

УДК 628.212.2/.316

Тестовая эксплуатация фильтра ФОПС® с природным цеолитом для очистки загрязненного инфильтратом поверхностного стока

Н. И. ВАТИН¹, Г. А. ПАНКОВА², 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 Панкова Гаянэ Агасовна, первый заместитель генерального директора, ЗАО «Ленинградские Областные Коммунальные Системы»

196625, Россия, Санкт-Петербург, пос. Тярлево, Фильтровское шоссе, 7, лит. Б, тел.: (812) 414-92-52, e-mail: info@loksys.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

Инфильтрационный сток часто является причиной сильного загрязнения поверхностных сточных вод ионами тяжелых металлов. Целью работы была тестовая эксплуатация в реальных условиях фильтра патронного типа с природным цеолитом для очистки поверхностного стока, загрязненного тяжелыми металлами из инфильтрата. Представлены результаты исследования загрязненности дождевого стока с промышленной территории. В ходе исследований решались следующие задачи: изучение причин формирования сильно загрязненного инфильтратом стока на объекте и возможности его очистки; реализация сорбционно-фильтрационной технологии на реальном объекте с применением фильтров очистки поверхностного стока (ФОПС®), распо-

ложенных в канализационных колодцах; оценка возможности удаления из реального стока ионов тяжелых металлов природным цеолитом – клиноптилолитом. Обоснована возможность очистки исследуемого стока при помощи фильтра ФОПС®-Ц с природным цеолитом. Показано, что в инфильтрате, поступающем в ливневую канализационную сеть объекта, образуются сверхвысокие концентрации алюминия, цинка и меди. При использовании фильтра ФОПС®-Ц была достигнута высокая эффективность очистки по алюминию, цинку, меди и железу в течение периода испытаний (апрель – октябрь).

Ключевые слова: поверхностный сток, инфильтрат, тяжелые металлы, канализационный колодец, фильтропатрон.

Введение

Поверхностный сток с городских селитебных и промышленных территорий является крупным источником загрязнения гидросферы, причем

его состав зависит от различных, часто не связанных между собой факторов. Эти факторы, определяемые антропогенным и техногенным воздействием на окружающую среду, формируют в больших городах особую (в экологическом от-

ношении) обстановку, которая значительно отличается от природной.

Основными составляющими поверхностного стока принято считать ливневые, талые, дренажно-инфильтрационные и поливомоечные воды. Фактическая загрязненность этих вод различна на конкретных территориях и объектах, поэтому исследование причин образования загрязнений является актуальной задачей [1–4]. Одним из наименее изученных вопросов в этой области является оценка условий формирования и степени загрязненности инфильтрационного стока, а также влияния его на состав отводимого с городских территорий поверхностного стока и возможности его очистки.

Основная часть исследований по оценке состава поверхностного стока крупных городов посвящена стоку (преимущественно дождевому) с автомобильных дорог и связанных с ними объектов [5–10]. Изучался также сток с городских кровель [11], зеленых территорий [12], территорий кладбищ [13], аэропортов [14], промышленных площадок [15; 16].

Состав инфильтрационного стока, несмотря на его значительный (а часто и преобладающий) вклад в загрязнение поверхностных сточных вод [1], отводимых через канализационные сети, в настоящее время мало изучен. Следовательно, недостаточно проработаны и подходы к его очистке.

В некоторых документах понятия дренажный сток и инфильтрационный сток до сих пор смешивают [17; 18].

Дренажный сток образуется во время мелиорационных мероприятий при осушении [19–21] или орошении земель [22], когда излишки воды отводятся с целью недопущения подтопления территорий или их засоления (при орошении). А поскольку он формируется при прохождении (фильтрации) вод через почвы и грунты, его ошибочно называют инфильтрационным.

Инфильтрационный сток формируется в виде притока извне подземных вод в канализационные сети через негерметично соединенные элементы сетей (колодцы и трубопроводы) [19; 23]. Как правило, сети ливневой канализации располагаются ниже уровня грунтовых вод, и поступление инфильтрата происходит практически в течение всего года.

Принято считать, что инфильтрационный сток чище, чем талый и дождевой, поскольку взвешенные вещества и нефтепродукты задерживаются почвами [24]. Однако на большей части территории России безнапорные пластовые воды часто содержат железо и марганец в высоких

концентрациях. Происхождение этих веществ – биолого-почвенное, и, как правило, максимальная их концентрация наблюдается во время биологической активности почв, т. е. летом [25; 26]. При этом в почвенном покрове заболоченных ландшафтов с восстановительной средой соединения марганца и железа мигрируют с водами в закисной (Mn^{2+} и Fe^{2+}) форме, а в малогумусовых песчаных ландшафтах с окислительной средой они находятся в окисленном и малоподвижном (Mn^{4+} и Fe^{3+}) состоянии [27; 28].

В крупных городах, где канализационные сети проложены на территориях, имеющих значительную предысторию хозяйственной деятельности, загрязнение подземных вод, а следовательно, и инфильтрационного стока, более существенно.

На рис. 1 приведена схема поступления загрязнений с техногенно-нагруженной территории в подземные воды в виде инфильтрата в канализационную сеть из различных по происхождению источников, главными из которых являются захороненные под рекультивационными слоями грунта твердые отходы, элементы конструкций и протечки жидких сред. Деградация этих отходов в анаэробных условиях приводит к поступлению в подземные, а следовательно, и в инфильтрационные воды не только ионов железа и марганца, но и других тяжелых металлов (цинка, алюминия, меди и др.). Как отмечается в работе [1], реальные концентрации в этом случае в десятки, а иногда и в сотни раз превышают ПДК, и их пик приходится на весенние месяцы, когда приток вод в грунты максимален. Весьма вероятно также поступление загрязнителей из старых негерметичных действующих (или недействующих) канализационных сетей различного назначения, расположенных выше по уровню.

