

УДК 628.212.2/3

Опыт всесезонной эксплуатации фильтра ФОПС® при очистке поверхностного стока с техногенно нагруженной селитебной территории

Н. И. ВАТИН¹, М. А. ГРЕКОВ², Л. В. ЛЕОНОВ³, М. Д. ПРОБИРСКИЙ⁴,
О. Н. РУБЛЕВСКАЯ⁵, А. В. ЧЕЧЕВИЧКИН⁶, Л. А. ЯКУНИН⁷

- ¹ Ватин Николай Иванович, доктор технических наук, директор Инженерно-строительного института, Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого 194064, Россия, Санкт-Петербург, Политехническая ул., 29, тел.: (812) 552-79-03, e-mail: director@ice.spbstu.ru
- ² Греков Михаил Александрович, главный инженер, Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого 194064, Россия, Санкт-Петербург, Политехническая ул., 29, тел.: (812) 297-20-45, e-mail: disgpu@spbstu.ru
- ³ Леонов Леонид Владимирович, главный специалист Департамента технологического развития и охраны окружающей среды, ГУП «Водоканал Санкт-Петербурга» 191015, Россия, Санкт-Петербург, Кавалергардская ул., 42, тел.: (812) 447-92-62, e-mail: Leonov_LV@vodokanal.spb.ru
- ⁴ Пробирский Михаил Давидович, директор филиала «Водоотведение Санкт-Петербурга», ГУП «Водоканал Санкт-Петербурга» 198184, Россия, Санкт-Петербург, остров Белый, 1, тел.: (812) 713-90-06, e-mail: Probirskiy_MD@vodokanal.spb.ru
- ⁵ Рублевская Ольга Николаевна, директор Департамента технологического развития и охраны окружающей среды, ГУП «Водоканал Санкт-Петербурга» 191015, Россия, Санкт-Петербург, Кавалергардская ул., 42, тел.: (812) 438-43-45, e-mail: Rublevskaya_ON@vodokanal.spb.ru
- ⁶ Чечевичкин Алексей Викторович, генеральный директор ООО «Аква-Венчур®» 195220, Россия, Санкт-Петербург, Гражданский проспект, 22, тел.: (812) 640-08-40, e-mail: 01@6400840.ru
- ⁷ Якунин Леонид Александрович, инженер, ООО «Аква-Венчур®» 195220, Россия, Санкт-Петербург, Гражданский проспект, 22, тел.: (812) 640-08-40, e-mail: 77@6400840.ru

Селитебные территории, особенно крупных городов, в настоящее время подвергаются техногенному загрязнению, связанному с интенсивным движением транспорта, развитием организованных территорий, в том числе вблизи больших торгово-развлекательных комплексов и других массово посещаемых объектов. Для улучшения качества жизни горожан и сокращения негативного воздействия на окружающую среду особое внимание следует уделять вопросам сбора, отвода и очистки поверхностного стока с таких территорий. Целью работы по тестированию фильтра ФОПС®-МУ в течение четырех сезонов (весна – лето – осень – зима – весна) была оценка эффективности и целесообразности эксплуатации данного оборудования для очистки поверхностного стока. В процессе наблюдений установлено, что основным источником загрязнений (взвешенные вещества, нефтепродукты, железо, марганец) в поверхностном стоке

с селитебных территорий является автотранспорт. Пиковые концентрации некоторых загрязнителей (железо, нефтепродукты) достигали значений 150–400 ПДК на сброс в ливневую канализацию. Всесезонная непрерывная эксплуатация (в течение 13 месяцев) фильтра ФОПС®-МУ показала высокую эффективность очистки по различным загрязнителям на протяжении всего периода испытаний без потери его штатной производительности, в том числе и после периода отрицательных температур. Достижению высоких эксплуатационных характеристик фильтра ФОПС®-МУ способствовало использование перед ним фильтра-корзины (фильтр ФОПС®-К) для сбора мусора.

Ключевые слова: селитебная территория, поверхностный сток, канализационный колодец, фильтропатрон, фильтр-корзина, эффективность очистки.

Селитебные территории в крупных городах подвергаются постоянной антропогенной нагрузке, которая проявляется в возрастающем их загрязнении [1–8]. Как известно, селитебные территории предназначены для размещения жилищного фонда и общественных зданий и сооружений, коммунальных и промышленных объектов, садов, бульваров и других общественных мест, а также путей внутригородского сообщения (СНиП 2.07.01-89 «Градостроительство. Планировка и застройка городских и сельских поселений»). Транспортные магистрали для электро- и автотранспорта являются основным источником загрязнения территорий, причем даже внутриквартальные проезды очень часто представляют собой участки дорог с интенсивным движением автотранспорта.

Вопрос загрязнения поверхностного стока крупных автодорог и автомагистралей регулярно изучается [9–13]. По данным исследований [14; 15], концентрации взвешенных веществ, нефтепродуктов, железа в поверхностном стоке дорог на селитебных территориях могут достигать значения, превышающие ПДК в десятки и даже сотни раз.

Очистка больших объемов поверхностного стока, загрязненного веществами различной физико-химической природы, представляет собой сложную технологическую задачу, при решении которой хорошо зарекомендовали себя фильтрационно-сорбционные технологии [16–24].

В условиях дефицита пространства для размещения сооружений традиционного исполнения (особенно в центральной части городов) очистка поверхностного стока осуществляется в дождеприемных канализационных колодцах при помощи сорбционно-фильтрующих элементов (фильтропатронов) [15; 25–29]. Фильтры ФОПС® различных модификаций производства ООО «Аква-Венчур®» представляют собой проницаемые для воды контейнеры цилиндрической формы, внутри которых размещены в определенных комбинациях фильтрующие и сорбционные материалы, предназначенные для очистки поверхностного стока того или иного состава [15; 26; 29–31].

Ресурс использования (т. е. время работы фильтра с высокой эффективностью очистки) предполагает эксплуатацию фильтропатронов в непрерывном режиме в течение достаточно длительного времени. При круглогодичной эксплуатации любых очистных сооружений (практически на всей территории России), находящихся вне отапливаемых строений, важно сохранить их работоспособность после периода отрицательных температур.

Оценку эксплуатационных характеристик фильтропатронов (сорбционно-фильтрационных элементов, в том числе и фильтров типа ФОПС®), находящихся в канализационных колодцах, следует рассматривать по двум основным критериям: изменение пропускной способности и обеспечение требуемой эффективности очистки сточных вод в течение длительного периода работы.

