

ГРАДОСТРОИТЕЛЬНАЯ ЭКОЛОГИЯ. ВОДООТВЕДЕНИЕ

УДК 628.35

И.С. Щукин, А.Г. Мелехин

Пермский национальный исследовательский
политехнический университет

О ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ ФИТОФИЛЬТРОВ ДЛЯ ОЧИСТКИ ПОВЕРХНОСТНОГО СТОКА С УРБАНИЗИРОВАННЫХ ТЕРРИТОРИЙ

Рассмотрены параметры, влияющие на производительность фитофильтров: площадь, объем зоны накопления стока, пропускная способность загрузки. Наиболее важным параметром является пропускная способность, склонная к уменьшению во время эксплуатации за счет засорения и уплотнения фильтрующей загрузки. Пропускная способность может быть восстановлена под действием находящейся в ней растительности или же при обслуживании фитофильтров. Тем не менее вопросы изменения производительности фитофильтров в процессе эксплуатации в различных условиях недостаточно изучены, что сдерживает их применение, в том числе и в России.

Ключевые слова: поверхностный сток, очистка сточных вод, фитофильтр.

Фитофильтры, известные как *biofiltration systems*, *bioretention systems*, *stormwater biofilters* или *rain gardens*, получают все большее распространение в мировой практике очистки поверхностных сточных вод с урбанизированных территорий. Как и все биоинженерные сооружения, фитофильтры обеспечивают качественную очистку при умеренной стоимости и высокой экологичности строительства и эксплуатации. Согласно многочисленным исследованиям фитофильтров как в лабораторных, так и в полевых условиях, эффективность очистки таких систем по взвешенным веществам достигает 98 %, нефтепродуктам – 95 %, азоту (суммарно) – 73 %, нитритам и нитратам – 81 % фосфору – 90 %, тяжелым металлам – 90 %, патогенным микроорганизмам – до 80 % [1, 2]. Тем не менее распространения в России на сегодняшний день они не получили.

Фитофильтр для очистки ливневых сточных вод представляет собой пониженный участок территории, запроектированный для приема поверхностного стока и засыпанный фильтрующей загрузкой высотой 0,5–1,0 м, в которой произрастает растительность. Очищаемые сточные воды проходят через загрузку в вертикальном направлении и отводятся по дренажной системе либо инфильтруются в окружающий грунт. Во время дождя над поверхностью фильтра может образовываться слой воды высотой 0,4–0,5 м, который будет существовать в течение некоторого времени после прекращения дождя, до полного впитывания. Для исключения затопления окружающей территории в период сильных дождей фитофильтры оборудуются системой перелива неочищенного стока. В период отсутствия дождя фитофильтр представляет собой озелененный участок территории, который может быть органично вписан в городской ландшафт и являться элементом благоустройства.

Одним из ключевых параметров работы фитофильтров является их производительность. Определение производительности – сложная задача, и на данный момент отсутствуют универсальные методы ее прогнозирования на этапе проектирования сооружений. Кроме того, результаты исследований модельных и существующих фитофильтров показывают, что производительность фитофильтров может изменяться в течение срока эксплуатации сооружения.

Производительность фитофильтра определяется следующими параметрами:

1. Площадь фитофильтра, как правило выражаемая в процентах от площади водосбора, с учетом климатических параметров территории фактически характеризует расход сточных вод, поступающий на фитофильтр. По разным рекомендациям составляет от 1 до 4 % площади обслуживаемой территории.

2. Объем зоны накопления стока, которая выступает в качестве буфера, позволяющего осуществлять накопление некоторого количества сточных вод в период пиковых расходов. При этом стоит учитывать, что длительный застой воды может негативно сказаться на растениях, а также привести к размножению насекомых, поэтому не рекомендуется, чтобы вода находилась на поверхности более суток.

3. Пропускная способность фитофильтра, выражаемая коэффициентом фильтрации K_{ϕ} , мм/ч, определяется грануломет-

рическим составом фильтрующей загрузки, степенью ее уплотнения (наличием свободных пор). Загрузки с большим количеством глинистых и пылевых частиц обладают низкой пропускной способностью. Применение крупной загрузки (песок крупной фракции, гравий и т.д.) может повлечь за собой снижение качества очистки поверхностного стока. Кроме того, такая загрузка обладает пониженной сорбционной и ионообменной способностью. Низкая влагоемкость крупной загрузки может привести к замедлению роста растений вследствие недостатка влаги в засушливые периоды.

