

ПОЧВЕННАЯ УТИЛИЗАЦИЯ СТОЧНЫХ ВОД

Shutterstock.com

На вопросы, связанные с почвенной (грунтовой) утилизацией сточных вод отвечает **Андрей Анатольевич Ратников**, руководитель контрольной комиссии, член правления НП «Проектирование инженерных систем зданий и сооружений».

Продолжение.

Начало см. «Сантехника», № 2/2013

Почва представляет собой огромный естественный биохимический реактор, в котором непрерывно протекают самые разнообразные сложные процессы разрушения и синтеза органических веществ, образуются новые неорганические соединения, происходит отмирание патогенных бактерий, вирусов, простейших, яиц гельминтов. Этот реактор – ведущее звено круговорота веществ в природе, поддерживающее мощнейшие природные циклы трансформации (азота, углерода, кислорода и прочих элементов), от которых зависит все живое на планете. Почва является главным элементом биосфера, где происходят процессы миграции, трансформации и обмена всех химических веществ на нашей планете.

Органические вещества, поступающие в почву в естественных условиях в виде остатков растений и животных, а также продуктов их жизнедеятельности, разрушаются различными сапрофитными почвенными микроорганизмами: бактериями, актиномицетами, грибами, водорослями, простейшими и др. В присутствии кислорода аэробные микроорганизмы разлагают углеводы до двуокиси углерода и воды. Жиры в аэробных условиях расщепляются на глицерин и жирные кислоты, которые распадаются на углекислый газ и воду. Распад белковых соединений происходит в 2 этапа. На первом этапе – аммонификации – белки распадаются до аминокислот, которые, в свою очередь, разрушаются до аммиака

и солей аммония, а также кислот жирного и ароматического рядов. В аэробных условиях параллельно происходит второй этап минерализации азотсодержащих соединений – нитрификации, когда аммиак окисляется до нитритов, а последнее – до нитратов. Благодаря процессам почвенного разрушения органические соединения преобразуются в те формы неорганических веществ, в которых они могут стать питательным материалом для растений и снова попадают в круговорот веществ в природе.

Во всем мире почву широко используют для очистки и обезвреживания небольших количеств хозяйствственно-бытовых сточных вод, образующихся от одного или нескольких загородных жилых домов или коттеджей. В нормативной документации сказано, что степени очистки от органики в септике достаточно для последующего отвода стоков в грунт, где органика стока тут же включается в природный цикл.

Здесь стоит отметить, что очистка – понятие техногенное, придуманное человеком для описания искусственных процессов, необходимых ему в процессе его жизнедеятельности. В мире человека «очистка» идет рука об руку с «отходами», с которыми человек сражается всю свою сознательную историю. В природе же очистки в этом смысле не существует, есть трансформация (реакции нитри-денитрификации, к примеру), синтез (образование гумуса) и сепарация, разделение (например, при отстаивании – осветленная вода водоема и осадок, ил). Грязь, отходы, сточные воды – это вещества не на своем месте. Борьба с отходами заключается в направлении

веществ туда, где они окажутся на своем месте. В рассматриваемом случае септик выполняет функцию сепаратора загрязнений, а почва – трансформации и включения ее продуктов в естественные природные циклы.

Выдающийся советский (украинский) гигиенист, академик АМН СССР (РАМН), академик АМН Украины, профессор Е.И. Гончарук на основании многолетних исследований работы различных малых установок для очистки бытовых стоков (в том числе аэрационных), рекомендует при проектировании автономной канализации, прежде всего, изучить вопрос о возможности применения почвенных методов очистки. При наличии достаточных земельных участков и благоприятных грунтовых условиях этому методу следует отдавать предпочтение.

Вы говорите об аэробных процессах трансформации, но для этого нужен воздух, аэрация. Допустим, в самом верхнем слое почвы воздух еще есть, но ниже, там, где фильтруется сток, его уже почти нет. Об этом предупреждают все производители аэрационных установок. Они утверждают, что слив недостаточно очищенных стоков после септика в грунт загрязняет и сам грунт, и грунтовые воды.

