

СРАВНИТЕЛЬНАЯ ОЦЕНКА ЭМИССИИ БИОГАЗА И ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА ФИЛЬТРАЦИОННЫХ ВОД НА СВАЛКАХ/ПОЛИГОНАХ ТВЕРДЫХ КОММУНАЛЬНЫХ ОТХОДОВ В АРКТИЧЕСКОЙ ЗОНЕ И СУБЪЕКТАХ СРЕДНЕЙ ПОЛОСЫ РОССИИ

Е. А. Пичугин, Б. Е. Шенфельд, М. С. Дьяков

ФГБУ «Уральский государственный научно-исследовательский институт региональных экологических проблем» (Пермь, Российская Федерация)

Статья поступила в редакцию 5 декабря 2023 г.

Для цитирования

Пичугин Е. А., Шенфельд Б. Е., Дьяков М. С. Сравнительная оценка эмиссии биогаза и химического состава фильтрационных вод на свалках/полигонах твердых коммунальных отходов в Арктической зоне и субъектах средней полосы России // Арктика: экология и экономика. — 2024. — Т. 14, № 3. — С. 384—392. — DOI: 10.25283/2223-4594-2024-3-384-392.

Приведены результаты сравнительной оценки эмиссии биогаза и химического состава фильтрационных вод объектов накопленного вреда окружающей среде – свалок/полигонов твердых коммунальных отходов, расположенных в Арктике и неарктических регионах России. Анализ показал, что эмиссия биогаза на объектах в Арктике примерно в 19–23,5 раз ниже, чем на объектах в регионах, не относящихся к Арктической зоне Российской Федерации. Объекты накопленного вреда по химическому составу фильтрационных вод и эмиссии биогаза в зависимости от этапа биохимической деструкции отходов находятся на 4–5-й стадиях биодegradации и деструкции отходов (фазы стабильного метаногенеза и ассимиляции). Результаты, приведенные в статье, могут быть использованы органами исполнительной власти субъектов Федерации, а также проектными организациями при разработке мероприятий и технических решений по ликвидации выведенных из эксплуатации свалок/полигонов твердых коммунальных отходов.

Ключевые слова: объекты накопленного вреда окружающей среде, свалки, полигоны, твердые коммунальные отходы, Арктическая зона Российской Федерации, компоненты природной среды, эмиссия биогаза, фильтрационные воды.

Введение

С 2017 г. в федеральный закон от 10 января 2002 г. № 7-ФЗ¹ внесен ряд изменений, направленных на определение правовых понятий «накопленный вред окружающей среде», «объекты накопленного вреда окружающей среде», а также норм, закрепляющих

административные процедуры и полномочия, которые в совокупности формируют общий порядок выявления, оценки, категорирования и ликвидации накопленного вреда окружающей среде.

Одним из существенных источников опасности для компонентов природной среды и населения являются выведенные из эксплуатации свалки/полигоны захоронения коммунальных отходов. Наибольшую опасность представляют биогаз, выделяющийся при биодеструкции отходов, а также фильтрационные воды, образующиеся в том числе за счет инфильтрации атмосферных осадков через тело полигона,

¹ Федеральный закон «Об охране окружающей среды» от 10 января 2002 г. № 7-ФЗ. Принят Государственной думой 20 декабря 2001 г. Одобрен Советом Федерации 26 декабря 2001 г. — URL: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_34823/.

а также за счет биохимических процессов, сопровождающихся образованием воды [1].

Основными факторами, влияющими на химический и микробиологический состав фильтрационных вод полигонов, а также эмиссию биогаза, являются морфология твердых коммунальных отходов (ТКО), условия складирования, предварительная обработка отходов, этап жизненного цикла свалки/полигона коммунальных отходов².

Проблемами оценки воздействия на компоненты природной среды и ликвидации выведенных из эксплуатации свалок/полигонов ТКО в разные годы занимались Ю. О. Горшкова [2; 3] (вопросы мониторинга состояния компонентов природной среды и технологий рекультивации объектов захоронения отходов в постэксплуатационном периоде), Н. Н. Слюсарь [4] (вопросы воздействия и биогеохимической стабилизации массива свалок/полигонов в постэксплуатационном периоде жизненного цикла объектов размещения отходов (в том числе оценка длительности эмиссии биогаза), технические, технологические и экологические требования к выводу из эксплуатации объектов размещения ТКО), Т. В. Воронкова, Н. А. Сытник, М. В. Висков [5—7] (вопросы ликвидации объектов размещения отходов, в том числе вопросы снижения объемов и очистки фильтрационных вод свалок/полигонов в постэксплуатационном периоде), Т. В. Любинская, М. В. Ахмадиев и др. [8—10] (вопросы снижения эмиссии биогаза и использование энергетического потенциала объектов размещения отходов).

Известно [11; 12], что одним из основных климатических рисков в Арктике являются выбросы парниковых газов от антропогенных источников (добыча полезных ископаемых, морские перевозки). Свалки/полигоны твердых коммунальных отходов, расположенные в арктических регионах, также могут являться долгосрочными источниками выбросов парниковых газов, поэтому одним из сценариев реализации климатической повестки является управление отходами, направленное в том числе на эффективную утилизацию вторичных энергоресурсов — биогаза³. По мнению В. С. Васильцова, Н. А. Жильниковой [13; 14], для обеспечения экологической безопасности первоочередной задачей развития арктических территорий является ликвидация свалок коммунальных отходов. Эмиссия биогаза от действующих объектов размещения отходов в Арктике исследована в работе А. Н. Чусова [15].

