

## ОЧИСТКА ПОВЕРХНОСТНОГО СТОКА С УРБАНИЗИРОВАННЫХ ТЕРРИТОРИЙ НА ЛОКАЛЬНЫХ ПАССИВНЫХ СИСТЕМАХ

Ким А. Н., Михайлов А. В.

## URBAN STORMWATER TREATMENT ON LOCAL PASSIVE SYSTEMS

Kim A. N., Mikhailov A. V.

### Аннотация

Рассмотрены технические аспекты водоотведения и механической очистки поверхностного стока с урбанизированных территорий. Рассмотрены основные особенности очистки поверхностного стока в городских районах с высокой плотностью застройки. Дан анализ способу пассивной механической очистки поверхностного стока с применением предварительного гравитационного отстаивания и фильтрации на торфяном фильтрующем материале. Приведены устройства и конструктивные элементы пассивных очистных систем поверхностного стока, устанавливаемых на канализационных сетях водоотведения. Пассивные системы очистки поверхностного стока хорошо масштабируемы, что делает их идеальным выбором для распределенных моделей инфраструктуры города. В процесс очистки поверхностного стока включаются собственники территорий, что повышает их ответственность за охрану окружающей среды, и снижает нагрузку на местные бюджеты. За последние 15 лет запущено в эксплуатацию более 1000 пассивных систем очистки поверхностного стока в Санкт-Петербурге и Ленинградской, Новгородской и Псковской областях, в Республике Карелия.

**Ключевые слова:** поверхностный сток, пассивные механические системы очистки, торфяной фильтрующий материал, взвешенные вещества, нефтепродукты.

### Введение

Состояние водных ресурсов в целом по Российской Федерации в последние годы улучшается недостаточно в связи со значительным объемом сброса неочищенных сточных вод в поверхностные водные объекты. Сложившаяся неблагоприятная ситуация в первую очередь требует решения вопроса с водоотведением поверхностного стока. Общий объем сброса загрязненных сточных вод в поверхностные водные объекты находится на стабильно высоком уровне.

По данным Государственного доклада «О состоянии и об охране окружающей среды Российской Федерации в 2015 году» в 2010 г. в водные объекты страны было сброшено 16,5 млрд м<sup>3</sup> загрязненных сточных вод. В последующие годы

### Abstract

Technical aspects of water disposal and mechanical of stormwater from the urbanized territories are considered. The main features of stormwater treatment in urban areas with a high density of building are considered. The analysis is given to a way of passive mechanical treatment of stormwater with pretreatment (gravity separation) and a filtration on the peat filtering material. Devices and structural elements of the passive treatment systems of stormwater installed on sewer networks of water disposal are given. Passive mechanical treatment systems are well scaled that does them by the ideal choice for the distributed city infrastructure models. In the treatment process joins owners of territories that increases their responsibility for environmental protection, and reduces load of local budgets. For the last 15 years more than 1000 passive stormwater treatment systems in St. Petersburg and the Leningrad, Novgorod and Pskov regions, in the Karelia Republic are brought into operation.

**Keywords:** stormwater, passive mechanical treatment system, peat filtering media, suspended solids, hydrocarbons.

наблюдалась тенденция к неуклонному сокращению данного показателя. В частности, в 2011 г. по сравнению с 2010 г. сброс этих стоков уменьшился на 3 %, а в 2012 г. по сравнению с предшествующим годом — еще на 2 %, в 2013 г. — на 3 %. В 2014 г. рассматриваемый сброс оказался на уровне 14,8 млрд м<sup>3</sup>, в том числе 0,07 млрд м<sup>3</sup> — по Крымскому ФО. По сравнению с предыдущим годом эта величина снизилась примерно на 3 %. В 2015 г. величина загрязненных сточных вод, сброшенных в водные объекты страны, сократилась до 14,4 млрд м<sup>3</sup>, что на 2,4 % меньше, чем в 2014 г. [13].

За последние пять лет объем нормативно очищенных сточных вод остался почти на одном и том же уровне: в 2010 г. — 1,88 млрд м<sup>3</sup>,

в 2015 г. — 1,90 млрд м<sup>3</sup>; при этом внутри приведенного периода годовые показатели имели во многом колебательный характер. В частности, в 2011 г. по сравнению с 2010 г. соответствующий объем сократился с 1,88 до 1,84 млрд м<sup>3</sup>, или на 2 %, в 2012 г. по сравнению с 2011 г. — с 1,84 до 1,71 млрд м<sup>3</sup>, или на 7 %. В 2013 г. по сравнению с предыдущим годом рассматриваемый индикатор практически не изменился; в 2014 г. он снова возрос до 1,84 млрд м<sup>3</sup>, на 7,6 % по сравнению с 2013 г. (на 4,0 % без учета КФО). В 2015 г. сброс нормативно-очищенных стоков достиг 1,90 млрд м<sup>3</sup>, что на 3,3 % больше, чем в предыдущем году [13].

Практика последнего времени показала, что негативное влияние от загрязнений водоемов поверхностными стоками стремительно возрастает, особенно от крупных городов — Москва, Санкт-Петербург и др. Загрязнение водных объектов поверхностными стоками с урбанизированных территорий приводит к интенсивному ухудшению качества воды, в результате чего, в конечном счете, происходит удорожание производства питьевой воды, сокращение продуктивности объектов рыбного хозяйства, а также, в ряде случаев, повреждение объектов инфраструктуры городов [11].

В Северо-Западном ФО доля загрязненных сточных вод в общем объеме сбросов составляет 29,1 %. Основным загрязнителем является Санкт-Петербург. Сброс загрязненных сточных вод в водные объекты в 2015 г. составил 1021 млн м<sup>3</sup>, в том числе 252 млн м<sup>3</sup> — стоки без какой-либо очистки.

Общая административная площадь Санкт-Петербурга, включая сушу и водные объекты, составляет 1440 км<sup>2</sup> (144 715 га), а площадь города, охваченная бассейнами канализования, составляет 630 км<sup>2</sup> (63 248 га). На 70 % всей территории города используется общесплавная система канализации, на 30 % — раздельная (поверхностный

сток собирается отдельно). В целях обеспечения очистки поверхностного стока, поступающего в р. Неву с городской территории, в эксплуатации находятся очистные сооружения г. Колпино и в нежилой зоне «Пулково-3», которые обеспечивают только 2 % очистки поверхностного стока, канализованного по раздельной системе канализования. Значительный объем неочищенного поверхностного стока с городской территории поступает через 1089 прямых выпусков в р. Неву (табл. 1).

Важнейшими проблемами совершенствования и повышения эффективности технологических процессов очистки поверхностного стока являются: обеспечение требуемых показателей процесса и снижение затрат. Решение этих задач связано с широким внедрением в производство современных технологических решений, конструкций и комплексов технологического оборудования. Одной из ключевых задач в реализации концепции устойчивого развития общества является замена традиционных технологий производства на безотходные, ресурсо- и энергосберегающие технологии. Особенно важно реализовать такой подход в системе защиты окружающей среды ультраурбанизированных территорий, характеризующихся отсутствием свободного пространства, высокой плотностью населения и широким спектром потенциальных загрязнителей поверхностного стока. Поэтому, чтобы уменьшить затраты на обслуживание, есть потребность в разработке новых типов систем очистки поверхностного стока с минимальными потребностями в обслуживании.

