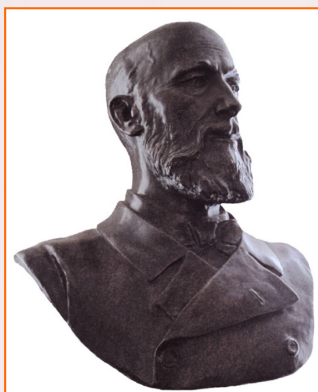
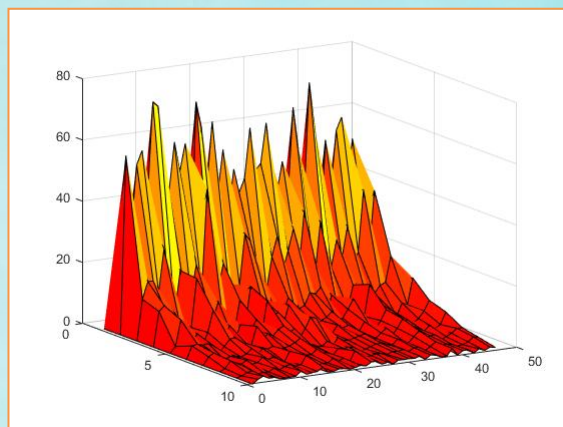


Бутлеровские сообщения

№3, том 61. 2020



ISSN 2074-0212



ISSN 2074-0948

International Edition in English:
Butlerov Communications



**Юридическим учредителем журнала “Бутлеровские сообщения” является
ООО “Инновационно-издательский дом “Бутлеровское наследие”**

Журнал является официальным печатным органом Научного фонда им. А.М. Бутлерова (НФБ), которому также делегировано право юридически представлять интересы журнала.

Организационно в журнале существует институт соучредительства, в рамках которого с соучредителем подписывается Договор или Соглашение о научно-техническом, инновационном и научном издательском сотрудничестве.

В 2020 году соучредителями журнала являются:

1. Бурятский государственный университет,
2. Всероссийский научно-исследовательский и технологический институт биологической промышленности,
3. Ивановский государственный университет,
4. Институт химии нефти СО РАН,
5. Кемеровский государственный университет,
6. Научный фонд им. А.М. Бутлерова,
7. Общественная организация Республиканское химическое общество им. Д.И. Менделеева Татарстана,
8. Пермская государственная фармацевтическая академия,
9. Пермский национальный исследовательский политехнический университет,
10. Российский государственный университет нефти и газа им. И.М. Губкина,
11. Российский химико-технологический университет им. Д.И. Менделеева,
12. Самарский государственный технический университет,
13. Самарский государственный университет,
14. Санкт-Петербургский государственный химико-фармацевтический университет,
15. Саратовский государственный университет,
16. Тульский государственный педагогический университет им. Л.Н. Толстого,
17. Тульский государственный университет,
18. Федеральное казенное предприятие “НИИ химических продуктов” (г. Казань),
19. Челябинский государственный университет,
20. Казанский национальный исследовательский технологический университет.

Главные редакторы: Миронов Владимир Фёдорович и Самуилов Яков Дмитриевич
Исполнительный редактор: Курдюков Александр Иванович

Адрес редакции:

ул. Бондаренко, 33-44. г. Казань, 420066. Республика Татарстан. Россия.

Контактная информация:

Сот. тел.: 8 917 891 2622

Электронная почта: butlerov@mail.ru или journal.bc@gmail.ru

Интернет: <http://butlerov.com/>

*Свободная цена.
Тираж – менее 1100 шт.
Тираж отпечатан 31 марта 2020 г.*

Фильтрат полигонов ТКО: образование, характеристика и обезвреживание

© Милютин^{1*} Наталья Олеговна, Смятская²⁺ Юлия Александровна, Политаева² Наталья Анатольевна и Зеленковский¹ Павел Сергеевич

¹ Кафедра экологической геологии. Институт наук о Земле. Санкт-Петербургский государственный университет. Университетская наб., 7-9. г. Санкт-Петербург, 199034. Россия.