Влияние каждого из перечисленных параметров вне зависимости от остальных оказывается не существенным, а производительность фитофильтра определяется их сочетанием. Так, недостаточная площадь фитофильтра может быть компенсирована увеличенной зоной накопления стока, а применение загрузки с низкой пропускной способностью потребует использования значительных площадей под фитофильтр. Все указанные параметры задаются при проектировании фитофильтра. При этом нужно понимать, что если площадь фитофильтра и объем зоны накопления остаются практически неизменными в течение срока эксплуатации, то пропускная способность может изменяться в значительном диапазоне, как правило, уменьшаться.

Снижение пропускной способности фильтрующей загрузки в процессе эксплуатации является одной из основных проблем фитофильтров. Это может привести к снижению качества очистки, большему объему переливов поверхностного стока по байпасной линии без очистки, проблемам с застоем воды в системе.

Основной причиной снижения пропускной способности фитофильтра со временем является накопление осадка [3], которое может происходить либо в поверхностном слое загрузки, либо в ее толще, за счет заполнения частицами межпорового пространства [4]. Изучение работы более 37 существующих фитофильтров показало, что снижение пропускной способности определяется в основном загрязнением верхнего слоя загрузки [5]. При этом известно, что снижение пропускной способности более существенно для систем с высоким начальным коэффициентом фильтрации. Это может быть объяснено большей разницей размеров загрузки и задерживаемых частиц, что приводит к более глубокому их прониканию и заполнению пор загрузки. В системах с низким K_{ϕ} размеры загрязнений более близки к размерам загрузки, поэтому не вызывают столь значительного эффекта.

Снижение пропускной способности фиточильтров также происходит за счет уплотнения фильтрующей загрузки. Это особенно заметно в первые месяцы эксплуатации фиточильтра после возведения. Дальнейшего уплотнения загрузки, как правило, не происходит, и снижение пропускной способности обусловливается лишь ее засорением. В некоторой степени пропускная способность может быть восстановлена рыхлением поверхности фиточильтра, однако в ряде случаев требуется замена верхнего слоя загрузки.

Важным результатом исследований фиточильтров является то, что пропускная способность может самостоятельно восстанавливаться со временем. Например, в исследованиях, проведенных в Monash University (г. Мельбурн), в первые 6 месяцев пропускная способность фиточильтра упала с 300 мм/ч и до менее чем 50 мм/ч, но за год восстановилась до значения 200 мм/ч. Авторы сделали выводы, что восстановление пропускной способности обусловлено созданием макропор корнями растений при их росте и отмирании [6].

Однако не все растения способны эффективно восстанавливать пропускную способность. Так, в работе [7] показано, что растения с тонкими длинными корнями образует развитый «каркас», дополнительно скрепляющий почву. Растения же с толстыми корнями, наоборот, раздвигают почву, что способствует образованию макропор. Кроме того, применяемые растения должны быть приспособлены к климатическим особенностям территории, чередованию сухих и влажных периодов, а также быть устойчивыми к токсичным веществам, присутствующим в стоке (нефтепродукты, тяжелые металлы).

К сожалению, практически невозможно точно предсказать, как будет эволюционировать система при длительной эксплуатации. Однако из ряда исследований известно, что системы с площадью порядка 2 % водосборной территории и начальной пропускной способностью 100–300 мм/ч успешно функционируют в умеренном климате в течение долгого времени. Это важный результат, полученный из широкого обзора существующих фиточильтров возрастом свыше 9 лет [5].

Важно отметить влияние качественного состава поверхностного стока, в особенности содержания грубодисперсных примесей, на скорость снижения пропускной способности. В работе [8] лишь экспериментально подтверждено влияние concentra-

ции, тем не менее вопрос зависимости скорости снижения пропускной способности от качества поступающего стока требует более глубокой проработки. Это особенно актуально, учитывая, что концентрации взвешенных веществ в поверхностном стоке могут колебаться в значительном диапазоне и достигать нескольких граммов на литр [9]. Подача такого стока на фитофильтры может потребовать предварительной очистки.

