

ОРГАНИКА НА ПОЛИГОНЕ:

ВРЕДНОЕ ВОЗДЕЙСТВИЕ И КАК ЕГО ИЗБЕЖАТЬ

Цикл статей «Отрасль обращения с ТКО
с точки зрения профессионалов»

Продолжение. Начало в № 9'2021

Продолжим обсуждение вопросов, связанных с размещением органических (пищевых) отходов. Напомним: в прошлых статьях были рассмотрены процессы, которые происходят с органикой на полигоне; проанализировано ее вредное воздействие на окружающую среду; исследовано, что происходит с самим полигоном с течением времени при размещении на нем органики; а также изучены вещества и процессы их образования при размещении органических (пищевых) отходов на свалке. В настоящей статье мы остановимся на описании «конечной продукции», которую мы получаем, складировав органику на полигоне.

И. В. Кирейчиков, В. В. Унжаков, Д. И. Маслов,
ГК «Созвездие/Развитие»



Помня о том, что полигон для размещения отходов был назван нами биохимическим реактором, мы можем представить себе, кто в идеале должен работать внутри этого реактора с биоразлагаемыми, в том числе пищевыми, отходами. Анаэробное разложение органических (биоразлагаемых) отходов требует участия четырех «рабочих групп» бактерий [1]:

- бактерий, разлагающих биополимеры большой молекулярной массы (прежде всего, углеводы и белки) до мономеров;
- бактерий-ацидогенов, преобразующих мономеры в органические кислоты, спирты, водород и диоксид углерода;

- бактерий-ацетогенов, то есть анаэробных бактерий маслянокислого брожения, преобразующих органические кислоты в ацетаты, водород и диоксид углерода;

- бактерий-метаногенов, использующих ацетаты, водород и диоксид углерода для синтеза метана.

Бактерии-метаногены играют особую роль в анаэробном процессе разложения органики. Они живут практически везде, где присутствует углекислый газ и водород (в том числе и на свалках и полигонах), используя их в своем метаболизме двумя различными способами. Приблизительно 5 % углекислого газа метаногены используют для синтеза орга-

нического материала собственных клеток, а оставшиеся 95 % расходуются ими на производство метана:



Поэтому метан как природный биогаз накапливается в болотах, на мусорных свалках и в сточных водах. Но в предыдущей статье мы не дошли до обсуждения стадии метаногенеза в разложении пищевых отходов, и вот почему. Действительно, конечными продуктами анаэробного разложения органики должны быть в идеале метан и небольшое количество углекислого газа и водяного пара. Однако достичь такого