В крупных городах одной из главных проблем при организации очистки поверхностного стока являются сложности при выделении площадей для размещения локальных очистных сооружений (ЛОС). При проектировании ЛОС учитываются не только особенности наземной территории, но и подземного пространства, где обычно размещается множество различных сетей [29].

В настоящее время для очистки поверхностного стока в городских условиях активно используются фильтрационно-сорбционные технологии [8–10; 13; 14; 30–33]. Ступени фильтрации включены практически во все технологические схемы очистки поверхностного стока. Для отдельных дождеприемников фильтры патронного типа [34–36] являются главным элементом. Эти фильтры предназначены для очистки загрязнен-

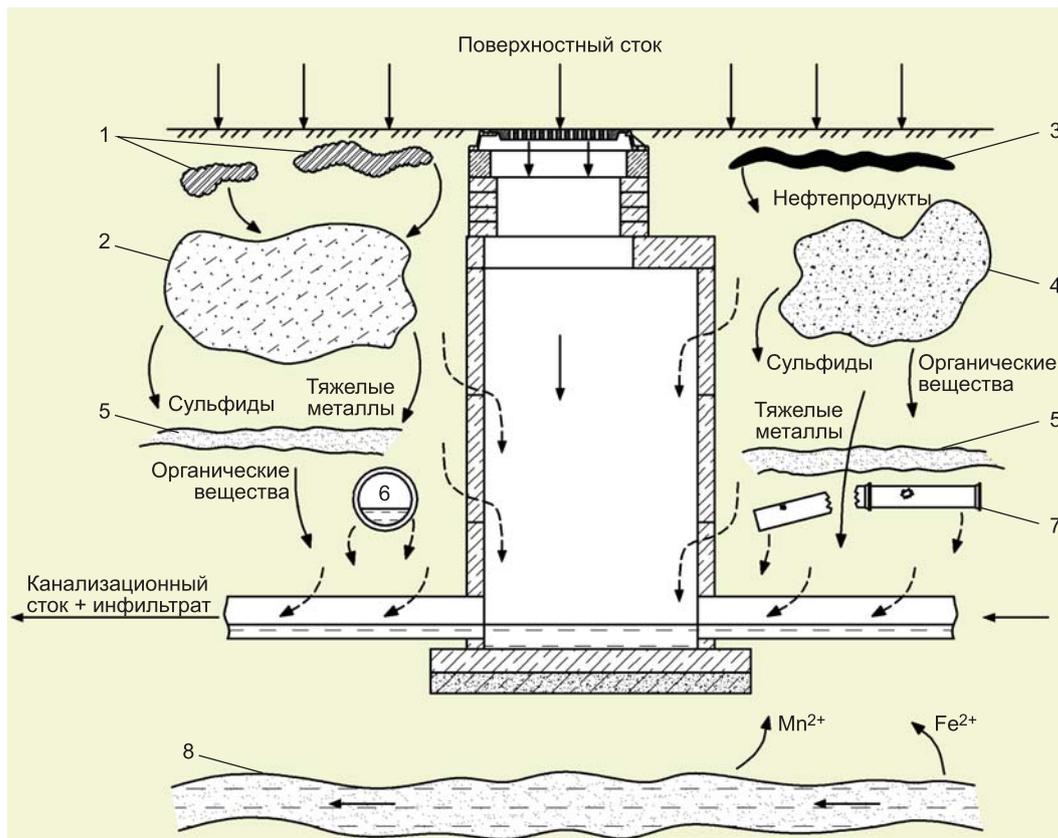


Рис. 1. Схема формирования канализационного стока, загрязненного инфильтратом, с техногенно-нагруженной территории

1 – металлические конструкции; 2 – строительные отходы; 3 – разливы нефтепродуктов; 4 – твердые бытовые отходы; 5 – прослойки атмосферных загрязнений (осевшие аэрозоли); 6 – действующие канализационные сети; 7 – участки заброшенных канализационных сетей; 8 – безнапорные пластовые подземные воды

ного стока, поступающего через дождеприемные решетки в колодцы ливневой канализации.

В составе комплексных очистных сооружений фильтры патронного типа могут выступать самостоятельной стадией финишной доочистки поверхностного стока после песколовков, нефтеловушек и отстойников. При этом возможно не только подземное расположение фильтропатронов (а именно в канализационных колодцах), но и наземное – в специальных помещениях, контейнерах или даже в передвижных системах.

В фильтрах патронного типа широко используются различные фильтрующие сорбционные материалы – активированные угли [2; 4; 8; 32; 36; 37], природные цеолиты [13; 14], торф [4; 9; 10], а также синтетические нетканые и другие материалы [38]. С их помощью осуществляется очистка вод сложного состава. Вместе с тем сорбционно-фильтрационная технология наиболее рентабельна при поглощении загрязнителей в режиме одноразового использования сорбента с последующей утилизацией вместе с корпусом фильтра на полигонах отходов. Это полностью соответствует современной тенденции компактного размещения на полигонах твердых отходов

в брикетах, мешках и т. д. [39]. При этом недорогой одноразовый корпус фильтра патронного типа является, по сути, контейнером, который надежно удерживает внутри себя все загрязнители, депонированные в его загрузку, что значительно облегчает их утилизацию, исключая дорогостоящие и небезопасные процедуры загрузки-выгрузки материалов из корпуса фильтра. Одноразовые фильтры патронного типа (по сути, картриджи) постепенно вытеснят фильтры со сменной загрузкой, как это было в 1990-х годах с бытовыми фильтрами (когда фильтры со сменной загрузкой уступили место более удобным и надежным в обслуживании системам с картриджами одноразового использования).

Цели и задачи

Целью данной работы являлось изучение возможности очистки сильно загрязненного инфильтратом стока, поступающего в канализационную сеть с техногенно-нагруженной территории, по сорбционно-фильтрационной технологии с применением фильтров патронного типа.

