



В. Н. ЧЕЧЕВИЧНИН

К. х. н., ст. научный  
сотрудник

Н. И. ВАТИН

Д. т. н., директор  
Инженерно-строительного  
института

Санкт-Петербургский  
государственный  
политехнический  
университет

# ЭКОНОМИЧНАЯ ОЧИСТКА ПОВЕРХНОСТНОГО СТОКА В КРУПНЫХ ГОРОДАХ

## Фильтрационно-сорбционные технологии

**П**оверхностный сток крупных городов является значимым фактором загрязнения гидросферы [1–5], причем его состав, особенно в последнее время, все более определяется результатами технической деятельности человека.

Состав поверхностного стока, допустимого к сбросу в коллекторы ливневой канализации, регламентируется [6], и в случае превышения нормативов такой сток требует очистки.

В черте города выделяют три территории функционального использования [7]: селитебную, производственную и ландшафтно-рекреационную. Поверхностный сток, подлежащий очистке, формируется на селитебной и производственной территориях.

Основные загрязняющие компоненты поверхностного стока определены и рекомендованы для расчета по ориентировочным средним количественным показателям [8].

Свежих данных, характеризующих реальную ситуацию с уровнем загрязнения поверхностного стока на территории городов, довольно мало, и в основном используются результаты оценок, проведенных 20 и более лет назад [9, 10].

Вместе с тем, как свидетельствуют исследования, проведенные в отношении поверхностного стока автодорог [11, 12] в связи с непрерывным увеличением интенсивности движения автотранспорта на дорогах, в последнее время значительно возросло содержание в стоке не только взвешенных веществ и нефтепродуктов, но и ионов тяжелых металлов. Поскольку автодороги являются главной составной частью как селитебных, так и производственных территорий, их влияние сказывается на параметрах состава стока с этих территорий.

Для получения объективной картины современного уровня

загрязнений ливневого и талого стока с территорий промышленных предприятий первой группы [6] был проведен анализ этих вод на выходе из их систем ливневой канализации для 40 объектов, расположенных в Санкт-Петербурге, в 2012–2013 г. Результаты представлены в таблицах 1 и 2. Для сравнения приведены значения, рекомендованные для использования при проектировании систем очистки поверхностного стока с селитебных территорий (современная застройка с малой транспортной нагрузкой), рекомендованные более 20 лет назад [9, 10].

Видно, что рекомендованные показатели загрязнения поверхностного стока [9] по взвешенным веществам и нефтепродуктам, а также фосфатам и иону аммония существенно выше реальных. Измеренные концентрации ионов тяжелых металлов в ливневом стоке близки к рекомендованным [6] для селитебных территорий. Однако их концентрация в талом стоке выше, чем в ливневом, для меди и цинка примерно в 5 раз, а для свинца, алюминия и нефтепродуктов — более чем в 10 раз. Это говорит о накоплении этих загрязнений в зимний период в снежном покрове и их залповом сбросе во время снеготаяния весной.

Для иона марганца средние концентрации в ливневом и талом стоке не превышают рекомендованных [9], что свидетельствует о малой растворимости продуктов окисления марганецсодержащих антидетонационных добавок в топливо, которые сейчас широко используются вместо свинецсодержащих.

Нельзя не отметить, что полученные значения показателя ХПК (при низких значениях БПК<sub>20</sub>) существенно выше рекомендованных (как для ливневого, так и для талого стока), что говорит о серьезном загрязнении этих вод трудноокисляемыми органическими веществами. Состав этих органических

загрязнений требует, на наш взгляд, более пристального внимания и детального изучения.

Оценка концентраций нефтепродуктов в поверхностном стоке, особенно при использовании их для расчета очистных сооружений, весьма неоднозначна. Как справедливо отмечено в работе [12], нефтепродукты попадают в ливневый сток только во время дождя, т. к. на сухом асфальте они быстро испаряются, а не испарившаяся их часть малорастворима в воде. В талом стоке, когда значительная часть нефтепродуктов длительно находится в твердой фазе (снег или частицы песка) и при таянии снега постепенно контактирует с жидкой водой, происходит насыщение ее растворимыми компонентами нефтепродуктов и образование их эмульгированных и пленочных форм.