Изменение пропускной способности во время эксплуатации, особенно при отрицательных температурах, может быть вызвано замерзанием воды в поровом объеме между частичками загрузки фильтра. Подобное явление может происходить, когда фильтр полностью или частично затоплен водой, при условии расположения его в канализационном колодце на уровне выше глубины промерзания грунта (например, при недостаточной глубине колодцев). Если фильтр находится в «подвешенном» состоянии, т. е. выше уровня воды в колодце, то кольматация порового пространства загрузки льдом практически не происходит, так как избыток воды стекает на дно колодца, даже в случае расположения фильтра выше глубины промерзания грунта. Весной, после достижения положительных температур окружающего воздуха и поступления талого стока на такой фильтр, его пропускная способность быстро восстанавливается до штатной величины. Замерзший в колодце вместе с водой фильтр требует для его разморозки и выхода на рабочий режим значительно большего времени. При замерзании фильтра также возможно разрушение его корпуса с образованием трещин и высыпанием загрузки в канализационный колодец, что обычно приводит к снижению эффективности очистки.

В процессе тестирования фильтропатрона (фильтра ФОПС®-МУ) проводилась оценка эффективности очистки поверхностного стока с реальной селитебной территории с учетом всех возможных изменений внешних условий – расхода и загрязненности стока, температуры и т. д.

Фильтр ФОПС®-МУ-0,58-1,8 был установлен в канализационном колодце под дождеприемную решетку на разборное опорное кольцо марки ОК-1,0-0,58-РА (серийный выпуск ООО «Аква-Венчур®»). Условия эксплуатации фильтра были подробно описаны в [15]. Установка фильтра в колодец и выемка его после использования осуществлялись с помощью манипулятора на автомобиле «КАМАЗ» (рис. 1).

Одной из задач данной работы была разработка способа отбора проб из колодца до и после фильтра, т. е. перед очисткой и непосредственно



Рис. 1. Размещение (или удаление) фильтра ФОПС®-МУ-0,58-1,8 внутри канализационного колодца с помощью автоманипулятора

сразу после нее. Если отбор проб воды до очистки, т. е. из верхней части колодца (из-под дождеприемной решетки), не представлял технической сложности, то отбор воды сразу после фильтра, который расположен и герметично зафиксирован в колодце, представляет собой сложную задачу, пока еще не решенную на сегодняшний день в техническом отношении.

Отбор проб после фильтра не может осуществляться со дна колодца даже в случае, если в него поступает сток, прошедший только через один фильтр ФОПС®, так как в процессе эксплуатации на дне колодца накапливаются взвешенные вещества и другие загрязнители, что, несомненно, будет искажать результаты анализов. В случае если в колодец поступает неочищенный сток еще и из других колодцев (как это имело место при проведении испытаний), то отбор пробы со дна колодца тем более не имеет смысла.

Данная техническая задача была решена при помощи специального оригинального отсека запатентованной конструкции [32]. Для сбора воды после фильтра отсек был установлен непосредственно на его корпусе таким образом, что исключалось попадание в него воды со дна колодца. Отсек был закреплен на нижней части фильтра ФОПС® (рис. 2) и в нерабочем положении (в режиме работы без отбора проб) откидывался при помощи шарирных соединений под углом 90° к плоскости нижнего дна фильтра (или дна колодца). В этом положении очищенный сток после фильтра ФОПС® поступал в колодец, минуя отсек для сбора пробы.

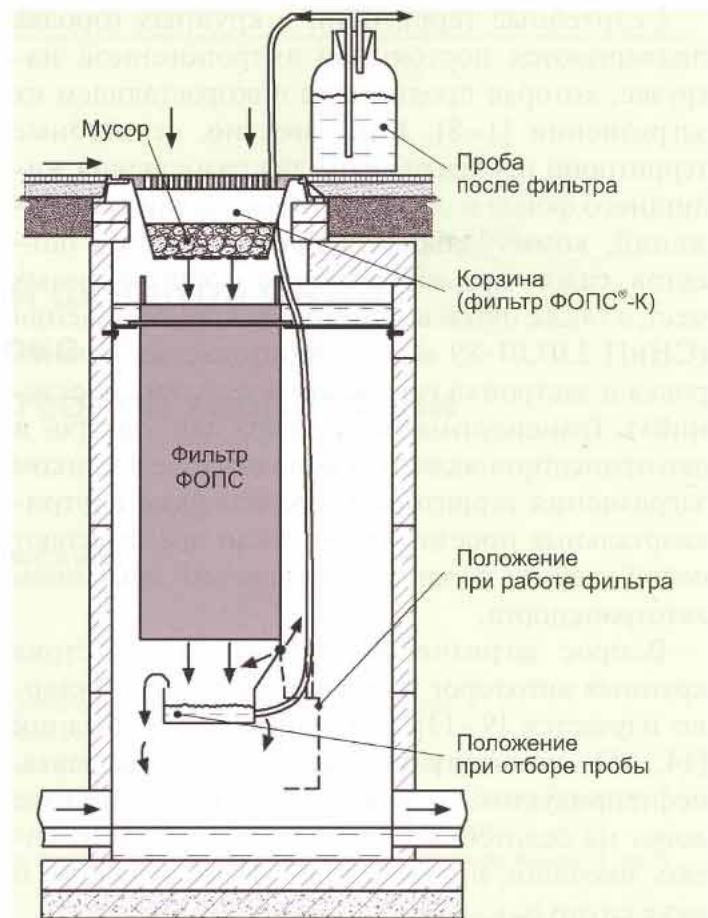


Рис. 2. Схема работы системы пробоотбора из колодца с установленным в нем фильтром ФОПС®-МУ

В режиме работы с отбором пробы отсек подтягивался вверх и фиксировался стопорным устройством в положении, параллельном плоскости выходной решетки фильтра ФОПС® (и плоскости дна колодца), что обеспечивало сбор части очищенного стока, выходящего из фильтра. После процедуры отбора пробы отсек возвращался в прежнее положение при помощи стопорного устройства.

Для отбора проб из отсека через его корпус в специальном герметичном трубчатом канале была пропущена силиконовая гибкая трубка, соединенная с отсеком и имеющая в нижней части запас длины для работы в обоих положениях эксплуатации отсека. Выход этой трубки из фильтра ФОПС® осуществлялся через специальный штуцер в верхней его части.

Вода из отсека перемещалась с помощью устройства, внешний вид которого представлен на рис. 3. Устройство, расположенное на колесной тележке, представляет собой вакуумированные емкости из нержавеющей стали (два баллона объемом по 25 дм³ каждый), соединенные гибкими силиконовыми трубками со стеклянными бутылями объемом 5 дм³ каждая, а также трубкой пробоотбора из отсека для отбора проб.



Рис. 3. Устройство для вакуумного пробоотбора при его работе на объекте

Вакуумированные емкости предварительно откачивали с помощью вакуумного насоса до остаточного давления не более 150 мм рт. ст., причем падение давления после откачки составляло не более 70–80 мм рт. ст. в час. Устройство позволяло отбирать воду с глубины не менее 6 м в количестве не менее 10 дм³ за одну операцию. Пробы воды в количестве 5 дм³ до очистки и 5 дм³ после очистки доставлялись в лабораторию для аналитического контроля на содержание загрязнителей.