В ходе исследований решались следующие задачи:

изучение причин формирования сильно загрязненного инфильтратом стока на объекте и возможности его очистки;

реализация сорбционно-фильтрационной технологии на реальном объекте с применением фильтров очистки поверхностного стока (ФОПС®), расположенных в канализационных колодцах;

оценка возможности удаления из реального стока ионов тяжелых металлов природным цеолитом – клиноптилолитом.

Описание объекта исследований

Испытания проводились на производственной территории одного из предприятий Санкт-Петербурга. Площадь сбора поверхностного стока (1,8 га) представляла собой территорию, имеющую уклон поверхности в точку, где находятся локальные очистные сооружения. В состав ЛОС входили: заглубленная емкость для сбора стока, два канализационных колодца диаметром 1,5 м и канализационная насосная станция для подачи стока после очистки в ливневую канализационную сеть.

Особенность ливневой канализационной сети объекта заключается в том, что сети других производственных площадок, расположенных рядом с исследуемой, находятся по уровню вы-

ше, что может привести к попаданию инфильтрационных вод из них в сеть объекта.

Расчетный расход дождевых вод на объекте составлял 9 м³/сут, инфильтрационных вод – 15 м³/сут. За период испытаний расчетный объем пропущенного через фильтр поверхностного стока составил 5880 м³.

Другим важным обстоятельством является длительная предыстория хозяйственной деятельности на данной территории, насчитывающая более 200 лет. На этой территории находится большое количество погребенных отходов производства и фрагментов строительных материалов и конструкций, подвергшихся деградации в различной степени. Все это может служить источником дополнительного загрязнения инфильтрационного стока, попадающего в ливневую сеть объекта.

Схема установки очистки поверхностного стока для испытания фильтропатрона с цеолитовой загрузкой представлена на рис. 2. Первым по ходу движения воды в установке был фильтр механической очистки ФОПС®-М-1,5-1,2, серийно выпускаемый ООО «Аква-Венчур». Его основное назначение – предотвращение попадания осадка из канализационной сети на последующий сорбционно-ионообменный фильтр ФОПС®-Ц-1,5-1,2 с загрузкой из природного

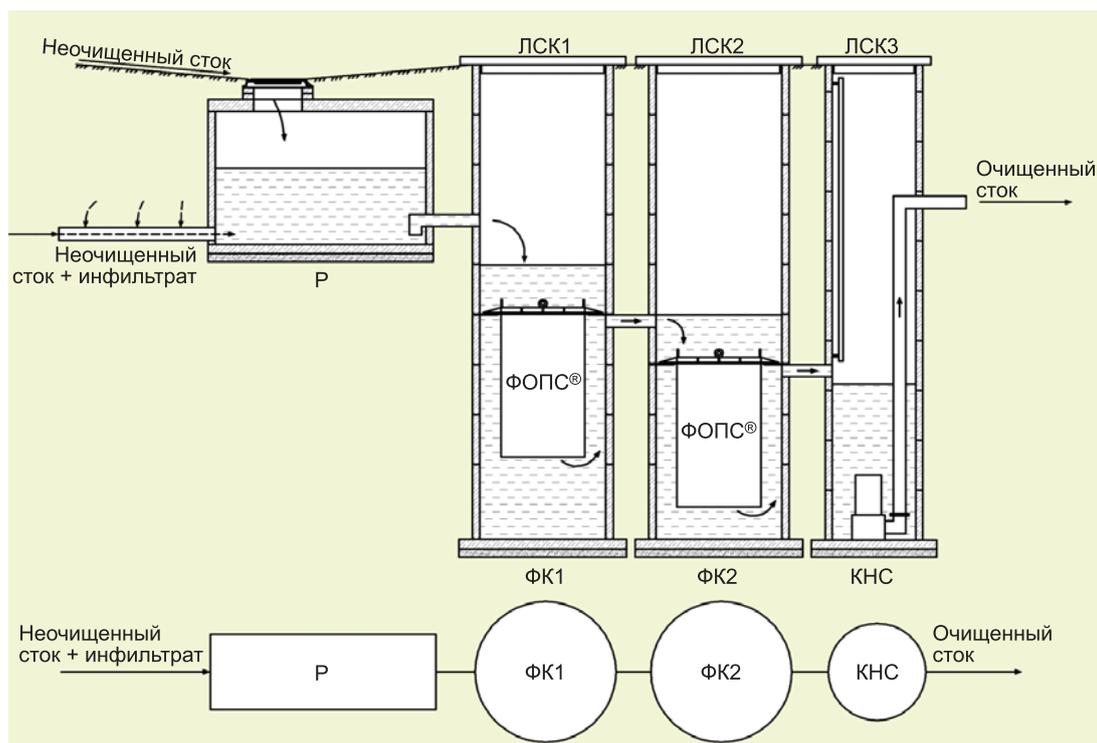


Рис. 2. Схема установки очистки поверхностного стока с использованием фильтров ФОПС®

Р – аккумулирующий резервуар; ФК1 – колодец с фильтром механической очистки ФОПС®-М-1,5-1,2; ФК2 – колодец с фильтром с цеолитовой загрузкой ФОПС®-Ц-1,5-1,2; КНС – канализационная насосная станция; ЛСК – легкосъемные крышки; ---> инфильтрационный сток

цеолита, серийно выпускаемый ООО «Аква-Венчур». Оба фильтра были установлены в бетонные колодцы при помощи стальных опорных колец марки ОК-1,5-1,5. Колодцы сверху закрывались легкоъемными крышками КЛ-1-1,5 (рис. 3). Манипуляции с крышками и фильтрами производились при помощи погрузочной техники – автопогрузчика и автокрана (рис. 3, 4).

Оценка возможности использования фильтра ФОПС®-Ц для очистки загрязненного инфильтратом поверхностного стока заключалась в определении исходных (до фильтра) и конечных (после фильтра) концентраций значимых загрязнителей с дальнейшим расчетом эффективности очистки по этим показателям. Определение качества воды до и после фильтра производили с интервалом два месяца в процессе непрерывной эксплуатации (с марта по октябрь).