В данном случае производители неправы. Воздух в почве есть и его достаточно. Для очистки бытовых стоков используются в основном почвы, залегающие от поверхности до уровня грунтовых вод. В этом слое и устраивают сооружения почвенной фильтрации. Очевидно, что для процессов почвенной очистки сточных вод большое значение имеют пористость, размер пор, воздухопроницаемость.

Величина естественных пор почвы, наличие в ней естественных или искусственных трещин и каналов оказывают заметное влияние на взаимодействие почвы с воздухом и водой, а также фильтрационную способность почв. Почвы с крупными порами и низкой пористостью (гравелистые, песчаные, легкие супесчаные) хорошо проникаемы для воды и воздуха. Они имеют высокую фильтрующую способность. В таких почвах, а также в почвах с естественными и искусственными трещинами химические и биологические загрязнения быстрее проникаются вглубь и достигают грунтовых вод, что приводит к их загрязнению и создает опасность для здоровья населения. В то же время почвы с мелкими порами и высокой пористостью (глинистые, тяжелые суглинистые) имеют низкую

фильтрационную способность. В них задерживается вода, они хуже аэрируются. Это приводит к замедлению процессов самоочищения почвы от органических загрязнений. Оптимальной для процессов очистки стоков от биологических и химических загрязнений считается пористость почвы в пределах 60–65 %.

Естественный состав почвенного воздуха зависит от скорости потребления кислорода и образования углекислого газа в результате аэробных микробиологических процессов минерализации органических веществ. В поверхностном слое почвы воздух по содержанию основных компонентов (азота, кислорода, углерода) почти не отличается от атмосферного. С увеличением глубины содержание в почвенном воздухе двуокиси углерода увеличивается, а кислорода уменьшается, однако на глубине 3 и 6 м кислорода в почвенном воздухе (15,7–16,8 % и 14,2–15,0 % соответственно) вполне достаточно для протекания процессов биохимического окисления органических загрязнителей. Резкое же замедление аэробных биохимических процессов в грунте наблюдается при содержании кислорода менее 2 %.

Таблица 1
Состав почвенного воздуха в зависимости от глубины почвы*

Глубина почвы, м	Содержание в почвенном воздухе, %	
	кислорода	диоксида углерода
0,2	20,0	0,6–0,8
1,0	19,2	0,9–1,0
2,0	16,0–19,0	2,9–3,0
3,0	15,7–16,8	4,1–5,6
6,0	14,2–15,0	4,2–8,0

* Е.И. Гончарук. Коммунальная гигиена. Киев, 2006.

Разумеется, концентрации газов и паров в почвенном воздухе все же несколько отличаются от таковых в атмосфере. Поэтому постоянно происходит диффузия, т.е. перемещение по градиенту концентраций. Газообразные вещества, которых больше в почвенном воздухе, поступают в приземный слой атмосферы и, наоборот, газы, парциальное давление которых в атмосфере выше (например, кислород), перемещаются в почву. Кроме того, существует так называемое дыхание почвы, связанное с миграцией части всей смеси газов и паров, образующих почвенный воздух, в приземный слой

атмосферы при повышении температуры почвы и снижении барометрического давления. При повышении уровня грунтовых вод воздух вытесняется из почвы, а при понижении – поступает в поры почвы из атмосферы.

Кроме свободного воздуха, в порах почвы содержится значительное количество газов, прежде всего кислорода и двуокиси углерода, растворенных в почвенной влаге. Растворимость газов в воде уменьшается при повышении температуры, и поэтому чем ниже температура почвы, тем больше газов, в частности кислорода и углерода диоксида, растворено в почвенной влаге.