² Рекомендации по сбору, очистке и отведению сточных вод полигонов захоронения твердых бытовых отходов. — Утв. Государственным комитетом Российской Федерации по строительству и жилищно-коммунальному хозяйству 25 апреля 2003 г. — URL: <https://meganorm.ru/Data2/1/4293776/4293776478.pdf>.

³ Риски, связанные с изменением климата. — URL: https://mgimo.ru/upload/2023/04/prezentacziya-lukina-vb.pdf?utm_source=yandex.ru&utm_medium=organic&utm_campaign=yandex.ru&utm_referrer=yandex.ru.

Анализ научной литературы показал, что вопросы разложения отходов и процессы метаногенеза, в том числе влияния эмиссии биогаза выведенных из эксплуатации свалок и полигонов твердых коммунальных отходов как объектов накопленного вреда окружающей среде (далее — объекты накопленного вреда) на состояние компонентов природной среды российской Арктики освещены недостаточно.

Цель работы — сравнительная оценка эмиссии биогаза и химического состава фильтрационных вод объектов накопленного вреда, представляющих собой выведенные из эксплуатации свалки/полигоны твердых коммунальных отходов.

Объекты и методы исследования

Исследование охватило семь объектов накопленного вреда, представляющих собой свалки/полигоны ТКО, расположенные в Мурманской области (два объекта площадью 35 519 и 358 254 м² с размещенными отходами III—V классов опасности объемом 62 433 и 4 722 200 м³ соответственно), Чукотском автономном округе (объект площадью 78 000 м² с размещенными отходами IV—V классов опасности объемом 124 907 м³), Республике Карелия (объект площадью 82 080 м² с размещенными отходами V класса опасности объемом 171 437 м³), Московской области (объект площадью 67 000 м² с размещенными отходами IV—V классов опасности объемом 730 000 м³), Калужской области (объект площадью 29 993 м² с размещенными отходами IV—V классов опасности объемом 124 907 м³), Ханты-Мансийском автономном округе — Югре (объект площадью 103 506 м² с размещенными отходами IV—V классов опасности объемом 6 775 511 м³).

В качестве исходных данных использованы результаты обследования (инвентаризации) объектов накопленного вреда в рамках инженерных изысканий, выполненных субъектами Федерации, полученные Уральским государственным научно-исследовательским институтом региональных экологических проблем (УралНИИ «Экология») от Минприроды России в рамках подготовки информационно-аналитических заключений о возможности включения объектов накопленного вреда в Государственный реестр объектов накопленного вреда окружающей среде (далее — Государственный реестр) по распоряжению Минприроды России от 26 февраля 2018 г. № 6-р (в редакции от 27 апреля 2020 г. № 14-р).

В работе использовались методы анализа и сравнения основных характеристик объектов накопленного вреда, их воздействия на состояние компонентов природной среды с использованием статистических методов обработки информации.

Результаты и обсуждение

Анализ материалов показал, что срок эксплуатации исследованных свалок/полигонов твердых коммунальных отходов в Арктике составляет от 18 до