Как показали наши исследования [13], концентрация нефтепродуктов через месяц после лабораторного эмульгирования турбинного масла (практически нерастворимого в воде) постоянна и составляет не менее 6 мг/л. Такие устойчивые формы эмульгированных нефтепродуктов, образование которых на дорогах со скоростным движением очень вероятно, не могут быть очищены ни в одном из известных видов отстойников (включая тонкопленочные). Присутствие в воде поверхностно-активных веществ делает эти формы еще более устойчивыми.

Другим немаловажным фактором, влияющим на содержание нефтепродуктов в поверхностных водах, является фиксация на их поверхности частиц взвешенных веществ путем адсорбции, адгезии, коалесценции и т. д.

Изучение состава вод из снега, собранного с обочины проезжей части в Санкт-Петербурге, показало [13], что нефтепродукты содержатся в основном на поверхности взвешенных частиц, причем с уменьшением

размера этих частиц количество нефтепродуктов на единицу массы значительно возрастает. При этом максимальная концентрация растворенных нефтепродуктов в надосадочной воде весьма мала, а содержание их в талой воде составляло всего 0,05% от их общего содержания в твердой и жидкой фазах, полученных из снега.

Таким образом, взвешенные вещества являются дополнительным существенным фактором, снижающим реальное содержание нефтепродуктов в поверхностных водах.

С другой стороны, при значительном накоплении таких нефтепродуктов в отстойниках (особенно тонкопелочных) они могут существенно увеличивать концентрацию растворенных нефтепродуктов в ливневом стоке после периода между дождями. Негативное действие оказывают и пленочные нефтепродукты, а также пены в отстойниках и ловушках, длительное время контактирующие с водами, поскольку их удаление из отстойников (как и взвешенных веществ) производится крайне редко.

Весьма важной составляющей поверхностного стока является инфильтрация грунтовых вод внутрь

трубопроводов через их стенки, стыки, а также стенки и днища колодцев [14]. В сетях ливневой канализации, расположенной ниже уровня грунтовых вод, приток инфильтрационных вод происходит практически непрерывно в течение года, поэтому и дождевой и талый стоки всегда разбавлены в той или иной степени инфильтрационными водами.

По составу загрязнений и их количеству инфильтрационный сток считается [9] чище дождевого и талого. Однако это утверждение справедливо только для взвешенных веществ и нефтепродуктов, которые могут задерживаться компонентами почв. Если инфильтрационный сток формируется из безнапорных пластовых вод, то довольно часто он содержит ионы железа и марганца биогенно-почвенного происхождения в высоких концентрациях. Как видно из рисунка 1а, максимальная концентрация этих ионов наблюдается в летние и даже осенние месяцы, т.е. во время биологической активности почв.

Хуже обстоит дело, когда дренажная сеть в городских условиях прокладывается в насыпных грунтах на месте свалок строительных (а иногда и смешанных с бытовыми и промышленными) отходов. Такие

захороненные под слоем строительного мусора и насыпного грунта отходы участвуют в различного рода процессах их деградации (электрохимическое растворение металлов, биохимическое анаэробное разложение и т.д.). В результате этого в дренажные воды на таких территориях попадают не только ионы железа и марганца в высоких концентрациях, но и ионы цинка, алюминия, меди (а в некоторых случаях — ртути, кадмия, свинца).

Как видно из рисунка 1б, превышение реальных концентраций по сравнению с ПДК в этом случае гораздо больше и пик их значений приходится на весенние месяцы, т.е. на процесс снеготаяния или сразу после него.

Такие воды с превышениями концентраций ионов тяжелых металлов в десятки и сотни раз по сравнению с ПДК требуют безусловной очистки во всем их объеме.

В таблице 3 представлен состав инфильтрационного стока с двух объектов, расположенных на селитебной территории (бизнес-центр и торговый центр в Санкт-Петербурге) в сравнении с составом усредненного стока полигона твердых бытовых отходов ТБО (Московская обл.) [15].

