

УДК 504.054

DOI 10.18413/2712-7443-2020-44-3-343-358

## **Анализ негативных экологических последствий эксплуатации полигона твердых коммунальных отходов г. Воронежа на разных этапах его жизненного цикла**

**<sup>1</sup>Ашихмина Т.В., <sup>2</sup>Каверина Н.В., <sup>1</sup>Куприенко П.С.**

<sup>1</sup>Воронежский государственный технический университет  
Россия, 394006, г. Воронеж, ул. 20 лет Октября, 84

<sup>2</sup>Воронежский государственный университет  
Россия, 394018, г. Воронеж, Университетская площадь, 1  
E-mail: TV6234@yandex.ru

**Аннотация.** Масштабное образование и накопление отходов на значительных территориях привело к существенной трансформации природной среды и способствовало формированию негативных экологических последствий в районах размещения таких объектов. Полигон твердых коммунальных отходов (ТКО) рассматривается как природно-техническая система, находящаяся во взаимосвязи с окружающей природной средой. Авторами рассмотрены этапы взаимодействия полигона ТКО с окружающей средой и их особенности, проведен анализ факторов формирования негативных экологических последствий на разных этапах эксплуатации полигона. Показана зависимость локализации эмиссий полигона от геоэкологических условий территории, актуальность изучения процессов формирования накопленного экологического вреда на объектах размещения отходов для разработки превентивных и постэксплуатационных мероприятий их экологической реабилитации.

**Ключевые слова:** полигон ТКО, природно-техническая система, эмиссии полигона, загрязнение почво-грунтов, геоэкологические условия, негативные экологические последствия.

**Для цитирования:** Ашихмина Т.В., Каверина Н.В., Куприенко П.С. 2020. Анализ негативных экологических последствий эксплуатации полигона твердых коммунальных отходов г. Воронежа на разных этапах его жизненного цикла. Региональные геосистемы, 44(3): 343–358. DOI 10.18413/2712-7443-2020-44-3-343-358

---

## **Analysis of negative ecological effects caused by operation of solid municipal waste disposal facility**

**Tatyana V. Ashikhmina<sup>1</sup>, Nataliy V. Kaverina<sup>2</sup>, Pavel S. Kuprienko<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>Voronezh State Technical University  
84, 20 let Oktyabrya St, Voronezh, 394006, Russia

<sup>2</sup>Voronezh State University  
1 Universitetskaya ploshchad, Voronezh, 394018, Russia  
E-mail: TV6234@yandex.ru

**Abstract.** Large-scale formation and accumulation of waste in large areas led to a significant transformation of natural environment and contributed to formation of negative environmental effects in areas around such facilities. Landfill of solid municipal waste (MSW) is considered as a natural and technical system that is interconnected with the natural environment. The authors considered the stages of interaction of the MSW landfill with the environment and their features, analyzed the factors which lead to negative ecological effects at different stages of the landfill operation. This study shows impact of landfill emissions localization on geoeological conditions of nearby territories as well as relevance of studying the processes



of formation and accumulation of environmental damage at waste disposal sites for the development of preventive and post-operational measures for their environmental rehabilitation.

**Keywords:** MSW landfill, natural and technical system, landfill emissions, soil contamination, geoeological conditions, negative ecological effects.

**For citation:** Ashikhmina T.V., Kaverina N.V., Kuprienko P.S. 2020. Analysis of negative ecological effects caused by operation of solid municipal waste disposal facility. *Regional Geosystems*, 44(3): 343–358 (in Russian). DOI 10.18413/2712-7443-2020-44-3-343-358

## Введение

Наиболее актуальным вопросом современности является формирование экологически безопасной системы обращения с отходами, в структуре которых значительное место занимают твердые коммунальные отходы (ТКО).

В результате накопления отходов сформировались природно-технические системы, в которых динамическое развитие физико-химических и биохимических процессов сопровождается эмиссией загрязняющих веществ в окружающую среду. В связи с этим полигон ТКО можно рассматривать как открытую, находящуюся в постоянной вещественно-энергетической связи с внешней средой, геоэкологическую систему, склонную к саморазвитию [Ашихмина, 2014]. Такие системы оказывают длительное разносторонне-негативное воздействие на экологическое состояние прилегающих территорий [Ashikhmina et al., 2020], что позволяет оценивать их как объекты негативного экологического воздействия на окружающую среду. На разных этапах жизненного цикла полигона акцентируются те или иные процессы и соответствующие эмиссии, вследствие чего меняются приоритетные акцепторы загрязняющих веществ.

Таким образом, изучение специфики формирования негативных экологических последствий в районах размещения отходов с учетом организационно-технических аспектов их эксплуатации, а также геоэкологических и природно-климатических условий региона является актуальной задачей при проектировании новых полигонов и при разработке программ экологической реабилитации закрытых объектов.

## Объект и методы исследования

Объектом исследования является полигон ТКО г. Воронежа общей площадью 42,16 га, расположенный на территории отработанной части карьера месторождения огнеупорных глин в Семилукском районе Воронежской области. Данный объект представляет интерес для проведения исследований благодаря его возрасту, особенностям месторасположения и эксплуатации.

Объект возник в 1986 году как стихийная свалка промышленных и бытовых отходов. В 1993 году свалка сформировалась в специализированный полигон ТКО [Довгань, 2001]. Проектная мощность полигона – 1100 тыс. м<sup>3</sup> в год и расчетный срок эксплуатации – 10 лет не были реализованы. К моменту закрытия полигона в 2011 г. общее количество захороненных отходов превысило проектную вместимость более чем в 2 раза.

Семилукский район расположен в лесостепной природной зоне с умеренно-континентальным климатом. Среднегодовая температура воздуха в районе составляет +5,2 °С, среднегодовая сумма осадков – 500 мм. Скорости ветра максимальны в январе – марте, минимальны в июне – августе. Преобладающее направление ветра зимой и весной юго-восточное, осенью – юго-западное, летом – западное.

Геологическая структура Семилукского района представлена докембрийскими, девонскими, меловыми, палеогеновыми, неогеновыми и четвертичными отложениями [Смольянинов, Овчинникова, 2010].

Полигон находится на водоразделе рек Дон и Девица, имеющем сложный рельеф (рис. 1). Восточное и юго-восточное направление отличается плавным равномерным понижением в направлении р. Дон. Уклон рельефа южной экспозиции отличается меньшей крутизной. Прилегающая территория на западе и юго-западе имеет равнинный характер. С севера от полигона находятся отработанные карьеры и отвалы. Прилегающие к карьеру территории используются сельскохозяйственным предприятием.