Кроме того, с помощью описанных устройств проводили определение реального расхода воды, прошедшей через фильтр, которое заключалось в измерении количества воды, удаленной из отсека в рабочем положении за определенный промежуток времени.

Для измерения расхода воды отсек приводили в рабочее положение (параллельно плоскости выходной решетки фильтра ФОПС®) и одновременно включали секундомер. Далее через 3 секунды (для интенсивного дождя), 5 секунд (для умеренного дождя) и 10 секунд (для дождя малой

интенсивности) открывали кран, соединяющий емкость (бутыль 5 дм³) для воды с предварительно вакуумированными баллонами устройства, начиная удаление накопившейся за это время в отсеке воды. Останавливали секундомер, фиксируя время t в момент, когда в емкость (бутыль) для воды начинали поступать пузырьки воздуха из отсека. Объем воды, набранной в емкости (бутыли), измеряли с точностью ± 1 см³. Реальный расход воды, поступающей на фильтр, вычисляли по формуле:

$$G = 0,06k \frac{v}{t},$$

где G – расход воды, м³/ч; 0,06 – коэффициент (безразмерный) перевода дм³/мин в м³/ч; k – коэффициент, отражающий отношение площади открытой части отсека для отбора пробы (в рабочем положении) к площади нижней водосливной решетки фильтра ФОПС®-МУ (для использовавшегося в работе фильтра ФОПС®-МУ-0,58-1,8 коэффициент k был равен 0,5); v – объем воды в бутыли, дм³; t – время сбора воды в бутыль, мин.

Было установлено, что на протяжении всего периода испытаний реальный (измеренный) рабочий расход воды, поступающей на фильтр ФОПС®-МУ-0,58-1,8, находился в диапазоне 2–4 м³/ч (0,6–1,1 л/с) при интенсивных дождях, когда избыток воды сливался по байпасу в расположенный рядом колодец. При этом фильтр ФОПС®-МУ работал в напорном режиме, причем высота слоя воды над ним (при сливе избытка в соседний колодец) составляла 0,5 м. Максимальный расход во время дождя определялся в момент времени, который устанавливался визуально (по наличию слоя воды над фильтром).

Результаты измерений максимального расхода воды через фильтр ФОПС®-МУ-0,58-1,8 во время интенсивной фазы дождя за период испытаний представлены на рис. 4, из которого видно, что на протяжении одного года непрерывной эксплуатации фильтра ФОПС®-МУ-0,58-1,8 максимальный расход воды через него был боль-



Рис. 4. Изменение максимального расхода воды через фильтр ФОПС®-МУ-0,58-1,8 во время интенсивной фазы дождя за период испытаний

Таблица 1

Показатель, мг/дм ³	Максимальная концентрация	Кратность превышения ПДК	Норматив сброса (ПДК)
Взвешенные вещества	1000	173,9	5,75
Нефтепродукты	76	1520	0,05
Анионные СПАВ	2,5	5,0	0,5
ХПК	747	24,9	30
БПК ₅	352	176	2
Железо общее	48,7	487	0,1
Марганец	0,89	89	0,01

ше 2 м³/ч, но не превышал 4 м³/ч (что соответствует паспортным данным о производительности фильтра). В конце периода эксплуатации производительность фильтра снизилась ниже штатной, после чего он был выведен из эксплуатации.

Максимальные концентрации загрязнений, контролировавшихся в течение испытаний (весна 2016 г. – лето 2017 г.) фильтра ФОПС®-МУ-0,58-1,8 в исходной (до очистки) воде, приведены в табл. 1, а также на рис. 5. Представленные данные свидетельствуют о достаточно большой сорбционно-фильтрационной нагрузке на фильтр.

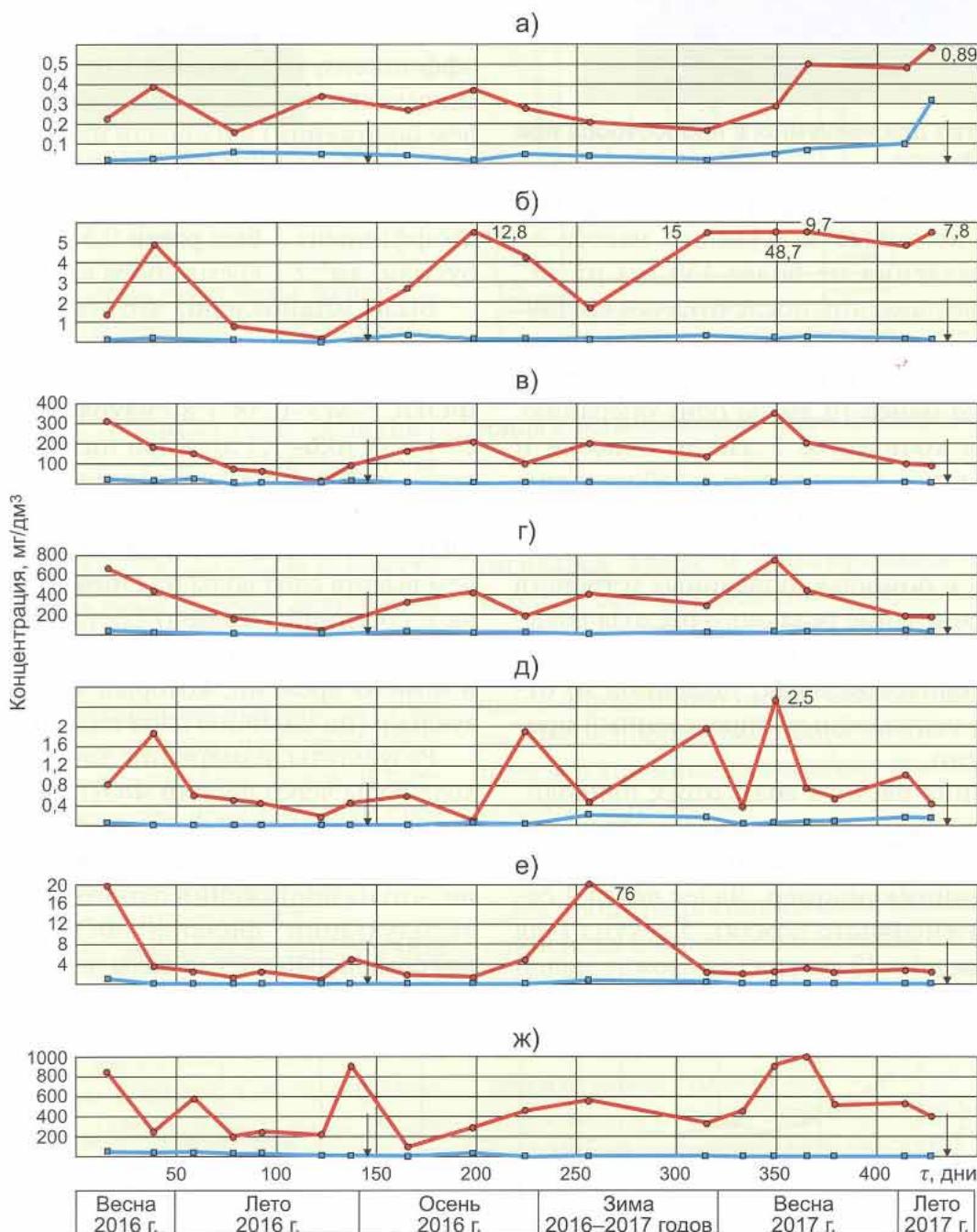


Рис. 5. Изменение концентраций различных загрязняющих веществ до (—) и после (—) фильтра ФОПС®-МУ в течение периода испытаний (стрелками обозначены моменты выгрузки мусора из корзины)
а – марганец; б – железо; в – БПК₅; г – ХПК; д – анионные СПАВ; е – нефтепродукты;
ж – взвешенные вещества

