

ОБЗОРНЫЕ СТАТЬИ

УДК 573.6: 595.142.59

А.С. Сапаров¹, В.М. Кан¹, И.Н. Титов²

¹*Казахский научно-исследовательский Институт почвоведения и агрохимии
им. У.У. Успанова, г. Алматы, Республика Казахстан; kangsoil@mail.ru*

²*Владимирский государственный университет, г. Владимир, Россия; tit42@mail.ru;*

Технология вермифильтрации позволяет производить очистку сточных вод быстро и просто при минимальных энергетических затратах, без использования дорогостоящего оборудования и при низкой стоимости. Вода становится чистой, детоксицированной, дезинфицированной и может быть повторно использована для технических целей, особенно в сельском хозяйстве, ландшафтном дизайне и садоводстве. Это позволит сохранить огромные количества пресной воды. Технология подходит как для сельских, так и городских территорий и может использоваться децентрализованно, что будет снижать нагрузку на станции очистки сточных вод.

Вода - это ресурс, имеющий экономическую ценность и определяющий устойчивость развития страны. Проблема охраны водных источников и доступа к питьевой воде является важным приоритетом всего мирового сообщества. Не исключением является и Республика Казахстан, где дефицит водных ресурсов усугубляется их загрязнением. Практически на всей территории страны имеет место недостаток водных ресурсов и загрязнение водных источников.

Сброс неочищенных или недостаточно очищенных сточных вод в открытые водоемы приводит к нарушению в них экологического равновесия. В лучшем случае это сопровождается перестройкой биоценоза водоема с развитием наиболее толерантных форм, в худшем случае заканчивается полной гибелью аэробных организмов и развитием процессов гниения. Поэтому обеспечение эффективной очистки сточных вод для защиты водоемов от загрязнений является крайне актуальной задачей.

Среди применяемых в настоящее время систем и принципов очистки сточных вод едва ли не самое значительное место занимают биологические методы. Однако, проблемой известных и широко используемых в настоящее время спосо-

бов биологической очистки сточных вод является повышенная техногенная нагрузка на окружающую среду за счет образующихся достаточно больших объемов избыточного активного ила, что ведет к необходимости применения оборудования по его переработке и хранению, использованию реагентов, применяемых в процессе обработки осадков сточных вод, строительства полигонов для захоронения образовавшихся осадков. Все это приводит к вторичному загрязнению окружающей среды и необходимости использования дополнительных земельных ресурсов. Другой проблемой при использовании этих технологий является проблема выбросов вредных веществ, в том числе неприятно пахнущих, включая сероводород с уловленных в сточных водах осадков в атмосферу, и необходимость вследствие этого увеличения размеров санитарно-защитной зоны - расстояния от очистных сооружений до жилых домов.

Кроме того, необходимость постоянного удаления вторичных загрязнений: сырого осадка из первичных отстойников и избыточного активного ила из вторичных отстойников не позволяет создать замкнутый технологический цикл очистки сточных вод.

Известны также способы биологической очистки, включающие два этапа - механическую очистку и биологическую очистку. На первом этапе удаляются нерастворимые в воде вещества во взвешенном состоянии, на втором этапе - то, что осталось от первого этапа - взвешенное и растворенное в стоках. Недостатки этого способа являются:

- образование вторичных загрязнений в виде сырого осадка в первичных отстойниках на первом этапе;

- большие объемы избыточно активного ила, образующегося в процессе биологической очистки (вторичное загрязнение).

Новая биотехнология, в частности биологическая очистка сточных вод с помощью вермифильтрации с использованием дождевых червей лишена всех выше указанных недостатков и может быть использована в коммунальном хозяйстве городов, поселков и различных отраслях промышленности и сельского хозяйства для очистки бытовых и промышленных сточных вод, содержащих биологически разлагаемые вещества. С помощью технологии вермифильтрации возможно быстро, рентабельно и экологически безопасно осуществлять очистку бытовых и промышленных сточных вод без образования ила и осадков сточных вод, без выделения запахов и парниковых газов при 100 %-ной регенерации воды [1-4].