E-mail: milyutina_no@mail.ru

² Высшая школа гидротехнического и энергетического строительства. Санкт-Петербургский политехнический университет имени Петра Великого. ул. Политехническая, 29. г. Санкт-Петербург, 195251. Россия. E-mail: smyatskaya_yua@spbstu.ru

*Ведущий направление; +Поддерживающий переписку

Ключевые слова: полигоны ТКО, фильтрат, биогеохимические процессы, очистка фильтрата.

Аннотация

В статье рассмотрено негативное воздействие полигонов твердых коммунальных отходов (ТКО) на объекты окружающей среды путем миграции образуемого при деструкции отходов фильтрата. Фильтрат содержит в себе обширный перечень загрязняющих веществ и является источником их распространения в почвы, поверхностные и подземные воды.

В статье проведен литературный анализ основных этапов формирования фильтрата и изменения его химического состава в течение жизненного цикла полигона. Отходы, депонированные на полигонах, подвергаются биогеохимическому разложению в аэробных и анаэробных условиях. На начальных этапах деструкции отходов происходит окисление легкоразлагаемой органики, что приводит к высоким значениям химического и биологического потребления кислорода (ХПК и БПК) в образуемом фильтрате, понижению pH среды до 4-5 и переходу ионов металлов в жидкую фазу за счет увеличения их активности в кислых условиях. В анаэробной среде происходит дальнейшая деструкция отходов, продуктами которой являются углекислый газ, метан, аммиак, меркаптаны, сероводород, органические кислоты и вода. В фильтрате, образуемом после 10 лет эксплуатации полигона, уменьшается содержание органического углерода, повышается доля биорезистентных компонентов, увеличивается pH среды до 7.5-8.5, ионы металлов образуют труднорастворимые соединения, сульфаты восстанавливаются до сульфидов. Химический состав фильтрата, представленный в статье, демонстрирует его изменения в зависимости от этапа жизненного цикла полигона.

Также в статье приведены принципиальные схемы применяемых в России и за рубежом очистных установок фильтрата ТКО, основанных на сочетании традиционных методов очистки сточных вод (механические, биологические и физико-химические методы).

Введение

В настоящее время в России наиболее распространенным методом обращения с твердыми коммунальными отходами (ТКО) является полигонное захоронение. Ориентировочно 90% образующихся ТКО складировываются на оборудованных полигонах ТКО и свалках.

Под действием биотических и абиотических факторов происходит трансформация отходов, выраженная в физических, химических и микробиальных процессах в теле полигона. Из биологических факторов, влияющих на депонированные ТКО, наибольшее значение имеют микробиальное сообщество, простейшие и более высоко организованные животные организмы (черви и др.), растения. Из абиотических факторов выделяют влияние кислорода, водорода, сульфатов, азота, ингибиторов, температуры и влажности [1]. В результате деструкции отходов образуются новые продукты – фильтрат и биогаз. Подавляющее большинство существующих на сегодняшний день мест захоронения отходов ТКО не отвечают экологическим требованиям, представляя собой несанкционированные свалки, и являются источниками загрязняющих веществ.

Однако, и полигоны, оборудованные согласно нормативным требованиям, на которых соблюдаются защитные мероприятия, не исключают возможность негативного воздействия продуктов деструкции отходов на объекты окружающей среды [2-7]. Одной из ключевых проблем является миграция загрязнителей в почвы, поверхностные и подземные воды путем выхода фильтрата за пределы полигонов и свалок [8, 9]. Даже при соблюдении нормативной водонепроницаемости основания полигонов следует ожидать загрязнения природных грунтовых вод в районе полигона [10]. Для снижения экологического воздействия полигонов необходимо внедрение локальных очистных установок фильтрата. Однако, на сегодняшний день не существует универсальной технологии, позволяющей обезвреживать фильтрат на любой стадии эксплуатации. Выявление основных стадий деструкции отходов, факторов, определяющих химический состав фильтрата, является актуальным для использования наиболее подходящих систем очистки фильтрата, а также разработки инновационных технологий.

Целью данной работы явилось изучение основных этапов трансформации отходов ТКО и их влияния на состав формируемого фильтрата.