Эффективность очистки определяли по формуле:

$$\eta = \frac{C_0 - C_i}{C_0} \cdot 100\%, \quad (1)$$

где C_0, C_i – концентрация загрязнителя до и после фильтра соответственно, мг/дм³.

Отбор проб перед фильтром (до очистки) осуществлялся из аккумулирующего резервуара, после фильтра (после очистки) – из струи воды, сливающейся из трубопровода КНС (рис. 2).

Результаты исследований

Характеристики загрязненности исходной (до очистки) воды на объекте за период испытаний фильтра представлены на рис. 5. Полученные



Рис. 3. Удаление легкоъемной крышки с верхней части канализационного колодца



Рис. 4. Удаление фильтра ФОПС®-Ц-1,5-1,2 из канализационного колодца при помощи автопогрузчика

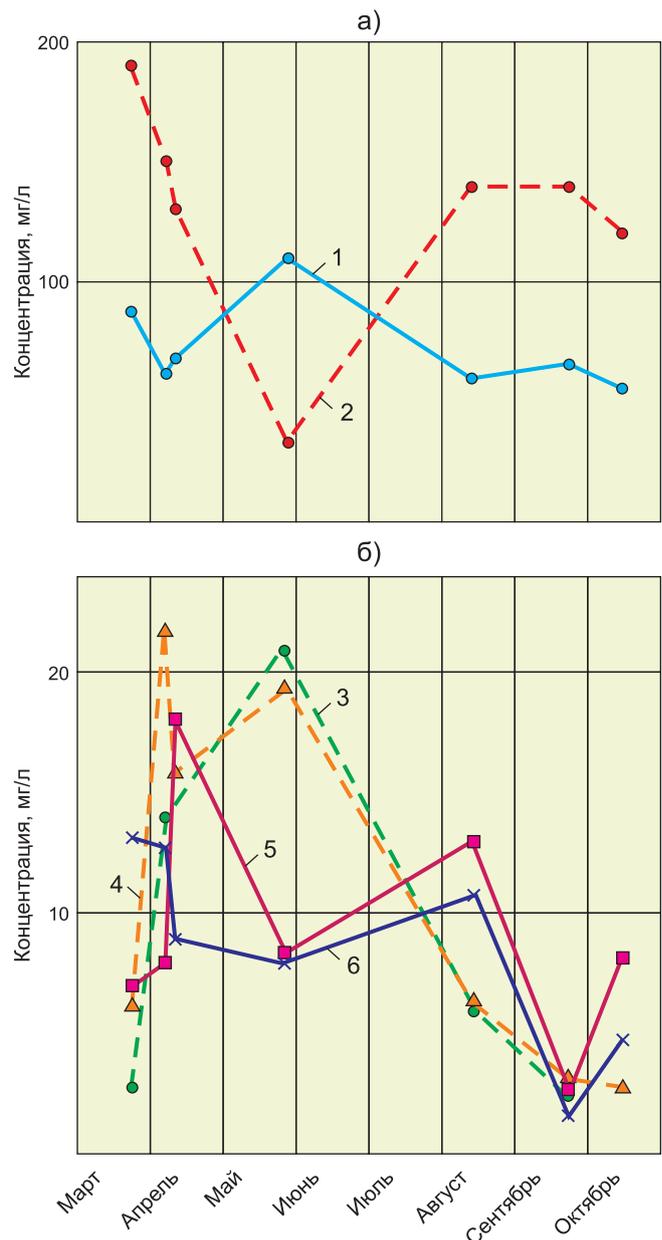


Рис. 5. Изменение показателей содержания загрязняющих веществ в исходной воде (до очистки) на протяжении периода испытаний фильтра ФОПС®-Ц а – железо общее (1), марганец (2); б – медь (3), алюминий (4), цинк (5), нефтепродукты (6)

данные свидетельствуют о сильном загрязнении ливневого стока ионами железа, марганца, цинка, алюминия и меди. Кроме того, зафиксированы превышения по показателю ХПК (до 2,5 ПДК), иногда по содержанию фенола (до 2 ПДК).

Кратность превышения фактической концентрации конкретного загрязнителя в стоке (C_i , мг/дм³) над предельно допустимой концентрацией на сброс этого загрязнителя ($C_i^{ПДК}$, мг/дм³) рассчитывалась по формуле:

$$N = \frac{C_i}{C_i^{ПДК}}. \quad (2)$$

Характер изменения показателя N во времени свидетельствует об увеличении концентрации ионов тяжелых металлов (в том числе железа и марганца) в поверхностном стоке в весенний период (после снеготаяния) с дальнейшим спадом к концу осени. Этот факт говорит о техногенном загрязнении вод на территории объекта, где проводились исследования, по-видимому, инфильтратом, образующимся в результате анаэробной деградации захороненных в грунте металлосодержащих отходов.

На рис. 6 показан раскоп котлована в грунте при обустройстве канализационного колодца под фильтр ФОПС-Ц. На фотографии хорошо видны рыже-бурые подтеки и просачивание железистых и серо-черных вод не установленного состава и неизвестного происхождения.

Следует отметить, что содержание взвешенных веществ в исходной воде было небольшим: до 100 мг/л весной и 10–18 мг/л в конце периода испытаний.



Рис. 6. Внешний вид раскопа котлована для обустройства канализационного колодца с просачиванием грунтовых инфильтрационных вод различного происхождения

Эффективность работы фильтра по разным загрязнителям, рассчитанная по формуле (1) на протяжении всего периода эксплуатации, представлена на рис. 7. Эффективность очистки воды по железу общему в первые два месяца работы была весьма высокой (~ 92–93%), но постепенно падала в процессе эксплуатации. Такой результат можно объяснить очень высокой концентрацией железа общего в сточной воде (до 12 мг/л), что способствует быстрой отработке сорбционной емкости фильтра по железу.

