

УДК 628.316

## ОПЫТ ОЧИСТКИ СИЛЬНОЗАГРЯЗНЁННЫХ ПОВЕРХНОСТНЫХ СТОЧНЫХ ВОД СЛОЖНОГО СОСТАВА С ПРИМЕНЕНИЕМ ФИЛЬТРОВ ФОПС®

*А.В. Чечевичкин, Л.А. Якунин*  
ООО «Аква-Бенчур®», г. Санкт-Петербург, Россия

Изложен многолетний опыт наблюдений за составом поверхностных сточных вод с различных селитебных территорий. Произведена оценка фактической загрязнённости поверхностных сточных вод с реальных объектов в сравнении с рекомендациями действующих нормативно-технических документов. Представлены результаты натурных испытаний и практической эксплуатации локальных очистных сооружений на основе фильтров ФОПС® по очистке сильнозагрязнённых поверхностных сточных вод сложного состава.

Поверхностные сточные воды (ПСВ) с территорий крупных мегаполисов являются значимым фактором загрязнения гидросферы, причём их состав всё более определяется результатами технической деятельности человека.

Основными составляющими ПСВ принято считать ливневые, талые, инфильтрационные и поливомоечные воды. Фактическая загрязнённость этих вод различна на конкретных территориях и объектах.

В последнее время увеличение интенсивности движения автотранспорта привело к повышению содержания в ПСВ не только взвешенных веществ и нефтепродуктов, но и различных форм тяжёлых металлов, результатом чего стало образование сильнозагрязнённых поверхностных сточных вод сложного состава с селитебных территорий и объектов транспортной инфраструктуры.

В ходе проведённых в 2016 – 2017 и в 2021 – 2022 гг. совместных с ГУП «Водоканал Санкт-Петербурга» натурных испытаний серийных фильтров ФОПС® различных типов на реальной селитебной территории подтверждено, что фактический состав ПСВ с техногенно-нагруженных селитебных территорий, испытывающих высокую транспортную нагрузку, существенно отличается от рекомендаций действующих нормативно-технических документов (НТД), что представлено в таблице 1.

С другой стороны, результаты периодического мониторинга ПСВ с селитебных и промышленных территорий обнаруживают аномально высокие концентрации (до 20 ÷ 200 ПДК) по железу и марганцу, а иногда и алюминию, цинку и меди (10 ÷ 60 ПДК), что достаточно часто связано с притоком высоко загрязнённой инфильтрационной компоненты.

**Таблица 1. Состав поверхностного стока с исследованного участка техногенно-нагруженной селитебной территории**

Загрязнитель	Средняя годовая концентрация за период испытаний, мг/дм <sup>3</sup>	Максимальная концентрация за период испытаний, мг/дм <sup>3</sup>
<b>Период весна 2016 – лето 2017 гг. [1]</b>		
Железо (общ.)	7,7	48,7
Марганец	0,41	0,89
ХПК	317,83	747,0
АПАВ	0,77	2,5
<b>Период весна 2021 – лето 2022 гг.</b>		
Железо (общ.)	6,05	19,2
Марганец	0,54	0,98
Алюминий	4,30	15,0
Цинк	0,52	0,84
Свинец	0,28	0,45
Кадмий	0,0025	0,018

Принято считать инфильтрационный сток, формирующийся в результате просачивания грунтовых вод в канализационные сети через их негерметично соединённые элементы, по составу загрязнений и их количеству более чистым, чем дождевой и талый, что справедливо только для взвешенных веществ и нефтепродуктов, задерживающихся компонентами почв. Как показали проведённые исследования состава ПСВ с нескольких селитебных территорий, в случае формирования инфильтрационного стока из безнапорных межпластовых вод высока вероятность наличия в нём ионов железа и марганца биогенно-почвенного происхождения. На рисунке 1а показано, что максимальная концентрация этих ионов наблюдается в летне-осенний период, т.е. во время биологической активности почв.

В крупных городах со сложившейся застройкой центральной части нередко в селитебных целях используются бывшие промышленные площадки, а иногда и засыпанные (но не рекультивированные) свалки строительных, бытовых и промышленных отходов. В результате различных процессов деградации (электрохимическое окисление, биохимическое анаэробное разложение и т.д.) из захороненных отходов в грунтовые воды поступают не только ионы железа и марганца в высоких концентрациях, но и ионы цинка, алюминия, меди, (а в некоторых случаях – ртути, кадмия, свинца). На рисунке 1б видно, что превышение реальных концентраций над ПДК в этом случае значительное, а пик значений приходится на весенние месяцы – период интенсивного таяния снега. Более того, в крупных городах Европейской части территории России период пиковых значений содержания указанных загрязнителей с большой вероятностью будет растянут на весь осенне-зимне-весенний период в связи с участившимися периодами продолжительных оттепелей.