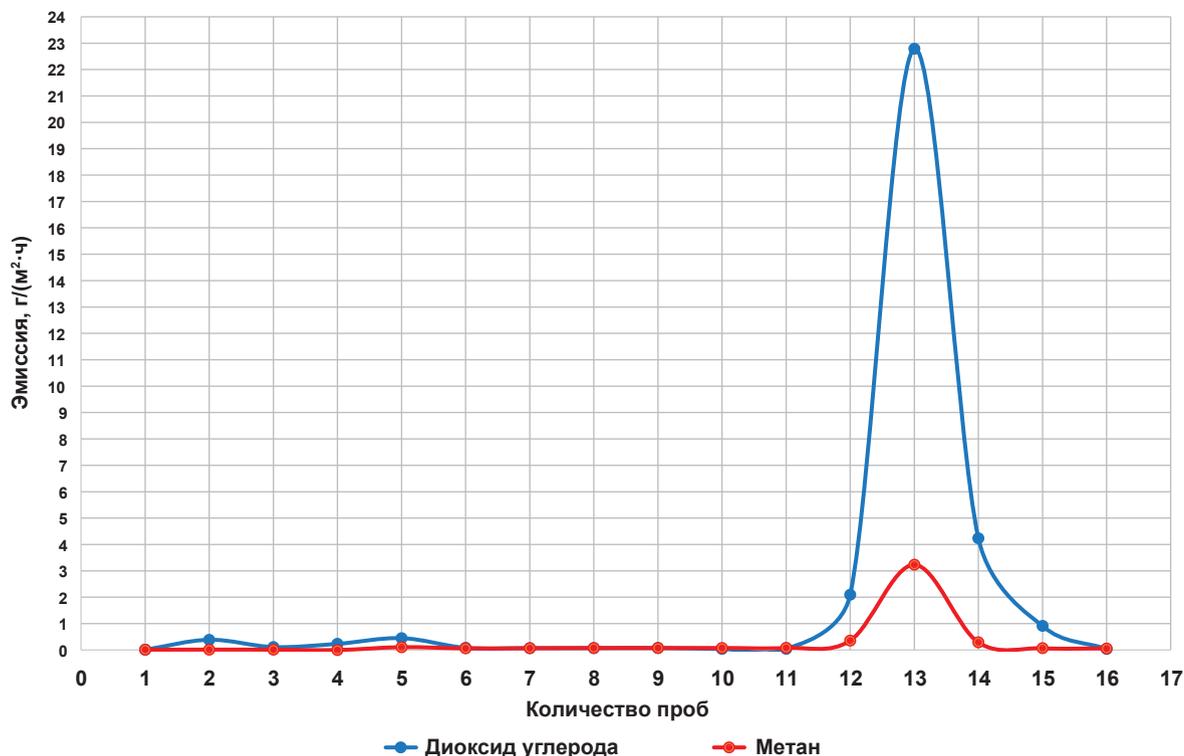


Рис. 1. Эмиссия биогаза на свалках/полигонах ТКО, расположенных в Арктической зоне Российской Федерации
 Fig. 1. Biogas emissions at dumps/municipal solid waste landfills located in the Arctic zone of the Russian Federation

49 лет. Срок эксплуатации свалок/полигонов, расположенных в субъектах Федерации, не относящихся к арктическим регионам России, составляет до 57 лет, что больше, чем срок эксплуатации однотипных объектов, расположенных в Арктической зоне Российской Федерации (АЗРФ).

Высота свалочного тела исследованных объектов накопленного вреда, расположенных в регионах России, также больше, чем на объектах, расположенных в Арктике, и изменяется от 3,48 м до 27 м. Высота свалочного тела объектов, расположенных в Арктике, изменяется от 1,8 м до 24 м. В среднем высота антропогенных образований (отходов) на объектах в арктических регионах России составляет 13,2 м.

Объем размещенных отходов на исследованных свалках/полигонах ТКО, расположенных в арктических регионах, изменяется от 62 433 до 4 722 000 м³. Объем размещенных отходов на рассмотренных объектах накопленного вреда, расположенных в регионах, не относящихся к АЗРФ, изменяется от 124 907 до 6 775 511 м³.

Известно [1], что основными факторами, оказывающими влияние на процессы метаногенеза, в том числе на состав фильтрационных вод и эмиссию биогаза, являются влажность отходов, температура окружающей среды и температура в массиве свалочного тела.

Оптимальное для метаногенеза значение влажности составляет 55—80%. При содержании влаги

в биоразлагаемых отходах менее 20% активность анаэробных процессов значительно снижается, и период полураспада фракций отходов составляет от 15 до 50 лет [1]. Анализ материалов обследования объектов накопленного вреда показал, что влажность отходов, размещенных на исследованных свалках/полигонах коммунальных отходов, достаточно низка и не превышает 30,6%.

Температура и продолжительность дней теплого периода оказывают значительное влияние на процессы биоразложения отходов. Понижение температуры наружного воздуха подавляет биологическую активность в верхних слоях полигона, уменьшая общий объем газовой выделения. При температурах ниже 10—15°C образование метана резко снижается [1].

С использованием сведений о географических координатах свалок/полигонов ТКО проведен сравнительный анализ климатических характеристик территорий расположения данных объектов. В Арктической зоне средняя температура теплого периода года составляет 11—13°C, количество дней этого периода 37—72. На территории свалок/полигонов в субъектах Федерации, не относящихся к АЗРФ, температура теплого периода года в среднем на 4° выше, чем в арктических регионах. Продолжительность теплого периода года, при котором температура окружающей среды превышает 10°C, на территории расположения свалок/полигонов ТКО в субъектах Федерации выше в среднем на 52 дня. В почве на глубине 20 см температура

