hazards and risks, forecasting the scale and dynamics of geoecological processes, assessing the accumulated environmental damage at waste disposal sites of different statuses and life cycle stages.

Keywords: geoecological monitoring, environmental safety, anthropogenic geoecological system “waste disposal facility”, MSW landfill, unauthorized dump, environmental safety management

В числе образующихся в Воронежской области отходов существенную часть составляют твердые коммунальные отходы (ТКО). Годовой объем их образования в целом по области составляет более 2,5 млн м³, или 20% от общего количества отходов [1, 2].

Организованное (на полигонах) и неорганизованное (на несанкционированных свалках) длительное размещение отходов сопровождается процессами взаимодействия их и продуктов трансформации со всеми компонентами окружающей среды, формированием зон геохимического загрязнения вокруг объектов. Разработка эффективных решений по управлению экологической безопасностью объектов размещения ТКО возможна только на базе комплексных и систематических мониторинговых исследований как самих объектов, так и прилегающих территорий.

Целью работы является адаптация методологии геоэкологического мониторинга к объектам размещения отходов и разработка алгоритма принятия решений по управлению их экологической безопасностью.

Основные задачи:

- провести сравнительную характеристику объектов размещения ТКО как источников загрязнения окружающей среды;
- проанализировать факторы экологической опасности антропогенной геоэкологической системы «Объект размещения отходов» (АГС ОРО) и соответствующие виды геоэкологического мониторинга;
- разработать систему геоэкологического мониторинга территорий полигонов ТКО в зависимости от условий их эксплуатации в разных природно-ландшафтных районах Воронежской области;
- разработать алгоритм принятия решений по управлению экологической безопасностью АГС «объект размещения ТКО» на основе мониторинговых исследований.

Материалы и методы исследования

Объектом исследования являются объекты размещения ТКО, расположенные в геоэкологических условиях Воронежской области.

Оценка объемов образования твердых коммунальных отходов в Воронежской области представлена в табл. 1 [3].

В настоящее время в Воронежской области основным способом обращения с отходами является размещение их на специальных объектах – полигонах. На территории области расположены 17 полигонов ТКО, включенных в Государственный реестр объектов размещения отходов (ГРОРО). Ежегодное количество отходов, размещенных на полигонах ТКО и свалках, составляет 1094,581 тыс. т [2].

Согласно данным, приведенным в территориальной схеме размещения отходов, в Воронежской области 80–100% полигонов ТКО являются старыми, их эксплуатация началась во второй половине прошлого столетия, в настоящее время они достигли предела проектной вместимости.

Наряду с полигонами ТКО на территории Воронежской области присутствуют также несанкционированные свалки, число которых в 2015 г. составило 57 объектов, в 2019 г. – 232 объекта, в 2021 г. – 172 объекта [2].

Сравнительная характеристика ОРО, как источников загрязнения окружающей среды, проводилась методом анализа сходства и различия изучаемых объектов.

Разработка системы геоэкологического мониторинга осуществлялась на основе анализа приоритетных факторов опасности АГС «Объект размещения отходов» для окружающей среды и определения условий окружающей среды, подлежащих оценке, а также на основе метода совмещенного анализа карт.

Предложенный алгоритм принятия решений по управлению экологической безопасностью АГС «Объект размещения ТКО» базируется на поэтапном анализе факторов экологической опасности, рисков, прогнозировании масштабов и динамики геоэкологических процессов, оценке накопленного вреда окружающей среде на объектах размещения отходов разного возраста и статуса.

Таблица 1

Объемы образования ТКО в Воронежской области [3]

Показатели	2019 г.	2020 г.	2021 г.
Образование ТКО за отчетный год на основании данных федерального статистического наблюдения по форме 2-ТП (отходы), т	1000301	838 587	970 061
Направлено на захоронение, т	697210	834 027	938 311

Результаты исследования и их обсуждение

Масштаб образования отходов производства и потребления, их организованное и неорганизованное накопление в различных геоэкологических условиях в течение длительного времени позволяют рассматривать отходы и процессы их трансформации как факторы, оказывающие воздействие на все компоненты экогеосферы и формирующие открытую, находящуюся в постоянной вещественно-энергетической связи с внешней средой, антропогенную геоэкологическую систему (АГС) «Объект размещения отходов» [4].