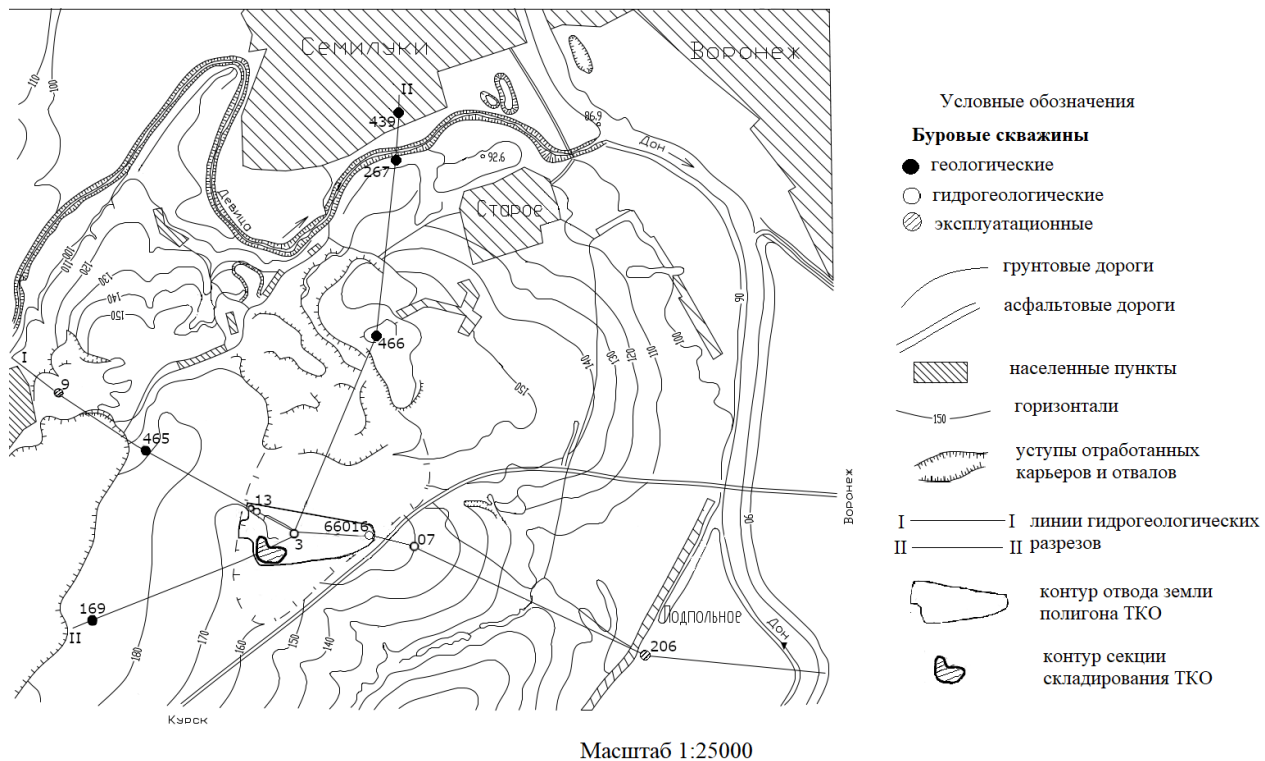


Рис. 1. Ситуационный план расположения полигона ТКО г. Воронежа в руднике «Средний»  
Fig. 1. Site-plan of a landfill located in Voronezh near mine “Srednij”

Участок, на котором расположен закрытый полигон, сложен комплексом техногенных и верхнемеловых отложений (рис. 2, 3).

Получение необходимой информации о литологических особенностях горных пород территории расположения объекта осуществлялось на основе использования архивных материалов ГТП «Воронежгеология».

Экспериментальная статистика получена непосредственно в исследуемых почвогрунтах и из архивных материалов ФГУ «Специализированная инспекция аналитического контроля по Центральному региону». Отбор проб почв проводился в границах полигона. Объединенные пробы почв составлялись из не менее 10 точечных проб, отобранных вдоль границ полигона по сторонам горизонта. Глубина отбора проб 0–20 см. Отбор объединенной фоновой пробы осуществлялся на северной границе СЗЗ полигона (на расстоянии 500 м от объекта). Фоновая проба отбиралась на территории идентичного целевого назначения и вида использования, не испытывающей негативного воздействия полигона ТКО, глубина отбора 0–20 см. Измерения концентрации загрязняющих веществ в почвах проводилось в соответствии с Методическими указаниями ЦИНАО по определению тяжелых металлов в почвах сельхозугодий и продукции растениеводства, РД 39-0147098-015-90, доверительная интервал  $P = 0,95$ . Были рассчитаны коэффициенты концентраций ( $K_i$ ) как отношение фактического содержания определяемого вещества в исследуемом объекте ( $C_i$ ) к фоновому ( $C_f$ ) по формуле:  $K_i = C_i/C_f$  [Бородина, 2014].

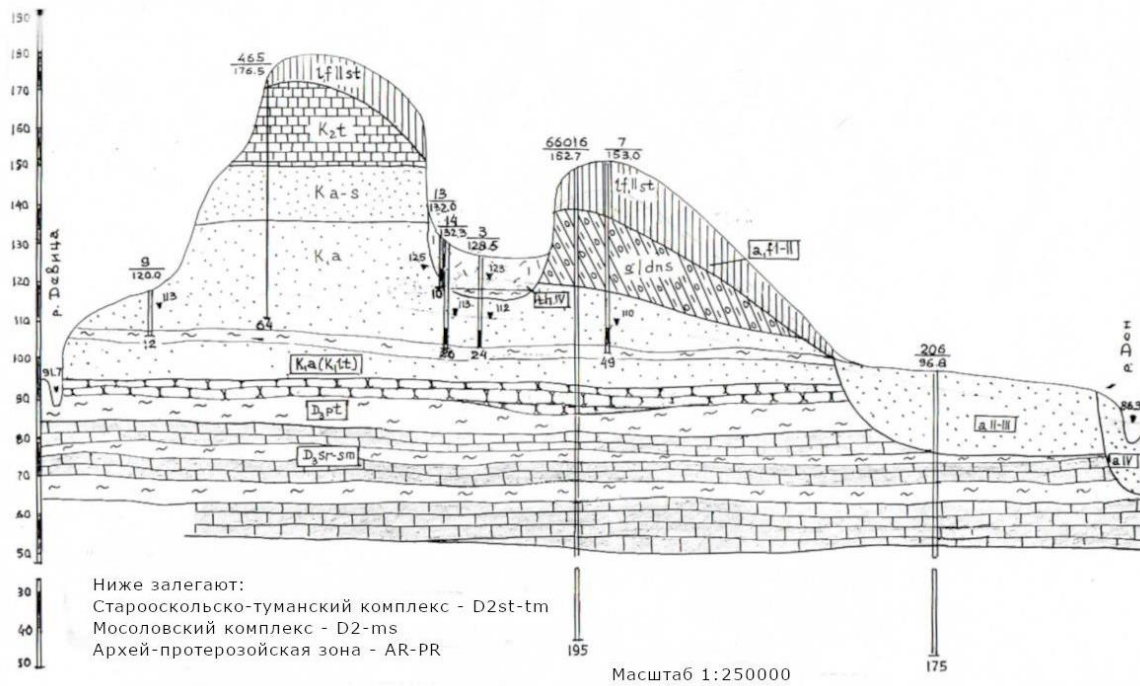


Рис. 2. Гидрогеологический разрез по линии I-I  
 Fig. 2. Hydrogeologic section along line I-I

