

УДК 628.4

**Я.И. Вайсман**

Пермский государственный технический университет

## **ОСНОВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ СНИЖЕНИЯ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ НАГРУЗКИ НА ОКРУЖАЮЩУЮ СРЕДУ И НАСЕЛЕНИЕ ПРИ ПОЧВЕННЫХ МЕТОДАХ ОБЕЗВРЕЖИВАНИЯ ТВЕРДЫХ БЫТОВЫХ ОТХОДОВ**

Рассмотрены основные виды воздействия твердых бытовых отходов (ТБО) на объекты окружающей среды (атмосферный воздух, вода, почва) и население при почвенных методах обезвреживания отходов. Приведены основные показатели вредности, характеризующие неблагоприятное воздействие загрязняющих веществ. Определены природные, технические и организационные факторы, учет которых позволяет обеспечить необходимую эффективность защитных мероприятий и снизить экологическую нагрузку на окружающую среду и население при использовании почвенных методов обезвреживания ТБО.

**Ключевые слова:** твердые бытовые отходы, управление отходами, почвенные методы обезвреживания отходов, экологические риски.

Актуальность снижения экологической нагрузки на объекты окружающей среды и население при использовании почвенных методов обезвреживания твердых бытовых отходов (ТБО) определяется тем, что при сложившейся в нашей стране практике в настоящее время систематически в значительных объемах эти отходы размещают на свалках вне полигонов или иных санкционированных, оборудованных необходимой инженерной инфраструктурой, мест захоронения в силу различных, часто трудно преодолеваемых обстоятельств. Основной причиной является отсутствие в пределах транспортной доступности или экономической возможности использования современных полигонов захоронения или иных экологически безопасных объектов утилизации и обезвреживания отходов. Важными факторами при этом являются неудовлетворительный уровень контроля, несовершенная нормативно-правовая база, а также низкая экологическая грамотность и сознание населения [1, 2].

Известно, что размещение ТБО в почве без соблюдения требований санитарно-эпидемиологических и экологических норм

и правил в силу особых свойств и качеств этих отходов приводит к высокой экологической нагрузке на объекты окружающей среды и население и характеризуется большой вероятностью (выше приемлемой) возникновения и тяжестью последствий экологических и санитарно-эпидемиологических рисков и значительными экономическими издержками по ликвидации этих последствий [1].

Анализ морфологического и вещественного состава современных ТБО, а также их санитарно-гигиеническая и эпидемиологическая характеристика, составленная на основе многолетних исследований, проведенных на кафедре охраны окружающей среды Пермского государственного технического университета совместно с Академией коммунального хозяйства им. К.Д. Памфилова в различных крупных, средних и малых населенных пунктах России (Москва, Санкт-Петербург, Нижний Новгород, Пермь, Екатеринбург, Березники, Кунгур, Чайковский и др.) [1, 4, 5], свидетельствуют о том, что при всем разнообразии состава и свойств ТБО они содержат ряд присущих им всем загрязняющих компонентов (химических, биологических, физических). Несмотря на то, что их набор и количественное содержание широко варьируют, все ТБО независимо от крупности населенного пункта, других особенностей (климато-географических, этнических, экономических и иных) характеризуются наличием солей тяжелых металлов, иных токсикантов, канцерогенов, дурнопахнущих веществ, возбудителей широкого спектра инфекционных заболеваний, патогенных простейших, яиц гельминтов, радиоактивных веществ [1, 2].

Общими свойствами ТБО являются биологическая нестабильность, влажность (особенно органической фракции), привлекательность для насекомых, грызунов, птиц, мелких животных, для которых они являются кормовой базой.

Входящие в состав ТБО органические вещества легко разлагаются при плюсовых температурах, выделяя при этом дурнопахнущие газы – аммиак, сероводород, индол, скатол, а также метан и жидкости, содержащие продукты неполного разложения сложных органических соединений. Многие из этих продуктов ядовиты. Это приводит к загрязнению атмосферного воздуха, почвы, воды.

В тех случаях, когда ТБО высыхают, образуется пыль. Часто в пыли содержатся токсические вещества, яйца глистов, патогенные микроорганизмы. Пыль легко развеивается, загрязняя прилегающие территории.

Беспорядочно сваленные ТБО, окруженные роем насекомых, стаями птиц, грызунами (мыши, крысы), мелкими животными, разлагающиеся с выделением неприятных запахов, оскорбляют эстетические чувства. На этом фоне трудно воспитывать у населения положительное отношение к чистоте и содержанию населенных мест в образцовом порядке.

ТБО представляют большую опасность в эпидемиологическом отношении, так как они являются хорошей средой для выживания и размножения возбудителей таких болезней, как дизентерия, инфекционный гепатит, полиомиелит, брюшной тиф, холера, туберкулез, сибирская язва и многие другие. Сроки выживаемости патогенных микроорганизмов в различных фракциях ТБО существенно отличаются. Так, холерный вибрион выживает в содержимом выбросов от 7 до 15 сут., палочка брюшного тифа в кухонных отходах и квартирном смете – 4–6 сут., дизентерийная палочка в кухонных отходах – 5 сут., в квартирном смете – 24 сут., палочка сибирской язвы в квартирном смете – до 80 сут., палочка паратифа в кухонных отходах – 24 сут., в квартирном смете – до 107 сут. [1,2].