### ХАРАКТЕРИСТИКИ ЗАГРЯЗНЕННОСТИ ПОВЕРХНОСТНОГО СТОКА\* В 2012-2013 ГГ. С ТЕРРИТОРИЙ ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ I ГРУППЫ\*\*, РАСПОЛОЖЕННЫХ В САНКТ-ПЕТЕРБУРГЕ

Таблица 1

№ п/п	Контролируемые показатели	Единицы измерения	Ливневый сток			Талый сток		
			Интервал колебаний, min/max	Среднее значение	По данным [6]	Интервал колебаний, min/max	Среднее значение	По данным [6]
1	Водородный показатель	ед. рН	6,5 ÷ 8,0	7,3	—	6,8 ÷ 7,8	7,2	—
2	ХПК	мг/дм <sup>3</sup>	26 ÷ 244	160	90 ÷ 120	160 ÷ 550	350	150 ÷ 200
3	БПК <sub>20</sub>	мг/дм <sup>3</sup>	1,6 ÷ 19	8,0	20 ÷ 40	3,5 ÷ 28	14,3	70 ÷ 150
4	Взвешенные вещества	мг/дм <sup>3</sup>	4 ÷ 150	52	300 ÷ 600	3 ÷ 150	60	600 ÷ 1200
5	Нефтепродукты	мг/дм <sup>3</sup>	0,01 ÷ 2,0	0,38	7 ÷ 12	0,24 ÷ 29	4,2	10 ÷ 15
6	СПАВ	мг/дм <sup>3</sup>	0,03 ÷ 1,5	0,32	—	0,15 ÷ 0,25	0,19	—
7	Фенолы	мг/дм <sup>3</sup>	0,002 ÷ 0,100	0,017	—	0,001 ÷ 0,005	0,003	—
8	Фосфат-ион	мг/дм <sup>3</sup>	0,03 ÷ 0,20	0,09	0,5 ÷ 0,8	0,08 ÷ 0,16	0,13	1,2 ÷ 1,8
9	Аммоний-ион	мг/дм <sup>3</sup>	0,1 ÷ 19	2,1	8 ÷ 10	0,4 ÷ 4,5	1,8	18 ÷ 20

#### Примечания

\* Пробы отбирались из сливного коллектора в конце сети ливневой канализации объекта. Замеры проводились для выборки из 40 объектов по ливневому стоку и из 25 объектов по талому стоку.

\*\* В число исследуемых объектов входили промышленные площадки, складские территории, территории торговых комплексов, бизнес-центров (с автостоянками).

**ХАРАКТЕРИСТИКИ ЗАГРЯЗНЕННОСТИ  
ПОВЕРХНОСТНОГО СТОКА В 2012–2013 ГГ.  
ТЯЖЕЛЫМИ МЕТАЛЛАМИ ПО САНКТ-ПЕТЕРБУРГУ  
С ТЕРРИТОРИЙ ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ I ГРУППЫ**

Таблица 2

№ п/п	Контролируемые показатели	Единицы измерения	Ливневый сток			Талый сток		
			Интервал концентрации, min/max	Среднее значение	По данным [6]	Интервал концентрации, min/max	Среднее значение	По данным [6]
1	Железо (общ.)	мг/дм <sup>3</sup>	0,24 ÷ 5,2	3,3	3 ÷ 10	0,40 ÷ 9,6	3,0	–
2	Марганец	мг/дм <sup>3</sup>	0,02 ÷ 1,0	0,31	0,3 ÷ 0,5	0,12 ÷ 0,67	0,35	0,35 ÷ 0,55
3	Медь	мг/дм <sup>3</sup>	0,002 ÷ 0,037	0,014	0,03 ÷ 0,04	0,030 ÷ 0,080	0,055	0,04 ÷ 0,05
4	Никель	мг/дм <sup>3</sup>	0,002 ÷ 0,020	0,006	0,007 ÷ 0,009	0,01 ÷ 0,040	0,002	0,010 ÷ 0,012
5	Цинк	мг/дм <sup>3</sup>	0,01 ÷ 0,35	0,10	0,25 ÷ 0,30	0,06 ÷ 2,2	0,5	0,30 ÷ 0,40
6	Алюминий	мг/дм <sup>3</sup>	0,04 ÷ 0,78	0,23	1 ÷ 3	0,55 ÷ 6,6	2,7	1,3 ÷ 4,0
7	Свинец	мг/дм <sup>3</sup>	0,04 ÷ 0,12	0,055	0,05 ÷ 0,07	0,04 ÷ 0,75	0,580	0,06 ÷ 0,08