Основной блок краткого обозрения

1. Формирования фильтрата полигонов ТКО

Фильтрат образуется за счет естественной влажности отходов, инфильтрации атмосферных осадков через тело полигона и воды, образованной в ходе биохимических реакций деструкции отходов. Химический состав фильтрата зависит от ряда факторов, главными из которых являются морфологический состав депонированных отходов [11], условия их захоронения, климатические особенности и этап жизненного цикла полигона, которому соответствует определенная стадия биохимической и физико-химической трансформации отходов [12, 13].

Процессы, протекающие в толще отходов, подразделяются на аэробные и анаэробные. При доступе кислорода, в *аэробной среде*, протекает гидролиз и окисление пищевых отходов, содержащих жиры, белки, протеины под действием ферментативной активности аэробных бактерий. Фосфор в органических соединениях окисляется до фосфатов, сера – до сульфатов. Азотсодержащие органические соединения под влиянием ряда микроорганизмов разлагаются до аммиака, CO_2 и H_2O . Аммиак в результате процессов нитрификации окисляется до солей азотистой и азотной кислот. Также происходит коррозия металлов с кислородной деполяризацией. Кислоты, образующиеся при окислении органических соединений, способствуют снижению значений pH в жидкой фазе от 7.5-7 до 5-4 и растворению металлов, которые таким образом переходят в фильтрат [12-14]. Миграционный поток веществ, образованных в аэробных условиях, направляется в нижележащие слои отходов и содержит водорастворимые сульфаты, нитраты, карбонаты и фосфаты Ca, K и тяжелых металлов [1].

В ходе естественного и нормативно установленного уплотнения отходов образуется *переходная зона* со слабым развитием аэробных бактерий, которые осуществляют гумификацию органических веществ и денитрификацию оксидов азота. В результате в нисходящем потоке растворены фульвиновая кислота, металл-фульвиновые комплексы, ионы K^+ , Ca^{2+} , PO_4^{3-} [1].

В условиях отсутствия кислорода в теле полигона образуется *анаэробная среда*, в которой основным направлением биохимических реакций является брожение. Анаэробные процессы длятся десятки и сотни лет. Одним из продуктов жизнедеятельности анаэробных микроорганизмов является ульминовая кислота, которая токсична по отношению к вырабатывающим ее микроорганизмам. В уплотненных слоях отходов создаются условия для ее накопления, что угнетающе действует на рост анаэробных бактерий и, как следствие, замедляет процесс разложения органического вещества, что объясняет длительность деструкции отходов в условиях анаэробного режима [1]. Фазы анаэробной биодеструкции отходов подразделяют на гидролиз, ацетогенез, активный метаногенез, стабильную фазу метаногенеза и полную ассимиляцию [12, 14].

В фазе *гидролиза* (недели, месяцы) под действием ферментов происходит биодеструкция легкоразлагаемых фракций ТКО с образованием длинноцепных и разветвленных жирных кислот, аминокислот, глицерина, полисахаров, аммиака и протекает гидролиз целлюлозосодержащих отходов (бумага, садово-парковые отходы, древесина) [12].

В *ацетогенной фазе* (в зависимости от влажности отходов 3-7 лет) протекает дальнейшее разложение биомассы отходов, основными продуктами которого являются уксусная и пропионовая кислоты, углекислый газ и вода. Наблюдается уменьшение величины pH (4.5-6.5) и ускорение процессов гидролиза древесины, целлюлозы, некоторых видов пластмасс и синтетических волокон. В кислой среде металлы в зависимости от их восстановительной способности могут переходить в фильтрат или же образовывать комплексные соединения с гуминовыми кислотами и труднорастворимые соли (карбонаты, фосфаты). Наиболее подвижными металлами на этой стадии являются цинк и железо, концентрации этих ионов в фильтрате могут достигать 70 мг/л. Фильтрат, образующийся на данной стадии, характеризуется высокими значениями ХПК (500-60000 мг O₂/л) и БПК₅ (200-40000 мг O₂/л) [12-17]. Состав органических примесей в основном представлен летучими органическими кислотами жирного ряда [13].