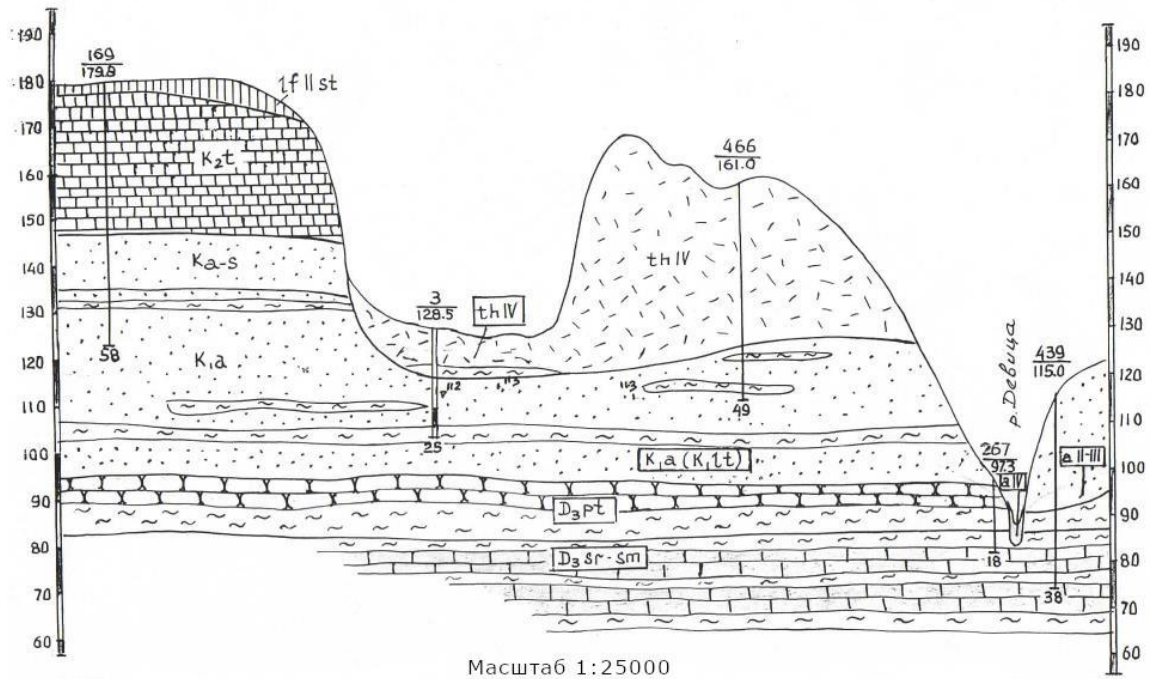


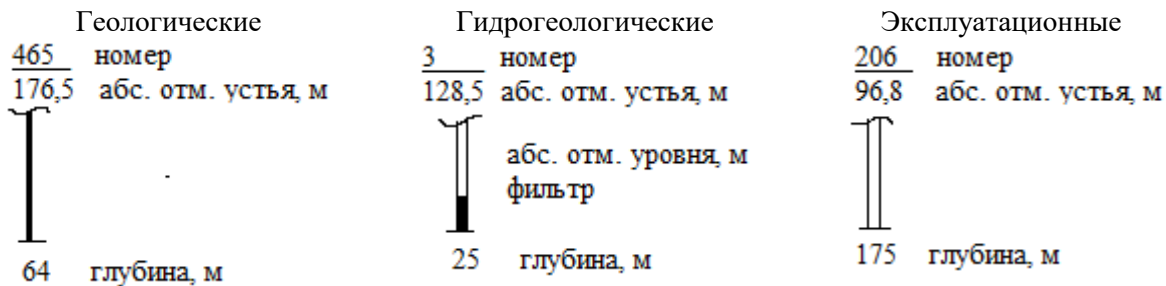
Рис. 3. Гидрогеологический разрез по линии II-II  
 Fig. 3. Hydrogeologic section along line II-II

Условные обозначения к рис. 3:

**Стратиграфические подразделения. Четвертичная система:** th IV – Техногенный горизонт; a IV – Современный аллювий; all-III – Аллювий террас; 1f II st – Стрелицкая свита; gldhs – Донская свита

**Меловая система:** K<sub>2t</sub> – Туронский ярус; Ka-s – Сеноманский ярус; K<sub>1a</sub> – Антский ярус

### Буровые скважины:



### Литологический состав пород:



### Гидрогеологические подразделения:

af I-II – Водоносный ниже-среднечетвертичный аллювиально-флювиогляциальный горизонт; th IV – Слабоводоносный современный техногенный горизонт; aIV – Водоносный средне-верхнечетвертичный аллювиальный горизонт; K<sub>1a</sub>(K<sub>1lt</sub>) – Водоносный локально-водоупорный аптский латненский терригенный горизонт; D<sub>3pt</sub> – Водоносный петинский карбонатный комплекс; D<sub>3sr-sm</sub> – Водоносный саргаевско-семилукский карбонатный комплекс.

Методологической основой исследований является геосистемный подход, включающий картографический, системный и другие методы исследований. Основной акцент был сделан на установлении роли геоэкологических условий территории размещения объекта в формировании негативных экологических последствий на разных этапах эксплуатации полигона ТКО.

### Результаты и их обсуждение

Длительность существования рассматриваемого объекта позволяет проанализировать в динамике эмиссионные процессы тела полигона и их последствия для окружающей природной среды.

На объектах хранения ТКО мощностью более 2 м сверху вниз условно выделяют три зоны: аэробную, переходную и анаэробную, которые различаются протекающими в них геохимическими процессами [Гуман, Долинина, 2003].

В общем виде взаимодействие этих зон между собой и с окружающей средой можно представить в виде схем (рис. 4).

Полигон ТКО с течением времени претерпевает значительные изменения. Обобщение литературных данных [Li et al., 2015; Загорская, Завизион, 2016; Горин, Королев, 2019; Шаповалов и др., 2019] позволяет утверждать, что основным фактором дестабилизации геоэкологической обстановки на свалках, полигонах и прилегающих к ним территориях является процесс трансформации органической фракции ТКО и распределение продуктов по компонентам техногенной геоэкологической системы. Если на полигоне отсутствуют изоляционные экраны, то воздействие это продолжается весьма продолжительное время [Вайсман и др., 2003; Завизион и др., 2015; Девятова и др., 2017; Замотаев и др., 2018]. Трансформация органики сопровождается образованием органических и неорганических веществ, многие из которых способны

переводить нерастворимые соединения тяжелых металлов в подвижную форму. Стекло, резина, пластмасса являются относительно инертными компонентами [Zhao et al., 2013; Минаева, 2020].