Результаты разносторонних исследований [5–8] подтверждают длительное негативное воздействие таких систем на качество окружающей природной среды, выражающееся, прежде всего, в загрязнении ее компонентов и формировании накопленного вреда окружающей среде.

Таким образом, все объекты размещения отходов – как полигоны ТКО, так и несанкционированные свалки – являются источниками загрязнения окружающей среды, сравнительная характеристика которых представлена в табл. 2.

Процессы взаимодействия АГС «Объект размещения отходов» с окружающей средой имеют особенности в зависимости от возраста объекта и геоэкологических условий, в которых он находится.

Комплексное геоэкологическое исследование территории размещения АГС

«Объект размещения отходов» позволяет ранжировать компоненты окружающей среды и районировать территорию по приоритетной опасности воздействия объекта [11].

К приоритетным факторам экологической опасности объектов размещения отходов относятся: эмиссия биогаза из тела полигона; эмиссия фильтрата из тела полигона, поверхностный сток; формирование техногенного рельефа; формирование патогенной микрофлоры; формирование техногенного грунта.

Обязательным мероприятием по обеспечению экологической безопасности всех объектов размещения отходов является проведение комплексного геоэкологического мониторинга состояния окружающей среды в районе их расположения (табл. 3).

Программу проведения мониторинга следует изменять в зависимости от условий эксплуатации полигонов в разных природно-ландшафтных районах Воронежской области. Так, проведенное районирование территории Воронежской области по водопроницаемости грунтов позволило выделить шесть районов, различающихся по геоэкологическим условиям, оказывающим наибольшее влияние на экологическую безопасность полигонов ТКО [12]. Распределение полигонов ТКО по выделенным районам показано на рисунке.

На основе проведенного районирования территории Воронежской области разработана система геоэкологического мониторинга территорий полигонов ТКО (табл. 4).