Эффективность очистки воды по марганцу на протяжении периода работы фильтра была невысокой (не более 29%). По-видимому, это связано с нахождением иона марганца в данных сточных водах в виде комплексных соединений

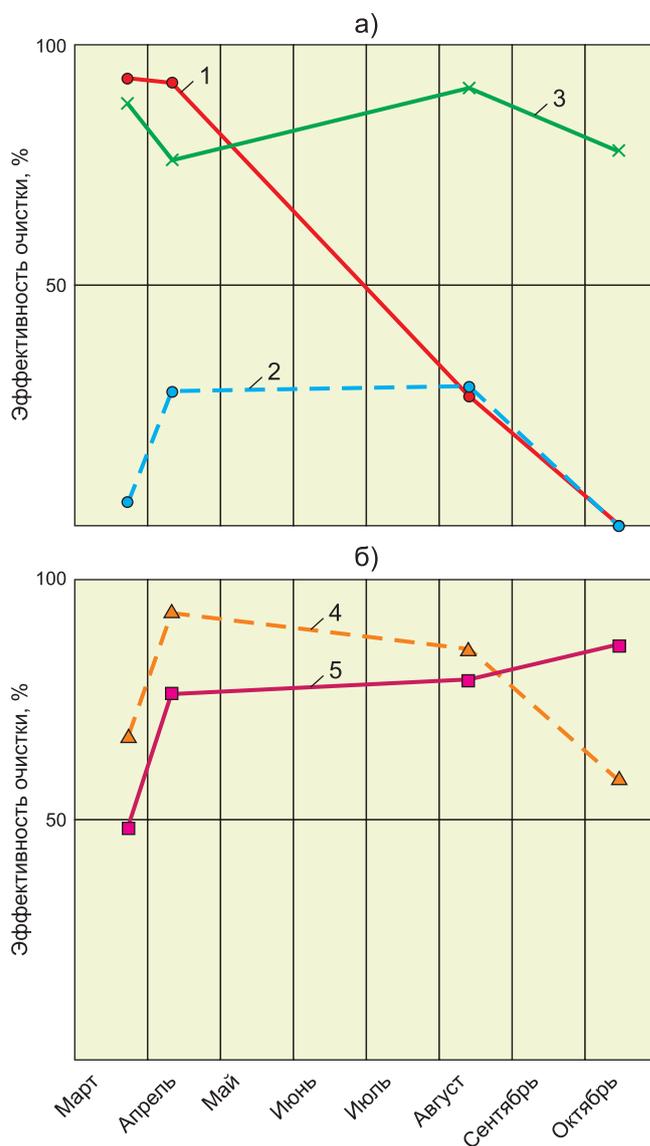


Рис. 7. Изменение эффективности очистки сточной воды по показателям содержания загрязняющих веществ в период эксплуатации фильтра ФОПС®-Ц а – ионы железа общего (1), марганец (2), нефтепродукты (3); б – ионы алюминия (4), цинк (5)

с водорастворимыми органическими веществами (ХПК до 75 мг/дм³), а также очень высокой концентрацией марганца (до 1,9 мг/л). Такие органические соединения с ионом марганца, имея значительные гидравлические размеры, не могут попадать внутрь пористой структуры цеолита и сорбируются на внешней поверхности его частиц (зерен), что значительно снижает сорбционную емкость по иону марганца.

Для проверки этого предположения был проведен эксперимент в лабораторных условиях по определению статической сорбционной емкости природного цеолита при наличии или отсутствии в воде органических веществ. В стандартных условиях (температура 20 °С, время обработки 24 часа, соотношение твердой и жидкой фаз 1:100) при концентрации исходных растворов по иону марганца Mn²⁺, равной 98 ± 3 мг/л, определяли удельную сорбционную емкость:

$$A = \frac{m_0 - m_i}{M}, \quad (3)$$

где m_0 , m_i – количество иона марганца в растворе до и после проведения сорбции, мг; M – навеска сорбента, г.

Величина A составила:

5,75 мг/г – для сорбции из дистиллированной воды;

1,23 мг/г – для сорбции из раствора, приготовленного на сточной воде исследуемого объекта (ХПК 75 мг/л);

0,96 мг/г – для сорбции из раствора, приготовленного на дистиллированной воде с добавлением гуминово-органического экстракта торфа (ХПК 95 мг/л).

Полученные результаты показывают, что наличие органических веществ, особенно в виде крупных молекул, обладающих катионной активностью (в данном случае гуминовых веществ [40]), которые ассоциируют ион марганца, делает невозможным его проникновение в пористую структуру цеолита, уменьшая тем самым его сорбционную емкость.

Эффективность очистки по иону цинка на протяжении всего цикла испытаний была достаточно высокой – 50–86%, как и эффективность очистки по иону алюминия – 58–93% (рис. 7).

Неожиданным результатом стала стабильно высокая эффективность очистки по нефтепродуктам (77–91%) на протяжении всего периода испытаний фильтра ФОПС®-Ц (рис. 7).

По истечении первого месяца работы фильтра выборочно была определена эффективность очистки исходной воды по иону меди, фенолу и ХПК (90, 48 и 35% соответственно).



Рис. 8. Внешний вид осадка, образовавшегося к концу периода испытаний, на фильтрующем материале фильтра ФОПС®-Ц-1,5-1,2

Весьма важным является вопрос о накоплении большого количества взвешенных веществ в виде рыже-черного осадка как на механическом, так и на цеолитовом фильтрах (рис. 8). В цеолитовом фильтре осадок накапливался и на фильтрующем материале, расположенном перед шихтой из природного цеолита по ходу движения воды через него, и непосредственно в объеме самой шихты цеолита в фильтре.

После завершения испытаний для оценки количества осадка, образующегося и накапливающегося в фильтре в процессе работы, был произведен отбор осадка вместе с цеолитовой шихтой из верхней части корпуса фильтра равномерно по его площади в трех местах.