В последние годы значительные проблемы создают так называемые «нерасчетные дожди», связанные с изменением климатических условий, что, в свою очередь, приводит к нарушению ритма жизни города и является причиной аварийности в работе водоотводящих сетей.

Таблица 1

Объем сброса поверхностных сточных вод по дождевым выпускам  
ГУП «Водоканал СПб» за 2014 год

Территория	Дождевые выпуски и дождеприемники, шт.	Объем сброса, тыс. м <sup>3</sup> /год	Плата за негативное воздействие, руб.
Санкт-Петербург	960	39 886,2	72 330 080
Пригороды	129	9 081,9	5 819 265
Итого	1089	48 968,1	78 149 345

При этом ситуация усугубляется современным интенсивным городским строительством, в результате чего увеличивается площадь водонепроницаемых покрытий и, как следствие, имеет место подтопление территорий в ряде городских районов. В рассматриваемых ситуациях при общесплавной системе канализации поверхностный сток создает значительную дополнительную гидравлическую и грязевую нагрузку на очистные сооружения. В табл. 2 приведены некоторые данные по загрязненности городского поверхностного стока [3, 7, 12, 16].

Данные таблицы 2 указывают на необходимость очистки поверхностного стока перед сбросом в водоемы. В то же время централизованная очистка поверхностного стока с городских территорий в настоящее время не представляется возможной, поэтому в ряде случаев применяют локальные очистные сооружения (ЛОС), например, «Пулково-3» в Санкт-Петербурге. Эффективность очистки на этих ЛОС по взвешенным веществам и нефтепродуктам достигает 95%. Такой эффект очистки достигается за счет предварительной очистки стоков на фильтрах с торфяной загрузкой, которые забирают на себя основную грязевую нагрузку по взвешенным веществам и нефтепродуктам [14, 16].

#### Цели исследования

1. Оценить принципы исполнения и масштабный фактор пассивных фильтрующих устройств для очистки поверхностного стока.
2. Показать возможности применения фильтрующих загрузок из натуральных природных материалов.
3. Дать представление о возможностях практического использования пассивных фильтрующих устройств при очистке поверхностного стока.

#### Принципы системного управления очисткой поверхностного стока

Высокие требования к эффективности очистки поверхностного стока влекут за собой при-

менение сложных, не всегда оправданных технологий, внедрение которых требует привлечения значительных капитальных вложений и эксплуатационных затрат. Для решения вопроса очистки поверхностного стока сегодня важно выбрать наиболее рациональную и экономически целесообразную технологию очистки.

Системы пассивной фильтрации поверхностного стока широко применяются в странах Евросоюза и США в городских районах с высокой плотностью застройки, где установка традиционных систем очистки не возможна, и понятие децентрализованных систем очистки, которые могут быть размещены в структурах дождеприемной сети, является жизнеспособным вариантом для очистки поверхностного стока [21].

Разработки надежной и экономичной пассивной механической технологии позволили проектировать экономически эффективные системы, которые обеспечивают качество очистки поверхностных стоков с урбанизированных территорий. Дешевые, легко монтируемые пассивные системы включают удаление взвешенных веществ и нефтепродуктов при помощи интегрированного подхода к системе. Простая установка и обслуживание не только удобно, это часто необходимость.

К преимуществам пассивных систем очистки следует отнести:

- простоту в работе при стабильном процессе;
- отсутствие химических компонентов;
- отсутствие подвода энергии;
- природные процессы (осаждение и фильтрация);
- низкие капитальные и эксплуатационные затраты.

Параметры дизайна современных локальных пассивных систем:

- самотечные, без движущихся частей;
- операционная гибкость;
- малая занимаемая площадь;
- отсутствие оператора и зданий;

Таблица 2

Данные по загрязненности городского поверхностного стока

Показатель, мг/л	ВНИИВОДГЕО	Санкт-Петербург	Астрахань	Сочи
Взвешенные вещества	2000	80–680	310–689	400
Нефтепродукты	18	0,06–5	3,77–6,5	10
БПК <sub>20</sub>	90	18–36	215–296 (БПК <sub>5</sub> )	20

- легкий доступ для очистки и замены;
- возможность расположения в бетонных, металлических и пластиковых корпусах;
- необслуживаемые в процессе эксплуатации;
- интеграция с другими технологиями.

Наилучшие доступные технологии (НДТ) — это свод наиболее приемлемых технологических решений, представляющий собой результат коллективного договора между властью, создающей условия для промышленного развития и осуществляющей экологический надзор, и бизнесом, для которого важно сохранить рентабельность и потенциал развития. Указанные дешевые пассивные механические системы можно считать наилучшими доступными технологиями при реализации планов по очистке поверхностного стока (табл. 3) [5].

Это относится к площадкам автостоянок, погрузочных терминалов и проезжих частей, где накапливаются взвешенные вещества и нефтепродукты от автотранспорта. Предварительная очистка воды в пассивных системах от плавающего мусора (грязь, ветки, листья, пробки и пр.) помогает предотвратить засорение труб дождевой канализации. Установка и периодическое обслуживание пассивных систем для сбора нефтепродуктов, плавающего мусора и взвешенных веществ является простым шагом к достижению масштабного результата.

#### Пассивные системы очистки поверхностного стока

Пассивные ОСПС — построенные и готовые к эксплуатации требуют минимального обслуживания. Пассивная обработка поверхностного стока обычно включает естественные физические, биохимические и геохимические действия и реакции. Пассивные ОСПС обычно приводятся в действие существующим перепадом давления

воды. Цель — снижение количества загрязнений, собранных поверхностным стоком с урбанизированных территорий.

Особенностью пассивных систем очистки поверхностного стока является их метод расчета на малоинтенсивный дождь с периодом однократного превышения расчетной интенсивности дождя в пределах от 0,05 до 1 года [6]. В задачу первичных пассивных очистных систем по осветлению поверхностного стока входит улавливание основного количества взвешенных веществ и нефтепродуктов, смываемых с территории. Грубые твердые частицы стока осаждаются при предварительном отстаивании.

Существуют примеры применения дешевых, легко монтируемых пассивных систем с регулярной программой их обслуживания, чтобы уменьшить количество загрязнений в поверхностном стоке (табл. 4).

Необходимость в очистке поверхностного стока от взвешенных веществ, нефтепродуктов и мусора не всегда означает установку сложных многоступенчатых системы фильтрации.

Безусловным выходом из этой непростой ситуации является интенсивный переход на использование отечественных инновационных технологических решений и разработок, эффективных отечественных материалов, оборудования для очистки поверхностного стока.