Представленные результаты показывают, что исходные концентрации всех контролируемых загрязняющих веществ имеют тенденцию к уменьшению в течение летнего периода. Это связано с отмывкой водосборных поверхностей (асфальтовые покрытия и газоны) от накопившихся на них в течение зимнего периода водорастворимых загрязнителей, а также с уменьшением автотранспортной нагрузки на дорогу летом (ввиду особенностей выбранной для изучения территории). Колебательный характер изменения исходных концентраций загрязняющих веществ (до фильтра) связан, по-видимому, с нерегулярным и случайным поступлением их на контролируемый участок селитебной территории (преимущественно из автотранспорта).

Максимальные пиковые концентрации большинства загрязняющих веществ (взвешенные вещества, анионные СПАВ, ХПК, БПК₅, железо

и марганец) характерны для весеннего периода, когда смываются загрязнения, накопившиеся в зимний период. Поступление в поверхностный сток нефтепродуктов и марганца имеет постоянный характер, хотя имел место залповый выброс нефтепродуктов с концентрацией около 1500 ПДК, произошедший в зимний период. Это может быть связано с разливом нефтепродуктов, накоплением их в холодное время на проезжей части и последующим сбросом во время оттепели.

Концентрации загрязняющих веществ в очищенном стоке имели на протяжении всего периода эксплуатации низкие значения, соответствующие требованиям на сброс в ливневую канализацию.

Данные по эффективности очистки поверхностного стока по различным загрязняющим веществам в течение испытательного периода фильтра ФОПС®-МУ представлены на рис. 6.

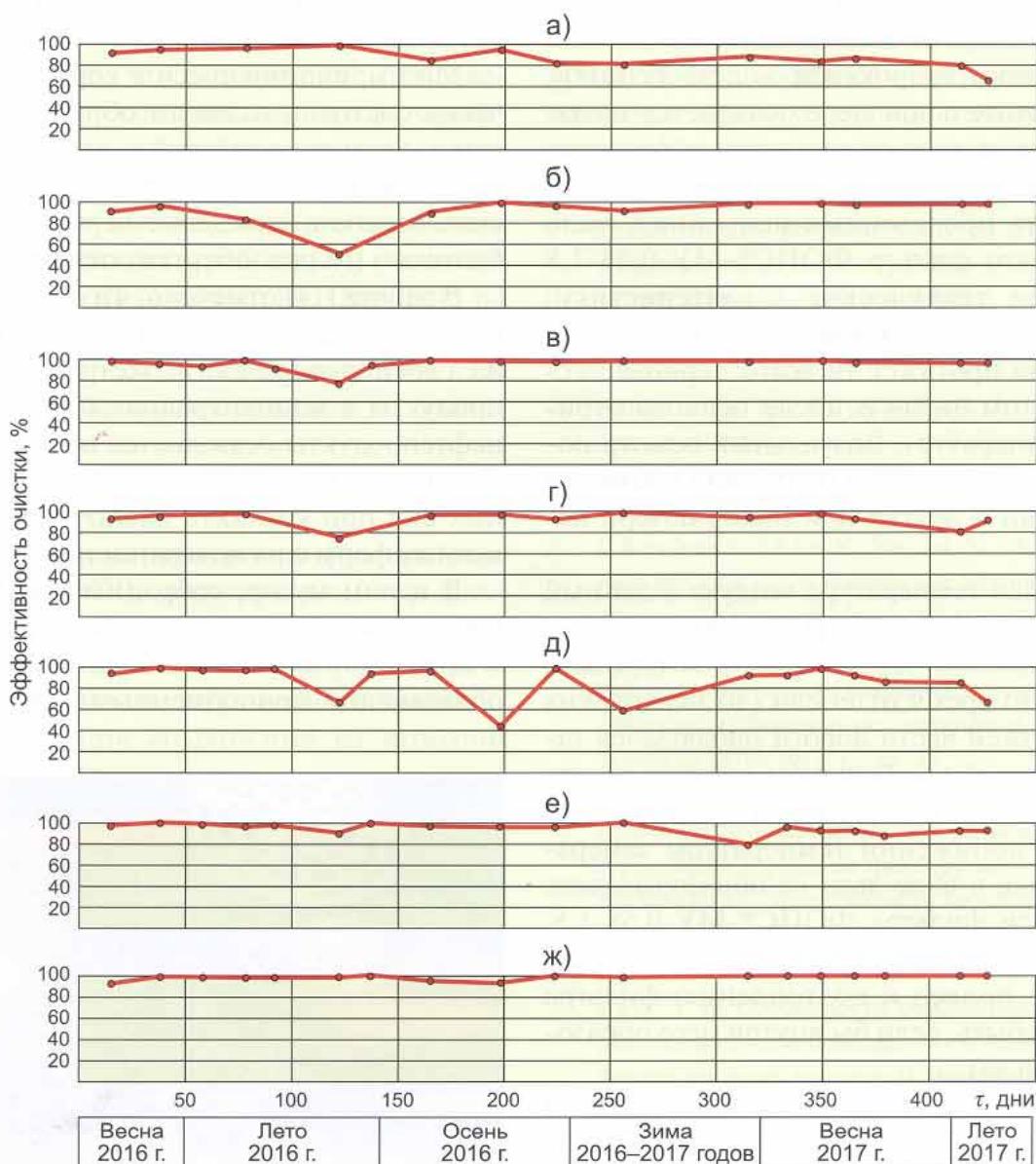


Рис. 6. Изменение эффективности очистки ливневого стока фильтром ФОПС®-МУ

а – марганец; б – железо; в – БПК₅; г – ХПК; д – анионные СПАВ; е – нефтепродукты; ж – взвешенные вещества

Установлено, что эффективность очистки является достаточно высокой и стабильной на протяжении более года его эксплуатации.

Эффективность очистки по анионным СПАВ имела значительные колебания (44–97%).