ТАБЛИЦА 1. ПЕРЕЧЕНЬ ОСНОВНЫХ ПРОДУКТОВ РАЗЛОЖЕНИЯ ОРГАНИЧЕСКИХ (ПИЩЕВЫХ) ОТХОДОВ

Вид продукта разложения органических (пищевых) отходов		Краткое описание
Вода (водяной пар) (H₂O)		Прозрачная жидкость, не имеющая цвета, вкуса и запаха, в газообразном состоянии называется водяным паром. Водяной пар является основным естественным парниковым газом, который ответственен более чем за 60 % парникового эффекта для Земли, хотя в атмосфере содержится всего около 0,001 % водных запасов Земли
Газы	Углекислый газ (CO₂)	Бесцветный газ, практически не имеющий запаха, не токсичен, не взрывоопасен, является составной частью воздуха (примерно 0,04 %), тяжелее которого в 1,5 раза. Углекислый газ легко пропускает излучение в ультрафиолетовой и видимой частях спектра, которое поступает на Землю от Солнца и обогревает ее. В то же время он поглощает испускаемое Землей инфракрасное излучение, препятствуя отводу тепла, и является одним из так называемых парниковых газов (9–26 % парникового эффекта, второй по значимости)
	Сероводород (H₂S)	Бесцветный газ с неприятным запахом тухлых яиц. Очень ядовит: острое отравление человека наступает уже при концентрациях 0,2–0,3 мг/л, концентрация выше 1 мг/л – смертельна. Огнеопасен, при контакте с металлами (особенно если в газе содержится влага) вызывает сильную коррозию
	Водород (H₂)	Газ без цвета, вкуса и запаха, самый легкий из газов – почти в 15 раз легче воздуха. Нетоксичен, огнеопасен. В смеси с кислородом (2:1) образует взрывчатую смесь, называемую гремучим газом
	Азот (N₂)	Бесцветный газ без вкуса и запаха, не поддерживает горение и дыхание, безвреден. Один из самых распространенных на Земле химических элементов: воздух на 78 % состоит из азота
	Метан (CH₄)	Простейший по составу углеводород, при нормальных условиях – бесцветный газ без вкуса и запаха. Малорастворим в воде, почти в 2 раза легче воздуха. Метан нетоксичен, но при высокой концентрации в воздухе обладает слабым наркотическим действием (ПДК 7000 мг/м ³), при хроническом воздействии малых концентраций в воздухе неблагоприятно влияет на центральную нервную систему. Наркотическое действие метана ослабляется его малой растворимостью в воде и крови и химической инертностью. Метан – основной компонент природного газа. Накапливаясь в закрытом помещении в смеси с воздухом, метан становится взрывоопасным, наиболее взрывоопасная концентрация в смеси с воздухом – 9,5 % (по объему). Метан – третий по значимости парниковый газ в атмосфере Земли (после водяного пара и углекислого газа), его вклад в парниковый эффект оценивается в 4–9 %
	Аммиак (NH₃)	Бесцветный газ с резким характерным запахом. Плотность аммиака почти вдвое меньше, чем воздуха. Токсичен, но малоопасен
Тиолы	По устаревшей номенклатуре эти вещества назывались меркаптанами – это органические вещества, производные сероводорода, с общей формулой RSH, где R – углеводородный радикал. Некоторые из свойств этих легколетучих жидкостей (газов) аналогичны свойствам спиртов (ROH). В природе тиолы чаще всего находятся в продуктах гниения белков. Самое заметное органолептическое свойство тиолов – это отвратительный запах. Человеческий нос способен распознавать его в очень низких концентрациях, недоступных даже для многих хроматографических методов. Тиолы участвуют в создании неприятного запаха нарезанного чеснока, а также входят в состав секрета анальных желез скунса. Как ни странно, существуют также тиолы, в низких концентрациях обладающие приятным запахом. Например, жареный кофе обязан своим удивительным ароматом веществу из группы тиолов с названием фуран-2-илметантиол [5]	
	Метантиол, или метилмеркаптан (CH₃SH)	Простейший представитель тиолов, бесцветный токсичный газ с сильным неприятным запахом, напоминающим запах гнилой капусты. Весьма огнеопасен. При высоких концентрациях негативно воздействует на центральную нервную систему. В числе прочего является одной из причин неприятного запаха в неубранном туалете, входит в состав экскрементов и кишечных газов
	Этантиол, или этилмеркаптан (C₂H₅SH)	Бесцветная летучая жидкость с резким характерным запахом. Особо токсичен, числится в списке сильнодействующих ядовитых веществ, в больших количествах может вызывать головную боль, тошноту и потерю координации. Также он поражает почки и печень. Благодаря сильному запаху (люди могут ощущать запах этантиола при концентрации, составляющей всего одну часть на 50 млн частей воздуха) используется как одорант для бытового природного и сжиженного газа. В концентрациях, присутствующих в бытовом природном газе, безвреден. Запах газа, который люди чувствуют при его утечке, – это именно запах этантиола, который даже внесен в Книгу рекордов Гиннеса как самое зловонное химическое вещество

Продолжение таблицы на стр. 20–21.