Кроме возбудителей инфекционных заболеваний, ТБО также содержат яйца гельминтов. Особенно много их находят в квартирном смете, содержимом выгребных ям. Наиболее распространены яйца геогельминтов, для которых пребывание в почве является одной из обязательных стадий развития. С ТБО яйца геогельминтов попадают в почву, где они развиваются до стадии зрелого яйца с подвижной личинкой (инвазионная стадия), а затем с овощами, водой, пылью, мухами попадают к человеку, в организме которого происходит их созревание. Наиболее часто встречаются в ТБО яйца аскарид, остриц, власоглавов, рыбного, бычьего и свиного солитеров. Через ТБО может также распространяться сальмонеллез.

ТБО являются подходящей средой для развития мух. Наиболее часто в качестве переносчиков возбудителей инфекционных заболеваний и глистных инвазий являются: комнатная муха (*Musca domestica* L), домовая муха (*Musca stabulans* F); базарная муха (*Musca Sorbens* Wd). Мухи переносят яйца глистов на загрязненных лапках и хоботках, а также распространяют их через свои испражнения и отрыжку, оставляемые в виде пятен на разных предметах. Известный гельминтолог С.А. Альф приводит данные о том, что 10 наблюдаемых мух за 20 ч унесли из отбросов на частях своего тела 400 личинок глистов.

Патогенные микробы живут в организме мух от 2 до 8 дней. Мухи распространяют их механическим путем (стряхиванием с поверхности лапок, крыльев, головки) и с выделениями из кишечника [8].

Особенно велика роль ТБО в размножении грызунов (мыши, крысы) и птиц (вороны, чайки и др.), которые находят здесь пищу и место обитания. Грызуны и птицы переносят возбудителей инфекционных заболеваний и глистных инвазий не только людей, но и животных.

Прямой контакт с ТБО представляет опасность для здоровья человека и ухудшения санитарных условий жизни. При размещении ТБО на почве в несанкционированных местах без необходимой для нормативного захоронения отходов инженерной инфраструктуры, обеспечивающей экологически безопасное обращение с ними, возможен их контакт с атмосферным воздухом, водой водных объектов (поверхностных и подземных), почвой, животным и растительным миром и, что особенно важно, с населением. Эти прямые или опосредованные контакты в зависимости от местных условий (климатических, геологических, гидрогеологических и гидрологических, плотности и видового разнообразия животного и растительного мира, плотности населения и др.), количества и качества ТБО могут оказаться неблагоприятными для объектов окружающей среды и населения.

Обычно ТБО комплексно воздействуют на население и основные среды – атмосферный воздух, воду и почву, растительный и животный мир, но в ряде случаев воздействие может оказаться неблагоприятным только для одной или нескольких сред. Такое воздействие может привести к изменению одного или ряда показателей состояния окружающей среды в целом или отдельных сред.

Для оценки влияния ТБО выделяют шесть основных показателей вредности, характеризующих неблагоприятное воздействие загрязняющих веществ на объекты окружающей среды: органолептический; общесанитарный; фитоаккумуляционный (транслокационный); миграционно-воздушный; миграционно-водный; санитарно-токсикологический [7].

Органолептический показатель вредности позволяет оценить изменение свойств и качества объектов окружающей среды с помощью органов чувств (зрение, обоняние, вкус) или аналитических методов (анализаторы цвета, прозрачности, запахов

и т.д.). Органолептически оценивается изменение под влиянием загрязняющих компонентов ТБО: запаха, привкуса, цвета, действия на слизистые оболочки человека атмосферного воздуха; запаха, привкуса, цветности, необычной окраски (цвета) грунтовых и поверхностных вод; цвета и запаха почвы; запаха, привкуса и пищевой ценности растений, выросших на загрязненной ТБО почве.

Общесанитарный показатель вредности характеризует качественно и количественно степень изменения основных процессов биологической активности и самоочищения почвы от загрязняющих экзогенных химических веществ (ЭХВ).

Фитоаккумуляционный (транслокационный) показатель позволяет оценить миграцию ЭХВ из почвы, загрязненной компонентами ТБО, в растения, которые могут быть использованы в качестве пищевых продуктов для населения и корма для скота. При этом важно отметить, что оценивается содержание ЭХВ не во всей массе растения, а только в тех частях, которые относятся к товарной массе [7].

Миграционно-водный показатель характеризует процессы переноса ЭХВ с отжимной водой (фильтратом) и поверхностным стоком (ливневая вода) с ТБО в грунтовые, подземные и поверхностные воды.

Миграционно-воздушный показатель вредности позволяет оценить перенос ЭХВ в атмосферный воздух с выделяющимися из ТБО газами, испарениями, пылью.

Санитарно-токсикологический показатель характеризует вредное воздействие (прямое или опосредованное) ЭХВ ТБО на здоровье и санитарные условия жизни человека, животных и растений.

Для предотвращения возможного неблагоприятного воздействия загрязняющих компонентов ТБО на объекты окружающей среды и население при размещении отходов в почве важно при выборе мест размещения, методов и технологий обращения с отходами оценить способность почвы к самоочищению от ЭХВ-загрязнителей и биологического загрязнения (патогенные микроорганизмы и простейшие), а также ее способность к переработке и обезвреживанию органических отходов.

При оценке самоочищающей способности почвы важно учитывать, что она состоит из косной (минеральной и органической) и живой (биомасса микробов, простейших, личинок насекомых, червей, плесени, вирусов, бактериофагов) частей. Продукты вы-

ветривания горных материнских пород составляют минеральную часть почвы. Характер и интенсивность процессов самоочищения почвы во многом зависит от механического состава почвы – содержания частиц различной крупности: гальки; щебня крупного и мелкого; песка крупного, среднего и мелкого; пыли крупной, средней и мелкой; ила (глинистых частиц).

