

# ТЕХНОСФЕРНАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ, ЭКОЛОГИЯ ЖИВЫХ СИСТЕМ И РАЦИОНАЛЬНОЕ ПРИРОДОПОЛЬЗОВАНИЕ

УДК 504.5

*НИКОЛАЕВА ЕВГЕНИЯ АНДРЕЕВНА,  
ГРОМОВА ОЛЬГА БОРИСОВНА*

## ПУТИ СНИЖЕНИЯ АНТРОПОГЕННОЙ НАГРУЗКИ ПОЛИГОНОВ ТВЕРДЫХ БЫТОВЫХ ОТХОДОВ НА ПОВЕРХНОСТНЫЕ И ПОДЗЕМНЫЕ ВОДЫ

### АННОТАЦИЯ

Проанализирован процесс проникновения загрязняющих веществ в подземные и поверхностные воды со стоками с ложа полигона твердых бытовых отходов. Описаны основные стадии жизненного цикла полигона. Проанализировано образование фильтрата и его компонентов. Сформированы требования к обустройству действующих карт полигона, а также защите вод от попадания загрязняющих веществ. Проведены расчеты объема образующегося фильтрата в зависимости от объема атмосферных осадков и влажности. Приведены рекомендации по очистке сточных вод полигона исходя из физико-географических условий и содержания маркерных веществ.

**Ключевые слова:** полигон; твердые бытовые отходы; загрязнение; подземные и поверхностные воды; маркерные вещества.

*NIKOLAEVA E. A.,  
GROMOVA O. B.*

## WAYS TO REDUCE ANTHROPOGENIC LOAD OF MUNICIPAL SOLID WASTE SURFACES ON SURFACE AND UNDERGROUND WATERS

### ABSTRACT

The process of penetration of pollutants into underground and surface water with runoff from the landfill bed of solid waste is analyzed. The main stages of the polygon life cycle are described. The formation of filtrate and its components is analyzed. Requirements for the arrangement of existing landfill maps, as well as the protection of water from the ingress of pollutants, have been formed. Calculations of the volume of filtrate formed depending on the volume of precipitation and humidity were performed. Recommendations for landfill wastewater treatment based on physical and geographical conditions and the content of marker substances are given.

**Keywords:** landfill; solid waste; pollution; underground and surface water; marker substances.

Проблема проникновения маркерных веществ от полигонов твердых бытовых отходов (далее – ТБО) в природный сток определяет ряд негативных последствий для окружающей среды:

- нарушение химического состава воды и почвы;
- снижение способности водоемов к самоочищению, вследствие чего может возникнуть такое явление, как эвтрофикация;
- изменение микробактериальной, растительной, животной среды;

- снижение иммунитета, развитие болезней среди населения близлежащих населенных пунктов.

Однако в условиях роста производства и потребления, увеличения объемов «лишних» товаров и отсутствия законодательно установленного регламента рециклинга, основной объем образованных отходов размещается на полигонах. Как известно, при складировании ТБО образуется ряд загрязняющих компонентов: биогаз (50–87% метана, 13–50% CO<sub>2</sub>, незначительные примеси H<sub>2</sub> и H<sub>2</sub>S), фильтрат

и др. Загрязнение происходит за счет химических превращений отходов с деструкцией веществ и выбросами в атмосферный воздух (биогаз и др.), природные воды (фильтрат, поверхностные стоки и др.).

Сток с площадки полигона ТБО формируется в результате выпадения осадков в теплый (дождь) и холодный (снег) периоды года. Процедура распада веществ в теле полигона с выделением тепла и образованием стоков приводит к вымыванию загрязняющих веществ, которые, проникая через поверхностные слои почвы, частично уходят в подземные воды, а частично – в поверхностные. Увеличение концентраций веществ I–III классов опасности в водах приводит к росту заболеваемости населения, ухудшению качества питьевой воды, снижению экологического разнообразия и др. В зависимости от величины годового объема формирующегося фильтрата с полигона ТБО выбираются различные технологии защиты природной среды.