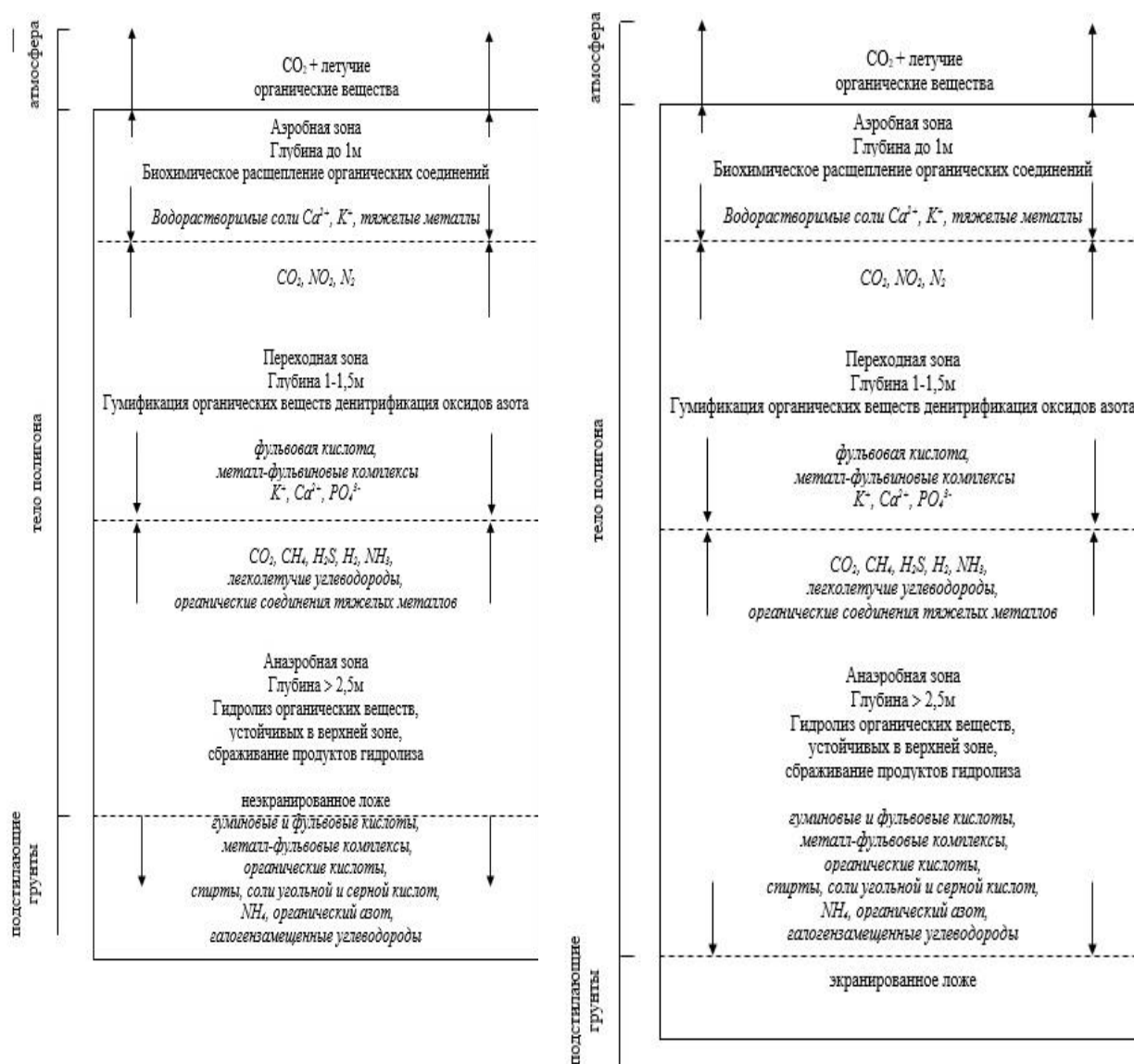


Рис. 4. Саморазвивающаяся геоэкологическая система «полигон ТКО»

Fig. 4. Spontaneously developing geocological system "Landfill"

В результате протекания биохимических процессов происходит смещение вверх границ выделенных зон. На начальной стадии эксплуатации полигона в его теле формируются в основном зоны аэрации и переходная, а на завершающем этапе эксплуатации полигона преобладают анаэробные процессы.

Временная дифференциация внутренних процессов полигона в сочетании с внешними сезонными природными условиями приводит к формированию эмиссий, специфичных для каждого этапа жизненного цикла полигона.

Так, на начальном этапе эксплуатации исследуемого полигона в воздухе над его ложем отмечались повышенные концентрации оксида углерода – 0,8 ПДК, диоксида азота – до 1,85 ПДК, нетоксичная пыль – до 1,12 ПДК, фенол – 1–12 ПДК. Концентрации загрязняющих веществ в воздухе над прилегающей к полигону территории превышали ПДК по ди-



оксиду азота, сероводороду. В дальнейшем (12–15 лет с начала складирования отходов) сохранялись повышенные концентрации оксида углерода над ложем полигона до 0,9 ПДК, в воздухе прилегающих территорий – в 1,5–2 раза по сравнению с начальным этапом, концентрация диоксида азота снизилась в 2–9 раз. Также в воздухе прилегающих территорий отмечалось существенное снижение концентрации сероводорода. На завершающих этапах эксплуатации полигона превышений ПДК загрязняющих веществ в воздухе прилегающих территорий не отмечалось, что обусловлено, по-видимому, затуханием биохимических процессов разложения органики в теле полигона, а также значительным уплотнением сверхнормативной массы отходов.

Необходимо отметить, что за время эксплуатации полигона ТКО не проводился химический анализ проб воздуха от технических сооружений и средств, а также во время самовозгорания отходов в жаркий период года.

Используя усредненные среднестатистические данные [Ашихмина, 2011; Управление..., 2012], можно показать загрязнители атмосферы из основных источников (табл. 1).

Таблица 1  
Table 1

Источники и компоненты загрязнения атмосферы на полигоне ТКО  
Pollution sources and components at landfill

Источник эмиссии газообразных веществ в атмосферу над полигоном ТКО	Компоненты газовых выбросов
Тело полигона (масса отходов)	азота диоксид (азот (iv) оксид), аммиак, сера диоксид (ангидрид сернистый), сероводород, оксид и диоксид углерода, метан, ксилол, толуол, этилбензол, формальдегид
Горение отходов на полигоне	твердые частицы, сернистый ангидрид, оксиды азота, оксиды углерода, сажа
Пруды-испарители фильтрата	аммонийный азот, пары воды, газообразные продукты химических реакций
Инсинератор для сжигания промасленных ветоши и фильтров	летучая зола, сернистый ангидрид, оксид углерода, диоксид и оксид азота, бенз(а)пирен, мазутная зола и сажа
Площадка биообезвреживания грунтов и опилок, загрязненных нефтепродуктами	испарения сырой нефти, сернистые соединения нефти, предельные и непредельные углеводороды, ароматические соединения, полициклические ароматические углеводороды – пау, альдегиды и пр.
Зона разгрузки мусоровозов и складирования ТКО с помощью бульдозеров	пыль неорганическая, азота диоксид (азот (iv) оксид), азот (ii) оксид (азота оксид), углерод (сажа), сера диоксид (ангидрид сернистый), углерод оксид, керосин

Все перечисленные источники вносят существенный вклад в загрязнение атмосферы над телом полигона, особенно в летний период. Рассеивание загрязняющих веществ в этот сезон происходит в направлении с запада на восток. В зимний период интенсивность газообразных эмиссий в атмосферу несколько снижается, загрязняющие вещества распространяются с юго-востока на северо-запад на значительные расстояния, учитывая более высокую скорость ветра по сравнению с летним периодом.

Состав фильтрата полигона ТКО также претерпевает существенные изменения на разных этапах существования объекта. Первые 3–5 лет с начала эксплуатации полигона фильтрат находился в кислотной фазе и имел очень высокое загрязнение органикой («молодой» фильтрат). После 3–5 лет эксплуатации объекта состав фильтрата изменился, благодаря анаэробному разложению органических кислот до метана. Фильтрат превратился в



«старый». Образование загрязняющих веществ в «старом» фильтрате обусловлено медленно разлагающимися гумусными органическими соединениями (табл. 2).