Впервые Hartenstein с сотрудниками [5] в 1984 году показали, что компостный червь *Eisenia fetida* африканский ночной выползок *Eudrillus eugeniae* могут успешно использоваться в составе капельных биофильтров, что существенно улучшает эффективность их работы при очистке сточных вод.

В настоящее время для очистки сточных вод (бытовых и промышленных) в

некоторых странах мира успешно используется биотехнология вермифильтрации. Она обладает рядом некоторых преимуществ перед всеми традиционными способами очистки сточных вод. Эта технология была разработана профессором Хосе Тоха (Jose Toha) в 1992 году в Чили. В последние годы она усиленно внедряется в практику очистки сточных вод в Чили, Индии, Китае, Мексике, Австралии и Бразилии [6].

Технология основана на способности дождевых червей работать, как «биофильтры». Они поглощают органические и неорганические поллютанты из сточных вод, переваривают их и выделяют в виде своих экскрементов (копролиты) в окружающую среду. При такой переработке сточных вод (концентрированных или разбавленных) происходит утилизация поллютантов, находящихся в сточных водах, очистка сточных вод, их дезинфекция и детоксикация, а также трансформация органических и неорганических компонентов сточных вод в органоминеральное высокоценное удобрение - вермикомпост и биомассу дождевых червей, которая может затем служить сырьем для кормовой и фармацевтической промышленности.

В настоящее время имеется несколько типов систем установок для вермифильтрации сточных вод.

Жариков [7] в 1998 году предложил использовать для частичной предварительной очистки сточных вод от органических загрязнений отходов Камского целлюлозно-бумажного комбината систему фильтра-накопителя-отстойника, которая получила название зоофильтр. В качестве фильтрующего материала используют кору. Для улучшения условий фильтрации на дно лотка помещают слой гравия. Слой коры сверху прикрывают металлической решеткой для предотвра-

щения размыва струей воды фильтрующего слоя (коры) и его всплывания. Поток сточных вод направляют на фильтрующий слой с помощью водоотводного лотка. После заполнения первой секции фильтра лоток удлиняют, чтобы вода поступала во вторую секцию и т.д. В заиленную 1 секцию фильтра помещают дождевых червей в количестве 1-2 тысячи особей для очистки коры от органических включений. Этот способ сочетает механическую очистку сточных вод с частичной утилизацией осевших на коре загрязнений при помощи дождевых червей. В дальнейшем заиленный фильтрующий элемент зоофильтра поступал на окончательную переработку вермикомпостированием.

Ли с сотрудниками [8] разработали и испытали пилотную установку вермифильтрации для очистки сточных вод, получаемых при гидросмыве свиного навоза. Она представляла собой ёмкость размером 5,0×2,5 м с решетчатым дном, в которой находился работающий слой вермифильтра высотой до 1 м, поддерживаемый нетканой синтетической тканью. Вермифильтрующий слой состоял из смеси древесной щепы (одна треть от общей массы) и субстрата с дождевыми червями вида *Eisenia andrei* (две трети от общей массы), который был предварительно приготовлен из коры, щепы, торфа, соломы и вермикомпоста. Сточные воды, прошедшие через сито, для отделения твердой фракции свиного навоза, накапливались в резервуаре, а затем распылялись на поверхность вермифильтра. Популяция дождевых червей увеличивалась на 30 % в течение 4-х недель, показывая на акклиматизацию вермикультуры. Численность популяции червей достигала до 20 000 особей/м² вермифильтра. Показано, что при рециклинге сточных вод с помощью технологии вермифильтрации

происходило сокращение выбросов аммиака на 50 %. Авторы считают, что технология вермифильтрации может быть использована для рециклинга сточных вод свиноводов. Очищенные сточные воды могут быть повторно использованы, а биомасса дождевых червей и вермикомпост могут быть проданы, чтобы компенсировать стоимость очистки воды и уменьшить объёмы навоза на ферме. Собранный твердый фракция на сите может быть компостирована или вермикомпостирована, а затем её можно использовать в качестве органического удобрения.