На территориях водосбора основными загрязняющими компонентами поверхностного стока являются продукты эрозии почв, которые смываются с открытых грунтовых поверхностей и газонов, бытовой мусор, пыль, вымываемые компоненты дорожных покрытий и строительные материалы, хранящиеся на открытых площадках, а также нефтепродукты, попадающие на асфальтированную поверхность в результате

Таблица 3

Наилучшие доступные технологии очистки поверхностного стока для различных условий сброса

Описание НДТ	Соответствие основным критериям НДТ		
	Эффективность решения	Экономическая эффективность внедрения и эксплуатации	Применение ресурсо- и энергосберегающих методов
Механическая очистка в отстойниках	Удаление грубых оседающих примесей	Значительные капитальные вложения. Невысокие эксплуатационные затраты	Не требует энергии и ресурсов
Механическая доочистка на кассетных фильтрах	Эффективное удаление взвешенных веществ и нефтепродуктов	Низкие капитальные вложения и затраты на эксплуатацию	Не требует энергии. Замена загрузки в кассетах

Таблица 4

**Особенности пассивных механических систем**

Преимущества	Недостатки
Простота в работе и обслуживании при стабильном процессе	Требуется участок земли
Отсутствие химических компонентов	Требуется экспертиза проекта и контроль
Существующие сооружения на сетях	Умеренные капитальные затраты определяются площадью участка, протяженностью, составом и пр.
Природные процессы	Требуется предварительная очистка воды
Достаточное снижение содержания взвешенных веществ и нефтепродуктов	Низкая толерантность к холодному климату
Низкие капитальные и эксплуатационные затраты	В ряде случаев требуется электричество

неисправностей строительного оборудования и автомобилей. Поверхностный сток с городских территорий, транспортных магистралей, площадок промышленных предприятий является интенсивным фактором антропогенной нагрузки на природные водоемы страны [8].

Назрела необходимость в разработке новой системы нормирования, учитывающей исходное состояние водных объектов и экономически эффективные системы очистки с отработанными на практике технологиями, оборудованием и материалами. Затраты на сооружение и эксплуатацию очистных сооружений поверхностного стока не могут быть выше затрат на водопроводной очистной станции. Агентством по охране окружающей среды США (EPA) в нормативных актах вообще не установлено числовых критериев качества поверхностных вод по содержанию нефтепродуктов, поскольку нефтепродукты («oil and grease») в поверхностном стоке не являются определенной химической категорией и состоят из разнообразных органических соединений с переменными физическими, химическими и токсикологическими свойствами [23].

Уровень загрязненности поверхностного стока с урбанизированных территорий, транспортных магистралей и территорий промышленных предприятий является величиной переменной и определяется уровнем благоустройства территории, состоянием бассейна водосбора и приземной атмосферы, а также гидрометеорологическими параметрами выпадающих атмосферных осадков: интенсивности и продолжительности дождей, продолжительности предшествующего периода сухой погоды, интенсивности процесса весеннего таяния снега.

Концентрации загрязнений поверхностного стока могут колебаться в широких пределах и зави-

сят от многих факторов: загрязненности воздушного бассейна, характера застройки, интенсивности движения транспорта, характеристики дождей и интенсивности снеготаяния, продолжительности междождевых периодов. На рис. 1 показано распределение нагрузки на водоемы-приемники по взвешенным веществам и нефтепродуктам в общем объеме сброса сточных вод [17].

Как видно из графиков нагрузка на водоемы-водоприемники по загрязнениям, поступающим с поверхностным стоком, весьма существенна.

Кроме этого количество загрязнений поверхностного стока определяется плотностью населения, качеством благоустройства, видом поверхностного покрова территорий, интенсивностью транспортного движения, частотой мойки и уборки территорий, а также количеством пылевых и аэрозольных выбросов в атмосферу [12].

Системы очистки поверхностного стока хорошо масштабируемы, что делает их идеальным выбором для распределенных моделей инфраструктуры города. В процесс очистки поверхностного стока включаются собственники территорий, что повышает их ответственность за

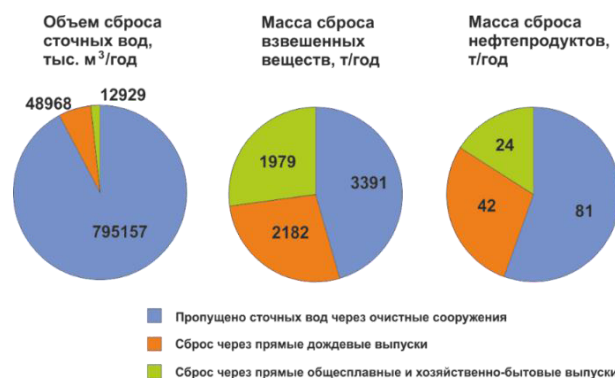


Рис. 1. Распределение нагрузки по загрязняющим веществам по категориям сточных вод

охрану окружающей среды и снижает нагрузку на местные бюджеты. В большинстве случаев они не предусмотрены, чтобы остановить или блокировать аварийные разливы; при этом они не гарантируют качества питьевой воды «в конце трубы». Однако часто пассивные системы можно считать лучшей практикой управления (Best Management Practices (BMPs)) при реализации планов по очистке поверхностного стока. Это относится к площадкам автостоянок, погрузочным терминалам и проезжим частям, где накапливается сравнительно небольшое количество нефтепродуктов с автотранспорта. Часто предварительная очистка воды в пассивных системах от плавающего мусора (грязь, ветки, листья, пробки и пр.) помогает предотвратить засорение труб дождевой канализации. Установка и периодическое обслуживание пассивных систем для сбора плавающего мусора, взвешенных веществ и нефтепродуктов является простым шагом к достижению результата.

#### **Фильтрующий материал для пассивных механических систем**

При выборе фильтрующего материала для пассивных механических систем учитываются следующие показатели:

- невысокая стоимость, доступность сырья и наличие производственных мощностей;
- хорошие фильтрующие свойства материала;
- механическая прочность и химическая стойкость по отношению к фильтруемой воде;
- сохранение свойств в интервале температур от  $-5$  до  $+80$  °С;
- возможность переработки после использования в нужный народному хозяйству материал или применения его без переработки;
- отсутствие отрицательного воздействия при прямом или косвенном контакте на здоровье человека.

Фильтрующий материал получают не только на основе органических соединений, но и на основе минерального сырья и синтезированных материалов. Основная проблема при использовании фильтрующего материала — его утилизация после применения. Более экологически оправданным является использование фильтрующего материала, изготовленного из природных материалов, так как их возможно компостировать до

полного разложения нефтепродуктов, либо сжигать до зольного остатка.

Фильтрующий материал на основе минерального сырья и синтезированных материалов после использования обычно захоранивают на полигонах, и тогда происходит вторичное загрязнение территории, либо утилизируют сжиганием, при этом процесс идёт с выделением ядовитых веществ и с получением остатков, которые необходимо утилизировать.

В результате многолетних НИОКР разработаны технология и оборудование для безотходной комплексной переработки торфяного сырья методом гидропневмоклассификации и вакуумного формования, позволяющая в едином технологическом цикле производить фильтрующий материал и высоко аэрированный субстрат для растениеводства, что существенно повышает экономическую эффективность безотходной технологии. В период 2000–2016 гг. налажено производство торфяного фильтрующего материала — «Элемент фильтрующий торфяной» (ЭФТ), представляющего собой пористые волокнистые плиты, изготавливаемые без применения иных компонентов (ТУ 0391-018-02997983-98). Сертификат соответствия РОСС.RU.АГ99.Р01908 № 1896567 (рис. 2).