В зависимости от влагоемкости почвы, в ней может удерживаться значительная часть стока – 150–350 л в каждом кубическом метре. Только после того, как стоки заполнят все поры почвы в зоне фильтрации, и содержание воды в ней превысит поглотительную способность, избыток стоков будет фильтроваться в нижерасположенные слои, пока не встретит на своем пути водонепроницаемый слой, практически не пропускающий воду. На этом слое вода задерживается, накапливается и образует зону грунтовых вод или так называемый водоносный слой (горизонт).

Поглощающую способность почвы на практике можно оценить по времени всасывания (насыщения) воды почвой. Для этого выкапывают приямок размером 0,3 × 0,3 м и глубиной 0,15 м, быстро заполняют водой (12,5 л) и по секундомеру определяют время поглощения воды. Если вода впиталась за 3–5 мин., почва считается пригодной для устройства сооружения почвенной фильтрации. Второй тест – по скорости фильтрации (водопроницаемости). Ее определяют при постоянном уровне воды в приямке. Удовлетворительной считается скорость не менее 30 мм за первый час фильтрации при слое (гидростатическом напоре) воды в приямке 50 мм.

Можно оба теста совместить в одном. При этом воду в приямок подливают постоянно, удерживая неизменный ее уровень. Вначале получают и замеряют скорость насыщения, затем – фильтрации. Переход между режимами определяют по заметному скачкообразному (относительно) снижению скорости при постоянном уровне.

И все же сток после септика содержит органические и минеральные загрязнения, которые поступают в почву и могут попасть в грунтовые воды.

Не в почву, а в сооружение почвенной очистки. Упоминаемые в предыдущем вопросе производители малых и сверхмалых аэрационных систем очистки настолько тут всех запутали, что эту разницу уже мало кто осознает, а это принципиально. То, что в инженерной практике называется сооружениями почвенной очистки (фильтрации), это не сами фильтрующие колодцы или трубы подземных полей фильтрации, но и грунт, почва вокруг них, в которой собственно и происходят процессы очистки, или (что правильнее) процессы биохимического распада органических загрязнителей стока с их трансформацией в другие вещества. Сами же колодцы или трубы – это в основном интерфейс, устройство для передачи стока в грунт.

Основными задачами сооружений почвенной очистки бытовых сточных вод являются:

- обеспечение быстрого и эффективного разрушения органических соединений путем их минерализации и гумификации;
- удаление из сточных вод патогенных бактерий, энтеровирусов, яиц гельминтов путем их поглощения (сорбции) и дальнейшего отмирания под влиянием естественных факторов самоочищения фильтрующего слоя почвы;
- предотвращение загрязнения грунтовых вод патогенными микроорганизмами и химическими веществами, содержащимися в сточных водах;
- предотвращение накопления химических веществ в почве в концентрациях, влияющих на процессы самоочищения или опасных с точки зрения накопления их в растениях;
- предотвращение загрязнения почвенного и атмосферного воздуха.

И как же эти задачи решаются?

Решают эти задачи путем правильного выбора размеров санитарно-защитной зоны, санитарных разрывов от источников питьевого водоснабжения и грунтовых вод, определения допустимой гидравлической и органической нагрузки сточных вод на почву в сооружении.

Поскольку все растворенные и взвешенные в воде ингредиенты загрязнений могут мигрировать в почве только с почвенной влагой, важно знать, с участием какой почвенной влаги это происходит. Влага в почве может находиться в форме:

- гигроскопической влаги, конденсирующейся на поверхности почвенных частиц;

- пленочной воды, удерживающейся на поверхности почвенных частиц под действием молекулярных сил;
- капиллярной воды, находящейся в капиллярах между почвенными частицами и удерживающейся силой поверхностного натяжения водяных менисков;
- свободной гравитационной воды, находящейся под влиянием только силы тяжести или гидростатического напора и заполняющей крупные (не капиллярные) промежутки почвы.

Вода может находиться в почве сразу во всех четырех формах или только в трех, двух или даже в одной форме – гигроскопической влаги, что наблюдается при чрезмерном высыхании почвы. Из всех четырех форм наиболее значимыми для почвенной очистки является капиллярная и свободная гравитационная влага почвы. Именно с этой влагой перемещается основная часть бактериальных и химических загрязнений в почве.