**Примечание.** Условия отбора проб и объекты соответствуют таблице 1.

50

На территории бизнес-центра ранее работало небольшое предприятие по ремонту трансформаторов, которое загрязняло почву отходами производства (масла, тяжелые металлы). На территории торгового центра (окраина Санкт-Петербурга) раньше была несанкционированная свалка, засыпанная впоследствии грунтом при подготовке территории под новое строительство. Как видно из таблицы 3, инфильтрационный сток с вышеназванных площадок, расположенных на территориях, отнесенных к жилым, по большинству показателей более

загрязнен, чем сток (инфильтрат) с полигона ТБО.

Необходимость очистки инфильтрата с полигонов ТБО ни у кого не вызывает сомнений [15], а вот инфильтрационный сток с жилых территорий, по определению [9] как наиболее чистого, до недавнего времени вообще не рассматривалась. Однако такой высокий уровень загрязнения в дренажных водах, объединенных с поверхностным стоком, при крайне жестких нормативах на сброс их в ливневую канализационную сеть (табл. 3) классифицируется в настоящее время как залповый сброс

промышленных сточных вод со всеми вытекающими отсюда последствиями для пользователей территории, к загрязнению которой они часто не имеют никакого отношения.

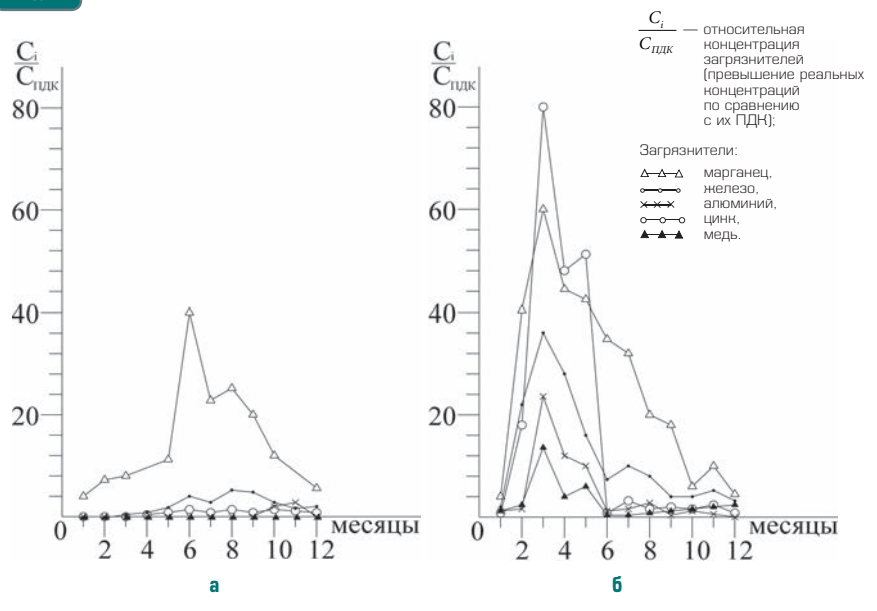
Наиболее эффективными методами очистки ливневых стоков, которые применяются в подавляющем большинстве установок и сооружений очистки, являются седиментационные и фильтрационно-сорбционные. Оба метода не требуют подвода электроэнергии в самотечном варианте, а также специальных помещений для размещения оборудования, которое находится под землей.