Фильтрующая способность ЭФТ: взвешенные вещества  $> 90$  %; углеводороды  $> 90$  %. ЭФТ заменяет искусственные материалы: активированный уголь, минеральную вату, пенополиуретан и др. Отработанный фильтрующий материал утилизируется в качестве вторичного топлива в твердотопливных котельных.



Рис. 2. Элемент фильтрующий торфяной

Таблица 5  
Технологические параметры фильтрующих материалов

Показатели	ППУ	ЭФТ	Новосорб
Скорость фильтрации, м/ч	До 25	До 20	До 4
Плотность, кг/м <sup>3</sup>	0,05	0,25	0,12
Потери напора за фильтроцикл на 0,01 м фильтрующего слоя, м	0,003	0,002	0,002
Грязеемкость, кг/кг	5,0	4,0	5,0

В процессе изготовления ЭФТ из исходного торфяного сырья удаляются балластные элементы углеводного комплекса (водорастворимые и легкогидролизуемые соединения), что приводит к раскрытию сорбционного пространства конечной продукции.

Исходное торфяное сырье низкой степени разложения имеет невысокую степень гумификации (13,0–15,5 %) растений торфообразователей, обладающих более высокими значениями сорбционного взаимодействия с неполярными веществами с большими размерами молекул.

При гидропневмокласификации исходного торфяного сырья уменьшение насыпной плотности дисперсного материала означает повышение пористости получаемого фильтрующего материала, что и является определяющим при фильтрации жидкостей. В процессе гидропневмокласификации удаляются мелкие фракции из торфяного сырья (менее 2,0 мм). Таким образом создается пористая структура сорбционного каркаса, достаточно проницаемая для больших молекул углеводородных соединений.

После вакуум-формования элементов фильтрующих торфяных в процессе их последующей сушки при температурах 120–150 °С наблюдается возгонка битумов и происходит необратимая коагуляция коллоидов, приводящая к гидрофобизации материала, что снижает его водопоглощение до 180–200 %.

К сожалению, некоторые исследователи, не понимая сути процесса получения из исходного торфяного сырья конечного фильтрующего материала, берут для своих экспериментов природный сфагновый торф и получают неверные результаты, делая на них ошибочные выводы [20]. При этом делаются неверные ссылки на ав-

торитетные источники, в которых таких данных нет и быть не может [19].

Технологические параметры фильтров при доочистке поверхностного стока принимаются следующими:

- высота слоя загрузки 0,3–0,6 м;
- плотность фильтрующей загрузки 50–70 кг/м<sup>3</sup>;
- скорость фильтрации 10–20 м/ч;
- эффект осветления 90–95 %;
- потери напора в начале фильтроцикла 3 кПа, в конце — 10–20 кПа.

Перспективным для фильтрации поверхностного стока оказалось использование сочетания полимерного (пенополиуретан), органического (торфяная загрузка) и минерального («Новосорб») сорбентов. Технологические параметры материалов представлены в табл. 5.

Изотермы сорбции Новосорба ( $d \geq 1$  мм,  $t = 20$  °С,  $T = 20$  мин), пенополиуретана ( $d = 30 \times 20 \times 10$  мм,  $t = 20$  °С,  $T = 40$  мин) и торфяной загрузки (ЭФТ,  $t = 20$  °С,  $T = 20$  мин) показаны на рис. 3.

Модельный водный раствор концентрацией 133 мг/л готовился на основе трансформаторного масла ВГ.

Из графика на рис. 3 следует, что изотерма сорбции на Новосорбе имеет линейный характер, близок к линейному характеру и изотерма сорбции на торфяной загрузке ЭФТ, в то же время при одном и том же времени экспозиции (20 мин) концентрация в фазе сорбции у ЭФТ примерно в 2 раза выше. В то же время изотерма сор-

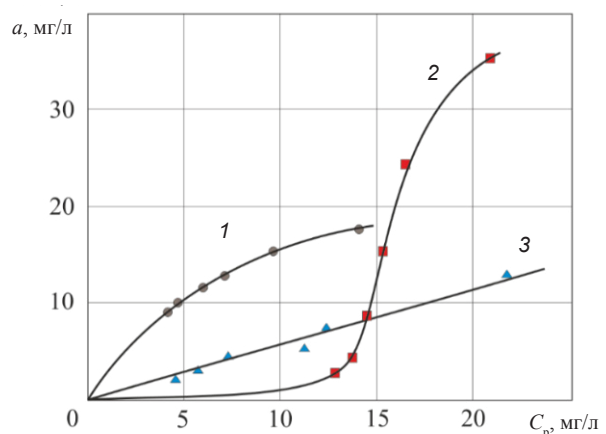


Рис. 3. Изотермы сорбции нефтепродуктов: 1 — торфяная загрузка ЭФТ; 2 — пенополиуретан; 3 — новосорб

бции на пенополиуретане (ППУ) имеет ярко выраженный нелинейный вогнутый характер, при этом равновесная сорбция зависит от концентрации нефтепродуктов в очищаемой воде (более 20 мг/л), что не совсем характерно для урбанизированных территорий, при этом требуется более длительная, при прочих равных условиях, экспозиция (40 мин), а это большая толщина/высота фильтрующей загрузки. Следует отметить также проблемы при утилизации отработанного ППУ. Изотерма сорбции на пенополиуретане (ППУ) имеет максимальный коэффициент распределения при концентрации  $C_p = 21,2$  мг/л. При вогнутой изотерме имеется стадия «зарядки» — накопления на поверхности сорбента монослоя нефтепродукта, когда коэффициент распределения  $\Gamma$  мал и отмечаются значительные проскоки загрязнителей.

Далее идет аутогезия («самослипание»), т. е. способность поглощать загрязняющие вещества за счет прочной адгезии на поверхности вещества. По данным экспериментов на стадии «зарядки»  $\Gamma = 260$ , при переходе к стадии аутогезии  $\Gamma$  увеличивается до 3300 и выходная концентрация резко снижается.

По данным Е. О. Графовой [4] из кривых кинетики на ППУ следует, что концентрация нефтепродуктов в растворе снижается примерно за 40 мин, тогда как на ЭФТ и Новосорбе примерно за 20 мин. Таким образом, ППУ проходит стадию «зарядки», пока концентрация нефтепродукта на поверхности сорбента не достигнет порядка 7 мг/г. При этом возможны значительные проскоки нефтепродукта.

На следующей стадии аутогезии коэффициент распределения резко увеличивается, проскоковая концентрация снижается. Кинетика сорбции на торфе значительно лучше, чем на ППУ. Сравнительная оценка величин кинетического коэффициента для этих материалов проведена исходя из внешнедиффузионной модели сорбции. Таким образом, торфяная загрузка ЭФТ обладает емкостью в 2,5 раза меньшей, чем ППУ, но в 2 раза лучшей кинетикой сорбции.