Данные проведённого мониторинга состава ПСВ показали, что инфильтрационный сток с промышленных и селитебных территорий, устроенных на местах бывших захороненных свалок и территорий, подвергавшихся интенсивной техногенной нагрузке, в обоих случаях сопровождается сильным загрязнением грунтов, приближаются по составу и концентрациям компонентов к стоку с полигонов твёрдых коммунальных отходов (ТКО, табл. 2) [2].

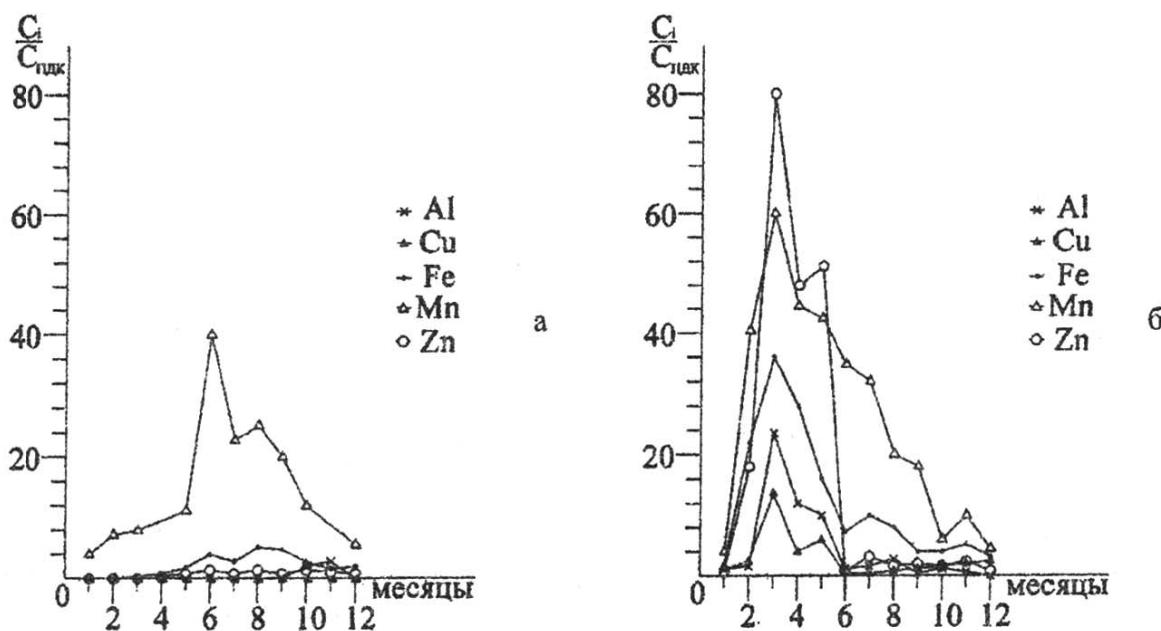


Рисунок 1. Сезонная зависимость состава:

а) естественного инфильтрата; б) инфильтрата с техногенно-нагруженной территории

Таблица 2. Сравнение состава инфильтрата с техногенно-нагруженных территорий и стока полигона ТБО

Загрязнители	Концентрация, мг/дм <sup>3</sup>				ПДК <sub>РХ</sub>
	БЦ <sup>1</sup>	ТЦ <sup>2</sup>	ПТ <sup>3</sup>	Усреднённый сток с полигона ТКО	
Нефтепродукты	710	0,5	0,67	0,5 ÷ 10	0,05
Жиры	1 726	-	-	-	отс.
АПАВ	0,90	0,16	-	-	0,1
Фенолы	0,162	0,006	0,0012	-	0,001
Железо (общ.)	322	26	8,7	до 22,5	0,10
Марганец	6,0	2,7	1,9	до 2,6	0,01
Алюминий	17,5	1,9	0,25	-	0,04
Цинк	31,90	0,52	0,18	до 0,9	0,01
Медь	0,720	0,045	0,0025	до 0,590	0,001
ХПК	1 100	700	75	1 200 ÷ 8 700	30

<sup>1</sup> – бизнес-центр на территории бывшего трансформаторного завода;

<sup>2</sup> – торговый центр на территории захороненной свалки;

<sup>3</sup> – транспортно-техническая база на территории бывшего химпредприятия

Наиболее эффективным методом очистки больших объёмов ПСВ от растворённых загрязнителей (включая ионы тяжёлых металлов), обладающим высокой эксплуатационной пригодностью, высокой эффективностью очистки, низкими капитальными и эксплуатационными затратами, а также удобством утилизации и обращения с образующимися отходами является сорбционно-фильтрационная технология с применением фильтров ФОПС®.

