

Биореактор на месте свалки

Кто и как может разгрести горы мусора, которые накапливаются вокруг городов и деревень?

Какие способы используют сейчас специалисты коммунального хозяйства и есть ли альтернатива?

С этими вопросами обозреватель «Химии и жизни»

М.Б.Литвинов обратился к сотруднику Института микробиологии

РАН им. С.Н.Виноградского, кандидату биологических наук

А.С.Саввичеву и депутату Московской городской думы,

также кандидату биологических наук, И.Ю.Новицкому.



А.С.САВВИЧЕВ:
«ПОЛИГОН ТБО —
ЭТО БИОРЕАКТОР»



Как сейчас борются с бытовым мусором и почему эти способы не всегда нас устраивают?

Традиционный способ борьбы с мусором — полигоны твердых бытовых отходов (ТБО). Это и понятно: что может быть проще, чем зарыть ненужное в землю? В России это вообще основной способ утилизации чего бы то ни было, но и в других странах мусор тоже обычно закапывали.

Почему появились другие методы? Потому что не осталось места — отходы стало некуда складывать. И это не единственная проблема. Как только резко вырос объем мусора, стало ясно, что свалки портят окружающую среду. Во-первых, из них вытекают жидкости, так называемые «личаты», которые затем попадают в грунтовые воды. Во-вторых, выделяются газы. Сначала людей беспокоили неприятные запахи, а потом стали много говорить о парниковых газах: метане и CO_2 . Эта тема, наверное, лучше всего представлена в нынешней научно-популярной литературе.

Сейчас неспециалисты, полуспециалисты и некоторые специалисты считают, что ТБО надо сжигать. Однако никто не хочет, чтобы мусоросжигательный завод находился рядом с его домом. Известно, что при всяком сжигании, особенно плохо горящих веществ, выделяется дым, который может содержать токсичные вещества. Для его улавливания и нейтрализации разработано немало технических приемов, но это стоит боль-

ших денег. К тому же оборудование может сломаться. Конечно, мусоросжигательные заводы важны и нужны, но всех проблем они не решат.

Есть и такое мнение: справиться с ТБО можно, если наладить сортировку мусора и как можно больше фракций пускать в оборот. Пластики, например, вместе с крошкой от стекла пригодны для добавления в бетон, бордюрный камень, плитку и другие изделия, бумага — для переработки в дешевый картон. Эти технологии есть, но где-то их выгодно применять, а где-то нет.

Нужно учитывать еще, что состав ТБО не всегда одинаков. На Западе значительную его долю составляет растительный мусор. Понятно, там возле домов есть участки с газонами и кустарниками, у нас же зеленых насаждений меньше. Когда растительных отходов много, выгодно использовать еще один способ — компостирование. Готовят, к примеру, вермикомпосты — с применением червей. У нас этим занимаются, в частности, на факультете почвоведения МГУ, да и в других организациях. Пищевые остатки и растительный мусор могут составлять основу компоста, однако для этого мусор нужно как следует отсортировать. Если в компосте окажутся ядовитые вещества, какая от него будет польза?

Московские власти прилагают немало усилий, чтобы наладить раздельный сбор мусора непосредственно силами жителей. Однако пока особых успехов в этом деле нет. Одного лишь просвещения и убеждения оказалось недостаточно. Необходимы дополнительные стимулы, а не только плакаты с указаниями, куда складывать стекло, куда банки, а куда пластик. Но все же это самый цивилизованный способ бороться с мусором, и поэтому не стоит опускать руки.

Есть и другие пути. Так, химики разрабатывают полимеры, которые легко и быстро разлагаются в природе (см. июльский номер «Химии и жизни» за этот год. — Прим. ред.). Из них можно делать упаковку для продуктов и других товаров. Однако такая упаковка тоже должна разлагаться не на газоне, а на свалке. И стоят эти полимеры пока больше, чем обычные, трудноразлагаемые.

Получается, что без свалок сейчас не обойтись?