После отмытки осадка с шихты и сбора в отдельную емкость его обезвоживали и высушивали в вакуум-сушильном шкафу при температуре 50 °С до постоянной массы. Ту же процедуру проводили и для отмытой цеолитовой шихты, взятой из фильтра. Грязеемкость цеолитовой шихты рассчитывали по формуле:

$$P = m/M, \quad (4)$$

где m – масса высушенного осадка, г; M – масса высушенной шихты, кг.

Для цеолитовой шихты, использовавшейся в фильтре ФОПС®-Ц, грязеемкость P составила 177 г/кг загрузки (по сухому веществу). Следует отметить, что осадок, как было определено путем визуального осмотра трубопроводов и элементов ЛОС, откладывался и накапливался везде и имел слоистую структуру, причем рыжие слои чередовались с черно-серыми. Ввиду того, что в исходной воде присутствовал марганец в больших концентрациях (до 190 ПДК), важно было определить его в осадке, так как в природных водах и почвах ион марганца может окисляться до

нерастворимого $MnO(OH)$ или даже MnO_2 , часто в соединении с гидроксидами железа $Fe(OH)$ или $Fe(OH)_3$ [26; 27].

В результате химической обработки осадка, взятого из шихты фильтра, было установлено следующее:

в дистиллированную воду ион Mn^{2+} из осадка не переходит, а однопроцентный раствор $NaNO_3$ позволяет десорбировать не более 10% от общего содержания марганца в осадке, что соответствует, по-видимому, содержанию иона Mn^{2+} , захваченного осадком в процессе его формирования;

обработка осадка 20-процентным раствором HNO_3 приводит к удалению 80% марганца, что свидетельствует о наличии кислоторастворимой формы $MnO(OH)$ в количестве около 70%;

дополнительная обработка осадка восстановителем ($0,1n Na_2C_2O_4$ в кислой среде) приводит во всех случаях к полному выделению марганца из осадка в виде иона Mn^{2+} , причем 20% его соответствует форме MnO_2 , нерастворимой в кислотах.

Таким образом, осадок, формируемый в канализационной сети объекта из инфильтрационных вод с высокой концентрацией железа и марганца, содержит последний в трех различных формах: 10% – ассоциированный с осадком ион Mn^{2+} , 70% – недоокисленная форма $MnO(OH)$ и 20% – MnO_2 . Этот осадок, представляющий собой смесь гидроксидов железа и марганца, обладает высокодисперсной консистенцией и при отрыве от стенок канализационной сети при определенных условиях, минуя фильтрующий барьер ЛОС, может вызывать появление железа и марганца на выходе.

Выводы

1. В течение 8 месяцев непрерывной работы фильтр ФОПС®-Ц-1,5-1,2 с цеолитовой загрузкой (расчетный объем пропущенного стока 5880 м³) показал высокую эффективность очистки сильно загрязненных инфильтратом ливневых сточных вод от следующих загрязнителей: ион алюминия – до 93% (при концентрации в исходной воде до 16 ПДК); ион цинка – до 86% (до 18 ПДК); нефтепродукты – до 91% (до 13 ПДК); железо общее до 93% (до 110 ПДК).

2. Эффективность очистки воды фильтром ФОПС®-Ц-1,5-1,2 от железа общего была максимальна в начальный период, но уменьшалась до нуля к концу испытаний из-за сверхвысоких концентраций в исходной воде (до 110 ПДК).

3. Эффективность очистки воды от иона марганца на протяжении всего периода испытаний была низкой (до 29%) из-за сверхвысоких кон-

центраций в исходной воде (до 190 ПДК), а также физико-химических особенностей исходной воды, обуславливающих недоступность химических форм марганца для пористой структуры природного цеолита (очевидно, ионы марганца находились в виде органических комплексов).

4. Фильтр ФОПС®-Ц-1,5-1,2 в процессе эксплуатации (весна – лето – осень 2015 г.) показал способность к задерживанию на своей шихте осадка железисто-органического происхождения, образующегося в большом количестве из инфильтрата в сети ливневой канализации объекта. Гряземкость загрузки из природного цеолита составила 177 г/кг загрузки, или около 180 кг по сухому веществу на фильтр.

5. В ходе испытаний установлено, что фильтр ФОПС®-Ц-1,5-1,2 обладает способностью поглощать из воды некоторые органические вещества (снижение ХПК на 35%, содержания фенола на 48%), а также ион меди (на 90%).

6. Важной особенностью очистки сильно загрязненного дождевого стока на объекте исследований явилось то, что в элементах канализационной сети и ЛОС образовалось значительное количество рыхлого осадка, состоящего в основном из нерастворимых форм железа, ассоциированных с марганцем. Образование этого осадка из инфильтрационного стока происходит в период между дождями в условиях окисления кислородом воздуха инфильтрационных потоков. В период выпадения дождя осадок смывается из мест его образования и локализации, а далее задерживается и накапливается в элементах ЛОС – фильтрах.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Чечевичкин В. Н., Ватин Н. И. Особенности состава и очистки поверхностного стока крупных городов // Инженерно-строительный журнал. 2014. № 6. С. 67–74.
2. Ким А. Н., Давыдова Е. В., Полянская Д. Н. Отведение и очистка поверхностного стока в Астрахани: современное состояние и перспектива развития // Вестник СГАСУ. Градостроительство и архитектура. 2016. № 2 (23). С. 31–34.
3. Щукин И. С., Мелехин А. Г. Качественный состав поверхностного стока с территории г. Перми // Вестник ПНИПУ. Урбанистика. 2012. № 4. С. 110–118.
4. Ким А. Н. Современные решения проблемы поверхностного стока с урбанизированных территорий // Инженерно-строительный вестник Прикаспия. 2015. № 2 (12). С. 45–50.
5. Пшенин В. Н., Коваленко В. И. Загрязнение ливневых стоков с автомобильных дорог // Вестник ИНЖЭКОНа. 2007. № 6 (19). С. 140–145.

