

Вестник Евразийской науки / The Eurasian Scientific Journal <https://esj.today>

2020, №3, Том 12 / 2020, No 3, Vol 12 <https://esj.today/issue-3-2020.html>

URL статьи: <https://esj.today/PDF/03NZVN320.pdf>

DOI: 10.15862/03NZVN320 (<http://dx.doi.org/10.15862/03NZVN320>)

**Ссылка для цитирования этой статьи:**

Милютина Н.О., Политаева Н.А., Зеленковский П.С., Подлипский И.И., Великосельская Е.С. Анализ методов очистки фильтрата полигонов твердых коммунальных отходов // Вестник Евразийской науки, 2020 №3, <https://esj.today/PDF/03NZVN320.pdf> (доступ свободный). Загл. с экрана. Яз. рус., англ. DOI: 10.15862/03NZVN320

**For citation:**

Milyutina N.O., Politaeva N.A., Zelenkovskii P.S., Podlipskiy I.I., Velikoselskaya E.S. (2020). Review of purification methods of municipal solid waste landfills leachate. *The Eurasian Scientific Journal*, [online] 3(12). Available at: <https://esj.today/PDF/03NZVN320.pdf> (in Russian). DOI: 10.15862/03NZVN320

**УДК 628.3**

**ГРНТИ 38.61.17**

**Милютина Наталья Олеговна**

ФГАОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный университет», Санкт-Петербург, Россия  
Аспирант

E-mail: [milyutina\\_no@mail.ru](mailto:milyutina_no@mail.ru)

РИНЦ: [https://elibrary.ru/author\\_profile.asp?id=874197](https://elibrary.ru/author_profile.asp?id=874197)

**Политаева Наталья Анатольевна**

ФГАОУ ВО «Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого», Санкт-Петербург, Россия  
Высшая школа гидротехнического и энергетического строительства

Профессор

Доктор технических наук, профессор

E-mail: [politaevana1971@gmail.com](mailto:politaevana1971@gmail.com)

ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-3522-1925>

РИНЦ: [https://elibrary.ru/author\\_profile.asp?id=439213](https://elibrary.ru/author_profile.asp?id=439213)

**Зеленковский Павел Сергеевич**

ФГАОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный университет», Санкт-Петербург, Россия  
Институт наук о Земле

Доцент

Кандидат геолого-минералогических наук, доцент

E-mail: [p.zelenkovskii@spbu.ru](mailto:p.zelenkovskii@spbu.ru)

ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-1750-8375>

РИНЦ: [https://elibrary.ru/author\\_profile.asp?id=183906](https://elibrary.ru/author_profile.asp?id=183906)

**Подлипский Иван Иванович**

ФГАОУ ВО «Российский государственный педагогический университет им. А.И. Герцена», Санкт-Петербург, Россия  
Доцент кафедры «Геологии и геоэкологии»

Кандидат геолого-минералогических наук, доцент

E-mail: [primass@inbox.ru](mailto:primass@inbox.ru)

ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-8350-8445>

РИНЦ: [https://elibrary.ru/author\\_profile.asp?id=602792](https://elibrary.ru/author_profile.asp?id=602792)

**Великосельская Елена Сергеевна**

ООО «Новый Свет – ЭКО», Санкт-Петербург, Россия  
Эколог

E-mail: [velikes91@gmail.com](mailto:velikes91@gmail.com)

## Анализ методов очистки фильтрата полигонов твердых коммунальных отходов

**Аннотация.** В статье рассмотрены особенности химического состава фильтрата полигонов твердых коммунальных отходов (ТКО) и необходимость его очистки в связи с негативным воздействием на объекты окружающей среды (почвы, поверхностные и подземные воды) путем его миграции за пределы полигонов.