На метаногенной стадии происходит дальнейшее разложение отходов под действием жизнедеятельности метаногенных бактерий. В *активной фазе метаногенеза* (10-30 лет) протекают процессы ферментативного разложения органических кислот, в результате чего происходит выделение газов (метан, углекислый газ, меркаптаны, аммиак и другие), а также повышение величины pH (7.2-8.6) [12, 14, 18]. На данной стадии происходит разложение 50-70% целлюлозы и гемицеллюлозы, результатом которого является образование биогаза, гумусовых веществ, полифенолов. Протекает полное разложение жиров и протеинов. Гуминовые, стеариновая, пальмитиновая, капроновая и другие кислоты в присутствии аммиака способны образовывать поверхностно-активные соединения. Характерно восстановление сульфат-ионов до сульфид-ионов, что сопровождается разрушением некоторых комплексных соединений и последующим образованием труднорастворимых сульфидов. Также происходит связывание ионов металлов с образованием карбонатов или гидроксидов металлов, что приводит к значительному снижению их концентрации в фильтрате [12-14].

Медленное разрушение пластмасс в активной фазе метаногенеза в результате деполимеризации, фотохимических и химических процессов приводит к образованию ацетальдегидов, производных терефталевой кислоты, органических соединений цинка, свинца, которые постепенно выщелачиваются и переходят в фильтрат. В процессе разложения отходов образуются хлорсодержащие соединения, которые могут оказывать ингибирующее действие на процессы метаногенеза. На данной стадии жизни полигона в фильтрате уменьшается содержание органического углерода и ХПК уменьшается до 3000-4000 мгO₂/л, БПК₅ до 100-400 мгO₂/л [12-16].

В *стабильной фазе метаногенеза* (до 500 лет) в щелочной среде протекают ферментативный гидролиз лигнина с образованием ароматических и жирных кислот, дальнейшая биодеградация целлюлозы и химическая деструкция трудноразрушаемых полимерных материалов (полистирол, пенопласты на его основе, тефлон, полиэтилен, поливинилхлорид). Количество органического углерода продолжает уменьшаться, но при этом увеличивается доля биорезистентных компонентов (фенол, крезол, алкилбензолы, полифенолы). Также в состав фильтрата данной стадии входят хлорсодержащие соединения: хлороформ, четыреххлористый углерод, хлорсодержащие ароматические соединения и высокомолекулярные соединения (гуминовые соединения, камфора, и другие) [12-14].

Активность анаэробных процессов зависит от температуры и влажности, что определяется в том числе и климатическими условиями. Анаэробные процессы более полно протекают при температуре 25-40 °С и при содержании влаги в отходах более 20% [12].

2. Характеристика фильтрата полигонов ТКО

Фильтрат полигонов ТКО содержит повышенные концентрации загрязнений органического происхождения, в том числе биологически трудно окисляемую органику, например, галоген-органические соединения (ГОС). Солесодержание фильтрата достигает величины 10000 мг/л. Хлорид-ион, образующийся при деструкции хлорсодержащих органических соединений, протекающей на протяжении всей жизни полигона, накапливается в фильтрате в концентрации 200-5000 мг/л. Концентрация сульфат-иона в фильтрате снижается в течение жизни полигона от 1000 до 200 мг/л. Подвижность ионов металлов и их переход в фильтрат определяется рядом факторов,

Краткое обозрение _____ Милютин Н.О., Смятская Ю.А., Политаева Н.А., Зеленковский П.С. но в условиях, которые создаются в теле полигона при разложении отходов, рН изменяется в пределах от 4 до 9, величина окислительно-восстановительного потенциала кислорода варьирует от 1.063 до 0.709 В, что способствует окислению даже малоактивных металлов, таких как свинец, медь, ртуть. Ионы аммония, образующиеся при разложении азотсодержащих соединений в аэробных и анаэробных условиях, полностью переходят в фильтрат, и их концентрация изменяется в пределах от 300 до 3000 мг/л [12, 16, 17, 19, 20].