6. 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.
7. Бутянов М. С., Пшенин В. Н. Ливневые стоки с автомобильных дорог // Дорожная держава. 2013. № 48. С. 72–75.
8. Шилкова О. С., Сарбаев В. И., Джанянц А. В. Очистка поверхностных стоков в местах пересечения МКАД с водными объектами // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2000. № 12. С. 18–22.
9. Венецианов Т. А. Многослойные сорбционные фильтры на защите водоохранных зон автотрасс от загрязнения // Вода: химия и экология. 2012. № 12 (54). С. 32–41.
10. 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.
11. Бульская И. В., Колбас А. П., Волчек А. А. Источники загрязнения поверхностного стока с урбанизированных территорий некоторыми ионами и нефтепродуктами // Экологический вестник. 2015. № 2 (32). С. 28–33.
12. Волчек А. А., Бульская И. В. Сток с урбанизированных территорий и его очистка // Вестник Брестского ГТУ. 2013. № 2. С. 88–92.
13. Корчевская А. М., Чечевичкин В. Н. Характеристики сорбционного модуля гидротехнического сооружения очистки ливневых сточных вод кладбищ // Инженерно-строительный журнал. 2009. № 2. С. 43–45.
14. Жмаков Г. Н. Разработка и реализация проектов очистных сооружений ливневых стоков аэропортов России // Научно-технический вестник Поволжья. 2014. № 6. С. 151–153.
15. Овдиенко Е. Н., Дербишер Е. В., Шипко И. В. Проблемы усовершенствования очистки ливневых сточных вод, образующихся на территории промышленных предприятий // Современные наукоемкие технологии. 2007. № 8. С. 85–86.
16. Chechevichkin V., Vatin N. Megacities land drainage and land runoff features and treatment // Applied Mechanics and Materials. 2014. V. 641–642. P. 409–415.
17. Методика расчета объемов организованного и неорганизованного дождевого, талого и дренажного стока в системы коммунальной канализации. – СПб.: Экология и право. 2000. 52 с.
18. Прогнозы подтопления и расчет дренажных систем на застраиваемых и застроенных территориях: Справочное пособие под ред. И. А. Баранова. – М.: Стройиздат, 1991. 272 с.
19. Канцибер Ю. А., Штыков В. И. Оценка характеристик дренажного стока с селитебных и производственных территорий Северо-Запада России // Инженерно-строительный журнал. 2012. № 4. С. 46–51.
20. Юдина И. Г. Особенности состава дренажных вод г. Ростова-на-Дону // Инженерный вестник Дона. 2011. Т. 17. № 3. С. 48–51.
21. Митрахович А. И., Казмирук И. Ч. Подбор фильтров дренажа для мелиоративных систем // Мелиорация. 2015. № 1 (73). С. 54–67.
22. Домашенко Ю. Е., Васильев С. М. Моделирование и оценка поступления загрязняющих веществ в коллекторно-дренажный сток // Научный журнал Российского НИИ проблем мелиорации. 2016. № 2 (22). С. 112–127.
23. СНиП 3.05.04-85. Наружные сети и сооружения водоснабжения и канализации. – М., ЦИТП Госстроя СССР, 1990. 48 с.
24. Дикаревский В. С., Курганов А. М., Нечаев А. П., Алексеев М. И. Отведение и очистка поверхностных сточных вод. – Л.: Стройиздат, 1990. 224 с.
25. Зонн С. В. Железо в почвах. – М.: Наука, 1982. 206 с.
26. Чухров Ф. В., Горшков А. Н., Дриц В. А. Гипергенные окислы марганца. – М.: Наука, 1989. 208 с.
27. Водяницкий Ю. Н., Васильев А. А., Лесовая С. Н., Сатаев Э. Ф., Сивцов А. В. Образование оксидов марганца в почвах // Почвоведение. 2004. № 6. С. 663–675.
28. Переломов Л. В., Пинский Д. Л. Формы Mn, Pb и Zn в серных лесных почвах Среднерусской возвышенности // Почвоведение. 2003. № 6. С. 682–691.
29. Верещагина Л. М. Расчет производительности очистных сооружений поверхностных сточных вод в условиях реформирования природоохранного законодательства // Водоснабжение и санитарная техника. 2015. № 1. С. 4–8.
30. 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.
31. Ильин В. И. Повышение эффективности работы очистных сооружений очистки поверхностных вод // Экология промышленного производства. 2011. № 4. С. 56–58.
32. Варюшина Г. П. Современный опыт работы комплексов по очистке поверхностных сточных вод // Водочистка. 2014. № 1. С. 24–28.
33. Петров Е. Г., Киричевский Д. С. Сорбционная технология очистки производственных и поверхностно-ливневых стоков // Водоснабжение и санитарная техника. 2005. № 6. С. 34–36.
34. Чечевичкин В. Н., Ватин Н. И. Экономичная очистка поверхностного стока в крупных городах // Еврострой-профи. 2015. № 78. С. 48–52.
35. Чечевичкин А. В. Проектирование и применение локальных очистных сооружений поверхностного стока на основе фильтров ФОРС®. – СПб.: Любавич, 2017. 176 с.

36. 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.
37. Ницкая С. Г., Васильев В. И., Антоненко И. В., Сурова Н. В. К вопросу о реконструкции очистных сооружений промливневого стока // Вестник ЮУрГУ. Строительство и архитектура. 2014. Т. 14. № 1. С. 50–53.
38. 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.
39. Ермакова Л. С., Гонопольский А. М. Безобъязочная технология компактирования твердых бытовых отходов в крупногабаритные блоки // Химическое и газовое машиностроение. 2010. № 11. С. 18–20.
40. Навоша Ю. Ю., Прохоров С. Г., Стригуцкий В. П. О взаимодействии гуминовых веществ с ионами металлов // Почвоведение. 1992. № 1. С. 109–113.