Рассмотрим классический пример работы в течение года объекта размещения отходов (далее – ОРО), который расположен в средней полосе (на широте Московской области). На объекте осуществляют захоронение отходов следующих типов: биоразлагаемые (органические, легко разлагаемые) – ориентировочно 60–80% от всего объема ТБО; разлагаемые средней сложности (целлофан, принтерная и лощеная бумага, офисная и журнальная бумага, бумажная посуда, садово-парковые); сложно разлагаемые (гофрированный картон, газеты, древесина); токсичные окисляемые отходы (черные и цветные металлы, пластические массы); минеральные сыпучие вещества (камни, стекло, строительные отходы) [1].

Во время динамичной разработки ОРО (10–30 лет) различают такие фазы биодеструкции компонентов, как: аэробную, анаэробную – гидролиз, ацетогенез и активный метаногенез.

В период «кислородного» разрушения ( $pH=6,5-7,2$ ) протекающего на протяжении нескольких месяцев (на глубине до 50–80 см), протекает процесс гидролиза и окисления пищевых отходов. Коррозии с кислородным понижением потенциала покоя подвергается основная масса металлов. Кислоты, выделяющиеся во время химического окисления органических фракций, способствуют разрушению кристаллической решетки молекул

металлов, с дальнейшим преобразованием в фильтрат. Реакции, имеющие место в «кислородных» условиях, характеризуются выделением большого количества тепла, на данной стадии температура тела ОРО может достигать до  $80^{\circ}C$ .

В бескислородной фазе (при  $pH=4,5-6,5$ ), продолжительностью 1–4 года, наблюдается последующий распад с образованием таких продуктов, как  $CH_3COOH$ ,  $CH_3CH_2COOH$  (кислоты с резким запахом),  $CO_2$  и  $H_2O$ . На этом же этапе происходит гидролиз – процесс смешения кислот с водой, при котором снижается резкость запаха, уменьшается величина  $pH$ .

На ступени активного метаногенеза (в течение примерно 30 лет с начала организованного хранения) продолжается ферментативный распад кислот, сопровождающийся выделением вредных газов ( $CH_4$ ,  $CO_2$ ,  $NH_3$ , сернистые аналоги спиртов и др.) и увеличением  $pH$  среды (7,2–8,6). На этом этапе образуется биогаз (продукт разложения 50–70% целлюлозы и гемицеллюлозы) и распад смесей гумусовой природы, полифенолов и др. Для этого этапа характерно низкое содержание органики и высокая доля неорганических компонентов (поверхностно-активные вещества, хлорорганические соединения, гуматы металлов и гуминовые соединения). Об этом свидетельствует величина  $BPK_5 / XPK$ , которая на данном этапе ниже нормы [4]. После прекращения захоронения отходов в данной карте полигона, либо закрытия ОРО для использования начинается процесс естественной рекультивации – преобразование отходов в компоненты почвы. Полное восстановление ОРО может занимать до 100 лет в зависимости от захороненных отходов.

Для расчета фильтрата типового полигона применяется следующая зависимость (1):

$$V = 0,01 \cdot (h - 100) \cdot F + 0,01 \cdot Q \cdot (W - 52), \quad (1)$$

где  $V$  – годовой объем фильтративных вод, тыс.  $m^3/год$ ;

$h$  – средняя региональная норма стока, мм/год;

100 – снижение нормы стока за счет испаряющей поверхности полигона, мм/год;

$Q$  – среднегодовое поступление ТБО, тыс.  $m^3/год$ ;

$W$  – среднегодовая влажность отходов, %.

$F$  – площадь полигона, га

Исходные данные представлены в таблице.

Таблица.