Кинетика сорбции на Новосорбе, аналогична кинетике на ЭФТ, т. е. примерно в два раза лучше, чем на пенополиуретане. Сорбент «Новосорб» обладает самой малой емкостью из трех изученных сорбентов, однако имеет хорошую кинетику

сорбции, поэтому может быть использован как «финишный» сорбент в многослойном фильтре.

В пассивных очистных сооружениях используются различные фильтрующие среды, и комбинации фильтрующих сред часто рекомендуется использовать для повышения эффективности удаления загрязнений [2]. Двухслойный фильтр из ППУ и ЭФТ эффективнее однослойного, так как больше время защитного действия, выше кинетика с меньшей проскоковой концентрацией. Трехслойный фильтр (ППУ, ЭФТ и Новосорб) снижает концентрацию нефтепродуктов в 40 и более раз, удаляет взвешенные вещества.

Между плитами ЭФТ и слоем сорбента Новосорб укладывается дополнительный слой геотекстиля в целях предотвращения загрязнения последнего мелкими частицами. По данным американских исследователей [22] применение геотекстиля при очистке поверхностного стока после седиментации крупных взвесей на стадии предочистки позволяет снижать содержание взвешенных веществ с 200 до 30 мг/л.

Образцы геотекстиля плотностью 400 г/м<sup>2</sup> с начальным гидравлическим сопротивлением 2,40 мм/с и с распределением пор от 0–180 мкм при средневзвешенном размере  $D_{50} = 106$  мкм способны поддерживать соответствующую гидравлическую проводимость во время процесса фильтрации при удержании взвешенных веществ в слое до 5,4 кг/м<sup>2</sup> и накоплении на поверхности до 6,4 кг/м<sup>2</sup>.

#### **Характеристика пассивных систем очистки поверхностного стока**

Для оперативного решения задачи очистки поверхностного стока с городских территорий в рассматриваемый период, а также в среднесрочной перспективе были разработаны очистные устройства, монтируемые как в существующие, так и во вновь строящиеся дождеприемные колодцы на канализационной сети, где в качестве фильтрующей загрузки применяются ЭФТ. Отличительной особенностью пассивной механической технологии очистки поверхностного стока является метод последовательно распределенной очистки поверхностных вод от взвешенных веществ и нефтепродуктов:

- сбор плавающих нефтепродуктов и осаждение крупных взвесей в приямках колодцев дождеприемной сети;

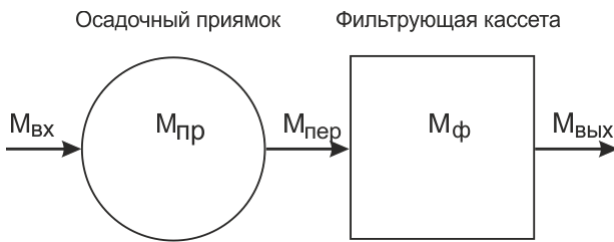


Рис. 4. Снижение массы загрязнений при проходе через систему

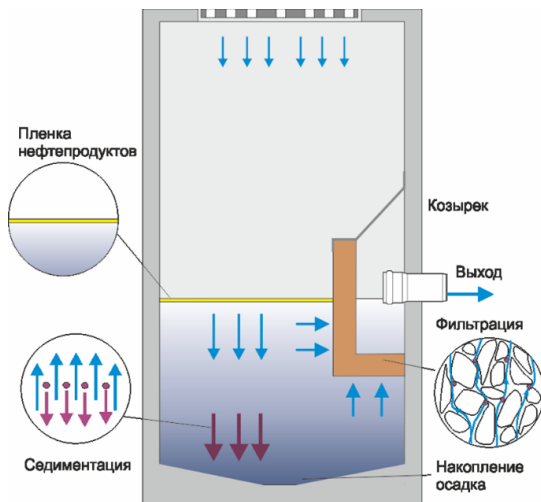


Рис. 5. Схема очистки поверхностного стока в дождеприемном колодце

• доочистка воды в фильтрующей кассете (рис. 4).

Фильтрующий модуль типа ФМС (рис. 5) предназначен для очистки поверхностных сточных вод от взвешенных веществ и нефтепродуктов с территории населенных пунктов, промышленных и строительных площадок, гаражных автостоянок и других территорий, а также для монтажа на существующей ливневой канализации без ее реконструкции и производства земляных работ. ФМС представляет собой сборную сетчатую конструкцию, монтируется непосредственно в железобетонный дождеприемный колодец на сети [9, 10].

Эффективность этих систем зависит от степени нагрузки на кассеты, типа, размера и пористости фильтрующей среды, тип и распределение по размерам частиц взвешенных веществ в поступающем поверхностном стоке. Предварительное отстаивание также является необходимым

до фильтрации, чтобы предотвратить засорение и преждевременную замену фильтрующей среды.

Дождеприемные колодцы оборудованы приемками глубиной до 1,2 м под выходным трубопроводом. Колодцы предназначены для сбора поверхностных вод и предварительного улавливания из поверхностного стока плавающего мусора, гравия (с размером частиц более 2-х мм) и песка (0,2–2,0 мм). В колодцах происходит локализация грубых механических загрязнений в приемке, а также задерживается часть поступающих нефтепродуктов в свободном и частично в капельном состоянии (предварительная стадия очистки поверхностного стока с территории водосбора).

Внутренняя полость фильтрующей кассеты заполнена торфяным фильтрующим материалом ЭФТ в сочетании со слоями геотекстиля. При нормальной работе модуля фильтрация очищаемой жидкости происходит через боковую (вертикальную) и нижнюю (донную) фильтрующие поверхности. При сверхнормативном расходе поверхностного стока предусматривается возможность перелива жидкости через его верхнюю часть.

Ключевые элементы дизайна:

- направление потока — фильтрация и байпас;
- качество воды соответствует расходу;
- расход ограничивается до максимально возможного;
- тип и количество фильтрующей загрузки определяется размером и конфигурацией кассеты;
- наличие пространства для отстаивания осадка;
- потребность в предварительном отстаивании;
- доступное обслуживание.

Схемные преимущества:

- применение в городских районах с ограниченным пространством для подземного расположения;
- широкий спектр водосборных бассейнов;
- фильтрующая загрузка может комбинироваться в зависимости от условий эксплуатации.

Требуются периодическое удаление осадка и замена фильтрующей загрузки.

Очистка поверхностного стока в дождеприемном колодце обеспечивает очистку по взвешенным веществам до 10 мг/л, нефтепродуктам —

до 0,3 мг/л, а при доочистке стоков на втором последовательно установленном модуле соответственно до 5,0 мг/л и до 0,05 мг/л.

Периодичность замены фильтрующего материала в зависимости от грязевой нагрузки (главным образом от механических примесей) — 3–6 месяцев. Увеличение срока работы фильтрующей загрузки (с большой сорбционной емкостью по нефтепродуктам) достигается установкой дополнительной отстойной емкости перед дождеприемником, в котором смонтирована пассивная система очистки. Расход воды через дождеприемный колодец определяется, с одной стороны, минимальным диаметром трубы присоединения дождеприемника к коллектору 200 мм, с другой — пропускной способностью дождеприемной решетки в соответствии с ГОСТ 26008–83 [1].