Таблица 2

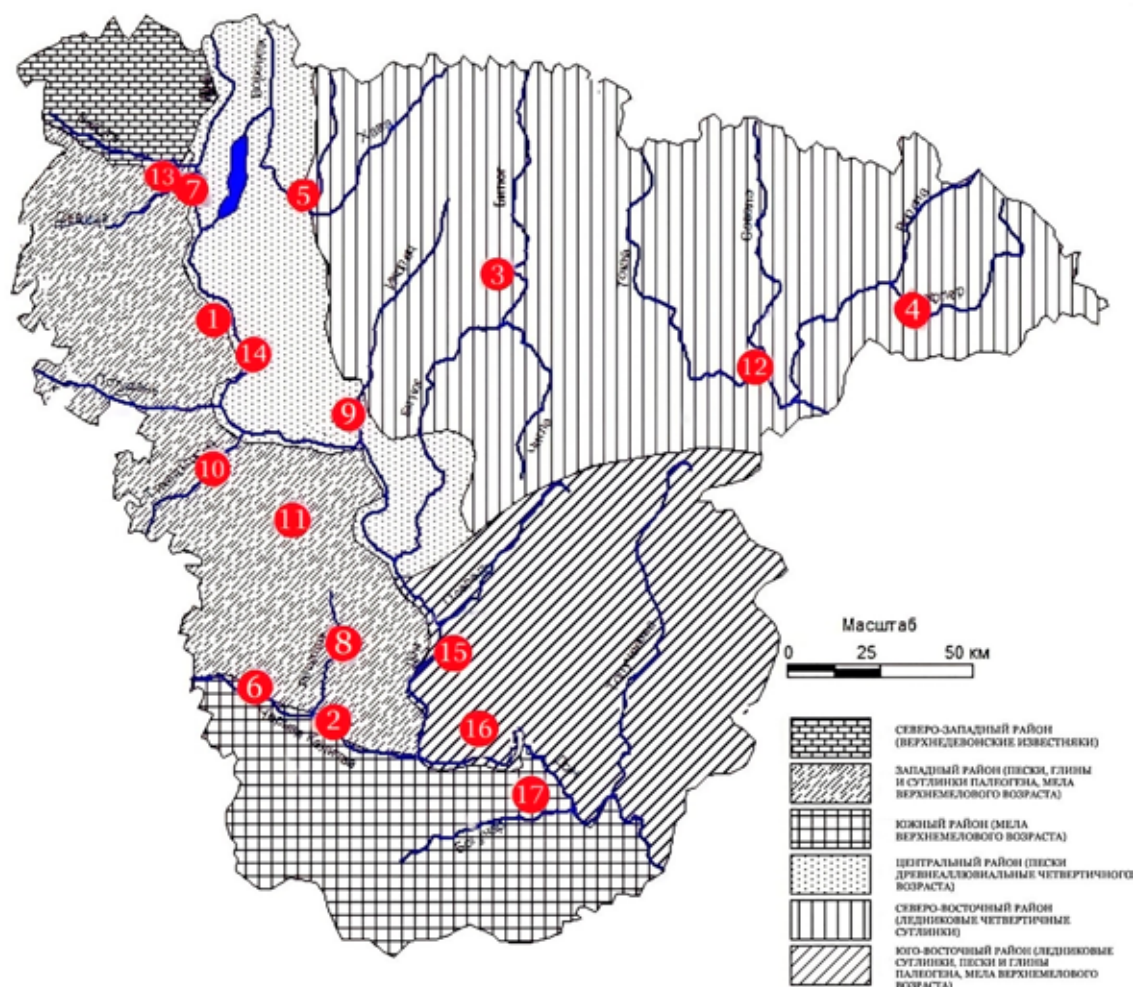
Сравнительная характеристика объектов размещения ТКО,
как источников загрязнения окружающей среды

Характеристики	Вид объекта размещения ТКО	
	Полигон	Несанкционированная свалка
Происхождение	Антропогенный объект	Антропогенный объект
Расположение	На поверхности Земли	На поверхности Земли
Принадлежность	Есть управляющая компания	Бесхозный объект
Эксплуатация объекта	Регламентируется [9,10]	Не регламентируется, происходит стихийно
Источник химического воздействия	Отходы ТКО IV–V классов опасности (малоопасные и практически неопасные)	Промышленные и коммунальные отходы I–V классов опасности (не контролируются)
Природоохранные мероприятия	Предусмотрены при строительстве и эксплуатации	Отсутствуют
Система мониторинга окружающей среды	Предусмотрена	Отсутствует

Таблица 3

Факторы экологической опасности АГС «Объект размещения отходов»
и соответствующие виды геоэкологического мониторинга