Обычно фильтрат подразделяют на «молодой», образующийся на первых этапах разложения отходов в ацетогенной фазе после 2-7 лет складирования отходов и «старый», формирующийся на стадиях метаногенеза, которые отличаются по своему составу в связи с различными этапами разложения отходов. Индикатором изменения состава по органическим соединениям в фильтрате может служить соотношение БПК₅/ХПК и ХПК/О₂. В «старом» фильтрате отношение БПК₅/ХПК снижается обычно на порядок – от 0.6 до 0.06 в течение 25 лет, а ХПК/О₂ – от 3.3 до 1.6. На протяжении жизненного цикла полигона содержание отдельных классов органических соединений в фильтрате уменьшается в следующей последовательности: летучие кислоты жирного ряда → низкомолекулярные альдегиды → аминокислоты → углеводы, пептиды гуминовые кислоты → фенолы и полифенолы → фульвокислоты. Индикатором изменения состава фильтрата может служить также концентрация ионов железа общего и цинка. В аэробной фазе разложения ТКО и на стадии ацетогенеза их концентрации могут достигать 100 мг/л. В метаногенной фазе в связи с образованием сульфидов и гидроксидов их концентрации понижаются до 1-5 мг/л [12-17, 19, 20].

Усредненный химический состав фильтрата на различных этапах жизненного цикла полигона по данным ряда авторов [12, 16, 17, 19-21], а также данным, полученным авторами данной статьи при анализе фильтрата полигона ТКО ООО «Новый Свет-ЭКО» (Ленинградская область) и полигона ООО «КомЭк» (Тамбовская область), представлен в таблице.

Таблица. Химический состав фильтрата полигонов ТКО

Показатель	«Молодой» фильтрат – ацетогенная фаза		«Старый» фильтрат – метаногенная фаза	
	Среднее значение	Диапазон значений	Среднее значение	Диапазон значений
рН	6.1	4.5-7.5	8.0	7.5-9.0
БПК ₅ , мг О ₂ /л	24 000	4 000-40 000	220	20-550
ХПК, мг О ₂ /л	34 000	6 000-60 000	2000	500-4500
БПК ₅ /ХПК	0.58	—	0.06	—
ГОС, мг/л	3150	260-6200	1600	195-3200
Сульфаты, мг/л	600	100-1700	120	10-420
Хлориды, мг/л	50	100-1000	2500	1000-5000
Аммоний, мг/л	750	30-3000	350	50-1250
Кальций, мг/л	1200	100-2500	100	20-600
Магний, мг/л	470	300-1150	180	40-350
Железо общее, мг/л	120	20-800	20	3-180
Марганец, мг/л	25	0.3-65	0.7	0.03-45
Цинк, мг/л	50	0.1-120	0.6	0.03-4

Очевидно, что предварительная сортировка отходов с извлечением из них металла и пластика, может привести к значительному снижению содержания в фильтрате ионов тяжелых металлов и биорезистентных органических соединений.

3. Очистка фильтрата полигонов ТКО

Изменение химического состава фильтрата в зависимости от этапа жизненного цикла полигона, условий подготовки отходов к захоронению и способов их депонирования, а также климатических колебаний не дает возможности создания универсальной технологии его очистки. На многих полигонах в России используют метод рециркуляции фильтрата, за счет чего увеличивается влажность отходов и происходит стимулирование биохимических процессов [22, 23], однако это не решает проблему, а только уменьшает эмиссии фильтрата путем испарения. Традиционные методы очистки сточных вод можно разделить на механические, биологические и физико-химические. Комплексные технологии, разработанные для обезвреживания фильтрата, сочетают в себе, как правило, совокупность данных методов.

В Германии и Японии многие полигоны ТКО оснащены технологией очистки, включающей в себя обработку фильтрата путем анаэробно-аэробного обезвреживания с последующей флокуляцией и доочисткой в адсорбционном фильтре [24]. В последние годы широкое распространение получили мембранные технологии, а именно обратный осмос.