• ИСТОЧНИКИ •



- [1] Revelle P., Revelle C. The environment issues and choices for society. — Boston: Jones and Bartlett Publish, 1988.
- [2] Hammer M. J. Water and waste-water technology. — New-York — London: John Wiley & Sons, Inc., 1975.
- [3] Heineman M., Eichenwald Z., Gamache M., Miner R., Keohan P. A comprehensive water quality model of Boston's drainage systems // World Environmental and Water Resources Congress 2013, Showcasing the Future, Proceedings of the 2013 Congress (2013). — Pp. 63–76.
- [4] Bressy A., Gromaire M. — C., Lorgeoux C., Saad M., Leroy F., Chebbo G. Efficiency of source control systems for reducing runoff pollutant loads // Feedback on experimental catchments within Paris conurbation Water Research, 57 (2014). — Pp. 234–246.
- [5] Denafas G., Ruzgas T., Martuzevičius D., Shmarin S., Hoffmann M., Mykhaylenko V., Ogorodnik S., Romanov M., Neguliaeva E., Chusov A., Turkadze T., Bochoidze I., Ludwig C. Seasonal variation of municipal solid waste generation and composition in four East European cities // Resources, Conservation and Recycling, 89 (2014). — Pp. 22–30.

РИС. 1



**ИЗМЕНЕНИЕ ВО ВРЕМЕНИ СОСТАВА ИНФИЛЬТРАЦИОННОГО СТОКА С РАЗЛИЧНЫХ ТЕРРИТОРИЙ:**

а — естественный инфильтрат при наличии железомарганцевых подземных вод;  
 б — инфильтрат с территории захороненной свалки промышленно-строительного мусора

**СРАВНЕНИЕ ПОКАЗАТЕЛЕЙ СОСТАВА ИНФИЛЬТРАЦИОННОГО СТОКА С СЕЛИТЕБНЫХ ТЕРРИТОРИЙ, РАСПОЛОЖЕННЫХ НА ПЛОЩАДКАХ, ЗАГРЯЗНЕННЫХ ПОГРЕБЕННЫМИ ПРОИЗВОДСТВЕННЫМИ ОТХОДАМИ, И СТОКА ПОЛИГОНА ТБО**

Таблица 3

№ п/п	Показатели состава стока	Концентрация, мг/л			ПДК		
		Бизнес-центр*	Торговый центр**	Полигон ТБО***	В водоем рыбохозяйственного значения	В ливневую канализацию	В общесплавную канализацию
1	Нефтепродукты	710	0,5	0,5 ÷ 10	0,05	0,3	0,7
2	Жиры	1726			отс	отс	50
3	Аммония СПАВ	0,90	0,16		0,1	0,1	1,4
4	Фосфаты	2,9	0,20		0,2	0,2	2,0
5	Фенолы	0,162	0,006		0,001	0,001	0,080
6	Железо (общ.)	322	26	до 22,5	0,10	0,22 ÷ 0,43	1,10
7	Марганец	6,0	2,7	до 2,6	0,01	0,01	0,1
8	Алюминий	17,5	1,9		0,04	0,12 ÷ 0,48	0,50
9	Цинк	31,90	0,52	до 0,9	0,01	0,02 ÷ 0,04	0,10
10	Медь	0,720	0,045	до 0,590	0,001	0,006 ÷ 0,009	0,040
11	ХПК	1100	700	1200 ÷ 8700	30	30	—

**Примечания**

\* Инфильтрационный сток с территории бывшего предприятия по ремонту трансформаторов.

\*\* Инфильтрационный сток с территории захороненной свалки.

\*\*\* Усредненный сток полигона ТБО.

Седиментационные методы [2, 9, 10, 16], реализующие процесс очистки вод за счет разделения фаз под действием силы тяжести (оседания взвешенных частиц и всплытия эмульгированных капель), представлены различного рода отстойниками (песколовками, маслобензоотделителями, тонкослойными сепараторами и т. д.).

Фильтрационно-сорбционные [2, 17–19] методы реализуют процесс очистки вод путем поглощения нерастворимых частиц (взвешенных и эмульгированных) фильтрующими материалами и растворимых веществ путем адсорбции из раствора поглотителями (адсорбентами).