Вид продукта разложения органических (пищевых) отходов	Краткое описание
Кислоты	<p>Масляная кислота (бутановая кислота, $\text{CH}_3(\text{CH}_2)_2\text{COOH}$)</p> <p>Бесцветная жидкость с резким запахом прогорклого масла, которая относится к насыщенным жирным кислотам. Масляная кислота растворима в воде, смешивается с органическими растворителями, содержится в небольших количествах в коровьем масле (3–4 %) и нефти, вырабатывается бактериями в кишечнике человека. И хотя, кроме неприятного запаха, особого вреда окружающей среде она не наносит, необходимо не допускать попадания концентрированной масляной кислоты на кожу и в глаза. Масляная кислота при попадании в водоемы токсична для водных организмов</p>
	<p>Уксусная кислота (этановая кислота, CH_3COOH)</p> <p>Органическое соединение, относящееся к карбоновым кислотам, бесцветная жидкость с характерным резким запахом и кислым вкусом, неограниченно растворима в воде. Соли и эфиры уксусной кислоты называются ацетатами. Она широко применяется в химической и пищевой промышленности, в быту и даже образуется в живых организмах (в человеческом в том числе) в процессе углеводного обмена. Необходимо помнить, что уксусная кислота – очень едкое вещество. Ее пары раздражают слизистые оболочки верхних дыхательных путей, ПДК в атмосферном воздухе составляет 0,06 мг/м³. Концентрированная уксусная кислота (более 30 %) способна вызывать химические ожоги. При приеме внутрь токсична – смертельная разовая доза составляет примерно 20 мл</p>
	<p>Стеариновая кислота ($\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{16}\text{COOH}$)</p> <p>Одна из самых распространенных жирных кислот (относится к насыщенным), существующих в природе, входящая в состав липидов. Представляет собой порошок или чешуевидные хлопья белого цвета без специфического запаха, нерастворима в воде, но хорошо растворяется в водных растворах щелочей. Применяется в химической, пищевой промышленности, в косметике. Вредное действие не выявлено, аллергенные свойства отсутствуют, в чистом виде проявляет слабое раздражающее действие на кожу</p>
Амины	<p>Фенилэтиламин ($\text{C}_8\text{H}_{11}\text{N}$)</p> <p>Наркотик, оказывающий сильное психотропное воздействие (в этой же группе, например, находится более известный амфетамин). Это бесцветная жидкость, растворимая в воде, спиртах и эфирах, имеющая характерный запах. На открытом воздухе образует твердую карбонатную соль при взаимодействии с углекислым газом. Обладает раздражающим действием на кожу</p>
	<p>Тирамин ($\text{C}_8\text{H}_{11}\text{NO}$)</p> <p>Физиологически активное токсичное вещество, содержащееся, в частности, в известных ядовитых грибах-паразитах – спорынье. В небольших количествах присутствует во многих пищевых продуктах, в частности в сырах. В чистом виде – бесцветный порошок, растворимый в воде. Провоцирует повышение артериального давления и уровня сахара в крови, перевозбуждение нервной системы, приводит в гипертонус мышцы, является причиной мигрени</p>
	<p>Триптамин ($\text{C}_{10}\text{H}_{12}\text{N}_2$)</p> <p>Игольчатые кристаллы кремового цвета с запахом нафталина, хорошо растворимые в ацетоне и этаноле. Относится к группе алкалоидов, то есть сильнодействующих психоактивных веществ (влияющих на центральную нервную систему и приводящих к изменению психического состояния человека)</p>
	<p>Кадаверин (от лат. cadaver – труп) – химическое соединение, имеющее формулу $\text{NH}_2(\text{CH}_2)_5\text{NH}_2$</p> <p>Ранее считался весьма ядовитым веществом, относился к группе так называемых птомайнов (от греч. πτώμα, «птома» – труп), или трупных ядов, – устаревший термин, использовавшийся для обозначения биогенных аминов, получающихся в результате гнилостных процессов: частичного разложения белка и декарбоксилирования его аминокислот. Представляет собой бесцветную легко растворимую жидкость (но с температурой замерзания +9 °С), имеющую характерный отвратительный (трупный) запах. Однако токсичность кадаверина сравнительно невелика – 2000 мг/кг</p>
Спирты	<p>Бутанол ($\text{C}_4\text{H}_9\text{OH}$), или бутиловый спирт</p> <p>Бесцветная жидкость с характерным запахом сивушного масла. Бутанол считается токсичным, хотя показывает низкий уровень токсичности в экспериментах и считается достаточно безопасным для использования, например, в косметике</p>
	<p>Этанол ($\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$), или этиловый спирт, алкоголь (в обиходе просто спирт)</p> <p>Представляет собой бесцветную легкоподвижную летучую прозрачную жидкость с характерным запахом и сладковато-жгучим вкусом. Горюч, легко воспламеняется. Действующий компонент алкогольных напитков. Является депрессантом, то есть психоактивным веществом, угнетающим центральную нервную систему человека</p>
Кетоны	<p>Ацетон ($\text{CH}_3)_2\text{CO}$</p> <p>Это самый простой кетон – бесцветная подвижная летучая жидкость с характерным резким запахом. Малотоксичен, но обладает раздражающим действием. Одна из основных опасностей при работе с ацетоном – его легкая воспламеняемость. Воздушные смеси, содержащие от 2,5 до 12,8 % (по объему) паров ацетона, взрывоопасны</p>