Однако, для рационального использования мембранных модулей необходима предварительная очистка фильтрата от взвешенных частиц, а также снижение солесодержания [25]. Существуют различные разработки по предочистке фильтрата перед его подачей на обратный осмос. Наиболее распространенными являются электрохимический способ [26], анаэробно-аэробная биологическая очистка с последующей коагуляцией либо механическая фильтрация с последующей коагуляцией [27-29]. В некоторых странах (Германии, Финляндии, Чехии, Литве) широко используется электроплазменная технология очистки [30].

Также известен способ утилизации фильтрата путем изменения его агрегатного состояния из жидкости в твердый продукт при смешивании фильтрата с вяжущими [31-33].

Заключение

При деструкции отходов, захороненных на полигонах ТКО, образуется фильтрат, который содержит в себе обширный ряд загрязнителей и является источником их распространения. Химический состав фильтрата изменяется в течение жизни полигона в связи с различными биогеохимическими процессами, которые сменяют друг друга во времени. Немаловажным фактором состава фильтрата является морфология депонированных отходов. Предварительная сортировка отходов с извлечением вторсырья позволит не только снизить концентрации определенных загрязнителей в образуемом фильтрате, но и использовать ресурсный потенциал отходов, снижая нагрузку на полигоны ТКО.

На сегодняшний день существует ряд комплексных технологий очистки фильтрата, включающих в себя совокупность традиционных методов очистки сточных вод (механические, биологические и физико-химические). Следует отметить, что многие существующие технологии очистки фильтрата не учитывают зависимость его химического состава от этапа жизненного цикла полигона. Например, высокое содержание ионов тяжелых металлов характерно для ацетогенного фильтрата и в этом случае применение электрокоагуляции и осадительных технологий будет эффективно, однако не обеспечит глубокую очистку от органических примесей. Немаловажным является образование вторичных отходов при очистке фильтрата, таких как шлам (при биологической обработке) и концентрат (при использовании мембранных методов).

Разработка инновационных технологий обезвреживания фильтрата является актуальной, учитывая большое количество действующих в России полигонов ТКО и необходимость их закрытия и рекультивации после эксплуатации для минимизации негативного воздействия полигонов на объекты окружающей среды.

Литература

- [1] Гуман О.М., Долинина И.А. Гидрогеохимическая модель полигона ТБО. *Изв. УГТУ*. **2003**. №18. С.262-273.
- [2] Аль-Ахваль Н.С., Семин Е.Г. Оценка влияния твердых коммунальных отходов на загрязнение окружающей среды (на примере Йемена). *Научно-технические ведомости СПбГПУ*. **2010**. №2. С.209-215.
- [3] Овчинникова Т.В., Ашихмина Т.В., Федянин В.И. Воздействие полигонов твердых бытовых и промышленных отходов на состояние окружающей природной среды. *Вестник ВГТУ*. **2008**. Т.4. №6. С.14-17.
- [4] S. Mukherjee, S. Mukhopadhyay, M.A. Hashim, B. Sen Gupta. Contemporary environmental issues of landfill leachate: assessment and remedies. *Critical Reviews in Environmental Science and Technology*. **2014**. Vol.45. No.5. P.472–590.
- [5] S.V. Dubrova, I.I. Podlipskiy, V.V. Kurilenko, W. Siabato. Functional city zoning. Environmental assessment of eco-geological substance migration flows. *Environmental Pollution*. **2015**. Vol.197. P.165-172.
- [6] Подлипский И.И. Эколого-геологическая оценка территории полигонов бытовых отходов. *Lambert Acad. Publ*. **2015**. 200с.