Авторами представлен литературный обзор методов очистки сточных вод: механических, биологических и физико-химических. Показано, что каждый из методов направлен на очистку от определенных загрязнителей: например, органические примеси удаляются за счет жизнедеятельности микроорганизмов, т. е. биологическим способом; для извлечения ионов тяжелых металлов, катионов и анионов солей применяют физико-химические методы: осаждение, ионный обмен, выпаривание, обратный осмос; обеззараживание воды осуществляют с помощью хлорирования, озонирования или ультрафиолетового облучения. В связи с наличием обширного перечня загрязнителей в фильтрате, а также его изменчивостью в зависимости от этапа жизненного цикла полигона на практике используют комплексные технологии очистки фильтрата, включающие комбинацию описанных методов обезвреживания сточных вод. В статье рассмотрены принципиальные схемы функционирующих установок по очистке фильтрата на полигонах ТКО в России и за рубежом.

Несмотря на успешное использование ряда очистных установок, авторами проанализированы основные недостатки применяемых технологий. При очистке фильтрата, как правило, происходит производство вторичных отходов (в объеме до 50 %), которые необходимо утилизировать. Также применение биологических методов связано с необходимостью поддержания условий для развития микроорганизмов и использованием больших площадей, а применение физико-химических подразумевает большой расход химических реагентов, часть из которых могут быть опасными для жизни.

**Ключевые слова:** полигоны твердых коммунальных отходов; фильтрат; очистка фильтрата; обезвреживание фильтрата; стабилизация фильтрата; защита окружающей среды

### Введение

На территории России основным способом управления твердыми коммунальными отходами (ТКО) является их захоронение на полигонах и свалках. В течение жизни полигона происходит деструкция депонированных отходов под действием биогеохимических процессов, результатом чего является образование фильтрата и биогаза. Фильтрат, насыщенный загрязняющими компонентами, является опасным для объектов окружающей среды в случае его миграции за пределы полигона [1–3]. Отсутствие систем по сбору и очистке фильтрата практически на всех функционирующих в России полигонах усугубляет проблему. На сегодняшний день не существует универсальной технологии очистки фильтрата и решение данной задачи становится особенно актуальным в связи с необходимостью закрывать и рекультивировать старые свалки и полигоны.

Целью данной работы является сравнительный анализ классических и инновационных методов очистки и утилизации фильтрата полигонов ТКО.

### Особенности химического состава фильтрата

Химический состав фильтрата зависит от морфологии депонированных отходов и этапа жизненного цикла полигона, для каждого из которых характерны определенные химические реакции и состав микроорганизмов, участвующих в разложении отходов.

Фильтрат полигонов ТКО содержит повышенные концентрации органических веществ, в том числе биологически трудно окисляемую органику, например, галогенорганические соединения (ГОС), тяжелых металлов и соединений минерального происхождения.

Обычно фильтрат подразделяют на «молодой» (после 2–7 лет складирования отходов) и «старый». Для «молодого» фильтрата характерны высокие значениями ХПК (500–60000 мгО<sub>2</sub>/л) и БПК<sub>5</sub> (200–40000 мгО<sub>2</sub>/л). Окисление органических соединений приводит к образованию кислот, способствующих растворению металлов и переходу их в фильтрат. Со временем уменьшается содержание органического углерода и для «старого» фильтрата характерны значения ХПК около 3000–4000 мгО<sub>2</sub>/л и БПК<sub>5</sub> около 100–400 мгО<sub>2</sub>/л, однако повышается доля биорезистентных компонентов. Также протекает связывание ионов металлов с образованием карбонатов или гидроксидов металлов, вследствие чего снижаются их концентрации в фильтрате. С течением жизни полигона происходит и снижение концентрации сульфат-иона в фильтрате от 1000 до 200 мг/л за счет восстановления сульфатов до сульфидов и серы. Концентрация хлоридов может изменяться в пределах 200–5000 мг/л, концентрация ионов аммония – от 300 до 3000 мг/л. Общая минерализация достигает 10000 мг/л [4–9].

### Технологии очистки фильтрата полигона ТКО

Сложный химический состав фильтрата, его изменчивость в зависимости от сезонных колебаний и этапа жизненного цикла полигона не дает возможности создания универсальной технологии его очистки. Кроме того, высокое содержание солей, поверхностно-активных и биорезистентных веществ затрудняют применение традиционных схем очистки сточных вод.