С учетом низких капитальных и эксплуатационных затрат разработанная система очистки поверхностного стока в дождеприемном колодце находит все более широкое применение для установки на дождеприемных сетях. В настоящее время производятся технические испытания пассивных систем очистки с участием специалистов ГУП «Водоканал Санкт-Петербурга» (табл. 6) [18].

Установка в существующих дождеприемных колодцах делает компактную, подземного расположения систему очистки поверхностного стока, которая использует предварительное гравитационное разделение плавающих и оседающих загрязнителей из потоков поверхностного стока, поступающих через дождеприемную решетку. эффективным вариантом очистки поверхностного стока для проектов, где необходима экономия площади строительства [2].

Внутренний байпас позволяет потокам, превышающим пропускную способность системы очистки, быть сброшенным в обход. Пассивная

система масштабируема по площади фильтрации для удовлетворения потребности в определенных гидравлических расходах и доступна в различных конфигурациях по монтажу в дождеприемном колодце.

Регрессионный анализ, исследующий соотношение входных и выходных концентраций, как показано на рис. 6, применен для оценки средней эффективности удаления взвешенных веществ. Анализ выборочных данных по эксплуатации пассивных систем очистки поверхностного стока показал среднюю степень удержания взвешенных веществ 83,9 % в диапазоне загрязнения воды 100–300 мг/л и 75,4 % в диапазоне < 100 мг/л.

Области применения пассивных систем очистки поверхностного стока:

- территории объектов атомных электростанций и населенных пунктов городов-спутников;
- морские и речные порты;
- транспортные магистрали и аэродромы;
- военные городки; реабилитация бывших береговых технических баз ВМФ;
- торговые и спортивные площадки;

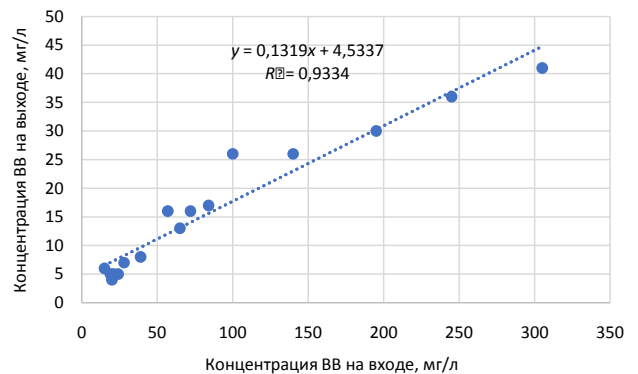


Рис. 6. Регрессионный анализ данных очистки по взвешенным веществам

Таблица 6

**Технические характеристики ФМС**

Тип	Диаметр ж/б колодца, м	Площадь фильтрации модуля $F_{\phi}$ , м <sup>2</sup>	Скорость фильтрации $v_{\phi}$ , м/ч	Расход	
				м <sup>3</sup> /ч	л/с
ФМС-1.0	1,0	0,9	5–7,5	4,5–6,8	1,3–1,9
ФМС-1.5	1,5	1,2	5–7,5	6,0–9,0	1,7–2,5
ФМС-1.5*	1,5	1,6	5–7,5	8,0–12,0	2,2–3,3
ФМС-2.0	2,0	1,7	5–7,5	8,5–12,8	2,4–3,5
ФМС-2.0*	2,0	2,4	5–7,5	12,0–18,0	3,3–5,0
ФМС-2.0**	2,0	3,2	7,5–10	24,0–32,0	6,7–8,9

- промышленные и строительные площадки;
- муниципальные и городские территории;
- объекты ТЭК, склады ГСМ, АЗС.

Подобные пассивные кассетные системы достаточно широко распространены и за рубежом. Например, за последние 20 лет установлено более 120 000 кассетных систем Storm Filter [2]. За последние 15 лет запущено в эксплуатацию более 1000 пассивных систем очистки поверхностного стока в Санкт-Петербурге и Ленинградской, Новгородской и Псковской областях, в Республике Карелия.

Для обеспечения очистки поверхностного стока в Санкт-Петербурге в бассейнах с отдельной канализацией предусматривается до 2025 года строительство 33 очистных сооружений поверхностного стока (ОСПС) производительностью от 0,1 до 40 тыс. м<sup>3</sup>/сут, обеспечивающих очистку 495 тыс. м<sup>3</sup>/сут поверхностного стока [15].

На территориях новой застройки предусматривается очистка всего образующегося поверхностного стока. ОСПС должны предусматриваться на стадии разработки проектов планировки и проектов межевания территорий. Примерные объемы инвестиций в снижение негативного воздействия на окружающую среду путем прекращения сброса сточных вод без очистки через прямые выпуски в водные объекты (ликвидация выпусков) составляет на 2014–2025 гг. — 18 597,2 млн руб. и после 2025 г. — 19303,0 млн руб.

Возможно несколько направлений в отношении очистки поверхностного стока — строительство очистных сооружений на крупных коллекторах непосредственно у выпусков в водоем, перехват поверхностного стока и транспортирование его на объединенные очистные сооружения использование комбинированной схемы, при которой часть поверхностного стока очищается на локальных сооружениях, а часть направляется на общие очистные сооружения. Децентрализованные системы являются реальной альтернативой централизованным, большим системам очистки.

### Заключение

Внедрение децентрализованных пассивных систем очистки может эффективно снижать

уровень взвешенных веществ и нефтепродуктов городского поверхностного стока.

Поскольку задержание загрязнений производится посредством осаждения осадка и механической фильтрацией, то даже часть растворенных загрязнений могут быть удалены пассивным механическим фильтром.

Использование в системах пассивной очистки различных видов фильтрующей загрузки позволяет проводить очистку поверхностного стока с широким спектром поверхностей водотока.

Основные загрязнения оседают на дне отстойной части сооружения и могут быть удалены при откачке емкости. Фильтрующая кассета меняется с периодичностью 1–2 раза в год.

Пассивные системы очистки поверхностного стока хорошо масштабируемы, что делает их идеальным выбором для распределенных моделей инфраструктуры города. В процесс очистки поверхностного стока включаются собственники территорий, что повышает их ответственность за охрану окружающей среды и снижает нагрузку на местные бюджеты.

За последние 15 лет запущено в эксплуатацию более 1000 пассивных механических систем очистки поверхностного стока в Санкт-Петербурге, Ленинградской, Новгородской и Псковской областях, в Республике Карелия.

Учитывая, что 2017 год в России объявлен «Годом экологии», внедрение недорогих и эффективных пассивных технологий очистки поверхностного стока с использованием природных фильтрующих материалов на их основе приобретают особую актуальность в рамках реализации политики импортозамещения и снижения последствий природных и техногенных угроз в ходе построения и развития АПК «Безопасный город».