Вид продукта разложения органических (пищевых) отходов	Краткое описание
Фенолы	<p>Фенол (устар. карболовая кислота, C_6H_5OH)</p> <p>Простейший представитель класса фенолов. Вещество выглядит как бесцветные игольчатые кристаллы с характерным запахом (так называемым запахом гуаши, так как гуашь содержит в своем составе фенол). Фенол – ценное химическое сырье, его мировое производство достигает 10 млн т в год, поэтому он же – один из основных промышленных загрязнителей окружающей среды. В чистом виде фенол довольно токсичен для животных и человека, губителен для многих микроорганизмов, поэтому промышленные сточные воды с высоким содержанием фенола плохо поддаются биологической очистке. Растворим в различных жидкостях, его 5%-ный раствор в воде в прошлом использовался в медицине как антисептик. Интересный факт: именно фенол и его производные обуславливают консервирующие свойства копильного дыма, поэтому копченая колбаса и рыба тоже содержат фенол</p>
	<p>Крезол (C_7H_8O)</p> <p>Органическое соединение класса фенолов; бесцветная, хорошо растворимая в воде жидкость, обладающая, подобно фенолу, резким раздражающим действием при попадании на кожу (жжение, покраснение, зуд, образование пузырей и т. д.). Крезол вызывает раздражение слизистых оболочек и конъюнктивы, причем более сильное, чем фенол. Имеет сильный запах – знакомый большинству «запах шпал», идущий от деревянных железнодорожных шпал, пропитанных для защиты от влаги креозотом, из которого в химической промышленности и получают крезол</p>
Альдегиды	<p>Формальдегид (CH_2O)</p> <p>Бесцветный газ с резким запахом («запах больницы» – это запах формалина, известного дезинфицирующего средства, 40%-го водного раствора формальдегида). Ядовит, ему присвоен первый класс опасности [6]. Даже в низких концентрациях раздражает кожу, глаза и носоглотку. Формальдегид токсичен, прием внутрь 60–90 мл является смертельным. При ингаляционном отравлении наблюдается конъюнктивит, острый бронхит, вплоть до отека легких, поражается центральная нервная система. Формальдегид внесен в список канцерогенных веществ ГН 1.1.725-98 в разделе «вероятно канцерогенные для человека» [7], причем он способен накапливаться в организме</p>
Эпоксиды	<p>Окись этилена (C_2H_4O)</p> <p>Бесцветный газ с характерным сладковатым «эфирным» запахом (можно сказать также, «высоколетучая жидкость», так как ее температура кипения – чуть больше +10 °С). Хорошо растворим практически во всех видах растворителей. Смесь паров вещества с воздухом является чрезвычайно огне- и взрывоопасной. Окись этилена – медленно действующий сильный яд для теплокровных животных и человека с канцерогенным, мутагенным, раздражающим и наркотическим действием. При этом она является одним из крупнейших по объему органических полупродуктов мирового химического производства с годовым объемом выпуска около 25 млн т</p>
Индол и его производные	<p>Вещества, обладающие очень неприятными запахами (проще говоря, вонючие), но при этом, как ни странно, используемые в парфюмерии, пищевой промышленности и при производстве табачных изделий в качестве ароматизаторов. При низких концентрациях приобретают приятный сливочно-молочный запах или запах, напоминающий аромат жасмина. Вещества слаботоксичные, но при высоких концентрациях могут вызывать отек легких. Плохо растворимы в воде, но хорошо – в этаноле, метаноле, бензоле, эфире</p>
	<p>Индол (C_8H_7N)</p> <p>Бесцветные кристаллы с запахом, напоминающим запах тухлой капусты (температура плавления – чуть больше +50 °С). Является родоначальником широкого класса природных соединений. Содержится в растительном красителе индиго, от которого и получил свое название</p>
	<p>Скатол (C_9H_9N)</p> <p>Бесцветные кристаллы с очень неприятным запахом. В частности, запах фекалий обусловлен главным образом содержанием в них скатола, образующегося в кишечнике человека и животных при анаэробном разложении белков</p>