Снизить нагрузку взвешенных веществ на фильтрующую загрузку может и мульчирование поверхности. Мульча представляет собой слой рыхлого, чаще всего органического материала, раскладываемого на поверхности почвы: опилки, хвоя, кора деревьев, сено, либо из верхнего богатого гумусом слоя почвы. Мульча создает пористый слой на поверхности загрузки, который участвует в извлечении грубодисперсных примесей. Кроме того, мульча участвует в извлечении нефтепродуктов и тяжелых металлов, предотвращает эрозию почвенного слоя, сохраняет влагу в растительной зоне, является средой для развития микроорганизмов и распада органических веществ.

Производительность фитофильтров на территориях с холодным климатом, в том числе на Западном Урале, зависит от пропускной способности при околонулевых температурах, когда наблюдается замерзание жидкости в толще загрузки, что может снизить ее пропускную способность практически до нуля. Известно, что пропускная способность замерзших почв определяется содержанием в них влаги во время замерзания, структурой и температурой почвы [10]. Различные сочетания указанных параметров приводят к возможности появления различных форм замерзания: полное замерзание (с отверждением) происходит в почве, насыщенной водой с образованием ледяного слоя, движение воды в котором практически невозможно; зернистое замерзание происходит в незатопленной почве с низкой влажностью и характеризуется высокой пропускной способностью; поровое замерзание характеризуется наибольшей пропускной способностью. Учет особенностей поведения загрузки при замерзании позволяет успешно функционировать фитофильтрам в районах с холодным климатом, что подтверждается опытом их применения на Аляске, в Норвегии и Швеции.

Таким образом, поддержание производительности фитофильтра на требуемом уровне является одной из основных эксплуатационных задач. Тем не менее основа работоспособности

системы в течение долгого времени закладывается на этапе ее проектирования. Для грамотного подбора начальных параметров системы необходима возможность точного прогнозирования ее изменений в дальнейшем. Это потребует проведения исследований по изменению пропускной способности загрузки в зависимости от ее характеристик, качественного состава поступающего стока, климатических и гидрогеологических особенностей территории, применяемой растительности и других параметров.

Библиографический список

1. Removal of nutrients, heavy metals and pathogens by stormwater biofilters/ K. Bratières, T.D. Fletcher, A. Deletic, L. Alcazar, S. Le Coustumer, D. McCarthy, Y. Zinger // 11th International Conference on Urban Drainage (ICUD). – Edinburgh, Scotland, 2008.

2. Dietz M., Clausen J. A field evaluation of rain garden flow and pollutant treatment // Water, Air and Soil Pollution. – 2008. – Vol. 167. – P. 123–138.

3. Bouwer H. Artificial recharge of groundwater: hydrogeology and engineering // Hydrogeology Journal. – 2002. – Vol. 10. – P. 121–142.

4. Winter K.-J., Goetz D. The impact of sewage composition on the soil clogging phenomena of vertical flow constructed wetlands // Water Science and Technology. – 2003. – Vol. 48(5). – P. 9–14.

5. Hydraulic performance of biofilters for stormwater management: first lessons from both laboratory and field studies / S. Le Coustumer, T.D. Fletcher, A. Deletic, M. Potter // Water Science and Technology. – 2008. – Vol. 56(10). – P. 93–100.

6. Hatt B.E., Fletcher T.D., Deletic A. Hydrologic and pollutant removal performance of stormwater biofiltration systems at the field scale // Journal of Hydrology. – 2008. – Vol. 365. – P. 310–321.

7. Archer A.N.L., Quniton J.N., Hess T.M. Below – ground relationships of soil texture, roots and hydraulic conductivity in two-phase mosaic vegetation in South-east Spain // Journal of Arid Environments. – 2002. – Vol. 52. – P. 535–553.

8. Influence of time and design on the hydraulic performance of biofiltration systems for stormwater management / S. Le Coustumer, T. Fletcher, A. Deletic, S. Barraud // 11th International Conference on Urban Drainage. – Edinburgh, Scotland, UK, 2008.

9. Щукин И.С., Мелехин А.Г. Качественный состав поверхностного стока с территории г. Перми // Вестник Перм. нац. исслед. политехн. ун-та. Урбанистика. – 2012. – № 4. – С. 110–118.