Воздействие АГС «Объект размещения отходов» на ОС	Приоритетные факторы опасности для окружающей среды	Условия окружающей среды, подлежащие оценке	Виды геоэкологического мониторинга
Эмиссия биогаза из тела полигона	1. Влияние на компонентный состав атмосферы (парниковый эффект). 2. Неприятный запах и загрязняющие вещества в воздухе близлежащих населенных мест (качество среды обитания). 3. Рассеивание и последующее осаждение загрязняющих веществ на территориях, прилегающих к объекту	1. Метеорологические параметры. 2. Концентрация загрязняющих веществ в атмосферном воздухе. 3. Расположение населенных территорий	1. Гидрометеорологический мониторинг. 2. Мониторинг атмосферного воздуха
Эмиссия фильтрата из тела полигона, поверхностный сток	1. Загрязнение подземных и поверхностных вод. 2. Загрязнение почв прилегающих территорий	1. Водопроницаемость рельефообразующих пород. 2. Глубина и защищенность подземных вод, наличие водозаборов. 3. Расположение поверхностных водных объектов на прилегающей территории, вектор движения подземных вод	1. Мониторинг качества поверхностных и подземных вод. 2. Мониторинг и оценка фильтрационных параметров водоносных горизонтов, скорости движения подземных вод
Формирование техногенного рельефа	1. Влияние на устойчивость естественных форм рельефа. 2. Влияние на динамику экзогенного рельефообразования. 3. Проявления неблагоприятных и опасных геоморфологических процессов. 4. Изменение параметров солнечной инсоляции и адвекции	1. Геоморфологические параметры территории. 2. Параметры экзогенной геодинамики	1. Мониторинг экзогенных геологических процессов
Формирование патогенной микрофлоры	1. Микробиологическое загрязнение подстилающих грунтов. 2. Микробиологическое загрязнение почв на прилегающей территории 3. Микробиологическое загрязнение подземных и поверхностных вод. 4. Распространение патогенной микрофлоры представителями фауны	1. Водопроницаемость рельефообразующих пород. 2. Глубина и защищенность подземных вод, наличие водозаборов. 3. Расположение поверхностных водных объектов на прилегающей территории, вектор движения подземных вод. 4. Параметры биологической и микробиологической активности почв прилегающих территорий. 5. Количественный и видовой состав фауны	1. Мониторинг состояния почвогрунтов, подземных и поверхностных вод по микробиологическим и санитарно-паразитологическим показателям
Формирование техногенного грунта	1. Замена естественных почв и грунтов техногенно сформированными с высокой концентрацией техногенных элементов. 2. Ограничения по использованию территорий после ассимиляции отходов окружающей средой	1. Структура почвенного покрова территории. 2. Характеристики продуктивности почв.	1. Мониторинг состояния почвогрунтов по химическим, микробиологическим, санитарно-паразитологическим показателям.



Размещение полигонов ТКО в различных природно-ландшафтных районах Воронежской области:
1 – полигон ТБО городской округ г. Нововоронеж; 2 – Россошанский полигон ТКО; 3 – Аннинский полигон ТБО; 4 – полигон ТБО Борисоглебский городской округ; 5 – Новоусманский полигон ТБО;
6 – Ольховатский полигон ТБО; 7 – Семилукский полигон ТБО; 8 – Подгоренский полигон ТБО;
9 – Лискинский полигон ТБО; 10 – полигон ТБО г. Острогожск 1 очередь 1 секция;
11 – Каменский полигон ТБО; 12 – Новохоперский полигон ТБО; 13 – Семилукский полигон ТБО (Каскад);
14 – полигон ТБО п. Давыдовка (Лискинский район, п. Давыдовка); 15 – Павловский полигон ТБО;
16 – Верхнемамонский полигон ТБО; 17 – Богучарский полигон ТБО

Таблица 4

Система геоэкологического мониторинга территорий полигонов ТКО
в Воронежской области с учетом природно-ландшафтного районирования

Районы	Система мониторинга полигона ТКО									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Северо-западный	+	++	+	+	++	++	++	+	+	+
Западный	+	++	+	+	++	++	++	+	+	+
Южный	+	+	+	+	+	++	++	+	+	+
Центральный	+	+	+	+	+	++	++	+	+	+
Северо-восточный	+	*	+	+	+	*	++	+	+	+
Юго-восточный	+	*	+	+	+	*	+	+	+	+

+ – обычная программа; ++ – расширенная программа; * – сокращенная программа

1. Мониторинг поступающих отходов препятствует захоронению запрещенных отходов. 2. Мониторинг складирования отходов, которые должны своевременно экранироваться и размещаться по картам. 3. Мониторинг санитарно-защитной зоны (СЗЗ) проводится для ее сохранения. 4. Мониторинг шумового загрязнения среды: контроль уровня шума на полигоне и границах СЗЗ. 5. Мониторинг состояния атмосферного воздуха: проводится на полигоне и границах СЗЗ. 6. Мониторинг состояния подземных вод: контроль проникновения фильтрата

в подземные воды. 7. Мониторинг поверхностных вод: контроль загрязнения поверхностным и подземным стоком полигона. 8. Мониторинг почв в СЗЗ. 9. Мониторинг растительности СЗЗ. 10. Мониторинг противоэпидемиологических мероприятий.