ТАБЛИЦА 2. ХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ ВЫБРОСОВ, СБРОСОВ И ПОВЕРХНОСТНЫХ СТОКОВ ПОЛИГОНА

Способ воздействия на окружающую среду	Вещества – продукты разложения органических (пищевых) отходов		
	Практически безвредные	Малоопасные (с неприятным запахом)	Опасные (ядовитые, огнеопасные)
Выбросы (свалочный газ)	Водяной пар Углекислый газ Азот	Аммиак	Водород Метан Метантиол Формальдегид Окись этилена
Сбросы (фильтрат и поверхностные стоки)	Вода Стеариновая кислота	Масляная кислота Уксусная кислота Фенилэтиламин Тирамин Триптамин Кадаверин Бутанол Этанол Индол Скатол	Этантиол Ацетон Фенол Крезол

результата на практике очень тяжело, так как в условиях полигона процессы разложения идут медленно и неконтролируемо, условия работы переносимых выше бактерий далеки от идеальных и численность бактерий практически никогда не соответствует количеству отходов, которые им нужно переработать. Поэтому далеко не все промежуточные продукты распада органики распадаются до конца. И в приведенном ниже перечне (табл. 1 ▶ стр. 19–21) перечислены эти самые продукты «недоразложения», большая часть которых в условиях полигона становится его «конечной продукцией» и, будучи частью свалочного газа и фильтрата, поступает в окружающую среду [2–4].

БАКТЕРИИ-МЕТАНОГЕНЫ ЧАСТО НЕ СПРАВЛЯЮТСЯ С КОЛИЧЕСТВОМ ОТХОДОВ НА ПОЛИГОНЕ И НЕ ДОВОДЯТ РАЗЛОЖЕНИЕ ДО КОНЦА.

ТАБЛИЦА 3. ПРОДУКТЫ РАЗЛОЖЕНИЯ МАКРОНУТРИЕНТОВ (КОМПОНЕНТОВ ПИЩЕВЫХ ОТХОДОВ)

Макронутриенты	Вещества – продукты разложения макронутриентов
Углеводы	Углекислый газ, водород, масляная кислота, уксусная кислота, этанол, бутанол, ацетон
Белки	Фенилэтиламин, тирамин, триптамин, кадаверин, индол, скатол, фенол, крезол, аммиак, метан, углекислый газ, водород, вода (водяной пар), азот, сероводород, этантиол, метантиол
Жиры	Ацетон, формальдегид, окись этилена, стеариновая кислота, углекислый газ, вода (водяной пар), метан

Итак, подводя итоги, можно привести рецепт «коктейля», которым нас «угощает» любой из полигонов несортированных ТКО, содержащих органические (пищевые) отходы (табл. 2, 3 ▶ стр. 22). Подчеркнем, что это только основные ингредиенты, – всего в упомянутом «коктейле» их смешано, как мы помним, более сотни. ♻️



Литература

1. Голубовская Э. К. Биологические основы очистки воды : учеб. пособие. – Москва : Высшая школа, 1978.
2. Ахметов Н. С. Общая и неорганическая химия. – Москва : Высшая школа, 2003.
3. Реутов О. А. Органическая химия. – Москва : МГУ, 1999.
4. Большая медицинская энциклопедия (БМЭ) / под ред. Б. В. Петровского. – 3-е изд. – Москва : Сов. энциклопедия, 1974–1989.
5. Михневич Ю. Тиолы // Элементы. – URL: https://elementy.ru/kartinka_dnya/91/Tioly (дата обращения: 17.09.2021).
6. Постановление Главного государственного санитарного врача РФ от 07.04.2014 № 27 «О внесении изменения № 10 в ГН 2.1.6.1338-03 “Предельно допустимые концентрации (ПДК) загрязняющих веществ в атмосферном воздухе населенных мест”».
7. Гигиенические нормативы ГН 1.1.725-98 «Перечень веществ, продуктов, производственных процессов, бытовых и природных факторов, канцерогенных для человека» (утв. постановлением Главного государственного санитарного врача РФ от 23.12.1998 № 32).