По соотношению глинистых частиц и песка почвы подразделяют на песчаные, глинистые и суглинки (тяжелые, средние, легкие).

Песчаные почвы, содержащие не менее 40 % среднего песка и менее 3 % глин, отличаются крайне высокой водопроницаемостью, рыхлостью, неспособностью удерживать и сохранять влагу, характеризуются слабой поглощающей способностью газов.

Крупная пыль способствует улучшению, водного режима, создает условия равномерной влажности, необходимой для развития микроорганизмов и растений.

Илистые частицы (глина) по своему строению близки к коллоидам. Почвенные коллоиды – наиболее активная часть почвы, в них сосредоточена большая часть питательных веществ. От почвенных коллоидов зависят поглощательная способность, структура, водный и воздушный режимы и т.д.

Органическая часть почвы состоит из частично разложившихся остатков растений, животных, продуктов их жизнедеятельности. Органическое вещество почвы представлено почвенным перегноем (гумусом). В почве содержатся газообразные вещества – кислород, азот, аммиак, углекислота, сероводород, метан и многие другие. Вода в почве находится в виде почвенного раствора и паров.

Гумус является основным источником азотного питания растений и формирует структуру почвы, а также влияет на ее воздушный, водный и тепловой режим.

Кроме механического состава почвы важное значение имеют и такие ее морфологические признаки, как строение (горизонты или слои), мощность (глубина почвообразовательного процесса от поверхности земли до неизменной материнской породы), сложение (порозность и плотность), структура (величина и форма комочков, на которые она способна распадаться – крупитчатая, зернистая, комковатая, ореховая, призматическая, столбчатая и мучнистая), цвет (ржавый – при хорошей аэрации, сизый – характерный для процессов заболачивания, бурый – при анаэробных условиях, черный – при хорошей аэрации, достаточной влажности и нейтральной среде).

Механический состав и морфология определяют физико-химические свойства почвы, которые имеют решающее значение в процессах минерализации органических отходов, поступающих в почву. Учет этих свойств и применение соответствующих технических мероприятий позволяют устранить неблагоприятные условия и использовать почву как среду для обезвреживания отходов.

Большое значение при протекании процессов самоочищения почвы от внесенных в нее экзогенных загрязнений в составе ТБО имеют ее воздушный и водный режимы.

Воздушный режим почвы характеризуется объемом воздуха, находящегося в ее порах. Пористость и воздухопроницаемость зависят от структуры и сложения почвы: чем меньше структурные единицы и чем рыхлее почва, тем выше пористость и воздухопроницаемость. Воздушный режим почвы можно регулировать, изменяя ее сложение и структуру механической обработкой (вспашка, рыхление, уплотнение).

Проницаемость почвы для воздуха зависит исключительно от величины ее частиц, а не от общего объема пор. Чем частицы крупнее, тем, при прочих равных условиях, легче и в больших количествах проходит воздух. Если воздухопроницаемость мелкого песка принять за 1, то у среднего песка она составляет 30, у крупного – 950, у мелкого и среднего щебня – соответственно 5000 и 10000 ед.

Почвенный воздух характеризуется меньшим содержанием кислорода (12–14 %) и большим содержанием углекислоты (6–8 %) по сравнению с атмосферным воздухом. На свалках содержание  $\text{CO}_2$  в почвенном воздухе достигает 30 %, а количество кислорода снижается до 2–5 %. Содержание метана в почвенном воздухе на загрязненных участках увеличивается до 21 %, а водорода – до 27 % [10].

Обмен между почвенным и атмосферным воздухом происходит при повышении и падении барометрического давления, нагреве и охлаждении поверхности почвы, атмосферного воздуха, рытье котлованов, траншей. Почвенный воздух с высокой концентрацией вредных веществ может вызывать загрязнение приземного слоя атмосферы, находящегося в зоне дыхания человека. Он проникает в подвальные помещения и другие подземные сооружения. В этих случаях при больших концентрациях загрязняющих веществ возможно неблагоприятное влияние почвенного воздуха на здоровье и санитарные условия жизни населения.

Воздушный режим почвы определяет интенсивность и направление основных химических (восстановительных или окислительных) и биохимических микробиальных (анаэробных или аэробных) процессов. Воздействуя на воздушный режим, можно управлять процессами разложения органических компонентов ТБО в почве. Так, при укладке ТБО тонким слоем (не более 1,5–2,0 м) на поверхности почвы с открытыми боковыми откосами и установкой аэрационных труб с отверстиями в слое отходов можно обеспечить достаточный приток воздуха в слой отходов для обеспечения аэробных условий [6].

Водный режим почвы определяется влагоемкостью, водопроницаемостью, капиллярностью и гигроскопичностью. Влагоемкость в рыхлых почвах достигает 40–50 %, в плотных – около 30 %. Водопроницаемость оценивается как пропускная способность влаги за определенный промежуток времени. Глинистые, бесструктурные почвы пропускают воду очень медленно, плотные глины практически водонепроницаемы. Почвы зернистой, комковатой структуры, песок пропускают воду быстро.

Капиллярность почвы характеризуется поднятием влаги по капиллярам почвы и испарением ее за определенный промежуток времени. Почвы с плотной структурой, с сильно развитыми капиллярами, типа глины, способны быстро иссушаться. Зернистые, структурные, песчаные почвы иссушаются медленно.