Существует практика сброса фильтрата в канализационные сети для очистки вместе с городскими бытовыми стоками. В Германии подобная очистка разрешается, если объем фильтрата составляет не более 5 % от общего объема стоков, подаваемых на городские очистные сооружения [10]. При увеличении объемов фильтрата ухудшаются процессы отстаивания сточных вод во время механической очистки и возрастает их коррозионная активность. Также это способствует накоплению ионов тяжелых металлов в активных илах и исключает традиционную возможность их использования в качестве удобрения в сельском хозяйстве, биотоплива или субстрата для рекультивации нарушенных земель [11].

Одним из наиболее распространенных способов уменьшения объема фильтрата является его рециркуляция путем использования для орошения тела полигона [12; 13]. В результате увеличения влажности отходов происходит стимулирование биохимических процессов и снижение рисков возгорания тела полигона. Однако объем образуемых эмиссий снижается только за счет испарения, что является уменьшением негативного воздействия, но не решением проблемы.

Непосредственно методы, которые могут быть использованы для очистки фильтрата можно разделить на механические, биологические и физико-химические. Как правило, каждый из способов направлен на очистку от определенных загрязнителей. Например, для удаления органических примесей используют биологические методы. Для извлечения ионов тяжелых металлов, магния, кальция и других, используют физико-химические: осадительные, ионообменные или мембранные методы. Для доочистки используют адсорбционные или

мембранные технологии. Обеззараживание воды осуществляют хлорированием, озонированием или ультрафиолетовым облучением [5; 11; 14; 15].

### Механические методы

К методам механической очистки вод относят отстаивание, фильтрацию, сепарацию. Данные методы применяются в качестве подготовки фильтрата (удаление нерастворенных загрязнений) к дальнейшей глубокой очистке, основанной на других методах.

### Биологические методы

Биологическими методами обезвреживания сточных вод являются аэробная и анаэробная очистки. Процесс очистки основан на способности микроорганизмов использовать растворенные органические и некоторые неорганические вещества в качестве питательных в процессе жизнедеятельности.

*Аэробная* очистка происходит за счет аэробных микроорганизмов, для жизнедеятельности которых необходим кислород. При аэробном процессе органические загрязнители преобразуются в углекислый газ и воду, а твердые биопродукты возвращаются в фильтрат. Аэробная очистка осуществляется в открытых или закрытых аэротенках. Последние увеличивают стоимость очистки за счет своей конструкции, но имеют более высокую эффективность вследствие поддержания необходимых для микроорганизмов условий, а также предотвращают распространение неприятного запаха.

Интенсивная аэробная очистка фильтрата может приводить к снижению на 90 % БПК и на 80 % ХПК [12; 16]. Однако обработка высококонцентрированного фильтрата в аэротенках ведет к увеличению расходов по причине необходимости подачи большего количества кислорода, а также добавления биогенных добавок для стимуляции биохимических процессов [17].

Также для очистки сточных вод используют аэробные пруды, являющиеся наименее трудоемкими в использовании. В данном случае очистка основана на способности высшей и низшей растительности, а также гидробионтов поглощать из воды и накапливать в себе различные минеральные элементы. Применение данного метода эффективно снижает концентрацию ионов аммония и величины ХПК и БПК (до 70 %). Однако использование аэробных прудов эффективно для «старого» фильтрата или для доочистки, а также его применение ограничено периодом с температурами выше 10 °С. Наиболее эффективной очистительной способностью обладают такие фиторемедианты, такие как тростник обыкновенный, камыш озерный, рогоз узколистный и Лаксмана [4; 18].

Существуют системы аэробной очистки с прикрепленной микрофлорой – биофильтры. На поверхности загрузки материалов формируется биопленка, биоценоз которой подобен биоценозу активного ила аэротенков. В качестве загрузки выступают инертные материалы – пластмасса, керамзит, щебень. Недостатком эксплуатации биофильтров является осаждение на загрузочных материалах карбонатов и фосфатов металлов, препятствующих дальнейшему протеканию биоокисления [19].