В начальной стадии запуска сооружения сточная вода, попавшая в почву через сооружение почвенной фильтрации, под действием капиллярных сил и силы тяжести продвигается во все стороны, увлажняя почву и образуя так называемое тело смачиваемости. Нижний край продвигается вниз сравнительно медленно, т.к. сточная вода, попавшая в почву, растекается по капиллярам в большом объеме почвы. На форму и величину тела смачиваемости влияют различные факторы, которые необходимо учитывать при проектировании сооружения. Например, при глубоком залегании грунтовых вод и незначительном поступлении воды к телу смачиваемости поступление воды может компенсироваться испарением. В таком случае тело смачиваемости перестает увеличиваться и смоченная почва как бы подвешивается в толще фильтрующего слоя. Такое явление чаще всего наблюдается в условиях жаркого климата при значительном дефиците влаги и глубоком залегании грунтовых вод.

Почву важно орошать таким образом, чтобы влага распространялась в ней как инфильтрационная, что обеспечивает разрыв гидравлической связи между телом смачиваемости и зоной капиллярного поднятия грунтовых вод.

Органические вещества в виде белков, жиров, углеводов животного и растительного происхождения, а также продуктов их обмена, попавшие в почву со сточными водами, разрушаются и превращаются в неорганические вещества (процесс минерализации) или

из органических веществ, сточных вод, синтезируется новое органическое вещество почвы – гумус (процесс гумификации).

Процессы минерализации и гумификации органических веществ сточных вод в почве являются очень сложными. В реальных условиях они протекают параллельно и одновременно под влиянием большого количества организмов, входивших в состав биоценоза почвы. Главную роль в этих процессах играют аэробные и анаэробные микробы почвы. Кроме микробов, в этих процессах принимают участие актиномицеты, грибы, простейшие и растения. Микроорганизмы, которые разрушают и синтезируют органическое вещество при использовании почвенных методов очистки сточных вод, имеют двойное происхождение. Одна их часть поступает в почву со сточными водами, а вторая – это бактериальная flora собственно почвы, приспособившаяся к определенным условиям существования.

Процесс синтеза гумуса протекает в условиях биокатализа, действия ферментов, выделяемых микроорганизмами. Сущность этого процесса сводится к тому, что промежуточные продукты разложения органического вещества, попадая под воздействием реакций биохимического окисления, поликонденсации, полимеризации, дают качественно новые органические соединения, которые называют гумусовыми, или перегнойными, а процесс их образования – гумификацией. Обычно под гумусом (от лат. *humus* – земля, почва) понимают группу темноокрашенных высокомолекулярных азотсодержащих органических веществ кислотной природы, большая часть которых – коллоиды. Собственно гумусовые вещества составляют 85–90 % общего количества органических соединений почвы.

В дикой природе наибольшее количество гумуса дает листовой опад, травянистая растительность и ее корневая система. В результате биохимических процессов разложения их органического вещества образуются две основные группы соединений: неспецифичный гумус (лигнин, целлюлоза, воски, смолы и др. полуразрушенные соединения) и специфический гумус (гуминовые и фульвокислоты, гумин). Фульвокислота наиболее подвижная, более агрессивная со светло-коричневым цветом. При попадании в колодцы она придает питьевой воде коричневый цвет.

С агрономической точки зрения лучшим гумусом считается тот, в котором преобладает гумин с гуминовой кислотой, как в наших

дерновых или черноземных почвах. В большинстве же почв суши преобладает фульватный состав гумуса. Наибольшее количество доброкачественного гумуса имеют черноземы (4–15%). Поэтому эти почвы самые плодородные.