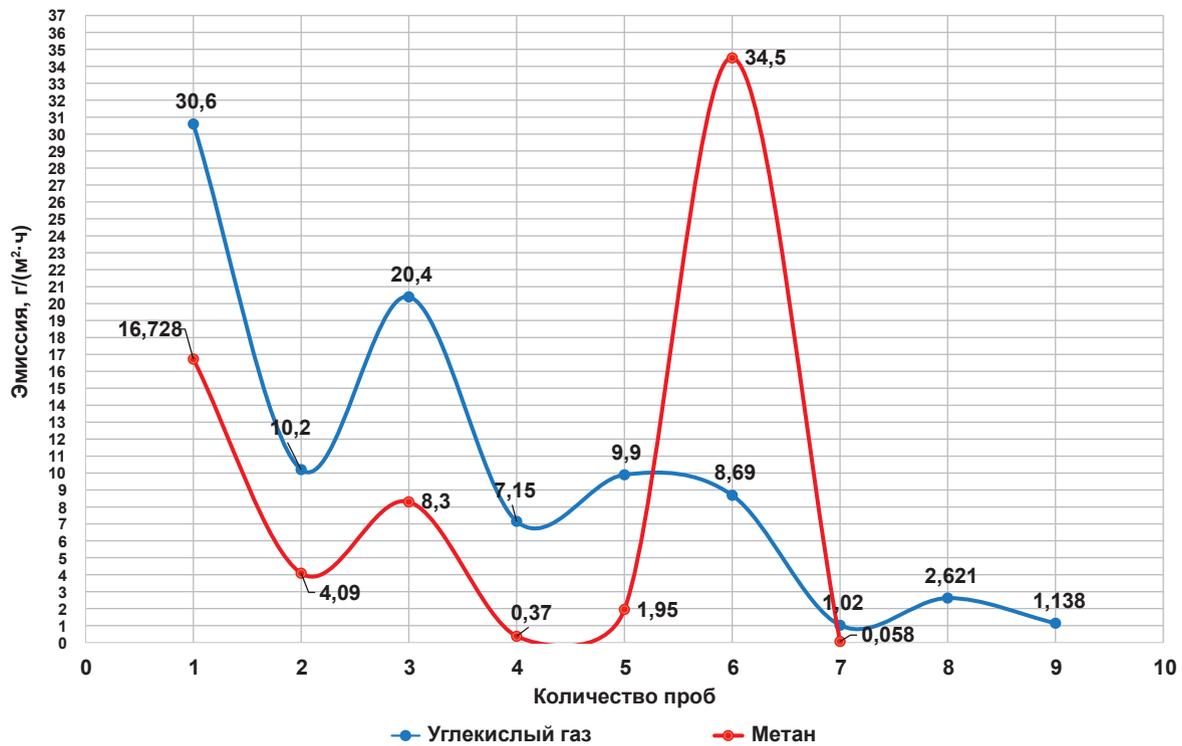


Рис. 2. Эмиссия биогаза на свалках/полигонах ТКО, расположенных в регионах, не относящихся к Арктической зоне Российской Федерации
 Fig. 2. Biogas emissions at dumps/municipal solid waste landfills located in constituent entities of the Russian Federation not related to the Arctic zone of the Russian Federation

выше 10°C сохраняется в среднем на два месяца дольше на объектах накопленного вреда в средней полосе России.

Данные по влажности отходов, температуре и продолжительности теплого периода на рассматриваемых объектах позволяют сделать вывод, что на объектах в Арктике вследствие низкой влажности и температуры, невысокой продолжительности теплого периода года процессы биоразложения отходов протекают достаточно медленно.

Этот вывод подтверждается данными по эмиссии метана и диоксида углерода, приведенными на рис. 1 и 2 (на основании анализа сведений, представленных в материалах обследования объектов накопленного вреда). Эмиссия биогаза на рассмотренных свалках/полигонах в арктических регионах России незначительна и не превышает 0,45 г/м²·ч по диоксиду углерода и 0,36 г/м²·ч по метану. В одном случае зафиксирована повышенная эмиссия биогаза 22,786 г/м²·ч по диоксиду углерода и 3,231 г/м²·ч по метану (см. рис. 1). С учетом средней площади рассмотренных свалок/полигонов в Арктике, равной 138 463 м², эмиссия биогаза составляет 62,308 кг/ч (31,79 м³/ч) по диоксиду углерода и 49,847 кг/ч (71,21 м³/ч) по метану. Эмиссия биогаза на объектах, расположенных в субъектах Федерации, не относящихся к АЗРФ, в среднем по диоксиду углерода состав-

ляет 17,67 г/м²·ч, по метану 17,58 г/м²·ч (см. рис. 2). С учетом средней площади рассмотренных свалок/полигонов ТКО в субъектах Федерации, равной 66 833 м², эмиссия биогаза составляет по диоксиду углерода 1180,94 кг/ч (602,52 м³/ч), по метану — 1174,92 кг/ч (1678,46 м³/ч). Полученные данные свидетельствуют, что эмиссия биогаза на объектах в Арктике ниже примерно в 19—23,5 раза.

Оценка потенциала эмиссии метана выполнена в соответствии с классификацией объектов захоронения отходов по мощности и газовому потенциалу [1]. Расчеты, проведенные на основании сведений об объемах отходов, накопленных на исследованных объектах, показали, что газовый потенциал метана свалок/полигонов ТКО, расположенных в арктических регионах России, в основном составляет до 416 м³/ч (до 3,6 млн м³/год). Газовый потенциал метана свалок/полигонов, расположенных в субъектах Федерации, не относящихся к АЗРФ, выше и составляет от 133 до 2081 м³/ч (2,3—18,2 млн м³/год). Таким образом, фактическая эмиссия биогаза на исследованных объектах накопленного вреда в Арктике значительно ниже газового потенциала. С учетом того, что срок эксплуатации исследуемых свалок/полигонов составляет от 18 до 49 лет, низкая эмиссия биогаза может свидетельствовать как о затухании анаэробных процессов в свалочном теле, так и об

Таблица 1. Объемная доля диоксида углерода и метана в свалочном грунте свалок/полигонов ТКО, %
Table 1. Volume fraction of carbon dioxide and methane in landfill soil of dumps/municipal solid waste landfills, %

| Наименование | Шпуровое содержание | Минимальное значение | Максимальное значение | Среднее значение | Медианное значение |
|---|---------------------|----------------------|-----------------------|------------------|--------------------|
| Санкционированные свалки/полигоны ТКО, расположенные в Арктике | Метан | 0,1 | 2,82 | 0,58 | 0,35 |
| | Диоксид углерода | 0,03 | 9,77 | 1,68 | 0,565 |
| Санкционированные свалки/полигоны ТКО, расположенные в субъектах Федерации, не относящихся к АЗРФ | Метан | 0,73 | 66,4 | 17,58 | 4,3 |
| | Диоксид углерода | 1,2 | 57,41 | 17,67 | 6,21 |

Примечание. Таблица сформирована на основе анализа материалов об объектах накопленного вреда, поступающих в УралНИИ «Экология» от субъектов Федерации с заявлением о включении объекта накопленного вреда в Государственный реестр.

очень низкой эффективности протекания процесса биоразложения отходов в условиях Арктики.