*Анаэробная* очистка происходит за счет анаэробных микроорганизмов, жизнедеятельность которых протекает без доступа кислорода. При анаэробной обработке органические вещества преобразуются в биогаз и твердую фазу – ил. Анаэробная очистка осуществляется в специальных закрытых герметичных резервуарах – метантенках. Использование данного метода целесообразно для «молодого» фильтрата с высоким ХПК

(более 6000 мгО<sub>2</sub>/л) и последующей утилизацией образовавшегося биогаза в качестве энергетического ресурса. Анаэробные методы эффективны при температуре выше 30 °С и величине pH = 7,2–8,5. В метантенках степень очистки фильтрата по ХПК составляет 40–50 % [17; 20], что говорит о необходимости отправлять воду после метантенков на доочистку. Присутствие солей меди, хрома и других тяжелых металлов подавляет работу анаэробных бактерий.

Часто при очистке фильтрата полигонов ТКО предлагается применение последовательной анаэробной и аэробной очистки. Данный способ позволяет снизить содержание органических соединений на 50–60 % [21; 22].

Новым направлением очистки фильтрата является использование ферментов класса оксигеназ, которые применяются для интенсификации процессов разложения трудноокисляемых органических соединений. Данный метод позволяет достигать значительного снижения содержания цинка, хрома, меди, полного удаления смол, мазута, абразива, пластиковой стружки [23].

### Физико-химические методы

К физико-химическим методам очистки относят коагуляцию, флокуляцию, флотацию, ионный обмен, сорбцию, микро- и ультрафильтрацию, обратный осмос, озонирование, электрохимическое окисление, фотохимическое окисление, ультрафиолетовое излучение.

При *коагуляции* фильтрата для осаждения загрязняющих веществ обычно используют известь, глинозем, сульфаты железа и алюминия. В результате происходит некоторое осветление, выделяется большое количество осадка, а ХПК снижается не более чем на 40 % [14; 24]. Химическое окисление с помощью Cl<sub>2</sub>, Ca(ClO)<sub>2</sub>, KMnO<sub>4</sub> или O<sub>3</sub> приводит к лучшему осветлению и снижает ХПК до 48 % [19; 25]. Однако использование галогенов приводит к образованию опасных галогенированных соединений.

Метод *электрохимической* очистки фильтрационных вод ТКО предусматривает обработку воды в диафрагменном электролизере. Использование электрокоагуляции позволяет значительно снизить содержание взвешенных и коллоидных веществ, а также ионов тяжелых металлов [26].

Метод *адсорбции* чаще всего применяется в качестве доочистки фильтрата. Недостатком является необходимость частой регенерации стержней с адсорбентами [27].

Распространенными в последнее время являются *мембранные* технологии очистки фильтрата, а именно – обратный осмос. Для использования данного метода необходима механическая и химическая предочистка фильтрата. Недостатками обратного осмоса являются необходимость замены мембран и образуемый токсичный концентрат (в количестве до 50 %), который, как правило, возвращают в тело полигона, что в последующем может влиять на состав образуемого фильтрата и, соответственно, снижать эффективность его очистки.

В некоторых странах (Германии, Финляндии, Чехии, Литве) широко используется *электроплазменная* технология очистки и обеззараживания фильтрата полигонов ТКО. Метод базируется на электрофизических явлениях: на фильтрат действует импульсные электромагнитные поля, импульсные электрические разряды (плазма), знакопеременные электрические поля. С помощью данного метода в составе фильтрата значительно снижается ХПК и БПК, содержание азота, фосфатов, хлоридов, ПАВ [23].



## Комплексные технологии очистки фильтрата ТКО

В связи с тем, что в фильтрате содержится широкий спектр загрязнителей различного характера, для его очистки необходима комплексная технология, включающая в себя комбинации имеющихся методов очистки.

Технология мембранного биореактора объединяет в себе методы биологической очистки (этапы нитрификации и денитрификации сточных вод) и мембранную сепарацию. За счет мембранных модулей повышается концентрация активного ила в биореакторе, что в свою очередь увеличивает окисляющую мощность сооружений в целом. Очистные установки, разработанные компанией «WEHRLE» на основе данной технологии, применяются в Германии с конца 20-го века [14].