Таблица 2  
Table 2

Состав фильтрата, мг/дм<sup>3</sup>  
Filtrate composition, mg/dm<sup>3</sup>

Компоненты	1997 г. (минимум-максимум)	1998 г. (среднее)	1999 г. (среднее)	2000 г. (среднее)	ПДК <sub>водоотвед</sub>	ПДК <sub>рыб-хоз</sub>
аммоний	270–2323	269	2080	2251	2	0,5
нитраты	553,8–18600	–	13	36,8	не норм.	40
хлориды	465–500	1008	4610	5106	1000	300
сульфаты	30	153	91	535	1000	100
натрий	50	–	2672	3200	не норм.	120
кальций	240	–	802	30	не норм.	180
магний	76	–	182	116	не норм.	40
железо	2,6–28,9	3,2	36	35,7	5	0,1
медь	0,15–0,43	0,23	0,1	12,50	1	0,001
марганец	1,7–9,09	0,89	0,16	3,59	1	0,01
барий	0,13	–	5	5	не норм.	0,74
ртуть	0,0008	н/о	н/о	0,0003	0,005	–
свинец	0,16–0,68	0,16	0,005	0,04	0,25	0,06
кадмий	0,023–0,04	0,016	н/о	0,0008	0,015	0,005
хром (vi)	0,26–22,11	0,1	н/о	0,01	0,05	0,02
бор	2,5	н/о	14,45	23,94	не норм.	0,1
сухой остаток	9962–40105	5588	20698	21463	не норм.	не норм.
ХПК	370–1960	7093	1538	1579	500	6
БПК <sub>5</sub>	74–108	2762	–	–	300	2,1
рН	7,5–8,5	7,5	8	7,94	6-9	фон

Примечание: ПДК<sub>водоотвед</sub> – максимально допустимые значения нормативных показателей концентраций загрязняющих веществ в сточных водах, поступающих в системы водоотведения [Об утверждении правил..., 2020]; ПДК<sub>рыб-хоз</sub> – нормативы качества воды водных объектов рыбохозяйственного значения [Об утверждении нормативов ..., 2020].

Приведенные данные характеризуют переходный этап фильтрата от «молодого» к «старому», на котором сохраняется высокое содержание аммонийного азота при снижении нитратного до уровня ПДК за счет усиления денитрификационных процессов, содержание тяжелых металлов существенно снижается в результате их осаждения в отходах в виде сульфидов, карбонатов и гидроокисей в метановой фазе. Отмечается повышение концентрации хлоридов, сульфатов, натрия, значительное содержание органических веществ.

Загрязнение почво-грунтов в границах СЗЗ полигона оценивалось по отношению фактически выявленных концентраций к фоновым (табл. 3).

Наиболее значительные превышения фоновых концентраций загрязняющих веществ отмечаются в грунтах восточной и юго-восточной частей полигона, что связано, вероятно,



с перемещением фильтрата в направлении естественного уклона местности и осаждением газообразных поллютантов, перемещаемых в направлении преобладающих ветров.

Таблица 3  
Table 3

Значение показателя Сфакт/Сфон в грунтах на границе полигона  
на 19–22 год существования объекта  
Indicator values of Cpractical/Cbackground in soil nearby borders of landfill

Элементы	Восточная сторона	Юго-восточная сторона	Северная сторона
нефтепродукты	0,8–60,3	0,81–13,9	0,21–5,35
ПАВ	0,39–49	0,08–52,5	0,2–0,76
хлориды	2,4–2,7	1,3–2,3	0,02–0,14
азот аммонийный	0,24–0,5	0,02–0,45	0,002–1,23
азот нитратный	0,19–1,17	0,17–1,7	0,2–19,0

Химическими показателями процессов разложения азотсодержащего органического вещества в почве являются аммонийный и нитратный азот. Исследуемый объект расположен на территории отработанного карьера, где почвенный покров нарушен и удален в период его разработки. Подстилающие ложе полигона породы и грунты прилегающей территории представлены техногенными образованиями – глинами, суглинками, песками, ТКО (с северо-восточной стороны), а также лессовидными суглинками, мелом, песками (с юго-западной стороны). Присутствие органики в грунтах обусловлено в основном влиянием органических компонентов ТКО и продуктов их биохимической трансформации. Содержание органического вещества в 20-сантиметровом поверхностном слое грунтов составляет северо-западнее полигона 4,46 %, западнее полигона – 4,28 %, юго-восточнее полигона – 3,95 %. В фоновом образце грунта содержание органического вещества составило 4,56 %.

Пониженные концентрации органики и подвижных форм азота в восточной и юго-восточной зонах территории полигона обусловлены более низкой емкостью поглощения песков по сравнению с глинами и суглинками.

Длительная эксплуатация полигона ТКО сопровождалась периодическими аварийными выдавливаниями и разливами вод фильтрата на незащищенный грунт с западной, северо-западной и северо-восточной сторон от ложа полигона, что способствовало существенному загрязнению почво-грунтов. В местах разлива фильтрационных вод в 1998 г. отмечалось превышение фоновых значений концентрации нефтепродуктов в 1,5 раза, подвижных форм Pb – в 2,5–14 раз, Cu – в 8–25 раз, Zn – в 2,8–6,7 раз, Cd – в 1,25–2,5 раза, Ni – в 1,4–2,3 раз, Mn – в 1,5–2,2 раза.

В более поздний период (18–21 год складирования отходов) превышения фоновых концентраций загрязняющих веществ отмечались у основания (ложа) полигона: нефтепродуктов – в 21,8 раз, ПАВ – в 129 раз, превышение ПДК составило для подвижной формы Pb – 1,3 раза, Cd – 2,0 раза; в 10 м от обваловки основного пруда-испарителя: аммонийного азота – в 1,4 раза, хлоридов – в 2,8 раз, ПАВ – в 96 раз, нефтепродуктов – в 1,5 раза; подвижного Pb – в 1,75 раз, подвижного Cd – в 2 раза; подвижного Zn – в 1,04 раза.

Влияние исследуемого полигона на состояние почво-грунтов прилегающих территорий сохраняется на протяжении всего периода его эксплуатации. Общую загрязненность почво-грунтов в зоне воздействия полигона ТКО характеризует валовое содержание тяжелых металлов (ТМ) (табл. 4).

Можно отметить повышение валовых концентраций тяжелых металлов на завершающей стадии эксплуатации полигона, что обусловлено накопительным эффектом техноген-



ного воздействия объекта на прилегающие территории. Наиболее полно оценить экологическую опасность ТМ позволяет анализ содержания их подвижных форм. Расчетные значения коэффициентов концентраций тяжелых металлов в почвогрунтах прилегающей к полигону территории (К<sub>i</sub>) представлены в табл. 5–10.

Таблица 4  
Table 4

Валовое содержание ТМ, мг/кг  
Total amount of ТМ, mg/kg

Элементы	1993 г.	1994 г.	2010 г.	2011 г.
Zn	1,6–41,5	1,3–20,0	20,8–24,3	33,7–64,3
Pb	1,5–18,5	1,1–15,0	6,2–7,9	5,1–14,5
Cd	0,2–1,5	0,1–1,2	< 0,01	0,05–0,26
Ni	2,5–18,4	1,8–13,6	9,2–10,2	7,3–26,0
Cu	1,5–11,7	1,2–13,2	10,4–13,9	11,8–23,5
Mn	6–115	18–131	320–498	116–414
Hg	0,008–0,083	0,01–0,621	< 0,1	< 0,1

Таблица 5  
Table 5

Максимальные значения показателя К<sub>i</sub> с восточной стороны  
Maximum amount of K<sub>i</sub> on the East side

Элементы	Класс опасности	Максимальные значения показателя С <sub>макс</sub> /С <sub>ф</sub>			
		2005 г.	2006 г.	2007 г.	2008 г.
Pb	1	99	55,9	122,5	125
Zn	1	93,7	191,3	34,1	38,2
Cd	1	9	4,45	9	5
Ni	2	21,2	20,3	17,4	20
Cu	2	414	166	42	30
Cr	2	1,13	0,89	4	5
Mn	3	83,21	69,8	–	–
Fe	–	–	3,34	–	–
Co	2	–	23,75	–	–