Гигроскопичность характеризует способность почвы удерживать влагу и конденсировать пары воды на поверхности ее частиц. Гигроскопичность при прочих равных условиях тем выше, чем больше в почве гигроскопичных солей, мелких структурных и коллоидно-распыленных частиц перегноя. Крупнопесчаные почвы обладают меньшей гигроскопичностью.

Водный режим можно изменять путем механической обработки почвы, регулируя влажность, водопроницаемость, капиллярность, гигроскопичность (рыхление, прикатка, уплотнение, внесение перегноя, гигроскопичных солей и т.д.).

При размещении отходов на поверхности почвы можно управлять их влажностью путем устранения избыточной влаги путем устройства дренажных систем, устройства водонепроницаемого перекрывающего слоя для исключения попадания в слой отходов атмосферных осадков. При недостаточной влажности отходов производится их орошение.

Грунтовые воды, залегающие на глубине более 1,5–2,0 м от поверхности, не влияют на водный режим почвы. Если глубина залегания грунтовых вод меньше 1,5 м, то возможно подтопле-



ние или даже затопление поверхности почвы. В этих случаях изменяются условия заполнения пор водой, и почва может приобрести болотные или полуболотные свойства. В данных условиях возможно проникновение водорастворимых соединений из ТБО в грунтовые воды и их загрязнение. Особенно велика вероятность попадания этих загрязняющих соединений при установившейся гидравлической связи грунтовых и более глубоких подземных вод.

Атмосферные осадки в виде дождя и ливневой воды после таяния снега проникают из верхних слоев почвы в глубину. При этом происходит всасывание влаги и обогащение ею почвы. В зависимости от способности пропускать воду почвы принято делить на три группы.

К первой группе относят бесструктурные, иловатые, плотные почвы. Из-за малой водопроницаемости, слабо выраженной пористости и обильной капиллярности таких почв, выпавшая влага будет находиться на их поверхности. В сухой период влага сильно испаряется.

Почвы второй группы – крупнозернистые и рыхлые – обладают большой водопроницаемостью и средней испаряемостью.

Почвы третьей группы – структурные – характеризуются хорошей водопроницаемостью, так как укладка структурных единиц (комочков) такова, что из пор разного диаметра образуются капилляры с искривленным направлением. Это создает сопротивление в капиллярах, регулирует скорость движения влаги сверху вниз и улучшает впитывание влаги каждым комочком. Комковатые, зернистые, ореховатые почвы обладают меньшей испаряемостью по сравнению с почвами первой и второй групп. В результате почвы третьей группы находятся в условиях наилучшего водного режима. Они не страдают от избытка влаги, так как она легко уходит вглубь, и не иссушаются при отсутствии осадков.

Поглотительная способность почвы проявляется как способность задерживать влагу, определенные загрязняющие вещества из почвенного раствора, переводя их в трудно растворимое состояние. Эта способность почвы аккумулировать загрязняющие вещества, например соли тяжелых металлов и др., переводя их из подвижных форм в неподвижные является, естественным барьером для проникновения этих загрязняющих веществ в водные объекты.

Наиболее поглощаемыми щелочными металлами являются калий, аммоний. Легче вымывается из почвы натрий. Чем раствор крепче, тем больше веществ из него в абсолютных цифрах, но меньше в процентном отношении поглощает почва. Са и Mg поглощаются меньше К и Na, так как их в почве всегда содержится больше. Фосфорная кислота поглощается наиболее энергично, затем по убывающей следуют кремниевая и угольная. Азотная, серная, соляная кислоты поглощаются чрезвычайно слабо.

При поглощении почвой натрия в почвенный раствор переходят соли извести, калия, марганца. Это определяет возможность управления процессами поглощения почвой нежелательных ЭХВ, например солей тяжелых металлов, канцерогенных веществ.

Такие важные для почвы питательные вещества, как калий и фосфор, легко поглощаются и практически не вымываются за исключением небольших количеств, а аммиак энергично поглощается, минерализуется до азотной кислоты. Азотная кислота почвой не удерживается, поэтому идет вымывание нитратов и их содержится много в дренажных водах (фильтрате). Возможное загрязнение грунтовых и более глубоких подземных вод, а также поверхностных водных объектов нитратами можно существенно снизить путем использования достаточно хорошо апробированного метода – культивированием растений на площадках, расположенных по пути возможной миграции нитратов. При этом соли азотной кислоты по мере их образования поглощаются корнями растений, и вымывание происходит в меньших масштабах.

Почва способна активно в значительных объемах поглощать газы. Поглощение их почвой увеличивается с повышением давления и ослабляется с повышением температуры. Поглощение газов почвой тем больше, чем меньше ее частицы. Так, суглинистые почвы поглощают газы лучше, чем песчаные. Из составных частей почвы больше газов поглощают перегной, глина, углекислая известь, гидрат окиси железа. Наименьшую поглотительную способность имеет кварцевый песок.

Способность почвы поглощать газы позволяет немедленно уничтожить зловоние ТБО, изолировав их от наружного воздуха земельной засыпкой. Этот метод достаточно широко применяется на практике путем создания слоя грунта над слоем отходов толщиной 15–20 см. К сожалению, при этом особых требований

к свойствам и качеству грунта обычно не предъявляется. Чаще всего используются песчаные грунты или супеси, содержащие, в основном, кварц с различными примесями. Эти грунты характеризуются малой поглотительной способностью по отношению к загрязняющим компонентам выделяющихся в составе газов, образующихся при деструкции биоконвертируемых фракций ТБО.