Высокая эффективность очистки по иону марганца, наблюдавшаяся в течение всего периода испытаний, свидетельствует о нахождении этого иона в органической форме (органические водорастворимые соединения марганца либо ассоциаты иона марганца с органическими веществами). Возможно также, что высокодисперсный оксид магния MnO_2 , который образуется при сгорании топлива, может ассоциировать с нефтепродуктами, анионными СПАВ и взвешенными веществами и при определенных (восстановительных) условиях являться поставщиком иона Mn^{2+} .

Значительная эффективность очистки по железу общему свидетельствует, видимо, о нахождении железа в окисленном состоянии (Fe^{3+}) в виде мелкодисперсного гидроксида железа $Fe(OH)_3$, который в значительной мере осаждается на загрузке фильтра за счет ее адгезионно-фильтрационных свойств.

В результате проведенных испытаний было установлено, что фильтр ФОПС®-МУ-0,58-1,8 сохранил свои технические характеристики: производительность и эффективность очистки сточных вод на протяжении всего периода эксплуатации (в том числе и после периода отрицательных температур). Визуальный осмотр после проведения испытаний не выявил в корпусе фильтра трещин и других признаков потери целостности.

Минимальная температура воздуха в данный период составила $-20,6^{\circ}C$. Изучавшийся период характеризовался чередованием заморозков с оттепелью. Во время оттепели (до нескольких дней) на проезжей части дороги наблюдался талый сток, который в небольшом количестве поступал на испытуемый фильтр. После периода оттепели при понижении температуры замерзшая масса стока в виде льда не образовывалась в верхней части фильтра ФОПС®-МУ-0,58-1,8. Это подтвердилось тем, что дождевой сток в начале марта не привел к подтоплению фильтра (как это могло быть, если бы внутри него образовался массив льда).

Весьма важным является вопрос о задержании фильтром ФОПС®-МУ мусора, попадающего на него вместе со стоком с селитебной территории. Мусор в фильтре собирался в специальную корзину с сеткой (фильтр ФОПС®-К, выпускаемый ООО «Аква-Венчур®» [33]), которая устанавливала-

лась сверху (перед фильтром по ходу движения воды).

Корзина изымалась из колодца (при удаленной водосливной решетке), а мусор выгружался в мешки и высушивался в лаборатории при температуре $22 \pm 1^{\circ}C$. Было установлено, что за время первого периода испытаний (145 дней) из всего объема стока, прошедшего через фильтр, было задержано 4,4 кг мусора и взвешенных веществ, что составило $5,9 \text{ г}/\text{м}^3$ загрязнений, а за время второго периода (290 дней) задержано 24,7 кг, что соответствовало $36 \text{ г}/\text{м}^3$ загрязнений (на рис. 5 изъятие корзины отмечено стрелками). Такая большая разница объясняется не только различиями в продолжительности периодов сбора мусора, но и тем обстоятельством, что вторая часть исследований пришлась на периоды, когда на дорогах много листьев (осень) и мусора (зима – весна). Внешний вид корзины с мусором, накопившимся на фильтре ФОПС®-МУ в колодце, представлен на рис. 7.

Массы, скопившиеся в корзине, морфологически состояли главным образом из песка, листьев, веточек, соцветий и семян деревьев, травы, а также небольшого количества фаунистических остатков (дождевые черви и насекомые) и бытового мусора (обертки, окурки).

В работе [14] отмечено, что взвешенные вещества различного фракционного состава содержат на своей поверхности экстрагируемые нефтепродукты в концентрациях 0,87–27,3 мг/г. Эти нефтепродукты осаждаются на частицах песка и других материалов в основном за счет адгезионных сил при контакте пленочных и эмульгированных форм с их поверхностью.

В целом мусор, собранный фильтром, можно охарактеризовать как достаточно пористый и сорбционно-активный материал (возможно, обладающий ионообменными свойствами), ко-



Рис. 7. Внешний вид фильтра-корзины с мусором, накопившимся в период с сентября 2016 г. по июнь 2017 г.

Таблица 2

Компонент мусора	Размер частиц, мм	Концентрация нефтепродуктов*, мг/г
Песок:	мелкий	0,06–0,1
	средний	0,1–0,5
	крупный	0,5–2
Мусор**	2–20	38,44
Листья	—	20,18

* В пересчете на сухое вещество; ** морфологически мусор состоял из семян клена и ясения, веточек, окурков, насекомых, ягод и т. д.

торый может дополнительно удалять из воды и накапливать загрязняющие вещества.

В табл. 2 представлены данные по удельному содержанию нефтепродуктов, экстрагированных из отдельных компонентов мусора, накопившегося перед фильтром ФОПС®-МУ-0,58-1,8 во время его эксплуатации. Экстракцию проводили четыреххлористым углеродом из высушенного материала.

Из табл. 2 видно, что все компоненты взвешенных веществ (песок, листья, мусор) содержат нефтепродукты, адсорбированные на них при контакте с поверхностным стоком. Значения эти достаточно высоки, хотя для песка они ниже, чем приведенные в работе [14] значения для фракций песка из талого стока. Обращает на себя внимание, что листья и мусор поглощают значительное количество нефтепродуктов, т. е. являются дополнительным средством их удаления из воды.

Выходы

1. Применение фильтропатронов (на примере фильтра ФОПС®-МУ), устанавливаемых в дождеприемные колодцы под водосливную решетку, позволяет круглогодично очищать поверхностный сток с селитебных территорий с высокой эффективностью при сохранении их штатной производительности.
2. В процессе испытаний в период с весны 2016 г. до лета 2017 г. (один год и два месяца) фильтр ФОПС®-МУ-0,58-1,8 обеспечил очистку загрязненных дождевых и талых сточных вод с территории площадью 0,35 га в объеме 1760 м³ до остаточных концентраций, не превышающих нормативы на сброс в ливневую канализационную сеть Санкт-Петербурга. Эффективность очистки загрязненных дождевых и талых сточных вод на фильтре составила: по взвешенным веществам – 92–99% (при концентрации их в исходной воде до 1000 мг/дм³); по нефтепродуктам – 79–99% (до 76 мг/дм³); по анионным СПАВ – 44–99% (до 2,5 мг/дм³); по ХПК – 75–99% (до 747 мг/дм³); по

БПК₅ – 78–99% (до 352 мг/дм³); по железу общему – 50–99% (до 48,7 мг/дм³); по ионам марганца – 64–99% (до 0,89 мг/дм³).