Таблица 6  
Table 6

Максимальные значения показателя (К<sub>i</sub>) с юго-восточной стороны  
Maximum amount of K<sub>i</sub> on the South-East side

Элементы	Класс опасности	Максимальные значения показателя С <sub>макс</sub> /С <sub>ф</sub>						
		2005 г.	2006 г.	2007 г.	2008 г.	2009 г.	2010 г.	2011 г.
Pb	1	91,75	96,9	30	25	38	46	19,25
Zn	1	135,2	33,2	28,2	30	34,6	31,2	19,8
Cd	1	10,5	7,75	3,75	3,2	1,05	1,4	1,95
Ni	2	7,9	16,3	8,06	8,7	21,5	11,6	7,9
Cu	2	860	207	1,2	1,0	154,3	174	118
Cr	2	0,98	1,46	1,35	1,6	5,7	0,96	0,79
Mn	3	60	79,5	–	–	303,9	282,61	114,8
Fe	–	–	1,79	–	–	1,11	0,92	1,17
Co	2	–	18,5	–	–	1,22	1,03	1,03

Таблица 7  
Table 7Максимальные значения показателя (Ki) с северной стороны  
Maximum amount of Ki on the North side

Элементы	Класс опасности	Максимальные значения показателя Смакс/Сф						
		2005 г.	2006 г.	2007 г.	2008 г.	2009 г.	2010 г.	2011 г.
Pb	1	53	30,5	10,8	12,5	15,3	21,5	43
Zn	1	12,3	11,26	7,06	7,06	17,6	17,6	37,8
Cd	1	4,5	3,5	0,5	0,5	< 0,5	< 0,5	1,8
Ni	2	16,5	2,6	1,9	2	4,4	4,3	18,3
Cu	2	320	140	25	25	53,2	84	235
Cr	2	1,06	0,73	0,51	1,4	1,6	0,36	1,16
Mn	3	32,6	25,4	–	–	20,3	41,3	266
Fe	–	–	0,66	–	–	0,34	0,59	1,08
Co	2	–	9,6	–	–	0,2	0,29	1,13

Таблица 8  
Table 8Максимальные значения показателя (Ki) с северо-западной стороны  
Maximum amount of Ki on the North-West side

Элементы	Класс опасности	Максимальные значения показателя Смакс/Сф		
		2009 г.	2010 г.	2011 г.
Pb	1	15,3	15,5	25,25
Zn	1	14,1	20	24,4
Cd	1	0,6	< 0,5	0,4
Ni	2	4,9	5,5	6,1
Cu	2	109,1	136	136
Cr	2	0,5	0,59	0,5
Mn	3	28,9	32,2	71,3
Fe	–	0,53	0,74	0,69
Co	2	0,4	0,4	0,3

Таблица 9  
Table 9Максимальные значения показателя (Ki) с южной стороны  
Maximum amount of Ki on the South side

Элементы	Класс опасности	Максимальные значения показателя Смакс/Сф		
		2009 г.	2010 г.	2011 г.
Pb	1	19,8	18,8	0,15
Zn	1	15,2	16,5	0,3
Cd	1	< 0,5	1,7	0,3
Ni	2	9,3	14	4,9
Cu	2	77,7	90	151
Cr	2	0,8	0,7	0,8
Mn	3	81,3	97,4	50,4
Fe	–	0,8	1	0,9
Co	2	0,6	0,8	0,6



Таблица 10  
Table 10

Расположение Ki в убывающей последовательности на границе полигона по сторонам горизонта  
The location of Ki in descending sequence at the border of the polygon along the sides of the horizon

<b>Восточная сторона</b>	
2005 г	$K_{Cu} > K_{Pb} > K_{Zn} > K_{Mn} > K_{Ni} > K_{Cd} > K_{Cr}$
2006 г	$K_{Zn} > K_{Cu} > K_{Mn} > K_{Pb} > K_{Co} > K_{Ni} > K_{Cd} > K_{Fe} > K_{Cr}$
2007 г	$K_{Pb} > K_{Cu} > K_{Zn} > K_{Cd} > K_{Cr}$
2008 г	$K_{Pb} > K_{Zn} > K_{Cu} > K_{Ni} > K_{Cd} > K_{Cr}$
<b>Юго-восточная сторона</b>	
2005 г	$K_{Cu} > K_{Zn} > K_{Pb} > K_{Mn} > K_{Cd} > K_{Ni} > K_{Cr}$
2006 г	$K_{Cu} > K_{Pb} > K_{Mn} > K_{Zn} > K_{Co} > K_{Ni} > K_{Cd} > K_{Fe} > K_{Cr}$
2007 г	$K_{Pb} > K_{Zn} > K_{Ni} > K_{Cd} > K_{Cr} > K_{Cu}$
2008 г	$K_{Zn} > K_{Pb} > K_{Ni} > K_{Cd} > K_{Cr} > K_{Cu}$
2009 г	$K_{Mn} > K_{Cu} > K_{Pb} > K_{Zn} > K_{Ni} > K_{Cr} > K_{Co} > K_{Fe} > K_{Cd}$
2010 г	$K_{Mn} > K_{Cu} > K_{Pb} > K_{Zn} > K_{Ni} > K_{Cd} > K_{Co} > K_{Cr} > K_{Fe}$
2011 г	$K_{Cu} > K_{Mn} > K_{Zn} > K_{Pb} > K_{Ni} > K_{Cd} > K_{Fe} > K_{Co} > K_{Cr}$
<b>Южная сторона</b>	
2009 г	$K_{Mn} > K_{Cu} > K_{Pb} > K_{Zn} > K_{Ni} > K_{Fe} > K_{Co} > K_{Cr} > K_{Cd}$
2010 г	$K_{Mn} > K_{Cu} > K_{Pb} > K_{Zn} > K_{Ni} > K_{Cd} > K_{Fe} > K_{Co} > K_{Cr}$
2011 г	$K_{Cu} > K_{Mn} > K_{Ni} > K_{Fe} > K_{Co} > K_{Cr} > K_{Cd} > K_{Pb}$
<b>Северо-западная сторона</b>	
2009 г	$K_{Cu} > K_{Mn} > K_{Pb} > K_{Zn} > K_{Ni} > K_{Fe} > K_{Co} > K_{Cr}$
2010 г	$K_{Cu} > K_{Mn} > K_{Zn} > K_{Pb} > K_{Ni} > K_{Fe} > K_{Co} > K_{Cr}$
2011 г	$K_{Cu} > K_{Mn} > K_{Pb} > K_{Zn} > K_{Ni} > K_{Fe} > K_{Co} > K_{Cr}$
<b>Северная сторона</b>	
2005 г	$K_{Cu} > K_{Pb} > K_{Mn} > K_{Ni} > K_{Zn} > K_{Cd} > K_{Cr}$
2006 г	$K_{Cu} > K_{Pb} > K_{Mn} > K_{Zn} > K_{Co} > K_{Cd} > K_{Ni} > K_{Cr} > K_{Fe}$
2007 г	$K_{Cu} > K_{Pb} > K_{Zn} > K_{Ni} > K_{Cr} > K_{Cd}$
2008 г	$K_{Cu} > K_{Pb} > K_{Zn} > K_{Ni} > K_{Cr} > K_{Cd}$
2009 г	$K_{Cu} > K_{Mn} > K_{Zn} > K_{Pb} > K_{Ni} > K_{Cr} > K_{Co} > K_{Fe} > K_{Cd}$
2010 г	$K_{Cu} > K_{Mn} > K_{Pb} > K_{Zn} > K_{Ni} > K_{Fe} > K_{Co} > K_{Cr} > K_{Cd}$
2011 г	$K_{Mn} > K_{Cu} > K_{Pb} > K_{Zn} > K_{Ni} > K_{Cd} > K_{Cr} > K_{Co} > K_{Fe}$

Примечание  $K_{Cr}$  – концентрация элемента не превышает фоновую

Наиболее загрязнены почво-грунты с юго-восточной стороны полигона, что обусловлено рельефом местности, способствующим горизонтальной миграции загрязненных вод с площадки хранения отходов.