Как показали проведенные нами исследования, целесообразно в качестве материала для пересыпки ТБО использовать хорошо структурированные почвы, содержащие глинистые частицы, гумус, а также некондиционные продукты, получаемые при компостировании ТБО. Из этих материалов, укладываемых поверх слоя ТБО, получается высокоэффективный биофильтр, способный поглощать выделяющиеся при разложении ТБО газы и очищать их от загрязняющих компонентов. При толщине слоя 30–50 см такой биофильтр позволяет очистить выделяющиеся газы от метана, сероводорода и других продуктов деструкции органических фракций ТБО.

При попадании ТБО в почву часто возникают проблемы в связи с возможной миграцией из них или аккумуляцией в почве солей тяжелых металлов. В ряде случаев важно способствовать их аккумуляции, в других – миграции из почвы в воду или биомассу растений. Привнеся в почву определенные химические соединения, можно мобилизовать или иммобилизовать определенные ЭХВ. Целенаправленным подбором реагентов-добавок можно иммобилизовать соли тяжелых металлов в почве, уменьшив возможность их вымывания дренажными водами.

ЭХВ, входящие в состав ТБО, при попадании в почву подвергаются сложному многонаправленному воздействию большого количества физико-химических и биологических факторов.

Почвенный раствор обладает повышенной избирательной способностью к растворению химических соединений. В частности, входящие в его состав экзоферменты, выделяемые многочисленной микрофлорой почвы, способствуют более быстрому и полному растворению некоторых плохо растворимых в обычных условиях соединений.

Хорошо структурированная почва, содержащая достаточно гумуса, имеет большую развитую поверхность на разделе фаз твердое, жидкое, газообразное. Это способствует более активному, чем в обычных условиях, протеканию многих физико-химических процессов.

Почва является системой с большой сорбционной емкостью. Поэтому основная масса ЭХВ, попавших в почвенный раствор, сорбируется частицами почвы.

Растворение ЭХВ и их сорбция частицами почвы являются очень важными этапами дальнейших физико-химических и биологических процессов деструкции ЭХВ и синтеза новых соединений из них в почве.

Механизм разрушения ЭХВ в почве можно представить в упрощенном виде следующим образом. ЭХВ, попадая в почву, растворяются в почвенном растворе, переносятся им к частицам почвы. Частицы почвы покрыты биологически активной пленкой, состоящей из тонкого слоя воды и биомассы микроорганизмов – облигатных и факультативных аэробов и анаэробов. Микроорганизмы могут быть заносными и задержанными почвой, а могут быть и собственно почвенными, постоянно находящимися в ней.

При контакте ЭХВ с биологически активной пленкой, окружающей частицы почвы, происходит сорбция ЭХВ и их контакт с микроорганизмами. Если ЭХВ находятся в растворенном виде и в форме, пригодной для усвоения микроорганизмами, то происходит их всасывание микробной клеткой и под воздействием эндоферментов начинается трансформация в соединения, необходимые микробу для жизнедеятельности. Если ЭХВ мало растворимы в воде и находятся в форме, не позволяющей микробу прямо их усвоить, то возможна более сложная форма взаимодействия ЭХВ и микроба. Многие виды микроорганизмов способны выделять за пределы микробного тела специальные вещества – экзоферменты, которые могут подготовить ЭХВ к усвоению: растворить, трансформировать, расщепить на более простые соединения и т.д. Биохимические процессы, развивающиеся под влиянием почвенных организмов, приводят к полному разложению органических веществ ТБО [1,2].

Животные организмы принимают участие в образовании углекислоты, способствуют проветриванию почвы, обогащают ее кислородом, улучшают ее физические свойства и структурность.

Микробные клетки в почве размножаются довольно быстро. За несколько месяцев происходит многократная полная сменяемость биомассы, которая в процессе своего роста, развития, размножения перерабатывает огромное количество органических и неорганических веществ, исчисляемое десятками тонн на 1 га [2].

Выделяют следующие основные группы почвенных организмов, принимающих участие в процессах самоочищения почвы: почвенные бактерии; почвенные грибки; водоросли; простейшие (протозоа); корненожки; нематоды; дождевые черви; тысячножки и др. Корни и другие органы высших растений, травянистых и деревьев входят в состав почвенной массы. Число и видовой состав микробов изменяются с глубиной почвы. Чем глубже почвенный горизонт, тем меньше в нем гумуса и тем меньшее количество микробов находится в нем.

Уменьшение числа микробов по глубине почвы обусловлено задерживающей и поглотительной способностью ее верхних горизонтов, которые, являясь весьма эффективным фильтром, не пропускают большинство микробов, в том числе патогенных и яйца гельминтов. Оставляя достаточно мощный слой почвы под размещаемыми на ее поверхности отходами, можно надежно исключить возможность проникновения патогенной микрофлоры в грунтовые и гидравлически связанные с ними более глубокие подземные воды. Оставляемый под отходами слой почвы является по существу мощным эффективным биофильтром и противодействует проникновению через него и ЭХВ.

В тех случаях, когда в размещаемых ТБО вероятно высокое содержание подвижных форм солей тяжелых металлов, целесообразно и относительно малозатратно создание дополнительного к почвенному естественному барьеру искусственного, в виде слоя извести толщиной 0,5–0,75 м. Вместо товарной извести можно использовать отходы из карьеров по добыче известняка, недопал, шламы после изготовления известкового молока, отходы содового производства. Такой слой достаточно эффективно обеспечит необходимую барьерную роль по защите более низко расположенных слоев почвы и грунтовых вод от проникновения подвижных форм солей тяжелых металлов.