С точки зрения воздействия на окружающую среду важной характеристикой является газогеохимическая опасность свалок и полигонов. На основе данных обследования объектов накопленного вреда выполнен анализ газохимических исследований (статистические характеристики объемного содержания метана и диоксида углерода в свалочном теле представлены в табл. 1). Свалочные грунты свалок/полигонов ТКО, расположенных в арктических регионах России, содержащие в основном менее 1% метана, по степени газогеохимической опасности в соответствии с п. 5.18.9 СП 502.1325800.2021⁴ относятся к категории безопасных и потенциально опасных, в то время как в средней полосе России свалочные грунты относятся к опасным. Аналогичны различия грунтов и по пожаровзрывоопасности: свалочные грунты средней полосы с содержанием метана более 5% относятся к категории пожаровзрывоопасных в отличие от арктических грунтов.

Анализ результатов обследования объектов накопленного вреда в рамках инженерных изысканий показал (табл. 2), что состав подземных вод вблизи свалок/полигонов ТКО, расположенных в Арктике, по большинству показателей близок к составу фильтрата, что говорит о гидрологической связи, миграции и разгрузке высокотоксичных загрязняющих веществ в подземные горизонты, причиной которых может быть отсутствие или разрушение гидроизоляционного экрана тела свалки/полигона.

⁴ Инженерно-экологические изыскания для строительства. Общие правила производства работ. СП 502.1325800.2021. – Утв. приказом Министерства строительства и жилищно-коммунального хозяйства Российской Федерации от 16 июля 2021 г. № 475/пр и введены в действие с 17 января 2022 г. – URL: <https://minstroyrf.gov.ru/docs/131522/>.

При этом максимальные превышения ПДКхп в фильтрате объектов накопленного вреда в Арктике зафиксированы по железу в 333,3 раза, по БПК₅ — в 75 раз, по аммоний иону — в 61,7 раза, по марганцу — в 43,3 раза, по кадмию — в 38,3 раза, по литию — в 34,6 раза, по никелю — в 14 раз, по ХПК — в 10,9 раза, по нефтепродуктам — в 10,8 раза.

В фильтрате свалок/полигонов ТКО, расположенных в субъектах Федерации, не относящихся к АЗРФ, зафиксированы высокие и экстремально высокие превышения ПДКхп по алюминию соответственно в 17 раз и 30,5 раза, по бору — в 15,6 раза и 16,4 раза, по БПК₅ — в 75 раз, по железу — в 22,3 раза и 96,7 раза, по кадмию — в 11 раз и 15 раз, по калию — в 16,7 раза, по кремнию — в 1,8 раза и 2,9 раза, по марганцу — в 12 раз и 19 раз, по меди — в 1,51 раза и 3,6 раза, по натрию — в 2,5 раза, по нефтепродуктам — в 20 раз, по никелю — в 8,5 раза и 22 раза, по нитрит-иону — в 1,24 раза и 1,64 раза, по свинцу — в 2,3 раза и 14 раз, по сухому остатку — в 12,8 раза и 13,4 раза, по хлорид-иону — в 10,3 раза и 11,7 раза, по ХПК в 213,3 раза и 276,7 раза, по хрому — в 18,6 раза и 36 раз.

Сравнительная характеристика воздействия санкционированных свалок/полигонов показала, что фильтрационные воды объектов накопленного вреда как в Арктике, так и субъектах Федерации экстремально загрязнены веществами I–IV классов опасности.

Сравнительный анализ характеристик фильтрационных вод санкционированных свалок/полигонов коммунальных отходов в арктических регионах и средней полосе России показал, что объекты накопленного вреда по представленной в [1] классификации этапов биохимической деструкции отходов в зависимости от химического состава фильтраци-

онных вод находятся на 4—5-й стадиях биодegradации и де-струкции отходов (фазы стабильного метаногенеза, ассимиляции).

Заклучение

1. Эмиссия биогаза на выведенных из эксплуатации свалках/полигонах твердых коммунальных отходов, расположенных в Арктической зоне, незначительна и намного ниже их газового потенциала. Эмиссия биогаза на объектах накопленного вреда в Арктике примерно в 19—23,5 раз ниже, чем на объектах, не относящихся к АЗРФ.

2. Вещества, входящие в состав фильтрационных вод объектов накопленного вреда, расположенных в арктических регионах России, мигрируют в подземные воды, что может быть объяснено отсутствием или разрушением гидроизоляционного экрана тела свалки/полигона.

3. Анаэробные процессы в свалочном теле объектов накопленного вреда (свалок/полигонов твердых коммунальных отходов), расположенных как в Арктике, так и в субъектах Федерации, не относящихся к АЗРФ, находятся на стадии затухания (фазах стабильного метаногенеза, ассимиляции).

4. Вследствие медленного протекания процессов метаногенеза свалки/полигоны, расположенные в арктических регионах, являются долгосрочным источником воздействия на компоненты природной среды.

5. Результаты, полученные в статье, могут быть использованы органами исполнительной власти субъектов Федерации, а также проектными организациями при разработке мероприятий, технических решений по ликвидации выведенных из эксплуатации свалок/полигонов твердых коммунальных отходов.