Более высокой миграционной способностью обладают подвижные формы меди (2 класс опасности) и марганца (3 класс опасности).

### Заключение

Анализ в динамике процессов формирования негативных экологических последствий эксплуатации полигона ТКО позволил акцентировать интенсивность и направленность таких процессов на различных этапах существования объекта в зависимости от геоэкологических особенностей территории. Наибольшая эмиссионная активность характерна для начальной и основной эксплуатационной стадий существования объекта: отмечены повышенные концентрации оксида углерода, диоксида азота, пыли, фенола. В дальнейшем сохранялись высокие концентрации оксида углерода над ложем полигона, в воздухе прилегающих территорий с одновременным снижением концентрации диоксида азота и сероводорода.

Состав фильтрата полигона на переходном этапе от «молодого» к «старому» характеризуется повышенным содержанием аммонийного азота, хлоридов, сульфатов, натрия, органических веществ содержание в нем тяжелых металлов снижается. Распределение и локализация эмиссий полигона по компонентам экогеосферы определяется природно-климатическими и геоэкологическими условиями местности. Рассеивание газообразных загрязняющих веществ от исследуемого объекта в летний период происходит в направлении с запада на восток. В зимний период интенсивность газообразных эмиссий в атмосферу несколько снижается, загрязняющие вещества распространяются с юго-востока на северо-запад на значительные расстояния, учитывая более высокую скорость ветра по сравнению с летним периодом. Направление преобладающего воздушного переноса загрязняющих веществ от исследуемого полигона ТКО, а также перемещение фильтрата в направлении естественного уклона местности обуславливают значительные превышения фоновых концентраций загрязняющих веществ в почво-грунтах восточной и юго-восточной частей полигона. Постепенное затухание трансформационно-эмиссионных процессов характерно для завершающего и постэксплуатационного этапов жизни объекта, отличающихся, тем не менее, длительным временным периодом.

Сложившееся территориальное размещение полигонов ТКО на территории Воронежской области далеко не всегда способствует экологической безопасности таких объектов. Проведенное исследование факторов и динамики формирования негативных экологических последствий эксплуатации полигона ТКО г. Воронежа на различных стадиях его жизненного цикла является начальным этапом формирования информационной геоэкологической базы региона в применении к размещению и эксплуатации объектов депонирования отходов и представляет практический интерес для прогнозирования негативного экологического воздействия таких объектов уже на начальных этапах проектирования и эксплуатации; моделирования трансформационно-эмиссионных процессов, происходящих в теле полигона на различных этапах его существования; разработки рекомендаций по проектированию приоритетных экозащитных мероприятий для каждого этапа; разработки эффективных программ экологической реабилитации закрытых объектов хранения отходов; разработки и осуществления комплексной системы экологического мониторинга полигонов с учетом динамического развития факторов накопления негативных экологических последствий и геоэкологических условий территории размещения объекта.

### Список источников

1. Горин В.В., Королев Я.С. 2019. Биохимическая трансформация твердых коммунальных отходов в погребенных несанкционированных свалках. Международный журнал прикладных наук и технологий Integral, 3. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/biohimicheskaya-transformatsiya-tvyordyh-kommunalnyh-othodov-v-pogrebyonnyh-nesanktsionirovannyh-svalkah/viewer> (дата обращения: 15.06.2020).
2. Об утверждении правил холодного водоснабжения и водоотведения и о внесении изменений в некоторые акты Правительства Российской Федерации: Постановление Правительства РФ от 29.07.2013 № 644 (ред. от 22.05.2020) (с изм. и доп., вступ. в силу с 01.07.2020) // СПС КонсультантПлюс. URL: <http://www.consultant.ru/cons/cgi/online.cgi?req=doc&base=LAW&n=353683&fld=134&dst=315,0&rnd=0.0345871913524296#06492931758622935> (дата обращения: 10.07.2020).
3. Об утверждении нормативов качества воды водных объектов рыбохозяйственного значения, в том числе нормативов предельно допустимых концентраций вредных веществ в водах водных объектов рыбохозяйственного значения: Приказ Министерства сельского хозяйства РФ № 552 от 13 декабря 2016 года (с изменениями на 10 марта 2020 года) // СПС КонсультантПлюс. URL: <http://docs.cntd.ru/document/420389120> (дата обращения: 15.06.2020).



## Список литературы

1. Ашихмина Т.В. 2014. Геоэкологический анализ состояния окружающей среды природоохранные рекомендации в районе расположения полигонов ТБО Воронежской области. Автореф. дис.... канд. геогр. наук. Москва, 22 с.
2. Ашихмина Т.В. 2011. Загрязнение грунтовых вод в результате эксплуатации полигона твердых бытовых отходов. Экология и промышленность России, 6: 42–43.
3. Бородина Н.А. 2014. Оценка техногенного загрязнения по содержанию кислоторастворимых форм тяжелых металлов в урбанизированных почвах города Свободного (Амурская область). Известия Самарского научного центра Российской академии наук, 16 (1-4): 1055–1058.
4. Вайсман Я.И., Вайсман О.Я., Максимова С.В. 2003. Управление метаногенезом на полигонах твердых бытовых отходов. Пермь, Издательство Пермского Государственного технологического университета, 228 с.
5. Гуман О.М., Долинина И.А. 2003. Гидрогеохимическая модель полигона ТБО. Известия Уральского государственного горного университета, 18: 262–273.
6. Девятова Т.А., Калинина Л.Г., Румянцева И.В., Авксентьев А.А. 2017. Динамика парниковых газов в атмосфере техногенных экосистем. Материалы международной научно-практической конференции. Воронеж: 423–427.
7. Довгань С.А. 2001. Экологическая безопасность полигонного депонирования твердых бытовых отходов. Дис.... канд. техн. Наук. Воронеж, 139 с.
8. Завизион Ю.В., Слюсарь Н.Н., Глушанкова И.С., Загорская Ю.М., Коротаев В.Н. 2015. Оценка состояния полигонов захоронения ТБО по изменению органической составляющей. Экология и промышленность России, 7: 26–31.
9. Загорская Ю.М., Завизион Ю.В. 2016. Оценка степени разложения твердых коммунальных отходов разного срока захоронения по данным состава. Экология урбанизированных территорий, 2: 49–54.
10. Замотаев И.В., Иванов И.В., Михеев П.В., Белобров В.П. 2018. Оценка состояния почв и растительности в районах размещения свалок и полигонов твердых бытовых отходов (обзор). Почвоведение, 7: 907–924.
11. Минина П.А. 2020. Проблемы применения органических кислот в процессе очистки грунтов, загрязненных тяжелыми металлами. Молодой ученый, 22 (312): 594–596.
12. Смольянинов В.М., Овчинникова Т.В. 2010. Географические подходы при землеустроительном проектировании в регионах с интенсивным развитием природных и техногенных чрезвычайных ситуаций. Воронеж, Истоки, 230 с.
13. Вайсман Я.И. 2012. Управление отходами: Сточные воды и биогаз полигонов захоронения твердых бытовых отходов. Пермь, Пермский Национально Исследовательский Политехнический Университет, 258 с.
14. Шаповалов Д.А., Горин В.В., Королев Я.С. 2019. Экологические и санитарно-эпидемиологические последствия обращения твердыми коммунальными отходами в Московской области. Московский экономический журнал, 7: 10.
15. Ashikhmina T.V., Ovchinnikova T.V., Kuprienko P.S., Ashikhmin A.M. 2020 Geocological features of solid municipal waste storage facilities placement in Voronezh region. Geopolitics and ecogeodynamics of regions, 6-16 (2): 254–264.
16. Li H., Nitivattananon V., Li P. 2015. Municipal solid waste management health risk assessment from air emissions for China by applying life cycle analysis. Waste Manag Res. May. V., 33 (5): 401–409.
17. Zhao Sh., Jia L., Duo L. 2013. The use of a biodegradable chelator for enhanced phytoextraction of heavy metals by Festuca arundinacea from municipal solid waste compost and associated heavy metal leaching. Bioresource Technology, 129: 249–255.