Состав микрофлоры существенно меняется с глубиной. В верхнем слое, содержащем высокопитательные вещества, обитают аэробы, питающиеся легко растворимыми веществами. В более глубоких слоях, бедных по содержанию органических веществ, приспособились жить факультативные аэробы и анаэробы, способные питаться трудно разлагаемыми органическими веществами и жить как в кислородной, так и в бескислородной среде. Еще менее требовательны к питанию автотрофы – микробы, обитающие в глубоких слоях почвы. Они могут обхо-

даться и без кислорода, и без готовой органической пищи, так как синтезируют органические вещества из неорганических соединений.

Важнейшие группы почвенных бактерий: разлагающие клетчатку; гниlostные; азотистые; серобактерии; железобактерии; фосфоррастворяющие; душистые.

В результате работы этих бактерий углеводы распадаются на воду и углекислоту. Жиры сначала расщепляются на глицерин и жирные кислоты, которые затем разрушаются до воды и углекислоты. Белки распадаются на простейшие протеины, а затем на аминокислоты и аммиак. Сера белков переходит в сероводород, окисляющийся в серную кислоту и сульфаты, углекислота – в карбонаты, фосфор – в фосфорную кислоту и фосфаты.

Аммиак, окисляясь под воздействием нитрифицирующих бактерий, превращается в азотистую кислоту и ее соли, а затем под воздействием нитратных бактерий нитриты окисляются до азотной кислоты и ее солей – нитратов.

Загрязняющие вещества ТБО разлагаются в почве с различной интенсивностью, широко варьируются время их распада и полнота расщепления от многих условий – химической природы ЭХВ, температуры, влажности, аэрации, величины нагрузки ЭХВ на почву, наличия развитой микрофлоры, рН, отсутствия веществ бактерицидов и т.д.

При прочих равных условиях клетчатка разрушается довольно быстро большой группой микроорганизмов как в аэробных, так и в анаэробных условиях. Крахмал и сахара в почве быстро разлагаются из-за высокой питательной ценности для большинства микробов, живущих в почве. Образующийся при этом водород широко используется в аэробных и анаэробных условиях микробами для синтеза органических кислот, входящих в состав гумуса.

Разложение жиров, по сравнению с другими процессами, протекает очень медленно. На скорость разложения влияет избыточная влажность почвы. Она чрезвычайно замедляет распад. В тяжелых влажных почвах разложение жира идет медленно, а в легких сухих песчаных – сравнительно быстро. Важно наличие в почвах плесневых грибов (*Aspergillus*), которые играют главную роль в разрушении жиров.

Разрушение белков в почве протекает по-разному, в зависимости от многих условий. Очень важно, чтобы была нейтральная, а лучше слабощелочная среда (рН). При аэробных ус-

ловиях процесс нитрификации идет быстрее. Наиболее эффективна нитрификация при влажности 50–70 %. При влажности более 80 % нитрификация замедляется из-за ухудшения: аэрации и создания благоприятных условий для развития анаэробных бактерий. При температуре выше 20 °С нитрификация идет намного быстрее. Оптимальная температура для нитрификации 25–30 °С.

Кроме микроорганизмов большую роль в разложении органических веществ в почве играют животные организмы. На 1 га почвы содержится более одного миллиона простейших, на 1 м<sup>2</sup> – более нескольких десятков дождевых червей, нематод и других животных, которые активно поедают мертвые растительные и животные остатки и выделяют в почву экскременты. За несколько лет вся почвенная масса проходит через пищеварительный тракт червей, обогащаясь при этом биологически активными веществами, известью. Черви переносят органическое вещество по вертикальному профилю почвы, усредняют его содержание. Почвенные животные могут аккумулировать в себе загрязняющие вещества. Исключительно важна роль почвенных животных в формировании почвенного профиля, гумусовых слоев, структуризации почвы.

Проведенными многочисленными исследованиями процессов самоочищения почвы от вносимых в нее с ТБО загрязнений достаточно обоснованно установлено, что почва, населенная геобионтами (микро- и макроорганизмами), структурированная, аэрируемая, с благоприятным температурным, воздушным и влажностным режимом, является хорошей средой для обезвреживания органических веществ ТБО, в ней они окисляются и превращаются в простейшие минеральные и органические соединения, безопасные в санитарном отношении.

Почва считается биологически загрязненной, если в ней присутствуют возбудители инфекционных заболеваний, яйца глистов, яйца и куколки паразитирующих насекомых. Все эти биологические загрязнения могут попадать в почву вместе с ТБО. Наиболее опасным биологическим загрязнением считается занос в почву возбудителей инфекций, таких как сибирская язва, газовая гангрена, ботулизм, столбняк.

Биологическое загрязнение почвы оценивается с помощью прямых и косвенных показателей. В качестве прямых показателей используются данные о количественном содержании в пробах

почвы патогенных микробов, в качестве косвенных – содержание кишечной палочки (B.Coli) и анаэробов (содержание бактерий Perfringens). Эти бактерии являются санитарно-показательными (индикаторными) микроорганизмами, по их содержанию можно судить о присутствии или отсутствии патогенных микробов.