При использовании биофильтров в качестве загрузки материалов добавляют природные сорбенты, что приводит к одновременному протеканию процессов адсорбции и биологического окисления органических веществ. Авторами [28] представлена конструкция биофильтра для очистки фильтрата, которая состоит из елово-осиновой 5-летней коры, шлака, скопа, недожога окорки древесины (сорбент Н) и гравия крупностью 50–100 мм. Преимуществом данного биофильтра является использование отходов производства в качестве загрузки материалов. Аprobация данного биофильтра выявила невозможность проведения полноценной очистки фильтрата полигонов ТКО, однако данная конструкция может быть успешно реализована в составе комплексной технологии.

На полигонах ТКО Австрии реализована схема очистки фильтрата, состоящая из блока биологической очистки (денитрификатора и нитрификатора), реакторов с озоновоздушной смесью, где протекает доочистка, и блока обеззараживания воды с использованием ультрафиолетового излучения. В схеме применяются биореакторы с прикрепленной микрофлорой [4].

Авторы [29] описывают электрохемосорбционный метод для очистки фильтрата, который сочетает в себе ряд физико-химических методов: фильтрацию, флотацию, электроокисление и хемосорбцию. Особенностью данного способа очистки является взаимное усиление фактора окисления и сорбции. Окисление под действием электрического тока обеспечивает подготовку фильтрата для сорбции. Сорбент дополнительно выполняет функцию катализатора. Эффективность очистки от неорганических и органических загрязнителей составляет 96,5 %, от взвешенных веществ – 99,9 %.

В Германии на полигонах используют технологию очистки фильтрата, которая включает в себя анаэробно-аэробную биологическую очистку; флокуляцию; очистку в адсорбционном фильтре. Образующийся в ходе очистки шлам поступает на полигон. Подобными очистными сооружениями оснащены практически все крупные полигоны ТКО в Японии [19].

Схема очистки фильтрата, разработанная в Венском техническом университете, состоит из блока биологической очистки (денитрификатор и два нитрификатора) и блока мембранной очистки (ультрафильтрация и обратный осмос) [4].

В ряде городов России (г. Сочи, г. Нариманов, г. Нягань, г. Адлер, г. Владимир, г. Дмитров) используется установка, запатентованная ООО «БМТ» [30]. Установка разработана на основе следующей технологии: фильтрат проходит предочистку путем электрохимической обработки и фильтрации, после чего поступает на обратноосмотический модуль и подвергается доочистке на сорбенте. Применение электрохимической обработки приводит к переводу биологически неокисляемых азотсодержащих веществ аммонийной формы в нитросоединения. Одновременно с этим происходит и глубокое обеззараживание воды образующимся в ней активным хлором [31].

Институтом коллоидной химии и химии воды (г. Киев) разработана схема, в которой предочистка фильтрата перед обратным осмосом осуществляется с помощью анаэробно-аэробной биологической очистки, коагуляции, обеззараживания гипохлоритом натрия, фильтрации, доочистки в Na-катионитовых фильтрах и электродиализного обессоливания [4].

Упрощенная схема предочистки фильтрата при использовании обратного осмоса, заключающаяся в обработке серной кислотой и фильтрации на песочном фильтре, реализована в г. Новокузнецк и нескольких странах Европы (Эстония, Литва). Уменьшение ступеней очистки достигается использованием диск-трубчатых модулей обратного осмоса, разработанных компанией «ROTREAT».

Отличающимся направлением от вышеописанных технологий очистки фильтрата является изменение его агрегатного состояния из жидкости в твердый продукт. За рубежом основным связующим в данной технологии выступает цемент [32]. В Европе данную технологию активно используют для утилизации концентрата, образующегося при очистке фильтрата методом обратного осмоса [33; 34]. В России известен способ утилизации фильтрата ТКО совместно с золой от сжигания ТКО [35], заключающийся в смешении фильтрата с золой, цементом и песком в соотношении 1:1,5:1:0,3. Преимуществом данного метода является параллельная утилизация золы. Использование большого количества цемента в данных случаях экономически невыгодно.