## References

1. Ashikhmina T.V. 2014. Geoekologicheskiy analiz sostoyaniya okruzhayushchey sredy prirodookhrannyye rekomendatsii v rayone raspolozheniya poligonov TBO Voronezhskoy oblasti [Geoecological analysis of the state of the environment environmental protection recommendations in the area of the location of landfills for solid waste in the Voronezh region]. Avtoref. dis.... kand. geogr. nauk. Moskva, 22 p.
2. Ashikhmina T.V. 2011. Groundwater contamination as a result of operation of solid household waste range. Ecology and Industry of Russia, 6: 42–43. (in Russian)
3. Borodina N.A. 2014. Otsenka tekhnogenogo zagryazneniya po sodержaniyu kislotorastvorimykh form tyazhelykh metallov v urbanizirovannykh pochvakh goroda Svobodnogo (Amurskaya oblast) [Assessment of technogenic pollution by the content of acid-soluble forms of heavy metals in urbanized soils of the city of Svobodny (Amur region)]. Izvestia of Samara Scientific Center of the Russian Academy of Sciences, 16 (1-4): 1055–1058.
4. Vaisman Ya.I., Vaisman O. Ya., Maksimova S.V. 2003. Upravleniye metanogenezom na poligonakh tverdykh bytovykh otkhodov [Methanogenesis Management at Solid Waste Landfills]. Perm, Izdatelstvo Permskogo Gosudarstvennogo tekhnologicheskogo universiteta, 228 p.
5. Guman O.M., Dolinina I.A. 2003. Gidrogeokhimicheskaya model poligona TBO [Hydrogeochemical model of the solid waste landfill]. News of the Ural State Mining University, 18: 262–273.
6. Devyatova T.A., Kalinina L.G., Rumyantseva I.V., Avksent'ev A.A. 2017. Dinamika parnikovykh gazov v atmosfere tekhnogennykh ekosistem [Dynamics of greenhouse gases in the atmosphere of technogenic ecosystems]. Materialy mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferencii. Voronezh: 423–427.
7. Dovgan S.A. 2001. Ekologicheskaya bezopasnost poligonogo deponirovaniya tverdykh bytovykh otkhodov [Environmental safety of landfills for solid waste disposal]. Dis..... kand. tehn. Nauk. Voronezh, 139 p.
8. Zavizion Yu.V., Slyusar N.N., Glushankova I.S., Zagorskaya Yu.M., Korotaev V.N. 2015. Evaluation of the State of Disposal Polygons of Solid Domestic Waste by the Variation in the Organic Component. Ecology and Industry of Russia, 7: 26–31. (in Russian)
9. Zagorskaya Yu.M., Zavizion Yu.V. 2016. Assessment decomposition degree of municipal solid waste with different disposal period according to the composition. Jekologija urbanizirovannykh territorij, 2: 49–54. (in Russian)
10. Zamotaev I.V., Ivanov I.V., Mikheev P.V., Belobrov V.P. 2018. Assessment of the state of soils and vegetation in areas of landfills and municipal solid waste sites (a review). Eurasian Soil Science, 7: 907–924. (in Russian)
11. Minina, PA 2020. Problemy primeneniya organicheskikh kislot v protsesse ochistki gruntov. zagryaznennykh tyazhelymi metallami [Problems of using organic acids in the process of cleaning soils contaminated with heavy metals]. Molodoj uchenyj, 22 (312): 594–596.
12. Smolyaninov V.M., Ovchinnikova T.V. 2010. Geograficheskiye podkhody pri zemleustroitelnom proyektirovanii v regionakh s intensivnym razvitiyem prirodnykh i tekhnogennykh chrezvychaynykh situatsiy [Geographic approaches in land management design in regions with intensive development of natural and man-made emergencies]. Voronezh, Istoki, 230 p.
13. Weisman Ya.I. 2012. Upravleniye otkhodami: Stochnyye vody i biogaz poligonov zakhroneniya tverdykh bytovykh otkhodov [Waste management: Waste water and biogas from solid waste landfills]. Perm, Permskiy Natsionalno Issledovatelskiy Politekhnikeskij Universitet, 258 p.
14. Shapovalov D. A., Gorin V. V., Korolev Ya. S. 2019. Environmental and sanitary-epidemiological consequences of handling solid utility in Moscow Region. Moscow journal, 7: 10. (in Russian)
15. Ashikhmina T.V., Ovchinnikova T.V., Kuprienko P.S., Ashikhmin A.M. 2020 Geoecological features of solid municipal waste storage facilities placement in Voronezh region. Geopolitics and ecogeodynamics of regions, 6-16 (2): 254–264.





16. Li H., Nitivattananon V., Li P. 2015. Municipal solid waste management health risk assessment from air emissions for China by applying life cycle analysis. *Waste Manag Res.* May. V., 33 (5): 401–409.

17. Zhao Sh., Jia L., Duo L. 2013. The use of a biodegradable chelator for enhanced phytoextraction of heavy metals by *Festuca arundinacea* from municipal solid waste compost and associated heavy metal leaching. *Bioresource Technology*, 129: 249–255.

#### ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

**Ашихмина Татьяна Валентиновна**, кандидат географических наук, доцент кафедры Техносферной и пожарной безопасности Воронежского государственного технического университета, г. Воронеж, Россия

**Каверина Наталия Викторовна**, кандидат географических наук, доцент кафедры геоэкологии и мониторинга окружающей среды Воронежского государственного университета, г. Воронеж, Россия

**Куприенко Павел Сергеевич**, доктор технических наук, доцент, зав. кафедрой Техносферной и пожарной безопасности Воронежского государственного технического университета, г. Воронеж, Россия

#### INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

**Tatyana V. Ashikhmina**, PhD in geography, Associate Professor, Department of Technosphere and Fire Safety, Voronezh State Technical University, Voronezh, Russia

**Nataliy V. Kaverina**, PhD in geography, Associate Professor, Department of Geoecology and Environmental Monitoring, Voronezh State University, Voronezh, Russia

**Pavel S. Kuprienko**, Doctor of Technical Sciences, Associate Professor, Head. Department of Technosphere and Fire Safety, Voronezh State Technical University, Voronezh, Russia