Да, но бояться их не надо. Не так уж все плохо на действующих полигонах ТБО. Как всегда, проблемы начинаются там, где плохо соблюдаются технологии. Полигон ТБО, как и любое производство, нуждается в заботливом хозяине. Чтобы задержать распространение стоков, необходимо укреплять водоупорные защитные дамбы, как следует пересыпать отходы грунтом и т. д. Такие полигоны есть, и там все в порядке. В Подмосковье, например, это Хметьево. Уверен, что негативное общественное мнение о полигонах ТБО вызвано тем, что многие из них работают выше пределов своих возможностей. А главная беда — это стихийные свалки.

Все больше специалистов соглашается с тем, что полигоны ТБО должны быть реабилитированы в глазах общества, — но только те, где работают по схемам, а не просто сваливают мусор. А кроме того, необходимо улучшать существующие технологии. Нужно учитывать, что грунт везде разный, различаются условия дренажа, состав мусора. Предстоит еще выяснить, как лучше его уплотнять, до какого состояния и как тратить те минимальные деньги, которые все же отпускают на сортировку, чтобы на полигоны не попадали опасные вещества в запределных концентрациях.



Все нынешние способы предусматривают механическую переработку мусора. Можно ли каким-то образом воздействовать на сами процессы разложения?

К этому я и хотел перейти. У специалистов-микробиологов появилась идея: рассматривать полигоны ТБО как искусственно-природные системы, биореакторы. Почему биореакторы? Потому что в толще мусора идут биологические процессы, работают макро- и микроорганизмы, и осуществляются закономерные, последовательные реакции, приводящие к деструкции органических веществ. Одновременно идут химические реакции, физико-химические процессы, уплотнение, изменение влажности, создание определенных слоев, газовых полостей и т. д. В результате (в идеале,

Слой отходов на полигонах ТБО после уплотнения переслаивают грунтом



ТЕХНОЛОГИЯ И ПРИРОДА

конечно) вся органика превращается в углекислый газ, который уходит в атмосферу, а остальное вещество (металлы, стекло и другие минеральные фракции разного размера и формы) уплотняется, и потом на этой территории опять можно складывать мусор. Или разрыть его остатки и снова рассортировать — может быть, какие-то компоненты будет уже проще превратить в полезные вторичные продукты. Таким образом, современный полигон — это природно-искусственный биореактор. И коль скоро в нем работают микроорганизмы, этими процессами можно управлять, то есть создать биотехнологию.

Разложение органики происходит и в природе. Можно ли использовать ее «технологии»?

Достаточно хорошо описаны процессы, происходящие в донных осадках пресных водоемов. Как правило, в их верхних слоях — аэробный режим, а немного ниже начинается анаэробноз. Сначала там идет брожение, работают микроорганизмы — факультативные анаэробы. В аэробной фазе они тратят весь кислород, который им доступен, а затем переходят к брожению: все органические полимеры — углеводы, белки — превращают в летучие жирные кислоты (к ним относятся уксусная, масляная, пропионовая) и спирты — в то, чем пахнет силосная яма. А кроме того, при брожении выделяется много водорода. После этого начинают работать другие группы бактерий: гомоацетатные бактерии, образующие уксусную кислоту из водорода и CO_2 , а в конце — самая мощная группа, метаногены. Это отдельная группа микробов, они относятся к археям и живут в строго анаэробных условиях. Археи — древние безъядерные клетки (прокариоты), их раньше относили к бактериям, а сейчас они имеют равную таксономическую позицию с бактериями и эукариотами (имеющими ядро). Это очень интересные живые существа — археев исследуют генетики, их ищут на Марсе. У нас на Земле они выделяют метан, который

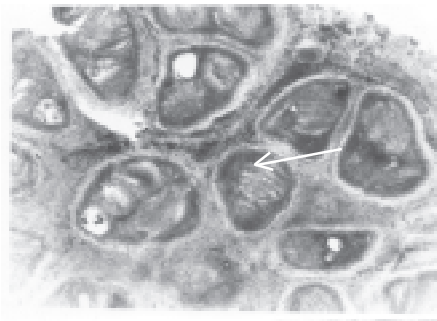
вместе с углекислым газом поступает из донных осадков в водную толщу и там постепенно окисляется другой группой микроорганизмов. У них похожее название — метанотрофы, то есть питающиеся метаном. Это истинные бактерии, строгие аэробы, им нужен кислород, и весь этот метан они постепенно окисляют и превращают в CO_2 и в собственную биомассу.