Tomar и Suthar [10] продемонстрировали потенциал новой системы вермифильтрации с использованием дождевых червей вида *Perionyx sansibaricus* для очистки городских сточных вод, которая позволяла существенно снизить уровни содержания растворённых веществ (88,6 %), взвешенных веществ (99,8 %), ХПК (90 %), NO₃- (92,7 %) и PO₄³⁻ (98,3 %). Эти показатели были на 38,8; 20,8; 80,6; 50,8 и 144,6 % выше, чем таковые в контроле, соответственно.

Ghatnekar с сотрудниками [11] применили трехступенчатую технологию вермикомпостирования в сочетании с системой капельного биофильтра, в котором имела популяция дождевых червей вида *Lumbricus rubellus*, для очистки сточных вод производства желатина. Показано, что вода после вермифильтра показатели БПК и ХПК были снижены на 89,2 и 90,1 %, соответственно. Эта очищенная вода была использована для выращивания сине-зелёной водоросли спирулины.

В зависимости от степени загрязнения сточных вод и необходимого качества очищенной воды можно использовать одноступенчатую или многоступенчатую системы вермифильтра. В принципе одна установка по вермифильтрации может произвести воду любой степени очистки с

помощью увеличения циклов обработки [6].

Вермикультура в составе вермифилтра при совместном взаимодействии почвенных микроорганизмов, иммобилизованных на биофилтре, способна в результате механизмов поглощения и биодеградации удалять из сточных вод органические и неорганические загрязнители по таким важнейшим показателям качества воды как БПК₅ более, чем на 90 %, ХПК — на 80-90 %, растворённые вещества на 90-92 % и взвешенные вещества на 90-95 % [4].

Французская компания Lombr iTek écoinnovation (Монпелье) разработала так называемые Ломбристанции (дословно: Червестанция) для очистки сточных вод. Например, установка по вермифилтрации типа Lombr iAPL® способна производить очистку сточных вод от 200 до 500 жителей, а комплексная Ломбристанция типа Lombr iSTEP® с вермифилтрацией жидкой фракции сточных вод после прохождения муниципальных стоков через сито для отделения твёрдых примесей и вермикомпостированием этой твёрдой фракции способна производить очистку сточных вод от поселка от 1000 до 4000 жителей. Эта компания использует в качестве вермикультуры смесь двух видов компостных червей: *Eisenia fetida* и *Eisenia andrei*. Сама вермифилтрующая установка размещается в небольшом и компактном здании и подходит для любого климата (www.lombritek.com).

Титов и Ириков [12] запатентовали в России способ очистки сточных вод с помощью технологии вермифилтрации, который отличается тем, что в системе вермифилтра, содержащей три слоя из камней размером до 7,5 см (высота слоя до 25 см), гравия размером до 4,5 см (высота слоя до 25 см) и мелкого гравия (10-12 мм) с кварцевым песком, заменяется

на один слой из колец Рашига высотой 90 см. Пилотная установка усовершенствованной системы вермифилтрации для очистки сточных вод представляет собой коммерческую пластиковую ёмкость в 1 куб.м. в металлической оплётке, заполненную кольцами Рашига высотой до 90 см, над которыми наслаивают слой садовой земли в 10 см, в который заселяют популяцию компостных червей вида *Eisenia fetida* из расчета 10 кг биомассы червей на куб.м.