Постоянный мониторинг объектов размещения отходов и прилегающих территорий позволяет проанализировать динамические параметры негативных процессов и разработать решения по управлению экологической безопасностью объекта размещения отходов (табл. 5).

Таблица 5

Алгоритм принятия решений по управлению экологической безопасностью
АГС «объект размещения ТКО»

Алгоритм принятия решений по управлению экологической безопасностью проектируемых полигонов ТКО	Алгоритм принятия решений по управлению экологической безопасностью существующих полигонов ТКО	Алгоритм принятия решений по управлению экологической безопасностью несанкционированных объектов размещения ТКО
1. Геоэкологический анализ территории на основе данных метеорологического, геологического, гидрологического, атмосферного многолетнего мониторинга	1. Ретроспективное моделирование геоэкологических процессов на объектах размещения ТКО на основе архивных данных метеорологического мониторинга на территории размещения объекта	1. Геоэкологический анализ территории на основе данных метеорологического, геологического, гидрологического, атмосферного многолетнего мониторинга
2. Моделирование и прогнозирование процессов взаимодействия объекта размещения отходов с окружающей средой на всех этапах его существования на базе мониторинговых исследований подобных объектов	2. Анализ механизма формирования и оценка накопленного вреда окружающей среде на основе геохимического мониторинга компонентов окружающей среды, подвергшихся воздействию объекта размещения отходов	2. Оценка воздействия объекта на геосферы. Картографическое моделирование распределения в геосферах загрязняющих веществ на основе данных многолетнего геоэкологического мониторинга
3. Анализ и оценка геоэкологических рисков по приоритетности в конкретных условиях с использованием данных геологического, гидрологического мониторинга, мониторинга подземных вод, почв атмосферного воздуха	3. Прогнозирование масштабов и динамики геоэкологических процессов при дальнейшем существовании объекта с применением экстраполяции существующих данных мониторинга исследуемого объекта, а также других аналогичных объектов	3. Оценка накопленного вреда (ущерба) окружающей среде на базе данных мониторинга загрязнения компонентов окружающей среды
4. Разработка экозащитных решений для каждого этапа с учетом приоритетных рисков, в том числе системы и программ мониторинга экогеосферы	4. Анализ и оценка геоэкологических рисков по приоритетности в конкретных условиях с использованием данных геологического, гидрологического мониторинга, мониторинга подземных вод, почв атмосферного воздуха	4. Разработка решений по ликвидации объекта, включающих системы экологического мониторинга в период проведения работ, а также после ликвидации объекта для оценки экологической эффективности реализованных решений
	5. Разработка экозащитных решений для каждого последующего этапа с учетом приоритетных рисков, в том числе системы и программ мониторинга экогеосферы	5. Разработка решений по ликвидации накопленного вреда окружающей среде, включающих системы экологического мониторинга в период проведения работ, а также после ликвидации объекта для оценки экологической эффективности реализованных решений

Заключение

Осуществление сравнительной характеристики объектов размещения ТКО позволяет рассматривать эти объекты как антропогенные геоэкологические системы, имеющие схожие идентификационные характеристики, но существенно различающиеся по условиям и возможностям их воздействия на окружающую среду.

Анализ факторов экологической опасности АГС ОРО позволяет выделить и сопоставить приоритетные факторы опасности для окружающей среды, условия окружающей среды, подлежащие оценке с целью оптимизации геоэкологического мониторинга – обязательного мероприятия по обеспечению экологической безопасности всех объектов размещения отходов.

Программу проведения мониторинга следует изменять в зависимости от геоэкологических условий эксплуатации. В качестве примера разработана система геоэкологического мониторинга территорий полигонов ТКО Воронежской области на основе районирования ее территории по водопроницаемости грунтов. В зависимости от условий эксплуатации полигонов в выделенных районах программа мониторинга может быть обычной, расширенной, сокращенной.