Что же происходит на полигоне ТБО, например в Хметьево? Слой уплотненного мусора в три метра толщиной засыпают прослойкой грунта. Потом опять идут три метра ТБО, снова засыпка и так далее. Мусор перебраживает, разлагается, и в результате из трех метров остается примерно один. При разложении образуется метан вместе с углекислотой и уходит в атмосферу, потому что засыпка слишком тонкая и метанооксиляющие бактерии в ней не способны справиться с его потоком, идущим снизу.

Многие климатологи сейчас очень озабочены выделением метана, ведь это один из парниковых газов. Получается, что на полигонах тот углерод, который мог бы превращаться в углекислый газ, выделяется в виде метана...

Когда начались дискуссии о парниковом эффекте, встал вопрос, как же мы будем бороться с метаном. Первое, что в таких случаях всегда произносят так называемые «экологи» (экоактивисты, или «зеленые» активисты), — закрыть полигоны. Им в общем-то все равно, куда девать мусор, их это не интересует. Точно так же они выступают против мусоросжигательных заводов. Но кому-то другому думать об этом приходится.

Интересное решение придумали в некоторых западных странах, где тратят большие деньги на полигоны, — там метан собирают. Тело биореактора пронизывают трубами с перфорацией, из них откачивают метан, но его не просто удаляют, а используют для получения электричества. Тут надо вспомнить, что в Бирме, Южной Индии, Южном Китае из растительных отходов делают биогаз — основной источник энергии в сельской местности. Тратить его на отопление домов там не требуется, но можно сжигать, чтобы готовить пищу. Добывать биогаз просто: взял солому, навоз, положил в бак — и больше ничего не надо. Полигон тоже производит достаточно метана для выработки тепла и электро-



Электронная фотография метанотрофных бактерий. Мембранные структуры, на которых происходит окисление метана, указаны стрелкой

энергии. Но у нас слишком холодно, чтобы эта технология работала круглый год, и получается дорого, а кроме того, у нас есть природный газ и метан пока нам не так уж и нужен.

Еще вариант — поступить наоборот: прекратить анаэробные процессы и запустить аэробные. Для этого нужно установить компрессоры и продувать тело полигона воздухом. Тогда в нем будут развиваться аэробные организмы и окислять органику до конца, до углекислоты. Идея интересная, перспективная. Владимир Ефимович Мурашов, замдиректора ГУПа под названием «Промотходы», применил и подробно описал этот способ в кандидатской диссертации. Он выглядит достаточно эффективным, но пока не используется.

В нашем институте решили попробовать еще один метод. Мы подумали: «Что, если оставить мусор разлагаться без всяких труб, без кислорода, но при этом как-то по-другому, без больших затрат воздействовать на микроорганизмы? Тогда мы сможем создать управляемый реактор, который будет работать как единый организм или как замкнутая экосистема. Пусть там образуется метан. Это нормальный процесс, и мы не будем с ним бороться. Больше того, мы будем его ускорять разными приемами, чтобы деструкция происходила быстрее. Но над толщей разлагающегося мусора мы создадим верхние покровные слои, которые будут удалять метан, словно в природной экосистеме. Сделаем, например, как в водоеме, где одни организ-

мы вырабатывают метан, а другие потребляют. Такова была наша идея.