- [7] Куриленко В.В., Подлипский И.И., Осмоловская Н.Г. Эколого-геологическая и биогеохимическая оценка воздействия полигонов твердых отходов на состояние окружающей среды. *Экология и промышленность России*. **2012**. №11. С.28-32.
- [8] Бузина И.Н., Пузик В.К. Состояние почв и оценка окружающей среды вокруг полигона твердых бытовых отходов. *Вестник БГСХА*. **2014**. №3. С.102-106.
- [9] V. Popovych, J. Telak, O. Telak et al. Migration of hazardous components of municipal landfill leachates into the environment. *J. of Ecological Engineering*. **2020**. Vol.21. P.52-62.
- [10] Сольский С.В., Самофалов Д.П. Обоснование замкнутых водооборотных систем при обустройстве полигонов твердых бытовых отходов. *Изв. ВНИИГ*. **2003**. Т.242. С.175-185.
- [11] G. Denafas, T. Ruzgas, D. Martuzevicius et al. Seasonal variation of municipal solid waste generation and composition in four East European cities. *Resources, Conservation and Recycling*. **2014**. Vol.89. P.22-30.
- [12] Вайсман Я.И. Управление отходами. Сточные воды и биогаз полигонов захоронения твердых бытовых отходов. *Пермь: Изд-во ПНИПУ*. **2012**. 259с.
- [13] Путилина В.С., Галицкая И.В., Юганова Т.И. Влияние органического вещества на миграцию тяжелых металлов на участках складирования твердых бытовых отходов. *Экология. Сер. аналит. обзоров мировой лит-ры*. Новосибирск: ГПНТБ СО РАН. **2005**. №76. С.1-100.
- [14] T. Christensen, R. Cossu, R. Stieglmann. Landfilling of waste: Leachate. Boca Raton: CRC Press. **2019**. 540p.
- [15] Грибанова Л.П. Процессы на полигонах. *ТБО*. **2006**. №7. С.4-7.
- [16] M.I. Al-Wabel, W.S. Al-Yehya, A.S. Al-Farraj, S.E. El-Maghraby. Characteristics of landfill leachates and bio-solids of municipal solid waste (MSW) in Riyadh City, Saudi Arabia. *J. of the Saudi Society of Agricultural Sciences*. **2011**. Vol.10. No.2. P.65-70.
- [17] H. Luo, Y. Zeng, Y. Cheng, D. He, X. Pan. Recent advances in municipal landfill leachate: A review focusing on its characteristics, treatment, and toxicity assessment. *Science of the Total Environment*. **2019**. Vol.703. P.135468.
- [18] Федоров П.М., Негуляева Е.Ю., Покровская Е.Р. Исследование и моделирование биохимических процессов, происходящих на полигонах твердых бытовых отходов. *Комплексная переработка твердых бытовых отходов – наиболее передовая технология: сб.тр. СПб*. **2001**. С.62-70.
- [19] L.M. Chu, K.C. Cheung, M.H. Wong. Variations in the chemical properties of landfill leachate. *Environmental Management*. **1994**. Vol.18. P.105-117.
- [20] S. Aziz, M. Bashir, H. Aziz, A. Mojiri, S. Abu Amr, Y. Maulood. Statistical analysis of municipal solid waste landfill leachate characteristics in different countries. *Zanco J. of Pure and Applied Sciences*. **2018**. Vol.30. No.6. P.85-96.
- [21] Вайсман Я.И. Физико-химические методы защиты биосферы. Очистка фильтрационных вод полигонов захоронения твердых бытовых отходов: учеб. пособие. *Пермь: Изд-во ПНИПУ*. **2005**. 197с.
- [22] Воронкова Т.В., Вайсман Я.И., Чудинов С.Ю. Рециркуляция фильтрата на полигонах захоронения твердых бытовых отходов. *Вестник ПНИПУ. Урбанистика*. **2012**. №3. С.83-91.
- [23] R. He, D. Shen, J. Wang et al. Biological degradation of MSW in a methanogenic reactor using treated leachate recirculation. *Process Biochemistry*. **2005**. Vol.40. No.12. P.3660-3666.
- [24] H.D. Robinson, P.J. Morris. The treatment of municipal landfill leachate. *Water Research*. **1999**. Vol.17. No.11. P.56-61.
- [25] Малышева А.В. Очистка фильтратов полигонов: мембранные технологии. *ТБО*. **2011**. №6. С.32-33.
- [26] Поворов А.А., Павлова В.Ф., Шиненкова Н.А., Логунов О.Ю. Технология очистки дренажных полигонных вод. *ТБО*. **2009**. №4. С.26-27.
- [27] J. Wiszniowski, D. Robert, J. Surmacz-Gorska, K. Miksch, J.V. Weber. Landfill leachate treatment methods: A review. *Environmental Chemistry Letters*. **2015**. Vol.4. No.1. P.51-61.
- [28] Z. Salem, K. Hamouri, R. Djemaa, K. Allia. Evaluation of landfill leachate pollution and treatment. *Desalination*. **2008**. Vol.220. P.108-114.
- [29] Z. Youcai. Pollution control technology for leachate from municipal solid waste. *Oxford: Elsevier Ltd*. **2018**. 564p.
- [30] Солодовник М.В. Особенности условий формирования и очистки дренажных вод полигонов твердых бытовых отходов. *Водоочистка. Водоподготовка. Водоснабжение*. **2009**. №4. С.10-14.
- [31] M.C. Drouiche, K. Moussaceb, E. Joussein, J.C. Bollinger. Stabilization/solidification by hydraulic binders of metal elements from landfill leachate. *Nova Biotechnologica et Chimica*. **2019**. Vol.18. No.1. P.72-83.