Наиболее компактными и удобными в эксплуатации изделиями, реализующими сорбционно-фильтрационные технологии, являются фильтрующие патроны (рис. 2), представляющие собой цилиндрические проницаемые для воды модули с различными наполнителями [20–22], устанавливаемые на опорные кольца в канализационные колодцы.

Применение фильтрующих патронов имеет ряд преимуществ

перед использованием отстойников [23]. Фильтропатроны обладают способностью к одновременному удалению из вод как растворенных, так и нерастворенных веществ. Отстойники, ловушки и сепараторы различных конструкций удаляют только нерастворенные вещества, а растворенные пропускают. Для исправления ситуации применяют сорбционные фильтры, совмещенные с отстойниками и расположенные под землей. Эффективность последних в очистке весьма низка, вследствие использования небольших по высоте слоев сорбционных материалов. Эффективность этих изделий с точки зрения эксплуатации также невысока, что связано со сложностью их замены в составе отстойников, высокой трудоемкостью выгрузки материалов, неминуемым загрязнением окружающей среды при манипуляциях, замене и т. д.

Затраты на строительство сооружений очистки с применением фильтропатронов значительно ниже, чем систем с отстойниками и совмещенными с ними сорбционными фильтрами. Это объясняется как низкими ценами

на стандартные комплектующие бетонных колодцев (а также на сами фильтропатроны), так и невысокими затратами на строительство колодцев.

Монтаж и замена фильтропатронов могут быть осуществлены быстро и без особых затрат с помощью разнообразной техники (см. фото).

• ИСТОЧНИКИ •



[6] Рекомендации по расчету систем сбора, отведения и очистки поверхностного стока с селитебных территорий, площадок предприятий и определению условий выпуска его в водные объекты. — М.: ВСТ, 2006.

[7] Свод правил СП 42.13330.2011 Градостроительство. Планировка и застройка городских и сельских территорий. Актуализированная редакция СНиП 2.07.01–89. — М.: ЦПП, 2011.

[8] Алексеев М. И., Курганов А. М., Организация отведения поверхностного (дождевого и талого) стока с урбанизированных территорий: учебное пособие. — М.: АСВ; СПб: Издательство СПбГАСУ. — 2000.

[9] Дикаревский В. С., Курганов А. М., Нечаев А. П., Алексеев М. И. Отведение и очистка поверхностных сточных вод: учебное пособие. — Л.: Стройиздат, 1990.

[10] Молоков М. В., Шифрин В. Н. Очистка поверхностного стока с территорий городов и промышленных площадок. — М.: Стройиздат, 1977.

ФОТО



ОДИН ИЗ ВОЗМОЖНЫХ СПОСОБОВ ВЫГРУЗКИ И УСТАНОВКИ ФИЛЬТРОПАТРОНА НА ОБЪЕКТЕ СТРОИТЕЛЬСТВА

Для заглубленных отстойников и сорбционных фильтров, совмещенных с ними, затраты на строительство значительно выше (обустройство больших по размеру котлованов и сложности с их осушкой, бетонирование опорной плиты, длительные сроки работ и т. д.). Кроме того, стоимость и самих отстойников (особенно с совмещенными фильтрами) существенно выше.

В результате эксплуатации фильтропатронов установлено, что системы очистки на их основе окупаются в короткие сроки (от нескольких месяцев до года), поскольку адекватно рассчитанные штрафные платежи за загрязнение вод и нанесение вреда системам водоотведения достаточно высоки [23].

При установке фильтропатронов под дождеприемную решетку экономия места на территории очевидна. При их установке в отдельно стоящие колодцы экономия места достигается за счет возможности установки очистных сооружений под пешеходной зоной или дорогой. Подземные емкости и отстойники под проезжей частью дорог обычно не располагают, т. к. в этом случае необходима дорогостоящая защита их от механических нагрузок в виде дополнительных плит и перекрытий.