Однако любую идею должны воплощать в практику не только ученые, но и администраторы, политики. Мы обратились к депутату Московской городской думы Ивану Юрьевичу Новицкому, которому наше предложение понравилось. Он написал официальное письмо в Московский комитет по науке и технике о том, что неплохо бы провести опытные работы — как лабораторные, так и непосредственно на полигоне, — чтобы отработать конструкцию такого замкнутого организма и способы воздействия на него. Другими словами, создать полигон ТБО нового типа. Генеральный директор МКНТ, Владимир Григорьевич Систер, заинтересовался этим предложением и поддержал два проекта. Исполнителем одного стал наш Институт микробиологии, а второго — Институт физиологии растений, тоже академический. Сотрудничество двух этих учреждений было принципиально важно, потому что такая биотехнология осуществляется не в колбе, не в чане, а в природном теле и нужно следить за всеми его компонентами.

Какие специалисты нужны для работы над этими проектами?

Для человека, который привык рассматривать задачу с разных точек зрения, очевидно, что такая биотехнология может быть хороша, если она приближена к каким-то природным моделям и работать над ней будет не только химик, или только технолог, или только микробиолог. Задачу удастся решить, когда за нее возьмутся все вместе: химики, и технологи, и микробиологи, и, конечно, специалисты по физиологии растений. Они помогут создать «кожу» — тот покров, который будет улавливать метан. Тут будут трудиться не только микроорганизмы, но и растения, и это уже будет не грунт, а почва. Растения пронизут грунт корнями, разрыхлят его, и в этой дисперсной системе увеличится площадь поверхности для обитания микроорганизмов — это и корневые волоски, и мелкие почвенные частицы. На каждой из них будут работать микробы. А если рыхления нет, то грунт уплотняется, слипается и разложение тормозится.

Теоретически все понятно, но для перехода к практике нужна конкретная научная работа — например, чтобы выбрать растения с корневой системой, устойчивой к метану. Кроме того, к нему должны быть устойчивы микробы-симбионты, живущие на корнях. В-третьих, хотелось бы, чтобы об-

Интенсивность выделения газов с поверхности полигона ТБО измеряют с помощью специальных камер



становка, которая создается потоком газа, стимулировала развитие всей этой экосистемы. А для этого нужны лабораторные и полевые испытания.

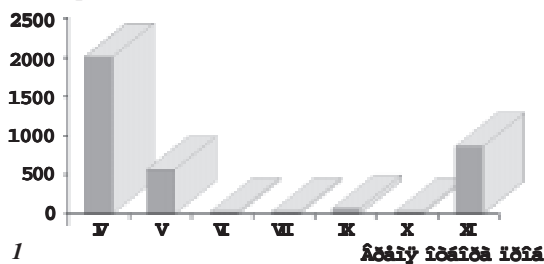
Нужно ли выращивать «полезных» микробов и добавлять их в мусор?

Микробов в тело полигона вносить не нужно, они там появляются сами — это догма природоведческой микробиологии. Почва всегда содержит практически все микроорганизмы. Некоторые отлучили в ней растут, а другие «спят» и ждут, когда что-то изменится. И вот если в почву внести какое-то вещество, те микробы, которые хорошо его усваивают, начнут размножаться. Значит, и нам нужно подобрать подходящие органические и неорганические вещества, определить их количество, кратность внесения и добавлять в тело полигона. Желательно брать не те, которые стоят дорого, а дешевые или вообще ничего не стоящие отходы.

Прежде всего это активный ил с полей аэрации, содержащий метаногены и множество веществ, стимулирующих начальную стадию разложения. Годятся и отходы биотехнологических производств, такие, как молочная сыворотка. Я бы сравнил их со щепками при разжигании костра. Как мы разжигаем костер? Подкладываем щепочки и машем. Огонь сначала разгорается плохо, перестанем махать — пламя гаснет. И вдруг в какой-то момент оно вспыхивает, и его уже не нужно поддерживать. С биореакторами тоже так бывает: процесс долго не идет, а потом неожиданно запускается — это можно заметить и по расходу сырья, и по выделению продукта. Так вот, на полигонах самое главное — уменьшить латентную стадию, при которой мусор лежит и разлагается очень медленно. Органика послужит запалом, создаст самую первую вспышку, как сухая щепка в костре.