### Литература

1. (2000). ГОСТ 3634-99. Люки смотровых колодцев и дождеприемники ливневосточных колодцев. Технические условия. М.: ГУП ЦПП, 23 с.
2. (2013). The Stormwater Management StormFilter. Доступно по ссылке: <http://www.conteches.com/products/stormwater-management/treatment/stormwater-management-stormfilter>.
3. Dierkes, C., Göbel, P., Coldewey (2006). "Passive Filter – Sustainable BMP for Permanent Stormwater Treatment of

Heavy Metals, Nutrients, Hydrocarbons and Sediment". Доступно по ссылке: <https://www.wateronline.com/doc/passive-filter-permanent-stormwater-treatment-0002>.

4. Баринов, А. М., Баринов, М. Ю. (2016). Оптимизация режимов работы и улучшение режимов эксплуатации очистных сооружений поверхностного стока. Водоснабжение и санитарная техника. № 4, сс. 53–57.

5. Графова, Е. О., Аюкаев, Р. И., Веницианов, Е. В. (2012). Математическое моделирование и расчет многослойных фильтров малой толщины для сорбционной очистки поверхностного стока с загородных участков автомагистралей. Ученые записки ПетрГУ, № 8, сс. 7–82.

6. Данилович, Д. А., Серпокрьлов, Н. С. (2015). Принципиальные положения концепции справочника по наилучшим доступным технологиям «Очистка сточных вод с использованием централизованных систем водоотведения поселений, городских округов». Инженерно-строительный вестник Прикаспия, № 2 (12), сс. 50–54.

7. Дикаревский, В. С., Курганов, А. М. (1990). Отведение и очистка поверхностных сточных вод. Л.: Стройиздат, 224 с.

8. Ким, А. Н., Давыдова, Е. В., Полянская, Д. И. (2016а). Отведение и очистка поверхностного стока в Астрахани: современное состояние и перспектива развития. Вестник СГАСУ. Градостроительство и архитектура, № 2, сс. 31–35.

9. Ким, А. Н., Михайлов, А. В., Графова, Е. О. (2017). Технические аспекты поверхностного стока с урбанизированных территорий. СПб.: СПбГАСУ, 200 с.

10. Ким, А. Н., Михайлов, А. В., Продоус, О. А. и др. (2015). Фильтр с торфяной загрузкой. Патент РФ № 154656. Оpubл. 27.08.2015. Бюл. № 24.

11. Ким, А. Н., Михайлов, А. В., Продоус, О. А. и др. (2016). Устройство для очистки сточных вод, устанавливаемое в канализационном колодце. Патент РФ № 2583177. Оpubл. 10.05.2016. Бюл. № 13.

12. Мануйлов, М. М., Московкин, В. М. (2016). Влияние поверхностного стока (дождевых и талых вод) на экологическую и техногенную ситуацию в городах. Вода и экология: проблемы и решения, № 2, сс. 35–47.

13. Меншутин, Ю. А., Верещагина, Л. М., Керни, А. С., Фомичёва, Е. В., Логунова, А. Ю. (2015). Рекомендации по расчету систем сбора, отведения и очистки поверхностного стока с селитебных территорий, площадок предприятий и определению условий выпуска его в водные объекты. М.: ВНИИВОДГЕО, 146 с.

14. Минприроды России (2016). Государственный доклад «О состоянии и об охране окружающей среды Российской Федерации в 2015 году». М.: НИИ-Природа, 639 с.

15. Михайлов, А. В. (ред.) (2014). Водоотведение и очистка поверхностного стока на торфяных фильтрах. СПб.: Изд. ООО «Сборка», 138 с.

16. Правительство Санкт-Петербурга (2013). Постановление от 11 декабря 2013 года № 989 «Основные положения схемы водоснабжения и водоотведения Санкт-Петербурга на период до 2025 года с учетом перспективы до 2030 года». Доступно по ссылке: <https://gov.spb.ru/law?d&nd=822402702&prevDoc=537980606>

17. Пробринский, М. Д., Рублевская, О. Н., Ким, А. Н., Иваненко, И. И. (2015). Перспективы отведения и очистки

поверхностного стока в Санкт-Петербурге. Водоснабжение и санитарная техника, № 6, сс. 32–40.

18. Рублевская, О. Н., Леонов, Л. В., Мишуков, Б. Г. и др. (2013). Оценка расхода и состава сточных вод в Санкт-Петербурге. Водоснабжение и санитарная техника, № 9, с. 60.

19. Рублевская, О. Н., Михайлов, А. В., Ким, А. Н., Продоус, О. А. (2014). Применение торфяных фильтров в локальных очистных сооружениях. Инновационные системы отведения и очистки поверхностных стоков с урбанизированных территорий. Матер. междунар. науч.-практ. конф. Петрозаводск: Свое издательство, сс. 45–52.

20. Томсон, А. Э. Наумова, Г. В. (2009). Торф и продукты его переработки. Минск: Беларус. навука, 328 с.

21. Феофанов, Ю. А., Мишуков, Б. Г. (2017). Особенности формирования состава поверхностных сточных вод и выбор сооружений по их очистке. Вода и экология № 3, сс. 49–66.

22. Franks, C. A., Davis, A. P., Aydilek, A. H. (2011). Geosynthetic Filters for Water Quality Improvement of Urban Stormwater Runoff. Proceedings of the Water Environment Federation, WEFTEC 2010: Session 41 through Session 50, pp. 2944–2953.

23. Galavotti, H. (2016). Summary of State Stormwater Standards. Доступно по ссылке: [http://water.epa.gov/polwaste/npdes/stormwater/upload/sw\\_state\\_summary\\_standards.pdf](http://water.epa.gov/polwaste/npdes/stormwater/upload/sw_state_summary_standards.pdf)

#### References

1. (2000). GOST 3634-99. Lyuki smotrovyyh kolodcev i dozhdopriemniki livnestochnyyh kolodcev. Tekhnicheskie usloviya [Hatches of manholes and rainwater drainage wells. Technical conditions]. М.: GUP CPP, 23 p. (in Russian)

2. (2013). The Stormwater Management StormFilter. Dostupno po ssylke: <http://www.conteches.com/products/stormwater-management/treatment/stormwater-management-stormfilter>.

3. Dierkes, C., Göbel, P., Coldewey (2006). "Passive Filter – Sustainable BMP for Permanent Stormwater Treatment of Heavy Metals, Nutrients, Hydrocarbons and Sediment". Available at: <https://www.wateronline.com/doc/passive-filter-permanent-stormwater-treatment-0002>.