Постоянный мониторинг объектов размещения отходов и прилегающих территорий позволяет проанализировать динамические параметры негативных процессов и разработать решения по управлению экологической безопасностью объекта размещения отходов.

В основе разработанного алгоритма принятия решений по управлению экологической безопасностью АГС ОРО находится:

- поэтапный анализ факторов экологической опасности и рисков;
- прогнозирование масштабов и динамики геоэкологических процессов;
- оценка накопленного вреда окружающей среде на объектах размещения отходов.

Ключевым аспектом применения разработанного алгоритма является идентификация объекта размещения отходов по его статусу и этапу жизненного цикла.

Результаты исследования и предложенные решения могут быть использованы в процессе проектирования и эксплуатации

полигонов ТКО, а также в постэксплуатационном периоде, в процессе разработки и реализации проектов рекультивации и ликвидации несанкционированных свалок.

Список литературы

1. Информационный бюллетень о состоянии недр на территории Воронежской области за 2014 год. Вып. 20. Воронеж: ТЦ «Воронежгеомониторинг», 2015. 171 с.
2. Территориальная схема обращения с отходами на территории Воронежской области, утв. приказом департамента природных ресурсов и экологии Воронежской области от 26.08.2016 № 356 (в ред. приказа департамента природных ресурсов и экологии Воронежской области от 17.06.2021 № 299). [Электронный ресурс]. URL: <https://docs.cntd.ru/document/453149000> (дата обращения: 07.11.2022).
3. Росприроднадзор. Информация об образовании, обработке, утилизации, обезвреживании, размещении отходов производства и потребления. [Электронный ресурс]. URL: <https://vrm.rpn.gov.ru/open-service/analytic-data/statistic-reports/production-consumption-waste/> (дата обращения: 07.11.2022).
4. 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.
5. Алешина Т.А. Геоэкологическое моделирование воздействий биогаза полигонов твердых бытовых отходов на окружающую среду: дис. ... канд. техн. наук. Москва, 2011. 129 с.
6. Исаев С.В. Концепция природно-технических систем и ее использование при изучении антропогенной трансформации природной среды // Географический вестник. 2016. № 3 (38). С. 105–113.
7. Лонгобарди А., Елизарьев А.Н., Насырова Э.С. и др. Распространение свалочного фильтрата в грунтовые воды // Теоретическая и прикладная экология. 2020. № 2. С. 36–43.
8. Романова Э.П. Геоэкологическое состояние природно-антропогенных систем Европы // Вестник Московского университета. Серия География. 2012. № 2. С. 19–25.
9. Инструкция по проектированию, эксплуатации и рекультивации полигонов для твердых бытовых отходов (утв. Минстроем России 02.11.1996). [Электронный ресурс]. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200006959> (дата обращения: 10.02.2022).
10. СП 320.1325800.2017 Полигоны для твердых коммунальных отходов. Проектирование, эксплуатация и рекультивация. [Электронный ресурс]. URL: <https://docs.cntd.ru/document/556610331> (дата обращения: 12.02.2022).
11. Ashikhmina T.V., Ovchinnikova T.V., Kuprienko P.S., Ashikhmin A.M. Geoeological features of solid municipal waste storage facilities placement in Voronezh region // Геополитика и экогеодинамика регионов. 2020. № 6 (16) (2). С. 254–264.
12. Ашихмина Т.В., Филатова А.И. Вопросы геоэкологической безопасности полигонов твердых коммунальных отходов на территории Воронежской области // Сборник избранных статей по материалам научных конференций ГНИИ «Нацразвитие» (Санкт-Петербург, 27–31 августа 2019 г.). СПб.: Частное научно-образовательное учреждение дополнительного профессионального образования Гуманитарный национальный исследовательский институт «НАЦРАЗВИТИЕ», 2019. С. 107–110.