При модернизации сетей канализации и установке подземных емкостей, отстойников, ловушек и т. д. на производственных площадках особое внимание уделяют наличию на стройплощадке других сетей (кабельных и трубопроводных). На реально работающих производственных территориях, как правило, практически невозможно установить громоздкое подземное оборудование без нарушения целостности этих сетей, что требует дополнительных и часто очень серьезных затрат. Канализационные колодцы с расположенными в них фильтропатронами более компактны и могут быть вписаны в существующую топологию инженерных сетей объекта.

Следует отметить, что фильтропатроны, а также дополнительное оборудование для их установки (опорные кольца и легкоъемные крышки) имеют габаритные размеры менее 2,4 м, что не вызывает проблем с их перевозкой. Многие подземные горизонтальные очистные сооружения являются крупногабаритным грузом, а следовательно, их перевозка вызывает дополнительные сложности и затраты.

РИС. 2



РАСПОЛОЖЕНИЕ ФИЛЬТРУЮЩЕ-СОРБИРУЮЩЕГО ПАТРОНА В БЕТОННОМ КОЛОДЦЕ

Фильтропатроны, отработавшие свой ресурс, фиксируют на себе все загрязнение и вместе с ними в виде твердых отходов IV класса опасности утилизируются на полигонах отходов. Эта процедура проста, не требует спецтехники (только автотранспорт и погрузочно-разгрузочная техника) и может быть выполнена силами эксплуатирующей организации, на территории которой расположены очистные сооружения.

Необходимо отметить, что обслуживание систем очистки, использующих фильтропатроны, весьма простое. Данные работы, как правило, в состоянии провести сам владелец очистных сооружений, без привлечения специализированной организации, что значительно снижает затраты на обслуживание очистных сооружений. Напротив, выгрузка отработанных зернистых сорбционных материалов (угля) и листовых фильтрующих материалов из подземных сооружений и фильтров, с ними совмещенных, сопряжена с техническими сложностями и высокими затратами на их утилизацию.

Фильтропатроны возможно устанавливать в существующие канализационные сети, используя модели, допускающие их монтаж через горловину стандартного люка, и специальные разборные опорные кольца, которые крепят внутри колодца [23].

Фильтропатроны могут быть также применены в составе снегоплавильных установок различных конструкций для очистки образующихся талых вод.



[11] 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.

[12] Пшенин В. Н., Коваленко В. И. Загрязнение ливневых стоков с автомобильных дорог // Вестник ИНЖЭКОНА. — 2007. — Вып. 6 (19). — С. 140–145.

[13] Чечевичкин В. Н., Ватин Н. И. Особенности состава и очистки поверхностного стока крупных городов // Инженерно-строительный журнал. — 2014. — № 6. — С. 67–74.

[14] Кандибер Ю. А., Штыков В. И. Оценка характеристик дренажного стока с селитебных и производственных территорий Северо-Запада России // Инженерно-строительный журнал. — 2012. — № 4. — С. 46–70.

[15] Гопольский А. М., Николайкина Н. Е., Миташова Н. И., Мурашов В. Е., Кушнир К. Я. Многостадийная технология очистки фильтрата полигонов твердых бытовых отходов // Вода: химия и экология. — 2008. — № 2. — С. 25–30.

[16] 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.

[17] Смирнов А. Д. Сорбционная очистка воды. — Л.: Химия, 1982.

[18] Петров Е. Г., Киричевский Д. С. Сорбционная технология очистки производственных и поверхностно-ливневых стоков // Водоснабжение и санитарная техника. — 2005. — № 6. — С. 34–36.

[19] Ватин Н. И., Чечевичкин В. Н., Чечевичкин А. В., Шилова Е. С. Применение цеолитов клиноптилолитового типа для очистки природных вод // Инженерно-строительный журнал. — 2013. — № 2 (37). — С. 81–88.

[20] Патент России № 138499, опублик. 20.03.2014.

[21] Патент России № 139065, опублик. 10.04.2014.

[22] Патент России № 148363, опублик. 10.12.2014.

[23] Чечевичкин А. В. Технические указания по подбору, проектированию и применению локальных очистных сооружений на основе фильтров ФОРС® для очистки поверхностных (ливневых) сточных вод. — СПб: ПремиумПресс, 2014.