Авторами данной статьи была разработана технология цементации, основанная на механическом соединении фильтрата со сланцевой золой, обладающей определенными характеристиками, схожими с цементом. Отличием от вышеописанных способов является применение метода химической коагуляции на первом этапе, что создает основу для активации цементации и позволяет сократить объем необходимой вносимой добавки до соотношения 1:1,25. Таким образом, замена цемента сланцевой золой снижает стоимость производства, а использование коагулянта уменьшает количество привносимого в систему связующего [36]. Преимуществом данной технологии является отсутствие производства вторичных отходов.

### Заключение

Технологии очистки фильтрата, показывающие высокую степень очистки, как правило, представляют собой комбинацию механических, биологических и физико-химических процессов. Однако, биологические методы имеют ограничения, связанные с приемлемой средой для развития микроорганизмов (что подразумевает расход химических реагентов), а также, как правило, требуют использования значительных площадей. Применение химических методов подразумевает большой расход реагентов, часть из которых являются опасными для жизни, в связи с чем повышаются затраты на обеспечение защиты труда. Немаловажным фактором является образование вторичных отходов (в количестве до 50 %) при использовании данных методов очистки, которые, как правило, подлежат захоронению. Несмотря на широкое развитие технологий на основе обратного осмоса за рубежом, в России подобные установки реализованы на единичных полигонах, что связано, в первую очередь, с высокими капитальными вложениями. По мнению авторов данной статьи перспективным методом очистки фильтрата является его цементация, как безотходная технология с минимальным количеством оперативных этапов, требующая меньших территорий по сравнению с биологическими способами очистки и меньших капитальных вложений относительно мембранных технологий.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Подлипский И.И. Эколого-геологическая характеристика полигонов бытовых отходов и разработка рекомендаций по рациональному природопользованию: дис. ... канд. г.-м. наук: 25.00.36. СПб., 2010. 204 с.
2. Иванюкович Г.А., Зеленковский П.С. Выделение участков локального загрязнения при экогеохимическом мониторинге городских территорий // Вестник СПбГУ. Сер. 7. 2015. №2. С. 125–129.
3. Mor S., Negi P., Khaiwal R. Assessment of groundwater pollution by landfills in India using leachate pollution index and estimation of error // Environmental Nanotechnology, Monitoring & Management. 2018. Vol. 10. P. 467–476.
4. Вайсман Я.И. Управление отходами. Сточные воды и биогаз полигонов захоронения твердых бытовых отходов. Пермь: Изд-во Перм. нац. исслед. политехн. ун-та, 2012. 259 с.
5. Christensen T., Cossu R., Stieglmann R. Landfilling of waste: Leachate. Boca Raton: CRC Press. 2019. 540 p.
6. Гуман О.М., Долинина И.А. Гидрогеохимическая модель полигона ТБО // Известия УГГУ. 2003. №18. С. 262–273.
7. Грибанова Л.П. Процессы на полигонах // Твердые бытовые отходы. 2006. №7. С. 4–7.
8. Путилина В.С., Галицкая И.В., Юганова Т.И. Влияние органического вещества на миграцию тяжелых металлов на участках складирования твердых бытовых отходов // Экология. Серия аналитических обзоров мировой литературы. 2005. Новосибирск: ГПНТБ СО РАН. №76. С. 1–100.
9. Подлипский И.И. Эколого-геологическая оценка территории полигонов бытовых отходов. LAP Lambert Academic Publishing, 2015. 200 с.
10. McBean E.A., Poland R., Rovers F.A., Crutcher A.J. Leachate collection design for containment landfills // Journal of the Environmental Engineering Division, ASCE. 1982. Vol. 108. N1. P. 204–209.
11. Воронов Ю.В., Яковлев С.В. Водоотведение и очистка сточных вод. М.: Изд-во АСВ, 2006. 704 с.
12. Robinson H.D., Morris P.J. The treatment of municipal landfill leachate // Water Research. 1999. Vol. 17. N11. P. 56–61.
13. Глушанкова И.С., Рудакова Л.В., Воронкова Т.В., Володина А.С. Опыт применения метода рециркуляции фильтрационных вод полигона захоронения ТБО на примере полигона захоронения ТБО г. Краснокамск // Водоочистка. Водоподготовка. Водоснабжение. 2015. №7. С. 46–50.
14. Вайсман Я.И. Физико-химические методы защиты биосферы. Очистка фильтрационных вод полигонов захоронения твердых бытовых отходов: учеб. пособие. Пермь: Перм. гос. техн. ун-т., 2005. 197 с.
15. Душкин С.С., Коваленко А.Н., Дегтярь М.В., Шевченко Т.А. Ресурсосберегающие технологии очистки сточных вод: монография. Харьков: ХНАГХ, 2011. 146 с.