В качестве количественного критерия используется титр – наименьшее количество материала среды (вода, почва), в котором содержится одна кишечная палочка, или бактерия Perfringens. В соответствии с этим титр обозначается как коли-титр, или титр Perfringens. В таблице приведены показатели биологического загрязнения почвы.

### Показатели биологического загрязнения почвы [10]

Почва	Число личинок и куколок мух в 0,25 м <sup>3</sup> почвы	Число яиц гельминтов в 1 кг почвы	Коли-титр	Титр анаэробов (титр Perfringens)
Чистая	0	0	1 и выше	0, 1 и выше
Мало загрязненная	Единичные экземпляры	До 10	1,0–0,01	0,1–0,001
Загрязненная	10–25	От 11 до, 100	0,01–0,001	0,00–0,0001
Сильно загрязненная	25	Больше 100	0,001 и ниже	0,001 и ниже

Самоочищение почвы от биологического загрязнения происходит в результате того, что в незагрязненной почве всегда существует мощный биоценоз, в состав которого входит большая группа антагонистов патогенных микробов.

Антогонисты выедают патогенные микробы, уничтожают их за счет выделения антибиотиков, воздействия бактериофагов. Часто причинами гибели микробов служит недостаток питательных веществ, неблагоприятный температурный и влажностный режимы.

В загрязненной почве процессы естественного самоочищения от биологического загрязнения резко ослаблены. Это необходимо учитывать при определении приемлемых объемов размещения ТБО при почвенных методах их обезвреживания.

В почве обычно имеются благоприятные условия для развития домашней и других видов мух. Наилучший способ борьбы с мухами – исключение возможности их контакта с гниющими ТБО, так как самки мух откладывают в них огромное количество яиц. В гниющих отбросах есть все условия для разви-



тия яйца до личинок, куколок и окрыленной мухи. Самоочищение почвы от яиц, куколок и окрыленных мух происходит в результате выедания их почвенными животными организмами, а также в результате неблагоприятного температурного и влажностного режимов.

Почва является благоприятной средой для развития геогельминтов. Механизм самоочищения почвы от яиц и личинок геогельминтов аналогичен механизму самоочищения ее от яиц и куколок мух. В связи с этим важным является предотвращение попадания в почву жизнеспособных яиц глистов вместе с ТБО. Согласно теории и практике нормирования содержания ЭХВ в почве нельзя расценивать сам факт попадания ЭХВ и нахождения их в почве в виде примесей как химическое загрязнение. Для оценки такого загрязнения принято использовать количественный критерий – предельно допустимую концентрацию ЭХВ в почве (ПДКпЭХВ).

ПДКп ЭХВ – это максимальное количество вещества (в мг/кг пахотного слоя абсолютно сухой почвы), установленное в экстремальных почвенно-климатических условиях, при котором гарантируется отсутствие отрицательного прямого или опосредованного через контактирующие с почвой среды воздействия на здоровье человека, его потомство и санитарные условия жизни населения.

Если содержание ЭХВ в почве ниже ПДКп, то она не считается химически загрязненной и находящиеся в ней в этих количествах ЭХВ не представляют опасности для здоровья людей и состояния окружающей среды.

Почва считается химически загрязненной, если в ней содержится ЭХВ в концентрациях, превышающих ПДКп. Особую опасность представляют ЭХВ, способные накапливаться в почве или в почвенных организмах. ЭХВ из почвы могут поступать в организм человека не только при прямом контакте с загрязненной почвой (почвенная пыль, ручная обработка земли, игры детей на почве), но и опосредованно через загрязненные контактирующие с почвой среды (воздух, воду) и пищевые цепи (почва – растение – человек, почва – растение – животное – человек), поэтому необходимо при оценке химического загрязнения учитывать опасность вторичного загрязнения. Это относится в первую очередь к солям тяжелых металлов, канцерогенам, радиоактивным загрязняющим веществам, большой группе пестицидов.

При оценке опасности загрязнения учитываются стабильность ЭХВ в почве, скорость его разложения и продукты его распада.

Для установления факта химического загрязнения почвы ЭХВ необходимо определить его содержание. В случае, если содержание ЭХВ превышает ПДКп, почва считается загрязненной. Для контроля содержания ЭХВ в почве обычно применяются специфические аналитические методы определения. При их отсутствии можно использовать неспецифические (групповые) или косвенные методы определения.

В самоочищении почвы от ЭХВ важную роль играют температурный, влажностный и воздушный режимы, химическая природа ЭХВ, его способность к биодеструкции.

Почва обладает большими возможностями к самоочищению от ЭХВ. Основные механизмы самоочищения могут быть сведены к механическим, физико-механическим и биологическим.

Концентрацию ЭХВ в почве можно значительно снизить за счет его перераспределения по почвенному профилю (перенос дождевыми червями, перераспределение за счет поглотительных процессов в слоях почвы, механическое перемещение, перенос осадками и ливневыми водами, перенос с пылью и т.д.).

При контакте ЭХВ с почвенными частицами происходит сорбция и хемосорбция. Просорбировавшиеся ЭХВ вступают в многочисленные химические реакции восстановления, окисления, замещения, а также в более сложные процессы комплексобразования. Важную роль при этом играют микроорганизмы, выделяющие экзо- и эндоферменты, способные значительно ускорить протекание многих химических реакций на существенно более низком энергетическом уровне.

Большинство стабильных ЭХВ аккумулируются в телах микро- и макроорганизмов, особенно в тех из них, которые пропускают через себя большое количество почвы (черви), а также в растениях.