3. Временной ресурс фильтра ФОПС®-МУ в процессе его непрерывной эксплуатации по эффективности очистки загрязненного поверхностного стока (до норм сброса в ливневую канализационную сеть) превысил один год при максимальной штатной производительности не ниже 2 м³/ч (0,6 л/с).
4. Монтаж перед фильтром ФОПС®-МУ корзины (фильтр ФОПС®-К) позволил за период испытаний собрать 29,1 кг мусора.
5. Мусор (песок, листья, антропогенные продукты и т. д.), собираемый с селитебной территории, является пористым сорбционно-фильтрационным материалом, способным дополнительно удалять из поверхностного стока взвешенные вещества и нефтепродукты.
6. Фильтр ФОПС®-МУ сохранил свои технические характеристики как по пропускной способности, так и по эффективности очистки сточных вод после зимнего периода с минимальной температурой окружающего воздуха –20,6 °С.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Рекомендации по расчету систем сбора, отведения и очистки поверхностного стока с селитебных территорий, площадок предприятий и определению условий выпуска его в водные объекты. – М., ОАО «НИИ ВОДГЕО», 2014. 88 с.
2. Anderson M., Eggen O. A. Urban contamination sources reflected in inorganic pollution in urban lake deposits, Bergen, Norway // Environmental Science: Processes & Impacts. 2015. V. 17. P. 854–867.
3. Chechovichkin V., Vatin N. Megacities land drainage and land runoff features and treatment // Applied Mechanics and Materials. 2014. V. 641–642. P. 409–415.
4. Мануйлов М. Б., Московкин В. М. Влияние поверхностного стока (дождевых и талых вод) на экологическую и техногенную ситуацию в городах // Вода и экология. 2016. № 2. С. 35–47.
5. Городков А. В., Козоногина И. В. К исследованию и оценке состояния экосреды примагистральных территорий города по фактору автотранспортных загрязнений // Экологическая безопасность строительства и городского хозяйства. 2017. № 1 (17). С. 53–60.
6. Ватин Н. И., Чечевичкин В. Н., Чечевичкин А. В. Особенности сорбционно-катализитической очистки воздуха в помещениях обитания человека в условиях крупных городов // Инженерно-строительный журнал. 2011. № 1. С. 24–27.
7. Пробирский М. Д., Рублевская О. Н., Ким А. Н., Иваненко И. И. Перспективы отведения и очистки поверхностного стока в Санкт-Петербурге // Водоснабжение и санитарная техника. 2015. № 6. С. 32–40.

8. Lee D. H., Kim J. H., Mendoza J. A., Lee C. H., Kang J.-H. Characterization and source identification of pollutants in runoff from a mixed land use watershed using ordination analyses // Environmental Science and Pollutant Research. 2016. V. 23. P. 9774–9790.
9. Леонов Е. А., Михайлова М. С. Проблемы очистки сточных вод с поверхности автомобильных дорог на примере кольцевой автомобильной дороги вокруг Санкт-Петербурга // Жизнь и безопасность. 2002. № 3. С. 280–286.
10. Пшенин В. Н., Коваленко В. И. Загрязнение ливневых стоков с автомобильных дорог // Вестник ИНЖЕКОНА. 2007. № 6 (19). С. 140–145.
11. Бутянов М. С., Пшенин В. Н. Ливневые стоки с автомобильных дорог // Дорожная держава. 2013. № 48. С. 72–75.
12. Li Y., Lau S.-L., Kayhanian M., Stenstrom M. Particle size distribution in highway runoff // Journal of Environmental Engineering. 2005. № 9. P. 1267–1276.
13. Новикова О. К., Грузинова В. Л. Оптимизация отведения поверхностных сточных вод с учетом их состава с мостов и автомобильных дорог в природные водные объекты // Экологический вестник Северного Кавказа. 2017. Т. 13. № 4. С. 30–34.
14. Чечевичкин В. Н., Ватин Н. И. Особенности состава и очистки поверхностного стока крупных городов // Инженерно-строительный журнал. 2014. № 6. С. 67–74.
15. Ватин Н. И., Греков М. А., Леонов Л. В., Пробирский М. Д., Рублевская О. Н., Чечевичкин А. В., Якунин Л. А. Результаты тестовой эксплуатации фильтра ФОПС® для очистки ливневого стока с селитебной территории Санкт-Петербурга // Водоснабжение и санитарная техника. 2017. № 1. С. 58–65.
16. Венцианов Т. А. Многослойные сорбционные фильтры на защите водоохранных зон автотрасс от загрязнения // Вода: химия и экология. 2012. № 12 (54). С. 32–41.
17. Корчевская А. М., Чечевичкин В. Н. Характеристики сорбционного модуля гидротехнического сооружения очистки ливневых сточных вод кладбищ // Инженерно-строительный журнал. 2009. № 2. С. 43–45.
18. Жмаков Г. Н. Разработка и реализация проектов очистных сооружений ливневых стоков аэропортов России // Научно-технический вестник Поволжья. 2014. № 6. С. 151–153.
19. Галкин С. М., Каньковский А. А. Новые решения для сбора, очистки и сброса ливневых сточных вод // Водоснабжение и санитарная техника. 2010. № 4. С. 59–64.
20. Варюшина Г. П. Повышение эффективности работы комплексов по очистке поверхностных сточных вод // Водоочистка. 2014. № 1. С. 2–28.
21. Петров Е. Г., Киричевский Д. С. Сорбционная технология очистки производственных и поверхностно-ливневых стоков // Водоснабжение и санитарная техника. 2005. № 6. С. 34–36.
22. Мисин В. М., Майоров Е. В. Извлечение тяжелых металлов из городских поверхностных стоков с использованием волокнистых хемосорбционных материалов // Вода: химия и экология. 2012. № 3. С. 42–47.
23. Björklund K., Li L. Evaluation of low-cost materials for sorption of hydrophobic organic pollutants in stormwater // Journal of Environmental Management. 2015. № 159. P. 106–114.
24. Шувалов М. В., Стрелков А. К., Шувалов С. В., Тараканов Д. И. Разработка проекта очистных сооружений поверхностного стока города Самары // Водоснабжение и санитарная техника. 2016. № 12. С. 35–40.
25. Михайлов А. В., Ким А. Н., Продоус О. А., Графова Е. О., Рублевская О. Н. Водоотведение и очистка поверхностного стока на торфяных фильтрах. – СПб.: Сборка, 2014. 134 с.
26. Ватин Н. И., Панкова Г. А., Леонов Л. В., Пробирский М. Д., Рублевская О. Н., Чечевичкин А. В., Якунин Л. А. Тестовая эксплуатация фильтра ФОПС® с природным цеолитом для очистки загрязненного инфильтратом поверхностного стока // Водоснабжение и санитарная техника. 2017. № 9. С. 39–49.
27. Prabhukumar G., Pagilla K. Polycyclic aromatic hydrocarbons in urban runoff – sources, sinks and treatment: A review. – Department of Civil, Architectural and Environmental Engineering, Illinois Institute of Technology, Chicago, 2010. <http://www.drscw.org/dissolvedoxygen/PAHFinal.pdf> (дата обращения 5.02.2018).
28. Hutchinson D. Catchbasin Stormfilter performance evaluation report. – Seattle Public Utilities, Pierce County, 2012. http://www.seattle.gov/UTIL/cs/groups/public/%40spu/%40drainsew/documents/webcontent/01_016486.pdf (дата обращения 5.02.2018).
29. Чечевичкин В. Н., Ватин Н. И. Экономичная очистка поверхностного стока в крупных городах // Еврострой-профи. 2015. № 78. С. 48–52.
30. Чечевичкин А. В. Проектирование и применение локальных очистных сооружений поверхностного стока на основе фильтров ФОПС®. – СПб.: Любович, 2017. 176 с.
31. Пат. 138499, РФ. МПК B01D 27/02. Фильтрующий патрон / Чечевичкин А. В., Чечевичкин В. Н. // Изобретения. Полезные модели. 2014. № 8.
32. Пат. 177436, РФ. МПК B01D 27/02, C02F 1/00, G01N 1/02. Фильтрующий патрон с пробоотборником / Пробирский М. Д., Рублевская О. Н., Леонов Л. В., Чечевичкин А. В., Чечевичкин В. Н. // Изобретения. Полезные модели. 2018. № 6.
33. Пат. 176544, РФ. МПК B01D 27/00, E03F 5/14. Фильтрующий патрон / Чечевичкин А. В. // Изобретения. Полезные модели. 2018. № 3.