Данные для расчета фильтрата, образующегося с полигона ТБО

№ п/п	Показатель	Значение
1	Q, тыс.м <sup>3</sup> /год	15
2	W, %	600
3	F, га	7,6
4	h, мм/год	324

По результатам расчета годовой объем фильтрата составляет 99,2 тыс. м<sup>3</sup>/год. В данном объеме фильтрата кроме различных ионов (Na<sup>+</sup>; K<sup>+</sup>; NO<sub>3</sub><sup>-</sup>; NO<sub>2</sub><sup>-</sup> и др.) могут содержаться патогенные микроорганизмы (сапрофитные, гетеротрофные, питающиеся разлагаемой органикой), их содержание определяется общим микробным числом (ОМЧ), колиформными бактериями (КОЕ), числом бляшкообразующих единиц (БОЕ), болезнетворными микроорганизмы [2].

При высоких показателях упомянутых выше параметров необходимо проводить сбор, очистку стоков с учетом особенностей фильтрационных вод.

Фильтрат или фильтрационные воды представляет собой густую жидкость темного цвета, содержащую большое количество органики и минеральных компонентов (в том числе токсичные для природной среды цветные и черные металлы, частицы отработанных масел, нефтепродукты и др.) [3].

Для сохранения окружающей среды крайне важно отведение стоков в территории ОРО. Согласно действующему законодательству, на ОРО обязательно должна быть система водоотводных канав, объем которых рассчитывается исходя из климатических особенностей местности. Удаление стоков осуществляется либо при помощи городской канализационной сети, либо непосредственно после удаления вредных веществ в водный объект [2].

С учетом сказанного выше, необходимо выбрать эффективные методы очистки. В данном случае могут быть рассмотрены следующие варианты.

1. Осветление и обесцвечивание фильтрационных вод с использованием коагулянтов и дальнейшим фильтрованием путем пропускания через слой фильтрующего материала при величине pH 7,5 -8,5. Такой метод является достаточно эффективным, однако его применение влечет за собой ряд сложностей: требуется использование достаточно дорогостоящих реагентов, а также дополнительного оборудования для доочистки, что означает необходимость в комплектовании большего штата работников.

2. «Бескислородная» (анаэробная) очистка фильтрационных вод в метантенках, денитрифика-

торах (за счет процессов сбраживания). Подобный метод характеризуется также высоким уровнем эффективности, достигаемой за счет процессов анаэробной деятельности микроорганизмов. Однако, рассматривая данный вариант очистки, следует учитывать несколько факторов, влияющих на эффект сбраживания: наличие в стоках тяжелых металлов (при повышенном количестве увеличивается риск гибели микроорганизмов), необходимость перемешивания загрузки (для исключения «мертвых» зон) [7].

3. Аэробная очистка в аэротенках, нитрификаторах (кислородное окисление загрязняющих веществ). Такие виды очистки являются биологическими. То есть это процессы, протекающие в период жизнедеятельности активного ила (микроорганизмов, грибов, бактерий и др.). Основными недостатками метода являются необходимость отслеживания состояния микрофлоры и периодической ее замены (биопленка) и отведение избытков продуктов жизнедеятельности (активный ил). При значительных превышениях химического потребления кислорода (более 15000 мг/дм<sup>3</sup>) фильтрационных вод перед стадией бескислородной очистки необходимо подвергать аэробной стабилизации.

4. Механическая очистка воды: гравитационными методами (осветление воды в отстойниках) или инерционная очистка от взвешенных веществ на песчаном фильтре. Механическая очистка сточных вод является одним из самых простых способов удаления из сточных вод взвешенных примесей за счет физических процессов: гравитации, инерции, центробежной силы. Однако оборудование, при помощи которого осуществляются перечисленные процессы, часто нуждается в замене (износ отдельных частей, коррозия), загрузочный активный материал имеет высокую стоимость. Работа по обслуживанию технологических установок предполагает наличие квалифицированных обученных специалистов. Однако положительным фактором является высокая эффективность очистки от 95 до 99% [5].