- [32] Пат. 2460704 Российская Федерация, МПК С 04 В 28/00, С 04 В 18/30, С 04 В 18/18. Способ утилизации фильтрата полигона твердых бытовых отходов и золы. Островкин И.М., Островкин П.И.; заявитель и патентообладатель Островкин И.М., Островкин П.И. № 2010149883/03; заявл. 07.12.10; опубл. 10.09.12. Бюл. №25. 7с.
- [33] Милутина Н.О., Аверьянова Н.А., Политаева Н.А. Изучение свойств литификата, полученного из фильтрата полигона ТКО. *Экологический мониторинг опасных промышленных объектов: современные достижения, перспективы и обеспечение экологической безопасности населения: сб. науч. тр. Ч.2. Саратов. 2019. С.188-191.*

The Reference Object Identifier – ROI-jbc-01/20-61-3-79

The Digital Object Identifier – <https://doi.org/10.37952/ROI-jbc-01/20-61-3-79>

MSW landfill leachate: formation, characterization and treatment

© Natalia O. Milyutina,^{1*} Yulia A. Smyatskaya,²⁺
Natalia A. Politaeva,² and Pavel S. Zelenkovsky¹

¹ Department of Environmental Geology. Institute of Earth Sciences. St. Petersburg State University, Universitetskaya nab., 7-9. St. Petersburg, 199034. Russia. E-mail: milyutina_no@mail.ru

² Graduate School of Hydrotechnical and Power Engineering. Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University, Polytechnic St., 29. St.-Petersburg, 195251. Russia. E-mail: smyatskaya_yua@spbstu.ru

*Supervising author; +Corresponding author

Keywords: MSW landfills, leachate, biogeochemical processes, leachate purification.

Abstract

The present article discusses the negative impact of municipal solid waste (MSW) landfills on the environment due to the migration of leachate formed during waste decomposition. The leachate contains an extensive list of pollutants that migrates in soils, surface and underground waters.

The article provides a review of literature regarding the main stages of leachate formation and changes in its chemical composition during the landfill's life cycle. Landfill waste undergo biogeochemical decomposition in aerobic and anaerobic conditions. At the initial stages of waste degradation, easily decomposable organic compounds oxidize leading to high values of chemical and biological oxygen demand (COD and BOD) in the formed leachate, lowering the pH of the medium to 4-5. This in turn leads to the transition of metal ions to the liquid phase due to an increase of their activity in acidic mediums. In anaerobic conditions, further waste degradation takes place producing carbon dioxide, methane, ammonia, mercaptans, hydrogen sulfide, organic acids and water. In the leachate formed after 10 years of landfill operation, the content of organic carbon decreases, the fraction of bioresistant components increases, the pH of the medium increases to 7.5-8.5, metal ions form hardly soluble compounds and sulfates are reduced to sulfides. The chemical composition of the leachate, presented in this article, demonstrates its changes depending on the stage of the landfill's life cycle.

Also, basic schemes of treatment plants for MSW leachate used in Russia and abroad are described based on a combination of traditional wastewater treatment methods (mechanical, biological and physicochemical methods).