Литература/References

1. Вайсман Я. И., Коротаев В. Н., Глушанкова И. С. и др. Управление отходами. Сточные воды и биогаз полигонов захоронения твердых бытовых отходов: Монография / Под ред. Я. И. Вайсмана. — Пермь: ПНИПУ, 2012. — 259 с.
Vaisman Ya. I., Korotaev V. N., Glushankova I. S., Maksimova S. V., Zaitseva T. A., Rudakova L. V. et al. Upravlenie otkhodami. Stochnye vody i biogaz poligonov zakhoroneniya tverdykh bytovykh otkhodov [Waste

Таблица 2. Средние кратности превышений загрязняющих веществ в фильтрате и подземной воде вблизи свалок/полигонов твердых коммунальных отходов, расположенных в Арктической зоне Российской Федерации

Table 2. Average multiples of pollutant excess in leachate and groundwater near dumps/landfills of solid municipal waste located in the Arctic zone of the Russian Federation

| Загрязняющее вещество | Фильтрат, кратности превышения ПДКхп | Подземная вода, кратности превышения ПДКхп |
|-----------------------|--------------------------------------|--|
| Аммоний ион | 16,16 | 16,59 |
| БПК ₅ | 19,79 | 7,34 |
| Железо | 74,33 | 17,73 |
| Кадмий | 9,9 | 1,6 |
| Литий | 34,67 | 1,1 |
| Марганец | 18,3 | 7,17 |
| Нефтепродукты | 5,7 | 6,51 |
| ХПК | 4,78 | 3,44 |
| Хром | 2,21 | — |
| Никель | 3,115 | — |
| Свинец | 1,78 | — |
| Сухой остаток | 1,58 | — |

Примечание. Таблица сформирована на основе анализа материалов об объектах накопленного вреда, поступающих в УралНИИ «Экология» от субъектов Федерации с заявлением о включении объекта накопленного вреда в Государственный реестр.

management. Wastewater and biogas from municipal solid waste landfills]. Monograph. Ed. by Ya. I. Vaisman. Perm, PNIPU, 2012, pp. 259. (In Russian).

2. Горшкова Ю. О., Мирошниченко А. П. Организация мониторинга состояния и воздействия на окружающую среду объектов размещения отходов на постэксплуатационном этапе // Инновационные направления интеграции науки, образования и производства: Сборник тезисов докладов участников II Международной научно-практической конференции, Керчь, 19—23 мая 2021 г. / Под общ. ред. Е. П. Масюткина. — Керчь: ФГБОУ ВО «Керчен. гос. морской техн. ун-т», 2021. — С. 576—579.

Gorshkova Yu. O., Miroshnichenko A. P. Organization of monitoring the condition and environmental impact of waste disposal facilities at the post-operational stage. Innovatsionnye napravleniya integratsii nauki, obrazovaniya i proizvodstva: sbornik tezisov dokladov uchastnikov II Mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii, Kerch', 19—23 maya 2021 goda [Innovative directions for the integration of science, education and production: Collection of abstracts of reports of participants II International Scientific and