The experience of year-round operation of FOPS® filter in the purification of surface runoff from technologically disturbed resident areas

N. I. VATIN¹, M. A. GREKOV², L. V. LEONOV³, M. D. PROBIRSKII⁴,
O. N. RUBLEVSKAIA⁵, A. V. CHECHEVICHKIN⁶, L. A. IAKUNIN⁷

¹ Vatin Oleg Nikolaevich, Doctor of Engineering, Director, Institute of Civil Engineering, Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University

29 Politekhnicheskaya St., 194064, Saint-Petersburg, Russian Federation, tel.: +7(812) 552-79-03, e-mail: director@ice.spbstu.ru

² Grekov Mikhail Aleksandrovich, Chief Engineer, Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University

29 Politekhnicheskaya St., 194064, Saint-Petersburg, Russian Federation, tel.: +7(812) 297-20-45, e-mail: disgpu@spbstu.ru

³ Leonov Leonid Vladimirovich, Chief Specialist, Department for Technological Development and Environmental Protection, SUE «Vodokanal of St. Petersburg»

42 Kavalergardskaia St., 191015, Saint-Petersburg, Russian Federation, tel.: +7(812) 447-92-62, e-mail: Leonov_LV@vodokanal.spb.ru

⁴ Probirskii Mikhail Davidovich, Director, Wastewater Disposal Branch, SUE «Vodokanal of St. Petersburg»

1 Bely Island, 198184, Saint-Petersburg, Russian Federation, tel.: +7(812) 713-90-06, e-mail: Probirskiy_MD@vodokanal.spb.ru

⁵ Rublevskaia Ol'ga Nikolaevna, Director, Department for Technological Development and Environmental Protection, SUE «Vodokanal of St. Petersburg»

42 Kavalergardskaia St., 191015, Saint-Petersburg, Russian Federation, tel.: +7(812) 438-43-45, e-mail: Rublevskaya_ON@vodokanal.spb.ru

⁶ Chechevichkin Aleksei Viktorovich, General Director, «Aqua-Venture®» LLC

22 Grazhdanskii Ave., 195220, Saint-Petersburg, Russian Federation, tel.: +7(812) 640-08-40, e-mail: 01@6400840.ru

⁷ Iakunin Leonid Aleksandrovich, Engineer, «Aqua-Venture®» LLC

22 Grazhdanskii Ave., 195220, Saint-Petersburg, Russian Federation, tel.: +7(812) 640-08-40, e-mail: 77@6400840.ru

At present residential areas in big cities in particular, have been exposed to technogenic pollution related to heavy traffic, development of managed territories including areas close to big shopping and leisure centers and other crowded places. In order to improve the quality of life for the citizens and reduce the negative impact on the environment special attention shall be paid to the collection, removal and treatment of surface runoff from such territories. The purpose of testing FOPS®-MU filter during four seasons (spring – summer – autumn – winter – spring) was the assessment of the efficiency and practicability of operating this equipment for surface runoff treatment. In the process of observations it was stated that the main source of the pollution of surface runoff from resident areas (suspended solids, oil products, iron, manganese) was automobile transport. Peak concentrations of some pollutants reached 150–400 maximum permissible concentrations set for the effluent discharged into the municipal sewer. Year-round continuous operation (for 13 months) of FOPS®-MU filter showed high treatment efficiency in relation to different pollutants during the entire testing period without any loss of the operating capacity including after the negative temperature period. The high performance characteristics of FOPS®-MU filter were also promoted by using FOPS®-K filter-basket for collecting waste.

Key words: residential area, surface runoff, sewer manhole, filter cartridge, filter-basket, treatment efficiency.

REFERENCES

1. Rekomendatsii po raschetu sistem shora, otvedeniya i ochistki poverkhnostnogo stoka s selitebnykh territoriy, ploshchadok predpriyatiy i opredeleniy usloviy vypuska ego v vodnye ob'ekty [Recommendations on calculating the systems of collection, disposal and treatment of surface runoff from residential areas, industrial sites; and determining the conditions of its discharge into water bodies]. Moscow, «NII VODGEO» OJSC Publ., 2014. 88 p.].
2. Anderson M., Eggen O. A. Urban contamination sources reflected in inorganic pollution in urban lake deposits, Bergen, Norway. *Environmental Science: Processes & Impacts*, 2015, v. 17, pp. 854–867.
3. Chechevichkin V., Vatin N. Megacities land drainage and land runoff features and treatment. *Applied Mechanics and Materials*, 2014, v. 641–642, pp. 409–415.
4. Manuilov M. B., Moskovkin M. B., Moskovkin V. M. [Surface runoff (rain and melt water) impact on the environmental and technogenic situation in cities]. *Voda i Ekologiya*, 2016, no. 2, pp. 35–47. (In Russian).
5. Gorodkov A. V., Kozonogina I. V. [On studying and evaluating the state of eco-surroundings of city territories adjacent to highways in relation to auto pollution]. *Ekologicheskaiia Bezopasnost' Stroitel'stva i Gorodskogo Khosiaistva*, 2017, no. 1 (17), pp. 53–60. (In Russian).
6. Vatin N. I., Chechevichkin V. N., Chechevichkin A. V. [Specific features of sorption-catalytic air cleaning in living environment in big cities]. *Inzhenerno-Stroitel'nyi Zhurnal*, 2011, no. 1, pp. 24–27. (In Russian).
7. Probirskii M. D., Rublevskaia O. N., Kim A. N., Ivanenko I. I. [Prospects of surface runoff disposal and treatment in Saint-Petersburg]. *Vodosnabzhenie i Sanitarnaia Tekhnika*, 2015, no. 6, pp. 32–40. (In Russian).
8. Lee D. H., Kim J. H., Mendoza J. A., Lee C. H., Kang J.-H. Characterization and source identification of pollutants in runoff from a mixed land use watershed using ordination analyses. *Environmental Science and Pollutant Research*, 2016, v. 23, pp. 9774–9790.