Титов и др. [6] запатентовали в Казахстане способ очистки сточных вод с помощью технологии вермифилтрации. Пилотная установка усовершенствованной системы вермифилтрации для очистки сточных вод представляет собой коммерческую пластиковую ёмкость в 1 куб.м. в металлической оплётке, заполненную снизу слоем камней размером до 7,5 см, высотой до 25 см, слоем гравия размером до 3,5 см, высотой до 25 см, над которыми наслаивается слой специально обработанного адсорбента (измельченного цеолита) в 10 см, над которым наслаивают слой садовой земли в 10 см, в который заселяют популяцию компостных червей вида *Eisenia fetida* из расчета 10 кг биомассы червей на куб.м. В другом варианте пилотной установки слой садовой земли в 10 см, в который заселяют популяцию компостных червей вида *Eisenia fetida* из расчета 10 кг биомассы червей на куб.м., заменяется на слой компостированного коровьего навоза высотой 25-30 см, в который заселяют популяцию компостных червей вида *Eisenia fetida* из расчета 10 кг биомассы червей на куб.м. субстрата.

Необходимо отметить то, что система вермифилтрации не требует сложного и дорогостоящего оборудования, её обслуживание требует минимальных энергетических затрат. Еще одним из важных преимуществ технологии вермифилтрации

является то, что отсутствует газообразование, отсутствуют какие-либо запахи, не образуются осадки сточных вод, что характерно для всех традиционных способов очистки сточных вод. Очень важно еще и то, что система вермифльтрации может работать децентрализованно, то есть на месте образования сточных вод (частные дома, коттеджи, отели, перерабатывающие предприятия и т. д.). Получаемая очищенная вода содержит в себе основные питательные вещества, что очень выгодно использовать её для ирригации фермерских земель и в садоводстве.

Такие установки по вермифльтрации необходимо будет устанавливать непосредственно на станциях очистки сточных вод или на предприятиях на месте образования сточных вод. Преимуществами технологии вермифльтрации являются:

- низкая стоимость операций и обслуживания;
- требуется мало энергии;
- не образуются осадки сточных вод;
- не используются химикаты;
- не требуется предварительная обработка сточных вод для отделения твердой фракции;
- образуются хозяйственно ценные побочные продукты утилизации сточных вод (высокогумусированное органическое удобрение вермикомпост и биомасса компостных червей);
- очищенная вода обогащена питательными веществами (азотом, фосфо-

ром и калием) и микроэлементами и может использоваться для ирригации фермерских земель;

- процесс очень гигиеничен при полном отсутствии каких-либо запахов и без эмиссии парниковых газов.

Однако следует отметить те недостатки и ограничения, которые присущи данной технологии. Прежде всего, она не предназначена для очистки сточных вод ряда промышленных предприятий. Сами установки по вермифльтрации сточных вод должны работать постоянно и непрерывно в течение всего года, то есть их нельзя их эксплуатировать при переработке сточных вод от предприятий, работающих сезонно, например, летние лагеря, кемпинги и т.п. Операторы по обслуживанию таких установок должны проходить специальное обучение.

Таким образом, технология вермифльтрации позволяет производить очистку сточных вод быстро и просто при минимальных энергетических затратах, без использования дорогостоящего оборудования и при низкой стоимости. Вода становится чистой, детоксифицированной, дезинфицированной и может быть повторно использована для технических целей, особенно в сельском хозяйстве, ландшафтном дизайне и садоводстве. Это позволит сохранить огромные количества пресной воды. Технология подходит как для сельских, так и городских территорий и может использоваться децентрализованно, что будет снижать нагрузку на станции очистки сточных вод.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Титов И.Н. Рециклинг бытовых и промышленных сточных вод с помощью вермикультуры. Инновационная биотехнология вермифльтрации // Матер. VII Московского Междун. конгресса «Биотехнология: состояние и перспективы развития», Москва. 19-22 марта 2013. М.: ЗАО «Экспо-биохимтехнологии», РХТУ им. Д.И. Менделеева, 2013. С. 315-316.
2. Aguilera, M.L., 2003. Purification of wastewater by vermifiltration // Doctoral Thesis. University of Montpellier 2, France, 188 p.