4. Barinov, A. M., Barinov, M. Yu. (2016). Optimizaciya rezhimov raboty i uluchshenie rezhimov ehkspluatatsii ochistnyh sooruzhenij poverhnostnogo stoka [Optimization of operating modes and improvement of operating conditions for surface runoff treatment facilities]. Vodosnabzhenie i sanitarnaya tekhnika, № 4, pp. 53–57. (in Russian)

5. Grafova, E. O., Ayukaev, R. I., Venicianov, E. V. (2012). Matematicheskoe modelirovanie i raschet mnogoslojnyh fil'trov maloj tolshchiny dlya sorbcionnoj ochistki poverhnostnogo stoka s zagorodnyh uchastkov avtomagistralej [Mathematical modeling and calculation of low-thickness multilayer filters for sorption cleaning of surface runoff from suburban motorway sections]. Uchenye zapiski PetrGU, №8, pp. 7–82. (in Russian)

6. Danilovich, D. A., Serpokrylov, N. S. (2015). Principial'nye polozheniya koncepcii spravochnika po nailuchshim dostupnym tekhnologiyam «Ochistka stochnyh vod s ispol'zovaniem centralizovannyh sistem vodootvedeniya poselenij, gorodskih okrugov» [Principles of the concept of the handbook on best available technologies "Wastewater treatment using centralized

drainage systems of settlements, urban districts”]. *Inzhenerno-stroitel'nyj vestnik Prikaspiya*, № 2 (12), pp. 50–54. (in Russian)

7. Dikarevskij, V. S., Kurganov, A. M. (1990). *Otvedenie i oчитка poverhnostnyh stochnyh vod* [Removal and treatment of surface wastewater]. L.: Strojizdat, 224 p. (in Russian)

8. Kim, A. N., Davydova, E. V., Polyanskaya, D. I. (2016a). *Otvedenie i oчитка poverhnostnogo stoka v Astrahani: sovremennoe sostoyanie i perspektiva razvitiya* [The diversion and purification of surface runoff in Astrakhan: the current state and the prospect of development.]. *Vestnik SGASU. Gradostroitel'stvo i arhitektura*, № 2, pp. 31–35. (in Russian)

9. Kim, A. N., Mihajlov, A. V., Grafova, E. O. (2017). *Tekhnicheskie aspekty poverhnostnogo stoka s urbanizirovannyh territorij* [Technical aspects of surface runoff from urban areas]. SPb.: SPbGASU, 200 p. (in Russian)

10. Kim, A. N., Mihajlov, A. V., Prodous, O. A. (2015). *Fil'tr s torfyanoj zagruzkoj* [Filter with peat load]. Patent RU № 154656. (in Russian)

11. Kim, A. N., Mihajlov, A. V., Prodous, O. A. (2016). *Ustrojstvo dlya oчитki stochnyh vod, ustanavlivaemoe v kanalizacionnom kolodce* [Device for wastewater treatment installed in a sewage well]. Patent RU № 2583177. (in Russian)

12. Manujlov, M. M., Moskovkin, V. M. (2016). *Vliyanie poverhnostnogo stoka (dozhdevyh i talyh vod) na ehkologicheskuyu i tekhnogennuyu situaciyu v gorodah* [Influence of surface run-off (rain and meltwater) on the ecological and technogenic situation in cities]. *Water and Ecology*, № 2, pp. 35–47. (in Russian)

13. Menshutin, Yu. A., Vereshchagina, L. M., Kerni, A. S.. (2015). *Rekomendacii po raschetu sistem sbora, otvedeniya i oчитki poverhnostnogo stoka s selitebnyh territorij, ploshchadok predpriyatij i opredeleniyu uslovij vypuska ego v vodnye ob'ekty* [Recommendations for the calculation of systems for collecting, diversion and cleaning of surface runoff from residential areas, sites of enterprises and determining the conditions for its release into water bodies]. M.: VNIIVODGEO, 146 p. (in Russian)

14. *Minprirody Rossii* (2016). *Gosudarstvennyj doklad «O sostoyanii i ob ohrane okruzhayushchej sredy Rossijskoj Federacii v 2015 godu»* [State report «On the state and on the protection of the environment of the Russian Federation in 2015»]. M.: NIA-Priroda, 639 p. (in Russian)

15. Mihajlov, A. V. (red.) (2014). *Vodootvedenie i oчитка poverhnostnogo stoka na torfyanyh fil'trah* [Wastewater removal and treatment of surface runoff on peat filters.]. SPb.: «Izd. OOO «Sborka», 138 p. (in Russian)

16. *Pravitel'stvo Sankt-Peterburga* (2013). *Postanovlenie ot 11 dekabrya 2013 goda № 989 «Osnovnye polozheniya skhemy vodosnabzheniya i vodootvedeniya Sankt-Peterburga na period do 2025 goda s uchetom perspektivy do 2030 goda»* [The main provisions of the scheme of water supply and sanitation in St. Petersburg for the period until 2025, taking into account the prospects until 2030]. Available at: <https://gov.spb.ru/law?d&nid=822402702&prevDoc=537980606> (in Russian)

17. Probirskij, M. D., Rublevskaya, O. N., Kim, A. N., Ivanenko, I. I. (2015). *Perspektivy otvedeniya i oчитki poverhnostnogo stoka v Sankt-Peterburge* [Prospects for the diversion and cleaning of surface runoff in St. Petersburg]. *Vodosnabzhenie i sanitarnaya tekhnika*, № 6, pp. 32–40. (in Russian)

18. Rublevskaya, O. N., Leonov, L. V., Mishukov, B. G. (2013). *Oценка raskhoda i sostava stochnyh vod v Sankt-Peterburge* [Assessment of wastewater consumption and composition in St. Petersburg]. *Vodosnabzhenie i sanitarnaya tekhnika*, №9, p. 60. (in Russian)

19. Rublevskaya, O. N., Mihajlov, A. V., Kim, A. N., Prodous, O. A. (2014). *Primenenie torfyanyh fil'trov v lokal'nyh oчитnyh sooruzheniyah* [Application of peat filters in local treatment facilities] *Innovacionnye sistemy otvedeniya i oчитki poverhnostnyh stokov s urbanizirovannyh territorij*. Mater. mezhdunar. nauch.-prakt. konf. Petrozavodsk: Svoe izdatel'stvo, pp. 45–52. (in Russian)

20. Tomson, A. E. Naumova, G. V. (2009). *Torf i produkty ego pererabotki* [Peat and products of its processing]. Minsk : Belarus. navuka, 328 p. (in Russian)

21. Feofanov, Yu. A., Mishukov, B. G. (2017). *Osobennosti formirovaniya sostava poverhnostnyh stochnyh vod i vybor sooruzhenij po ih oчитke* [features of formation of surface sewage composition and selection of facilities for their purification]. *Water and Ecology*, №3, pp. 49–66. (in Russian)

22. Franks, C. A., Davis, A. P., Aydilek, A. H. (2011). *Geosynthetic Filters for Water Quality Improvement of Urban Stormwater Runoff*. Proceedings of the Water Environment Federation, WEFTEC 2010: Session 41 through Session 50, pp. 2944–2953.

23. Galavotti, H. (2016). *Summary of State Stormwater Standards*. Dostupno po ssylke: [http://water.epa.gov/polwaste/npdes/stormwater/upload/sw\\_state\\_summary\\_standards.pdf](http://water.epa.gov/polwaste/npdes/stormwater/upload/sw_state_summary_standards.pdf)

#### Авторы

**Ким Аркадий Николаевич**, д-р техн. наук

Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет

E-mail: kimkan17@mail.ru

**Михайлов Александр Викторович**, д-р техн. наук

Санкт-Петербургский горный университет

E-mail: epc68@mail.ru

#### Authors

**Arkady Nikolaevich Kim**, Doctor of Engineering

Saint Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering

E-mail: kimkan17@mail.ru

**Aleksandr Victorovich Mikhailov**, Doctor of Engineering

Saint Petersburg Mining University

E-mail: epc68@mail.ru