- Practical Conference, Kerch, May 19—23, 2021]. Under the general editorship of E. P. Masyutkina. Kerch, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education “Kerch State Marine Technological University”, 2021, pp. 576—579. (In Russian).
3. Горшкова Ю. О., Мирошниченко А. П. Обеспечение экологической безопасности полигонов захоронения отходов на постэксплуатационном этапе жизненного цикла // Развитие науки и практики в глобально меняющемся мире в условиях рисков: Сборник материалов IV Международной научно-практической конференции, Москва, 10 мая 2021 г. — Махачкала: О-во с огранич. ответственностью «Институт развития образования и консалтинга», 2021. — С. 136—144. — DOI: 10.34755/IROK.2021.94.94.019.
- Gorshkova Yu. O., Miroshnichenko A. P. Ensuring the environmental safety of waste disposal sites at the post-operational stage of the life cycle. *Razvitie nauki i praktiki v global'no menyayushchemsya mire v usloviyakh riskov: sbornik materialov IV Mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii*, Moskva, 10 maya 2021 goda [Development of science and practice in a globally changing world in conditions of risks: Collection of materials of the IV International Scientific Conference-practical conference, Moscow, May 10, 2021]. Makhachkala, Limited Liability Company “Institute for Development of Education and Consulting”, 2021, pp. 136—144. DOI: 10.34755/IROK.2021.94.94.019. (In Russian).
4. Завизион Ю. В., Слюсарь Н. Н., Коротаев В. Н. Критерии выбора комплекса технических мероприятий снижения эмиссий на полигонах захоронения твердых коммунальных отходов // Экология и промышленность России. — 2018. — Т. 22, № 9. — С. 52—57. — DOI: 10.18412/1816-0395-2018-9-52-57.
- Zavizion Yu. V., Slyusar N. N., Korotaev V. N. Criteria for Choosing a Set of Technical Measures to Reduce Emissions on Municipal Solid Waste Landfills. *Ekologiya i promyshlennost' Rossii* [Ecology and Industry of Russia], 2018, vol. 22, iss. 9, pp. 52—57. DOI: 10.18412/1816-0395-2018-9-52-57. (In Russian).
5. Воронкова Т. В., Грачева Е. В. Снижение объема фильтрата полигонов захоронения ТБО в постэксплуатационный период // Экология и промышленность России. — 2013. — № 11. — С. 34—37.
- Voronkova T. V., Gracheva E. V. Reducing the volume of filtrate from solid waste disposal sites in the post-operation period. *Ekologiya i promyshlennost' Rossii* [Ecology and Industry of Russia], 2013, no. 11, pp. 34—37. (In Russian).
6. Висков М. В., Воронкова Т. В. Возможности применения естественных грунтов как геохимических барьеров на эксплуатационном и постэксплуатационном этапах жизненного цикла полигона захоронения ТБО // Вестн. Перм. нац. исслед. политехн. ун-та. Прикладная экология. Урбанистика. — 2014. — № 2 (14). — С. 144—153.
- Viskov M., Voronkova T. The possibility of using soil as natural geochemical barriers at the operational and post-operational phases of the life cycle of MSW landfill. *Vestnik Permskogo natsional'nogo issledovatel'skogo politekhnicheskogo universiteta. Prikladnaya ekologiya. Urbanistika*. [Bulletin of the Perm National Research Polytechnic University. Applied ecology. Urbanism], 2014, no. 2 (14), pp. 144—153. (In Russian).
7. Сытник Н. А. Оценка геоэкологической безопасности полигона захоронения твердых коммунальных отходов г. Керчь на постэксплуатационном этапе // Общество, образование, наука в современных парадигмах развития: Сборник трудов по материалам III Национальной научно-практической конференции, Керчь, 17—18 октября 2022 г. / Редкол.: Е. П. Масюткин и др. — Керчь: ФГБОУ ВО «Керч. гос. мор. технол. ун-т», 2022. — С. 135—142.
- Sytnik N. A. Assessment of geo-ecological safety of the landfill for solid municipal waste in Kerch at the post-operation stage. *Obshchestvo, obrazovanie, nauka v sovremennykh paradigmakh razvitiya: Sbornik trudov po materialam III Nacional'noi nauchno-prakticheskoi konferentsii*, Kerch, 17—18 oktyabrya 2022 goda [Society, education, science in modern development paradigms: Collection of works based on materials of the III National Scientific and Practical Conference, Kerch, October 17—18, 2022]. Editorial Board: E. P. Masyutkin etc. Kerch, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education “Kerch State Marine Technological University”, 2022, pp. 135—142. (In Russian).
8. Ахмадиев М. В., Чугайнова А. А. Перспективы применения очищенной нефтезагрязненной почвы в качестве метаноксидационного материала на полигонах ТКО // Транспорт. Транспортные сооружения. Экология. — 2015. — № 4. — С. 5—23.
- Akhmadiev M. V., Chugainova A. A. Perspective of using of crude oil contaminated soil after remediation for methane oxidation material in landfilling. *Transport. Transportnye sooruzheniya. Ekologiya* [Transport. Transport facilities. Ecology], 2015, no. 4, pp. 5—23. (In Russian).
9. Любинская Т. В. Снижение эмиссии биогаза ТБО как важнейший элемент сокращения «парникового» эффекта // Вестн. Рос. ун-та дружбы народов. Сер. «Экология и безопасность жизнедеятельности». — 2010. — № 1. — С. 76—81.
- Liubinskaya T. V. Decrease of a landfill gas's emission as the most important element of the “greenhouse” effect reduction. *Vestnik Permskogo natsional'nogo issledovatel'skogo politekhnicheskogo universiteta. Prikladnaya ekologiya. Urbanistika* [Bulletin of the Perm National Research Polytechnic University. Applied ecology. Urbanism], 2010, no. 1, pp. 76—81. (In Russian).
10. Blažaitytė V., Bučinskas A., Denafas G. et al. Alternatives for energy utilization in aftercare peri-

- ode: case study for Alytus regional landfill, Lithuania // Вестн. Перм. нац. исслед. политехн. ун-та. Прикладная экология. Урбанистика. — 2015. — № 4 (20). — С. 71—91.
- Blažaitytė V., Bučinskas A., Denafas G. et al.* Alternatives for energy utilization in aftercare period: case study for Alytus regional landfill, Lithuania. *Vestnik Permskogo natsional'nogo issledovatel'skogo politekhnicheskogo universiteta. Prikladnaya ekologiya. Urbanistika* [Bulletin of the Perm National Research Polytechnic University. Applied ecology. Urbanism], 2015, no. 4 (20), pp. 71—91.
11. *Разина О. М.* Климатические риски Арктики и их снижение в условиях развития ответственного финансирования экологических проектов // Идеи и новации. — 2021. — Т. 9, № 4. — С. 46—54. — DOI: 10.48023/2411-7943_2021_9_4_46.
- Razina O. M.* Arctic Climatic Risks and Their Reduction Conditioned By Developing Responsible Financing of Environmental Projects. *Idei i novatsii* [Ideas and Innovations], 2021, vol. 9, no. 4, pp. 46—54. DOI: 10.48023/2411-7943_2021_9_4_46. (In Russian).
12. *Болсуновская Ю. А., Боярко Г. Ю.* Особые экологические риски в системе обеспечения экологической безопасности Арктического региона РФ // Фундамент. исслед. — 2014. — № 9—12. — С. 2725—2728.
- Bolsunovskaya Yu. A., Boyarko G. Yu.* Particular environmental risks in the system of ecological security of the arctic region in Russia. *Fundamental'nye issledovaniya* [Fundamental Research], 2014, no. 9—12, pp. 2725—2728. (In Russian).
13. *Васильцов В. С., Яшалова Н. Н., Новиков А. В.* Климатические и экологические риски развития прибрежных арктических территорий // Арктика: экология и экономика. — 2021. — Т. 11, № 3. — С. 341—352. — DOI: 10.25283/2223-4594-2021-3-341-352.
- Vasil'tsov V. S., Yashalova N. N., Novikov A. V.* Climate and environmental risks in the development of Arctic coastal territories. *Arctic: Ecology and Economy*, 2021, vol. 11, no. 3, pp. 341—352. DOI: 10.25283/2223-4594-2021-3-341-352. (In Russian).
14. *Жильникова Н. А., Минкинен Е. А.* Совершенствование методов обращения с твердыми бытовыми отходами в Арктике с учетом климатических изменений // Инновац. приборостроение. — 2023. — Т. 2, № 5. — С. 80—90. — DOI: 10.31799/2949-0693-2023-5-80-90.
- Zhilnikova N. A., Minkinen E. A.* Improvement of waste disposal methods with regard to climate change in Arctic. *Innovatsionnoe priborostroenie = Innovative Instrumentation*, 2023, vol. 2, no. 5, pp. 80—90. DOI: 10.31799/2949-0693-2023-5-80-90. (In Russian).
15. *Чусов А. Н., Масликов В. И., Молодцов Д. В. и др.* Оценка зонального распределения метана на полигонах ТБО северных регионов для его использования местной энергетикой // Инж.-строит. журн. — 2015. — № 6 (58). — С. 44—55. — DOI: 10.5862/MCE.58.5.
- Chusov A. N., Maslikov V. I., Molodtsov D. V., Zhazhkov V. V., Riabuokhin O. A.* Assessment of zonal distribution of methane on MSW landfills in northern regions for its usage in local power engineering. *Inzhenerno-stroitel'nyi zhurnal* [Magazine of Civil Engineering], 2015, no. 6 (58), pp. 44—55. DOI: 10.5862/MCE.58.5. (In Russian).