Основой сорбционно-фильтрационной технологии очистки ПСВ с применением фильтров ФОПС® является использование недорогих природных сорбционно-фильтрационных материалов (СФМ) – цеолитов и опок, активных углей, обладающих свойствами комплексных геохимических барьеров (что позволяет говорить об использовании природоподобной технологии), которые для удобства работы размещаются в пластиковых проницаемых промышленных картриджах – фильтрах ФОПС®. Барьерные свойства применяемых СФМ позволяют необратимо извлечь, например, железо и марганец из ПСВ в виде малоподвижных форм, предотвращая возможность их выделения обратно в окружающую среду.

Конструктивные решения для реализации указанной технологии (рис. 2) были разработаны в виде компактных картриджей для размещения СФМ, что позволяет создавать локальные очистные сооружения с применением типовых канализационных колодцев [3]. Для повышения эксплуатационной пригодности сорбционно-фильтрационной технологии с применением фильтров ФОПС® были разработаны опорные кольца и крышки для оборудования колодцев с фильтрами. Все конструктивные решения защищены патентами на полезные модели (получено более пятидесяти патентов).

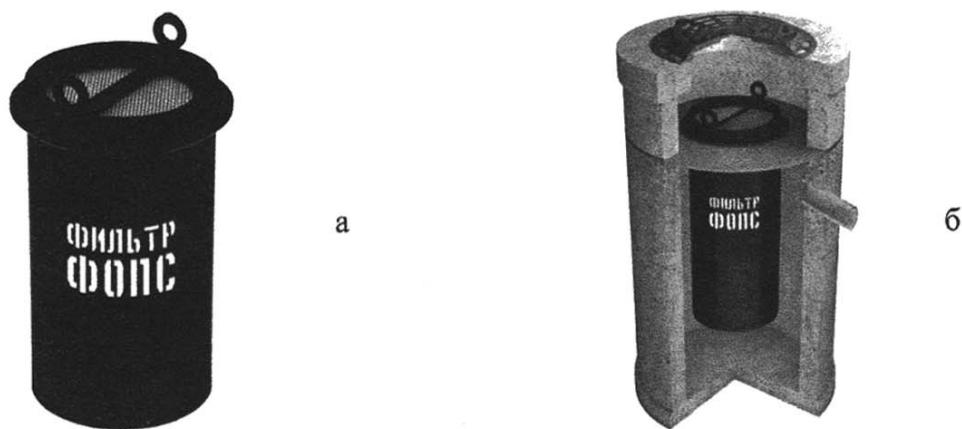


Рисунок 2. Внешний вид фильтров ФОПС® (а) и способ их размещения в канализационных колодцах (б)

Проведённые совместно с ГУП «Водоканал Санкт-Петербурга» натурные испытания серийного фильтра ФОПС® с цеолитовой загрузкой в период 2021 – 2022 гг. (время испытаний – 12 месяцев) для очистки ПСВ с

селитебной территории, испытывающей высокую транспортную нагрузку, продемонстрировали высокую эффективность очистки сточных вод: Fe (общ.) – 78÷93 % масс.; Mn<sup>2+</sup> – 95÷99 % масс.; Al<sup>3+</sup> – 97÷99 % масс.; Pb<sup>2+</sup> – 77÷98 % масс.; Zn<sup>2+</sup> – 97÷99 % масс.; Cd<sup>2+</sup> – 88÷95 % масс. (рис. 3).