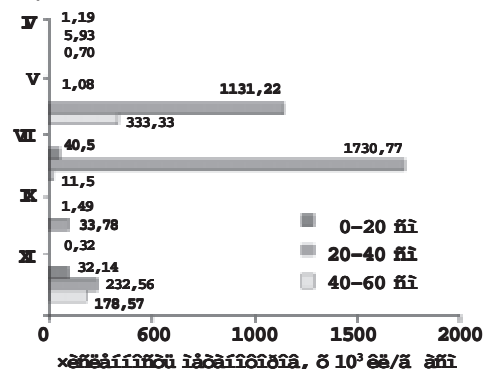
Второй компонент — это малоочищенные минеральные удобрения, которые содержат всем известные биогенные

Изменение потока метана с экспериментальной площадки действующего полигона ТБО



1 Сезонные изменения потока метана с экспериментальной площадки действующего полигона ТБО

Численность метанотрофных бактерий в покровном грунте полигона ТБО в различные сезоны



2 Численность метанотрофных бактерий в покровном грунте полигона ТБО в различные сезоны

элементы: азот, фосфор, калий и другие, нужные микроорганизмам для обильного роста. Правда, в отходах, содержащих много органики, азота и фосфора хватает, но они находятся именно в органической фазе, а в насыпанных прослойках этих элементов мало. Они не сразу туда просачиваются, и если добавить удобрения — не те, что везут на поля, хорошо очищенные, а самую дешевую фракцию — все пойдет намного быстрее.

Кстати, внесение известки — тоже способ управления сообществом микробов, поскольку оно изменяет pH среды. Можно досыпать в реактор известняк, а можно — дешевую доломитовую крошку, карбонат калия и магния. Так возможно управлять реакциями, протекающими в биореакторе.

Как можно контролировать ход разложения органики?

Стандартных способов контроля пока нет. Ученые проверяют состав микробного сообщества, степень и скорость уплотнения. При бурении тела полигона вынимают также фракции мусора и смотрят, в каком они виде, разложились или нет. Ставят газовые колпаки, чтобы улавливать метан и измерять, сколько его выделяется. Как правило, это делали на уже рекультивированных полигонах. Ну а для обыкновенного человека критерий должен быть эстетический: чтобы после закрытия полигона не осталось ни плохих запахов, ни отвратительного пейзажа. Не стоит обольщаться: в ближайшие после рекультивации десять лет не может идти речи ни о строительстве на этой территории, ни о сельском хозяйстве. А вот выращивать елки на Новый год — почему бы и нет.

Такие работы уже ведутся, и сейчас проекту два года. У нас есть патентная заявка на создание технологии верхнего защитного фильтра, в котором будут работать метаноокисляющие микроорганизмы. Проект не закончен, и растения еще не подобраны. Но мы уже учимся управлять защитной «кожей» биореактора и процессами, которые идут внутри него. А это — микробные процессы.

Вероятно, даже после того, как разложится вся органика, в остаточных фракциях все-таки останутся некоторые загрязнения и медленно разлагающиеся полимеры.

Да, эта проблема пока не решена. Сейчас любой городской мусор с улиц содержит тяжелые металлы от автомобилей. Детали трутся, и образуется металлическая пыль, которая посыпает придорожный грунт, а при уборке попадает на свалку. Часть металлов растворяется, уходит в личаты. Дело еще в том, что при брожении образуются кислоты, из которых основные — молочная и уксусная. Из-за них подвижность тяжелых метал-

лов повышена, хорошо это или плохо. Хорошо ли, что они остаются на месте, или в растворе их легче будет поймать?

Это очень серьезная проблема, и пока трудно себе представить, как можно сделать процесс очистки личатов замкнутым. По идее, конечно, на полигонах должна быть полная система дренажа, и всю жидкость, которая оттуда выливается, нужно очищать. Необходимо создать очистные сооружения, использующие комплексные технологии.