16. Arabi S., Lugowski A. Lessons learned from successful applications of biological landfill leachate treatment // *Environmental Science & Engineering Magazine*. 2015. N1. P. 52–55.
17. Wiszniowski J., Robert D., Surmacz-Gorska J., Miksch K., Weber J.V. Landfill leachate treatment methods: A review // *Environmental Chemistry Letters*. 2015. Vol. 4. N1. P. 51–61.
18. Серeda Т.Г. Актуальные проблемы обеззараживания сточных вод полигонов твердых бытовых отходов с применением гидробиологической очистки // *Современные наукоемкие технологии*. 2017. № 3. С. 50–54.
19. Torretta V., Ferronato N., Katsoyiannis I. et al. Novel and conventional technologies for landfill leachates treatment: A review // *Sustainability*. 2016. Vol. 9. No. 1. P. 1–39.
20. Михайленко В.В., Капустин А.Е. Оценка эффективности очистки сточных вод методом анаэробного сбраживания // *Технологический аудит и резервы производства*. 2016. №3. С. 72–76.
21. Borzacconi L., Lopez I., Ohanian M., Vinas M. Anaerobic-aerobic treatment of municipal solid waste leachate // *Environmental Technology*. 1999. Vol. 20. N2. P. 211–217.
22. Калюжный С.В., Гладченко М.А. Лабораторные исследования анаэробно-аэробной очистки высококонцентрированных по органическим загрязнениям и содержанию азота фильтратов полигонов ТБО // *Чистый город*. 2004. № 2 (26). С. 29–37.
23. Кашковский В.И., Горбенко В.Н., Синяков Ю.Б., Вальчук Д.Г. Комплексная очистка фильтрационных вод // *Твердые бытовые отходы*. 2010. №4. С. 34–39.
24. Youcai Z. *Pollution control technology for leachate from municipal solid waste*. Oxford: Elsevier Ltd, 2018. 564 p.
25. Кушевич А.С., Маннанова С.А. Реагентная очистка фильтрата ТБО // *Башкирский экологический вестник*. 2011. №3, №4. С. 34–35.
26. Порохняк А.М., Волков Ю.И., Логинов В.С., Манегин К.С. Способ очистки сточных вод полигонов ТБО // *Экологические системы и приборы*. 1999. №1. С. 28–34.
27. Федосова Т.А., Рощина С.И., Никитичева М.С. Сорбционная очистка фильтрационных вод полигонов ТБО // *Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований*. 2014. №8. С. 103–106.
28. Пат. 2186618 Российская Федерация, МПК В 01 J 20/24, В 01 D 39/00, В 01 D 39/04, В 01 J 20/00, В 01 J 20/10, В 09 В 1/00, С 02 F 1/28. Биосорбционный фильтр для очистки сточных вод. Вайсман Я.И., Зайцева Т.А., Рудакова Л.В., Глушанкова И.С., Шишкин Я.С., Никитенко А.С.; заявитель и патентообладатель Перм. гос. техн. ун-т. № 2001100980/12; заявл. 09.01.01; опубл. 10.08.02. Бюл. №22. 6 с.
29. Бронникова О.И., Новиков О.Н., Метляева М.Ю. Очистка фильтрата полигона твердых бытовых отходов // *Сибирь-Восток*. 2006. № 2. С. 42–47.
30. Пат. 2589139 Российская Федерация, МПК С 02 F 9/08, С 02 F 1/42, С 02 F 1/44, С 02 F 1/461, С 02 F 1/52, В 01 D 36/00, В 01 D 61/02, В 01 D 61/14. Способ очистки дренажных вод полигонов твердых бытовых отходов. Поворов А.А., Павлова В.Ф., Кротова М.В., Шиненкова Н.А., Трифонова Т.А., Начева И.И., ..., и др.;