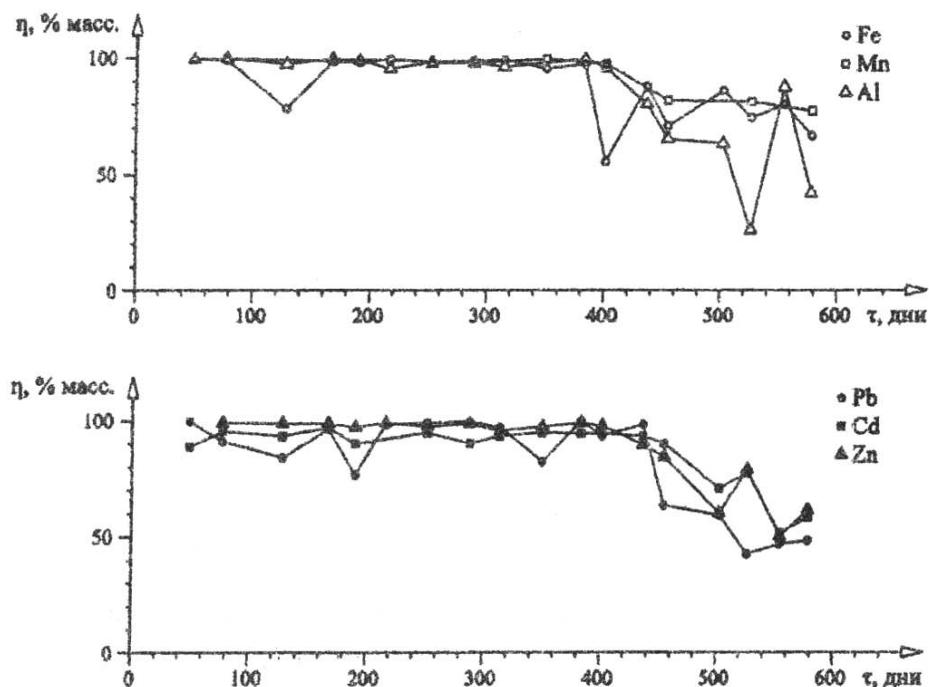


Рисунок 3. Результаты натурных испытаний фильтра ФОПС®-Ц при очистке ПСВ с техногенно-нагруженной селитебной территории

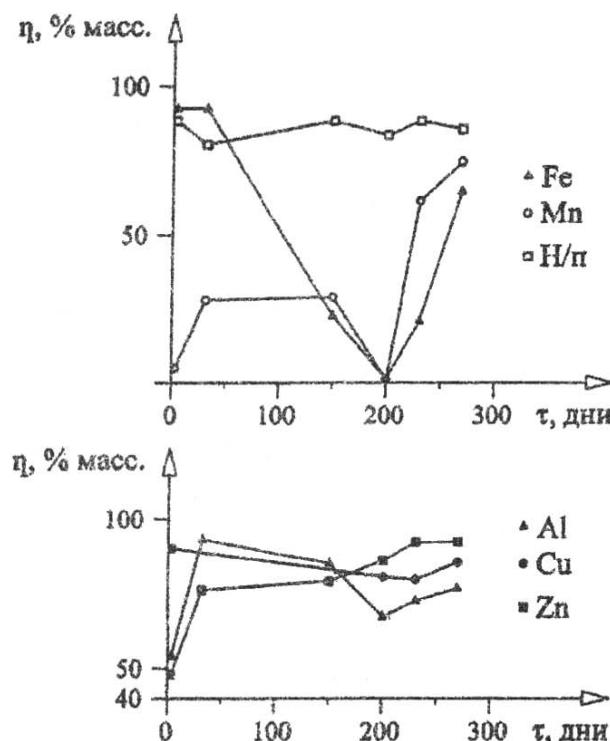


Рисунок 4. Результаты натурных испытаний фильтра ФОПС®-Ц при очистке загрязнённых инфильтратом ПСВ с производственной территории

Высокая эффективность очистки ПСВ была также показана в ходе натурных испытаний серийного фильтра ФОПС® с цеолитовой загрузкой на производственной территории, которая ранее подвергалась высокой техногенной нагрузке, что стало причиной загрязнения ПСВ инфильтратом [4]. Фактические ПСВ с этой территории обладали повышенным содержанием как растворённых, так и взвешенных форм Fe и Mn (из инфильтрата). Эффективность очистки составила: Fe (общ.) – 27÷93 % масс.; Mn<sup>2+</sup> – 26÷28 % масс.; Al<sup>3+</sup> – 58÷93 % масс.; Zn<sup>2+</sup> – 48÷86 % масс.; Cu<sup>2+</sup> – 88÷95 % масс. (рис. 4).

Приобретённый опыт очистки сильнозагрязнённых ПСВ сложного состава позволяет сделать следующие выводы:

- ПСВ с техногенно-нагруженными селитебных и производственных территорий, а также объектов транспортной инфраструктуры обладают сложным составом и высоким содержанием растворённых загрязнителей;
- основными источниками дополнительного существенного загрязнения являются транспорт и инфильтрационный сток;
- очистные сооружения таких ПСВ должны в обязательном порядке включать в свой состав сорбционную очистку;
- технология сорбционно-фильтрационной с применением фильтров ФОПС® является наиболее оптимальным решением для очистки сильнозагрязнённых ПСВ сложного состава.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. 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.
2. Чечевичкин В.Н., Ватин Н.И. Особенности состава и очистки поверхностного стока крупных городов // Инженерно-строительный журнал. 2014. № 6. С. 67–74.
3. Чечевичкин А.В. Проектирование и применение локальных очистных сооружений поверхностного стока на основе фильтров ФОПС®. СПб: Любавич, 2017. 176 с.
4. 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 загрязнённого инфильтратом поверхностного стока // Водоснабжение и санитарная техника. 2017. № 9. С. 39–49.