Нестабильные ЭХВ достаточно быстро разрушаются в почве. Самоочищающую способность почвы по отношению к ЭХВ можно количественно оценить по убыли загрязняющего вещества. Влияние ЭХВ на скорость и интенсивность процессов естественного самоочищения почвы считается отрицательным, если общая численность почвенных микроорганизмов основных физиологических групп (спорообразующие бактерии, грибы, актиномицеты и др.) уменьшилась более чем на 25 %, а фермента-

тивная активность почвы (инвертазная, дегидрогеназная, нитрифицирующая и др.) – более чем на 25 % относительно аналогичных показателей контрольной пробы, не содержащей этого ЭХВ [7]. Выраженные процессы самоочищения почвы, идущие с достаточно высокой скоростью и интенсивностью, позволяют почве освободиться от значительных количеств загрязнений. Вместе с тем, самоочищающая способность почвы имеет свои пределы, которые лимитируют допустимую нагрузку ЭХВ на почву. Превышение допустимой нагрузки ЭХВ на почву может привести к срыву процессов естественного самоочищения.

Интенсивностью и скоростью процессов естественного самоочищения от ЭХВ можно управлять, изменяя температурный и влажностный режимы, аэрацию, используя инокуляцию специальных видов микро- и макроорганизмов, внося биомассу растений – выращивание зеленой массы с последующим захиванием (сидерация), изменяя структуру почвы в процессе ее механической обработки (рыхление, распашка, боронование, прикатка, уплотнение, укрытие теплоизоляционными материалами и т.д.), внося в почву биогены и микродобавки и т.д.

Учет процессов самоочищения почвы от ЭХВ и управление ими позволяет осуществлять экологически безопасное размещение ТБО с использованием почвенных методов их обезвреживания. При этом важным фактором является подготовка ТБО к размещению на поверхности почвы. Эффективным является предварительное удаление на стадии сбора или сортировки ТБО из них трудно и медленно разлагаемых в почве компонентов, а также токсичных материалов. Для более успешного протекания процессов естественного самоочищения почвы целесообразно обеспечить приемлемую нагрузку отходами на определенную площадь почвы, создав необходимые условия для достаточной аэрации, поддержания оптимального влажностного режима. Важно использовать в качестве материалов для присыпки верхнего слоя отходов грунта, обладающего достаточно выраженными свойствами по сорбции газов, препятствующего доступу к привлекательным для насекомых, птиц и грызунов компонентам отходов, имеющего достаточные противодиффузионные свойства, позволяющие исключить попадание излишних количеств воды в слой отходов с атмосферными осадками.

Как показали проведенные нами исследования, эффективной является траншейная схема размещения отходов, позволяющая продлить период положительных температур в слое отходов, что способствует более эффективному протеканию про-

цессов их биохимической деструкции. Сохранение достаточно мощного слоя почвы в виде подстилающего слоя обеспечивает выполнение им барьерной функции по противодействию проникновения ЭХВ и биологических загрязнений в более глубокие почвенные слои, грунтовые и подземные воды [9,10].

Соблюдение этих достаточно легко реализуемых и экономически доступных технических и организационных мероприятий позволяет обеспечить приемлемый уровень экологически безопасного обращения с ТБО при использовании почвенных методов их обезвреживания.

### Библиографический список

1. Управление отходами. Полигоны захоронения твердых бытовых отходов / Я.И. Вайсман [и др.]. – Пермь: Изд-во Перм. гос. техн. ун-та, 2007. – 464 с.
2. Компостирование твердых органических отходов производства и потребления. Вермикомпостирование: моногр. / под ред. Я.И. Вайсмана. – Пермь: Изд-во Перм. гос. техн. ун-та. – Пермь, 2010. – 557 с.
3. Армишева Г.Т., Вайсман Я.И., Коротаев В.Н. Рециркуляция полигонов ТБО // Годичная сессия Научного совета РАН по проблемам геоэкологии, инженерной геологии и гидрогеологии, Москва, 24–25 марта 2003 г. [Сергеевские чтения]. – М., 2003. – № 5. – С. 210–213.
4. Жилинская Я.А. Рекультивация полигонов захоронения твердых бытовых отходов продуктами механико-биологической переработки отходов: дис. ... канд. техн. наук. – Пермь, 2010. – 138 с.
5. Определение морфологического, фракционного и физико-химического состава ТБО, поступающих на мусоросжигательный завод № 4 комплексного предприятия санитарной очистки «Котляково» ГУП «Экотехпром»: науч.-техн. отчет / ФГУП Академия коммунального хозяйства им. К.Д. Памфилова. – М., 2008.
6. Вайсман Я.И., Вайсман О.Я., Максимова С.В. Управление метаногенезом на полигонах твердых бытовых отходов. – Пермь: Изд-во Перм. гос. техн. ун-та, 2003. – 232 с.
7. Гончарук Е.И., Сидоренко Г.И. Гигиеническое нормирование химических веществ в почве. – М.: Медгиз, 1986. – 276 с.
8. Альф С.Л. Санитарно-гельминтологическая оценка основных санитарно-технических установок по очистке населенных мест // Тр. Гельминтолог. лаб. АН СССР. – М., 1948. – Т. 1.
9. Вайсман Я.И. О распространении бактериальных загрязнений в подземных водах // Гигиена и санитария. – М., 1964.
10. Руководство по коммунальной гигиене. – М.: Медгиз, 1962. – Т. 2. – 276 с.

Получено 19.05.2011