Информация об авторах

Пичугин Евгений Александрович, кандидат технических наук, ведущий научный сотрудник — и. о. начальника отдела проблем охраны окружающей среды, ФГБУ УралНИИ «Экология» (614039, Россия, Пермь, Комсомольский просп., д. 61а), e-mail: pich@ecologyperm.ru.

Шенфельд Борис Евгеньевич, доктор технических наук, профессор, научный руководитель, ФГБУ УралНИИ «Экология» (614039, Россия, Пермь, Комсомольский просп., д. 61а), e-mail: shenfeld@ecologyperm.ru.

Дьяков Максим Сергеевич, кандидат технических наук, директор, ФГБУ УралНИИ «Экология» (614039, Россия, Пермь, Комсомольский просп., д. 61а), e-mail: dyakov@ecologyperm.ru.

COMPARATIVE ASSESSMENT OF BIOGAS EMISSIONS AND CHEMICAL COMPOSITION OF FILTRATION WATERS AT DUMPS/LANDFILLS OF SOLID MUNICIPAL WASTE IN THE ARCTIC ZONE AND THE REGIONS OF CENTRAL RUSSIA

Pichugin, E. A., Shenfeld, B. E., Dyakov, M. S.

FSBI “Ural State Research Institute of Regional Environmental Problems” (Perm, Russian Federation)

For citing

Pichugin E. A., Shenfeld B. E., Dyakov M. S. Comparative assessment of biogas emissions and the chemical composition of filtration waters at dumps/landfills of solid municipal waste in the Arctic zone and the regions of central Russia. *Arctic: Ecology and Economy*, 2024, vol. 14, no. 3, pp. 384—392. DOI: 10.25283/2223-4594-2024-3-384-392. (In Russian).

The article was received on December 5, 2023

Abstract

The authors present the results of a comparative assessment of biogas emissions and chemical composition of filtration waters at facilities of accumulated environmental harm — dumps/landfills of solid municipal waste located in the Arctic and non-Arctic regions of Russia. The analysis shows that biogas emissions at the Arctic sites are approximately 19—23.5 times lower than at sites in constituent entities of the Russian Federation not part of the Arctic zone of the Russian Federation. Sites of accumulated harm in terms of chemical composition of filtration waters and biogas emissions, depending on the stage of biochemical destruction of waste, are in the 4th—5th stages of biodegradation and destruction of waste (phases of stable methanogenesis and assimilation). The authors suggest executive authorities of the constituent entities of the Russian Federation, as well as design organizations to use the research results in the development of measures and technical solutions for the elimination of decommissioned dumps/landfills of solid municipal waste.

Keywords: *objects of accumulated environmental harm, dumps, landfills, municipal solid waste, Arctic zone of the Russian Federation, components of natural environment, biogas emissions, filtration water.*

Information about the authors

Pichugin Evgeniy Aleksandrovich, PhD of Engineering, Leading Researcher-Acting Head of the Department of Environmental Protection Problems, Ural Research Institute “Ecology” (61a, Komsomolsky prosp., Perm, Russia, 614039), e-mail: pich@ecologyperm.ru.

Shenfeld Boris Evgenievich, Doctor of Engineering, Professor, Scientific Director, Ural Research Institute “Ecology” (61a, Komsomolsky prosp., Perm, Russia, 614039), e-mail: shenfeld@ecologyperm.ru.

Dyakov Maxim Sergeevich, PhD of Engineering, Director, Ural Research Institute “Ecology” (61a, Komsomolsky prosp., Perm, Russia, 614039), e-mail: dyakov@ecologyperm.ru.

© Pichugin E. A., Shenfeld B. E., Dyakov M. S., 2024