9. Leonov E. A., Mihailova M. S. [The aspects of highway surface runoff treatment through the example of the belt road around Saint-Petersburg]. *Zhizn'i Bezopasnost'*, 2002, no. 3, pp. 280–286. (In Russian).
10. Pshenin V. N., Kovalenko V. I. [Pollution of storm highway runoff]. *Vestnik INZHEKONA*, 2007, no. 6 (19), pp. 140–145. (In Russian).
11. Butianov M. S., Pshenin V. N. [Highway storm runoff]. *Dorozhnaia Derzhava*, 2013, no. 48, pp. 72–75. (In Russian).
12. Li Y., Lau S-L., Kayhanian M., Stenstrom M. Particle size distribution in highway runoff. *Journal of Environmental Engineering*, 2005, no. 9, pp. 1267–1276.
13. Novikova O. K., Gruzinova V. L. [Optimization of removing surface runoff with account of its composition from bridges and highways into the natural water bodies]. *Ekologicheskii Vestnik Severnogo Kavkaza*, 2017, v. 13, no. 4, pp. 30–34. (In Russian).
14. Chechevichkin V. N., Vatin N. I. [Specific features of the composition and treatment of surface runoff in big cities]. *Inzhenerno-Stroitel'nyi Zhurnal*, 2014, no. 6, pp. 67–74. (In Russian).
15. Vatin N. I., Grekov M. A., Leonov L. V., Probirskii M. D., Rublevskaia O. N., Chechevichkin A. V., Iakunin L. A. [Results of the test operation of FOPS® filter for treatment of stormwater runoff from residential areas in Saint-Petersburg]. *Vodosnabzhenie i Sanitarnaia Tekhnika*, 2017, no. 1, pp. 58–65. (In Russian).
16. Venetsianov T. A. [Multilayer sorption filters safeguarding water protection areas of highways from pollution]. *Voda: Khimiia i Ekologiya*, 2012, no. 12 (54), pp. 32–41. (In Russian).
17. Korchevskaia A. M., Chechevichkin V. N. [Characteristics of sorption module of hydro-engineering facilities for treatment of stormwater runoff from cemeteries]. *Inzhenerno-Stroitel'nyi Zhurnal*, 2009, no. 2, pp. 43–45. (In Russian).
18. Zhmakov G. N. [Development and implementation of projects of stormwater runoff treatment in Russian airports]. *Nauchno-Tekhnicheskii Vestnik Povolzh'ia*, 2014, no. 6, pp. 151–153. (In Russian).
19. Gal'kin S. M., Kan'kovskii A. A. [New solutions for collection, treatment and discharge of stormwater]. *Vodosnabzhenie i Sanitarnaia Tekhnika*, 2010, no. 4, pp. 59–64. (In Russian).
20. Variushina G. P. [Improving the efficiency of surface runoff treatment facilities]. *Vodoochistka*, 2014, no. 1, pp. 2–28. (In Russian).
21. Petrov E. G., Kirichevskii D. S. [Sorption technology of industrial and surface storm runoff treatment]. *Vodosnabzhenie i Sanitarnaia Tekhnika*, 2005, no. 6, pp. 34–36. (In Russian).
22. Misin V. M., Maiorov E. V. [Removal heavy metals from municipal surface runoff with the use of filamentary chemosorption materials]. *Voda: Khimiia i Ekologiya*, 2012, no. 3, pp. 42–47. (In Russian).
23. Björklund K., Li L. Evaluation of low-cost materials for sorption of hydrophobic organic pollutants in stormwater. *Journal of Environmental Management*, 2015, no. 159, pp. 106–114.
24. Shuvalov M. V., Strelkov A. K., Shuvalov S. V., Tarakanov D. I. [Designing the project of surface runoff treatment facilities in Samara]. *Vodosnabzhenie i Sanitarnaia Tekhnika*, 2016, no. 12, pp. 35–40. (In Russian).
25. Mikhailov A. V., Kim A. N., Prodous O. A., Grafova E. O., Rublevskaia O. N. *Vodootvedenie i ochistka poverkhnostnogo stoka na torfyanykh fil'trakh* [Surface runoff disposal and treatment in peat filters. Saint-Petersburg, Sborka Publ., 2014, 134 p.].
26. Vatin N. I., Pankova G. A., Leonov L. V., Probirskii M. D., Rublevskaia O. N., Chechevichkin A. V., Iakunin L. A. [Test operation of FOPS® filter with natural zeolite for infiltrate polluted surface runoff treatment]. *Vodosnabzhenie i Sanitarnaia Tekhnika*, 2017, no. 9, pp. 39–49. (In Russian).
27. Prabhukumar G., Pagilla K. Polycyclic aromatic hydrocarbons in urban runoff – sources, sinks and treatment: A review. Department of Civil, Architectural and Environmental Engineering, Illinois Institute of Technology, Chicago, 2010. <http://www.drscw.org/dissolvedoxygen/PAHFinal.pdf> (accessed 5.02.2018).
28. Hutchinson D. Catchbasin Stormfilter performance evaluation report. Seattle Public Utilities, Pierce County, 2012. http://www.seattle.gov/UTIL/cs/groups/public/%40spu/%40drainsew/documents/webcontent/01_016486.pdf (accessed 5.02.2018).
29. Chechevichkin V. N., Vatin N. I. [Cost effective municipal surface runoff treatment in big cities]. *Evrostroi-Prof*, 2015, no. 78, pp. 48–52. (In Russian).
30. Chechevichkin A. V. *Proektirovanie i primenenie lokal'nykh ochistnykh sooruzheniy poverkhnostnogo stoka na osnove fil'trov FOPS®* [Designing and use of local surface runoff treatment facilities based on FOPS® filters. Saint-Petersburg, Liubavich Publ., 2017, 176 p.].
31. Chechevichkin A. V., Chechevichkin V. N. [Pat. 138499, RF. IPC B01D 27/02. Filter cartridge]. *Izobretenia. Poleznye Modeli*, 2014, no. 8. (In Russian).
32. Probirskii M. D., Rublevskaia O. N., Leonov L. V., Chechevichkin A. V., Chechevichkin V. N. [Pat. 177436, RF. IPC B01D 27/02, C02F 1/00, G01N 1/02. Filter cartridge with a sampling probe]. *Izobretenia. Poleznye Modeli*, 2018, no. 6. (In Russian).
33. Chechevichkin A. V. [Pat. 176544, RF. IPC B01D 27/00, E03F 5/14. Filter cartridge]. *Izobretenia. Poleznye Modeli*, 2018, no. 3. (In Russian).