- заявитель и патентообладатель ООО «БМТ». № 2014128230/05; заявл. 09.07.14; опубл. 10.07.16. Бюл. №3. 16 с.
31. Поворов А.А., Павлова В.Ф., Шиненкова Н.А., Логунов О.Ю. Технология очистки дренажных полигонных вод // Твердые бытовые отходы. 2009. №4. С. 26–27.
  32. Drouiche M.C., Moussaceb K., Joussein E., Bollinger J.C. Stabilization/solidification by hydraulic binders of metal elements from landfill leachate // Nova Biotechnologica et Chimica. 2019. Vol. 18 N1. P. 72–83.
  33. Hendrych J., Hejralova R., Krouzek J., Spacek P., Sobek J. Stabilisation/solidification of landfill leachate concentrate and its residue obtained by partial evaporation // Waste Management. 2019. Vol. 95. P. 560–568.
  34. Paria S., Yuet P.K. Solidification-stabilization of organic and inorganic contaminants using portland cement: A literature review // Environmental Reviews. 2006. Vol. 14. P. 217–255.
  35. 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. 7 с.
  36. Милютина 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.

**Milyutina Natalia Olegovna**

Saint Petersburg state university, Saint Petersburg, Russia  
E-mail: milyutina\_no@mail.ru

**Politaeva Natalia Anatolievna**

Peter the great Saint Petersburg polytechnic university, Saint Petersburg, Russia  
E-mail: politaevana1971@gmail.com

**Zelenkovskii Pavel Sergeevich**

Saint Petersburg state university, Saint Petersburg, Russia  
E-mail: p.zelenkovskii@spbu.ru

**Podlipskiy Ivan Ivanovich**

Herzen state pedagogical university of Russia, Saint Petersburg, Russia  
E-mail: primass@inbox.ru

**Velikoselskaya Elena Sergeevna**

LLC Novyj Svet – EKO, Saint Petersburg, Russia  
E-mail: velikes91@gmail.com

## **Review of purification methods of municipal solid waste landfills leachate**

**Abstract.** The present article considers the characteristics of the chemical composition of municipal solid waste (MSW) landfills leachate. It also focuses on the need for leachate purification as leachate migrates outside the territory of the landfills impacting negatively environmental objects (soils, surface and underground waters).

The authors provide a literature review of different wastewater treatment methods: mechanical, biological and physicochemical. It is shown that each method aims at purification from specific pollutants, for example: organic impurities are removed by biological method using the potential of the vital activity of microorganisms; physicochemical methods such as precipitation, ion exchange, evaporation, reverse osmosis are used for the removal of heavy metals ions, salts cations and anions; water disinfection is carried out using chlorination, ozonation or ultraviolet radiation. Due to the presence of an extensive list of pollutants in the leachate as well as its variability depending on the stage of the landfill life cycle, complex leachate treatment technologies are used including a combination of the described methods for wastewater treatment. The article discusses schemes of functioning leachate treatment plants at MSW landfills in Russia and abroad.

Despite the successful use of a number of treatment plants, the authors examined the main disadvantages of the currently used technologies. During leachate purification, there is a production of secondary waste (up to 50 %) which must be disposed of. It is important to point out that the use of biological methods is associated with the need of maintaining the appropriate conditions for the growth of microorganisms and the use of large areas. Also, the use of physicochemical methods is related to a large consumption of chemicals, some of which can be harmful for health.

**Keywords:** municipal solid waste landfills; leachate; leachate purification; leachate treatment; leachate stabilization; environment protection