10. Xiuqing Z., Flerchinger G.N. Infiltration into Freezing and Thawing Soils Under Differing Field Treatments // Journal of Irrigation and Drainage Engineering. – 2001. – № 127. – P. 176–182

References

1. Bratières K., Fletcher T.D., Deletic A., Alcazar L., Le Coustumer S., McCarthy D., Zinger Y. Removal of nutrients, heavy metals and pathogens by stormwater biofilters. *11th International Conference on Urban Drainage (ICUD)*. Edinburgh, Scotland, 2008.
2. Dietz M., Clausen J. A field evaluation of rain garden flow and pollutant treatment. *Water, Air and Soil Pollution*, 2008, vol. 167, pp. 123–138.
3. Bouwer H. Artificial recharge of groundwater: hydrogeology and engineering. *Hydrogeology Journal*, 2002, vol. 10, pp. 121–142.
4. Winter K.-J., Goetz D. The impact of sewage composition on the soil clogging phenomena of vertical flow constructed wetlands. *Water Science and Technology*, 2003, vol. 48(5), pp. 9–14.
5. Le Coustumer S., Fletcher T.D., Deletic A., Potter M. Hydraulic performance of biofilters for stormwater management: first lessons from both laboratory and field studies. *Water Science and Technology*, 2008, vol. 56(10), pp. 93–100.
6. Hatt B.E., Fletcher T.D., Deletic A. Hydrologic and pollutant removal performance of stormwater biofiltration systems at the field scale. *Journal of Hydrology*, 2008, vol. 365, pp. 310–321.
7. Archer A.N.L., Quniton J.N., Hess T.M. Below – ground relationships of soil texture, roots and hydraulic conductivity in two-phase mosaic vegetation in South-east Spain. *Journal of Arid Environments*, 2002, vol. 52, pp. 535–553.
8. Le Coustumer S., Fletcher T., Deletic A., Barraud S. Influence of time and design on the hydraulic performance of biofiltration systems for stormwater management. *11th International Conference on Urban Drainage*, Edinburgh, Scotland, UK, 2008.
9. Schhukin I.S., Melehin A.G. Kachestvennyj sostav poverhnostnogo stoka s territorii g. Permi [The qualitative composition of Perm stormwater runoff]. *Vestnik Permskogo natsionalnogo politekhnicheskogo universiteta. Urbanistika*, 2012, no. 4, pp. 110–118.
10. Xiuqing Z., Flerchinger G.N. Infiltration into Freezing and Thawing Soils Under Differing Field Treatments. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, 2001, no. 127, pp. 176–182.

Получено 20.05.2013

I. Schukin, A. Melekhin

**ABOUT RAINGARDENS PERFORMANCE
FOR URBAN STORMWATER TREATMENT**

Parameters that affect the raingardens performance: area, volume, flow accumulation zone, the capacity load are considered. The most important parameter is the hydraulic conductivity, that is prone to decrease during operation due to clogging of the filter and seal boot. Hydraulic conductivity decrease can be reduced by the action of the vegetation located therein or at service raingardens. However, the questions of raingardens performance change during operation in various conditions not well understood, which limits their use, including in Russia.

Keywords: wastewater treatment, stormwater raingardens, stormwater biofilters.

Мелехин Александр Германович (Пермь, Россия) – д-р техн. наук, проф., заведующий кафедрой теплоснабжения, вентиляции и водоснабжения, водоотведения, Пермский национальный исследовательский политехнический университет (614990, г. Пермь, Комсомольский пр., 29, e-mail: vv-stf@pstu.ru).

Щукин Игорь Сергеевич (Пермь, Россия) – аспирант, ассистент кафедры теплоснабжения, вентиляции и водоснабжения, водоотведения, Пермский национальный исследовательский политехнический университет (614990, г. Пермь, Комсомольский пр., 29, e-mail: shchukin-is@yandex.ru).

Melekhin Alexander (Perm, Russia) – Doctor of Technical Science, Head of Chair of “Heating, ventilation and water supply, sewage”, Perm National Research Polytechnic University (614990, Perm, Komsomolsky av., 29, e-mail: vv-stf@pstu.ru).

Schukin Igor (Perm, Russia) – Postgraduate, assistant of Chair of “Heating, ventilation and water supply, sewage”, Perm National Research Polytechnic University (614990, Perm, Komsomolsky av., 29, e-mail: shchukin-is@yandex.ru).