3. Bouché, M.B., Soto, P., 2004. An industrial use of soil animals for environment: the treatment of organically polluted water by lumbrifiltration // In: Proceedings of the XIVth International Colloquium on Soil Zoology and Ecology, University of Rouen, Mont Saint Aignan, France. August 30–September 3. P. 1–13.
4. Sinha, R.K., Valani D. Vermiculture Revolution: The Technological Revival of Charles Darwin's Unherlded Soldiers of Manking. Nova Science Publishers Inc. 2011. 328 p.
5. Hartenstein, R., D. L. Kaplan, E. F. Neuhauser. Earthworms and trickling filters. J. Water Pollution Control Federation. 1984. v.56, №3, P. 294–298.
6. Титов И. Н., Кан В.М., Титов Н.Н. Способ очистки сточных вод // Патентная заявка Республики Казахстан № 2013/0304.1 от 11.03.2013.
7. Жариков Г.А. Научно-методические основы биотехнологической переработки промышленных органических отходов и санации загрязнённых почв // Диссертация доктора биологических наук. Москва. 1998.
8. Li, Y.S., P. Robin, D. Cluzeau, M. Bouché, J.P. Qiu, A. Laplanche, M. Hassouna, P. Morand, C. Dappelo, J. Callarec. Vermifiltration as a stage in reuse of swine wastewater: Monitoring methodology on an experimental farm // [Ecological Engineering, Vol. 32, Issue 4, 2008, P. 301–309.](#)
9. Tomar P., S.Suthar. Urban wastewater treatment using vermi-biofiltration system. [Desalination, Vol. 282, 2011.](#) P. 95–103.
10. Ghatnekar S.D., M.F.Kavian, S.M. Sharma, S.S. Ghatnekar, G.S. Ghatnekar, A.V. Ghatnekar. Application of Vermi-filter-based Effluent Treatment Plant (Pilot scale) for Biomanagement of Liquid Effluents from the Gelatine Industry // Dynamic Soil, Dynamic Plant. 2010. P. 83–88.
11. Ghatnekar S.D., M.F.Kavian, S.M. Sharma, S.S. Ghatnekar, G.S. Ghatnekar, A.V. Ghatnekar. Application of Vermi-filter-based Effluent Treatment Plant (Pilot scale) for Biomanagement of Liquid Effluents from the Gelatine Industry // Dynamic Soil, Dynamic Plant. 2010. P. 83–88.
12. Титов И.Н., Ириков О.В. Способ очистки сточных вод // Патентная заявка РФ № 2013116627 от 11.04.2013 г.

ТҮЙІН

Вермильтрация технологиясы - ақаба суларды тазартуды қымбат құрылғыларды қолданбай және өте төменгі бағада, тез, әрі артық энергетикалық шығынсыз жүргізуге мүмкіндік береді. Тазартылған су экологиялық таза, уытсыз, құрамында зиянды жұқпасы жоқ және қайтадан техникалық мақсатта, әсіресе ауыл шаруашылығында, ландшафттық дизайнда, бау-бақша шаруашылығында қолданыла алады. Бұл көп көлемде тұщы суды сақтап қалуға мүмкіндік береді. Аталған технология ауылдық, сол сияқты қалалық аумақтарға да сәйкес келеді және орталықтандырылған жүйе ретінде де қолданыла алады, бұл өз кезегінде ағынды суларды тазалайтын станцияларға түсетін күшті де азайтады.

SUMMARY

Technology of vermifiltration enables the treatment of the wastewater quickly and easily with a minimum expenditure of energy, without the use of expensive equipment and at low cost. Water is clean, detoxify, disinfected and can be re-used for technical purposes, especially in agriculture, landscaping and gardening. This will save huge amounts of fresh water. The technology is suitable for both rural and urban areas and can be used decentralized, which will reduce the load on the wastewater treatment plant.