Возможно, тяжелые металлы удастся нейтрализовать, хотя бы частично. В щелочной среде они образуют малорастворимые гидроокиси, и, чтобы создать такую среду, можно добавлять известняк. Кроме того, в анаэробных условиях будет образовываться сероводород и связывать ионы тяжелых металлов, а сульфиды начнут выпадать в осадок.

Одно можно сказать с уверенностью: монотехнология при очистке, основанная только на одном приеме, например осаждении чего-то, — это утопия. Должна быть технология-трансформер из нескольких процессов, которые можно комбинировать в зависимости от того, какие отходы нужно перерабатывать. А переработка личатов необходима, никуда не денешься.

И.Ю.Новицкий: «УТИЛИЗАЦИЯ МУСОРА — КОМПЛЕКСНАЯ ПРОБЛЕМА»



Расскажите, пожалуйста, о том, как экономические проблемы вывоза и переработки мусора соотносятся с научными и природоохранными.

Я бы начал с нашей новейшей истории. В начале 90-х экономика вошла в противоречие с экологией, и вот почему. В 80-е годы вывоз мусора, как и все остальное в те времена, происходил централизованно. Определяли места под полигоны, и технологии там в общем соблюдались. В 90-е годы хозяйствующие субъекты получили самостоятельность. Это привело к тому, что каждая городская ДЕЗ начала сама заключать договора на вывоз мусора. А в Подмосковье районные и городские власти стали организовывать свои небольшие свалки, чтобы получать за это деньги. Понятно, что у них не было средств, чтобы делать все по правилам, как на хорошо оборудованных полигонах. Мусор просто сваливали где-нибудь в старом карьере, нередко — в лесопарковой защитной полосе. Куда потекут стоки из этих карьеров, оборудован ли там дренаж и соблюдаются ли технологии — никого не волновало. Московским коммунальщикам это тоже оказалось на руку: мусор можно было везти не за 100 км, а за 20–30. Поскольку транспор-



ТЕХНОЛОГИЯ И ПРИРОДА

тные расходы составляют основную долю затрат по вывозу твердых бытовых отходов, экономия получалась заметная. И все были довольны, однако никто не думал ни о природе, ни о местных жителях. При этом настоящие полигоны несли убытки. Так было в неорганизованные 90-е годы. Потом и московские, и подмосковные власти обратили на это внимание, и стихийные свалки начали закрываться.

В целом это хорошо, потому что соблюдать технологии можно только на крупном, оснащенном предприятии, то есть на полигоне. Там легче использовать современное оборудование и даже, как мы видим, разрабатывать биотехнологии. Однако нужно помнить, что проблема мусора — комплексная, для ее решения требуются и инженерные подходы, и юридические, и экономические, и, конечно, научные, о которых говорилось выше.

Экология здесь напрямую связана с экономикой. Чтобы не наносить ущерба природе, приходится затрачивать больше средств. Новые территории под полигоны рядом с городами не появятся, значит, нужно или вывозить мусор дальше, или строить мусоросжигательные заводы, или налаживать сортировку. А чтобы оснастить полигон или завод хорошим оборудованием, необходимы инвестиции. Особая проблема — радиоактивные, опасные и медицинские отходы, которые также нужно захоронить, сжигать или уничтожать по особым технологиям.

Вывозить мусор из контейнеров выгоднее на маленьких машинах, они более экономичны, и ездить по городу на них проще. ТБО надо доставлять на станции, расположенные на окраинах, и там проводить перегрузку, прессовку, сортировку. Часть отходов пойдет на переработку, сжигание, на утилизацию. А часть (органику, например) можно большими грузовиками отправлять на полигоны.

В общем, утилизация мусора — комплексная проблема, для решения которой требуются и биология, и химия, и физика, и экология, и экономика, и логистика, и юриспруденция, и другие науки.