Доочистку воды следует выполнять физико-химическими и биологическими методами, подбор которых основывается на остаточной концентрации загрязненных примесей в технологически очищенной воде, нормативах качества воды, установленных органами исполнительной власти, и финансовыми возможностями. Наиболее дешевыми и простыми в эксплуатации являются биологические методы доочистки (биологические многокаскадные пруды, очистка в биосорбцион-

ном фильтре), где очистка воды протекает в условиях близких к естественным. Однако возможно использование озонирования воды с дальнейшей адсорбцией. Такой способ имеет как преимущества: улучшается вкус воды, удаляются патогенные микроорганизмы, не меняется компонентный состав необходимой органики; так и недостатки: использование токсичного газа, высокая стоимость, непродолжительность действия [8].

При длительном хранении отходов на территории ОРО начинается процесс гумификации (микробиологическое разложение органического вещества растительных и животных остатков), во время которого накапливаются гуминовые соединения, снижается концентрация ионов металлов и падает эффективность биохимической очистки. Для увеличения степени очистки необходимо пересмотреть функциональную направленность, последовательность операций, имеющиеся сооружения. Так, фильтр с веществами для коагуляции заменяется многослойным фильтром с сорбцией веществ на границе раздела фаз. В данном случае возможно использование шлаковых отходов и др.

Таким образом, учитывая этапы жизненного цикла полигона, при выборе технологии очистки стока необходимо учитывать следующие факторы:

- простота обслуживания оборудования;
- уровень эксплуатационных затрат (использование дешевых компонентов, обладающих хорошими поглощающими и коагуляционными свойствами);
- эффективность очистки (при выборе оборудования учитывается концентрация загрязнителей в стоках, определяемых по протоколам КХА);
- объем отходов, находящийся на длительном хранении;
- наличие системы дренажа, защитных экранов и др.

Для типового ОРО требуется, прежде всего, непрерывный мониторинг окружающей среды с оценкой состояния грунта, атмосферного воздуха, подземных и поверхностных вод, стекающих с тела

ОРО. При значительных загрязнениях фильтрационных стоков необходимы очистные сооружения для их очистки.

#### Список литературы

5. Приказ Росприроднадзора от 22.05.2017 N 242 (ред. от 02.11.2018) «Об утверждении Федерального классификационного каталога отходов».
6. СанПиН 2.1.4.1074-01. Питьевая вода. Гигиенические требования к качеству воды централизованных систем питьевого водоснабжения. Контроль качества. – М.: Федеральный центр Госсанэпиднадзора, 2002. – 103 с.
7. Алексеев Е.В. Физико-химическая очистка сточных вод: Учебное пособие. – М.: Издательство Ассоциации строительных вузов, 2007. – 248 с.
8. Вайсман Я.И., Рудакова Л.В., Глушанкова И.С., Каратаев В.Н., Батракова Г.М., Максимова С.В. Рекомендации по сбору, очистке, и отведению сточных вод полигонов захоронения твердых бытовых отходов // Государственный комитет Российской Федерации по строительству и жилищно-коммунальному комплексу, ФГУП Федеральный центр благоустройства и обращения с отходами. – М: ИСТ СТФ ПГТУ, 2003. – 47 с.
9. Кривошеин Д.А., Кукин П.П., Лапин В.Л. Инженерная защита поверхностных вод от промышленных стоков: учебное пособие. – М.: Высшая школа, 2003. – 344 с.
10. Потапов П.А., Пупырев Е.И., Потапов А.Д. Методы локализации и обработки фильтрата полигонов захоронения твердых бытовых отходов. – М: Ассоциации строительных вузов, 2004. – 166 с.
11. Селиванова Н.В., Трифонова Т.А., Селиванов О.Г., Чухланов В.Ю. Оценка и очистка фильтрационных вод полигонов ТБО // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. – 2014. – № 8-2. – С. 99-102.
12. 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.

Статья поступила в редакцию 18 февраля 2020 г.  
Принята к публикации 30 марта 2020 г.

**Ссылка для цитирования:** Николаева Е. А., Громова О. Б. Пути снижения антропогенной нагрузки полигонов твердых бытовых отходов на поверхностные и подземные воды // Национальная безопасность и стратегическое планирование. 2020. № 1(29). С. 125-128. DOI: <https://doi.org/10.37468/2307-1400-2020-1-125-128>