Гумус в почве частично соединяется с глеем и коллоидными частичками, создавая органоминеральные соединения (хелаты). Они полезны тем, что замедляют минерализацию гумуса (создание золы – оксидов химических соединений), увеличивают содержание ценных элементов питания в доступной для растений форме и замедляют вынос биогенных элементов из почвы в реки и озера.

Чтобы баланс гумуса в используемых в сельском хозяйстве почвах был положительным, необходимо систематически вносить в почву органические удобрения в достаточно высоких количествах. Считается, что содержание гумуса в дерново-подзолистых почвах не будет снижаться, если ежегодно вносить 8–10 т/га органических удобрений.

По данным различных исследователей (Т.С. Ремизовой, Е.М. Мишустина, М.И. Перцовской и др.) в 1 мл бытовой сточной воды содержатся сотни миллионов бактерий. Численность микроорганизмов бактериальной флоры чистой почвы, колеблется от 175 тыс. до 8,5 млн в 1 г почвы. После поступления в почву бытовых сточных вод количество бактерий достигает миллиардов в 1 г почвы. С.М. Строгановым установлено, что общее количество бактерий на Люберецких полях орошения составляло 7 млрд в 1 г почвы.

По данным О.П. Селиванова, общая поверхность частиц рабочего слоя почвы толщиной 0,2 м под 1 м² поверхности составляет 2,5 га. Иначе говоря, почти вся поверхность частиц почвы занята бактериями. Такая огромная активная поверхность фильтрующего слоя почвы обеспечивает относительно быстрое и надежное поглощение и обезвреживание органических веществ, содержащихся в сточных водах.

Несмотря на сложность процесса поглощения и разрушения органического вещества, его можно схематически представить следующим образом. Попав на поверхность почвы или в ее толщу, взвешенные, коллоидные и растворенные органические вещества, бактерии, вирусы, яйца геогельминтов, содержащиеся в сточных водах, начинают поглощаться по мере продвижения в фильтрующем слое почвы. Такое поглощение связано с механической, физической, физико-химической, химической

и биологической поглотительной способностью почвы. Интенсивность поглощения указанных ингредиентов тем выше, чем более мелкие фракции почвы. Она возрастает по мере заливания промежутков между ними при одновременном снижении коэффициента фильтрации, т.е. скорости, с которой вода продвигается в почве в вертикальном направлении под действием силы тяжести. Различные вещества неравномерно удерживаются почвой. Так, глубже всех продвигаются хлориды и нитраты, в меньшей степени – нитриты, аммиак и растворенные органические вещества, еще меньше – бактерии, вирусы, яйца геогельминтов.

В целом большинство химических веществ продвигаются в почве в 1,5 раза, а большинство бактериальных загрязнений – в 2–2,5 раза медленнее, чем вода. В то же время установлено, что синтетические детергенты моющих средств, содержащиеся в бытовых сточных водах, очень слабо поглощаются почвой и легко проникают в грунтовые воды. При этом они способствуют и более глубокому проникновению в толщу почвы бактерий и вирусов. Одновременно с поглощением химических веществ (взвешенных, коллоидных и растворенных) происходит распад поглощенных почвой органических соединений благодаря процессам минерализации и гумификации.

Степень гумификации органического вещества в почве характеризуется упоминаемым выше санитарным числом (по Н.И. Хлебникову), позволяющим оценить самоочищающую способность почвы от органических загрязнений.

СанПиН 2.1.7.1287–03 устанавливает санитарно-эпидемиологические требования к качеству почвы населенных мест и сельскохозяйственных угодий, обуславливающих соблюдение гигиенических нормативов при размещении, проектировании, строительстве, реконструкции (техническом перевооружении) и эксплуатации объектов различного назначения, в т.ч. и тех, которые могут оказывать неблагоприятное воздействие на состояние почв.

В соответствии с этим документом, санитарное число (отношение белкового азота к общему органическому азоту) должно быть не ниже 0,98 (относительные единицы). Почвы, отвечающие предъявленным требованиям, следует относить к категории «чистых».

Продолжение читайте
в следующем номере