SURFACE RUNOFF TREATMENT

Test operation of FOPS® filter with natural zeolite for infiltrate polluted surface runoff treatment

N. I. VATIN¹, G. A. PANKOVA², L. V. LEONOV³, M. D. PROBIRSKII⁴,
O. N. RUBLEVSKAIA⁵, A. V. CHECHEVICHKIN⁶, L. A. IAKUNIN⁷

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

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

² Pankova Gaiana Agasovna, Vice General Director, «Leningrad Area Public Utilities» CJSC

Build. B, 7 Fil'trovskoe Hwy., 196625, Tiarlevo Settlement, St. Petersburg, Russian Federation, tel.: +7 (812) 414-92-52, e-mail: info@loksys.ru

³ Leonov Leonid Vladimirovich, Chief Expert, Department of Process Development and Environmental Protection, SUE «Vodokanal of St. Petersburg»

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

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

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

⁵ Rublevskaia Olga Nikolaevna, Director, Department of Process Development and Environmental Protection, SUE «Vodokanal of St. Petersburg»

42 Kavalergardskaia St., 191015, St. 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, St. 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, St. Petersburg, Russian Federation, tel.: +7 (812) 640-08-40, e-mail: 77@6400840.ru

Infiltration effluent often causes heavy pollution of surface runoff with heavy metal ions. The purpose of the present work was testing the operation in-situ of a cartridge filter with natural zeolite for surface runoff treatment polluted with heavy metals from infiltrate. The results of studying the level of pollution of storm runoff from industrial site are presented. As part of the study the following challenges were addressed: study of formation of surface runoff heavily polluted with infiltrate at the site and treatment options; implementation of sorption-filtration technology in a real project with the use of filters for surface runoff treatment (FOPS®) installed in sewer manholes; evaluation of the possible removal of heavy metal ions from real runoff with natural zeolite-clinoptololite. Possible purification of the studied runoff with the use of FOPS®-TS filter with natural zeolite was substantiated. It was shown that ultra high concentrations of aluminium, zinc and copper are formed in infiltrate entering the drainage system on site. Using FOPS®-TS filter provided for the high efficiency of aluminium, zinc, copper and iron removal during the test period (April – October).

Key words: surface runoff, infiltrate, heavy metals, sewer manhole, filter cartridge.

REFERENCES

1. Chechevichkin V. N., Vatin N. I. [Specific composition and surface runoff treatment in big cities]. *Inzhenerno-Stroitel'nyi Zhurnal*, 2014, no. 6, pp. 67–74. (In Russian).
2. Kim A. N., Davydova E. V., Polianskaia D. N. [Surface runoff removal and treatment in Astrakhan: current state and development prospects]. *Vestnik SGASU. Gradostroitel'stvo i Arkhitektura*, 2016, no. 2 (23), pp. 31–34. (In Russian).
3. Shchukin I. S., Melekhin A. G. [Qualitative composition of surface runoff from the territory of Perm City]. *Vestnik PNIPU. Urbanistika*, 2012, no. 4, pp. 110–118. (In Russian).
4. Kim A. N. [Advanced solutions of urban surface runoff problems]. *Inzhenerno-Stroitel'nyi Vestnik Prikaspiia*, 2015, no. 2 (12), pp. 45–50. (In Russian).
5. Pshenin V. N., Kovalenko V. I. [Storm runoff from highways pollution]. *Vestnik INZHEKONa*, 2007, no. 6 (19), pp. 140–145. (In Russian).

6. Leonov E. A., Mikhailova M. S. [Problems of treatment of surface runoff from highways through the example of Saint-Petersburg beltway]. *Zhizn' i Bezopasnost'*, 2002, no. 3, pp. 280–286. (In Russian).
7. Butianov M. S., Pshenin V. N. [Storm runoff from highways]. *Dorozhnaia Derzhava*, 2013, no. 48, pp. 72–75. (In Russian).
8. Shilkova O. S., Sarbaev V. I., Dzhaniants A. V. [Surface runoff treatment at the points of Moscow beltway crossing water bodies]. *Gornyi Informatsionno-Analiticheskii Biulleten'*, 2000, no. 12, pp. 18–22. (In Russian).
9. Venetsianov T. A. [Multilayer sorption filters on guard for water protection zones of highways from pollution]. *Voda: Khimiia i Ekologiya*, 2012, no. 12 (54), pp. 32–41. (In Russian).
10. Mikhailov A. V., Kim A. N., Prodous O. A., Grafova E. O., Rublevskaia O. N. *Vodootvedenie i ochestka poverkhnostnogo stoka na torfianykh fil'trakh* [Wastewater disposal and surface runoff treatment in peat filters. St. Petersburg, Sborka Publ., 2014, 134 p.].
11. Bul'skaia I. V., Kolbas A. P., Volchek A. A. [Sources of pollution of surface runoff from urban territories with some ions and oil products]. *Ekologicheskii Vestnik*, 2015, no. 2 (32), pp. 28–33. (In Russian).
12. Volchek A. A., Bul'skaia I. V. [Runoff from urban territories and its treatment]. *Vestnik Brestskogo GTU*, 2013, no. 2, pp. 88–92. (In Russian).
13. Korchevskaia A. M., Chechevichkin V. N. [Characteristics of a sorption module of the hydroengineering facilities for storm runoff treatment from cemeteries]. *Inzhenerno-Stroitel'nyi Zhurnal*, 2009, no. 2, pp. 43–45. (In Russian).
14. Zhmakov G. N. [Development and implementation of Russian airports storm runoff treatment projects]. *Nauchno-Tekhnicheskii Vestnik Povolzh'ia*, 2014, no. 6, pp. 151–153. (In Russian).
15. Ovdienko E. N., Derbisher E. V., Shipko I. V. [Problems of improving storm runoff treatment generated at industrial sites]. *Sovremennye Naukoemkie Tekhnologii*, 2007, no. 8, pp. 85–86. (In Russian).
16. Chechevichkin V., Vatin N. Megacities land drainage and land runoff features and treatment. *Applied Mechanics and Materials*, 2014, v. 641–642, pp. 409–415.
17. *Metodika rascheta ob'emov organizovannogo i neorganizovannogo dozhdovogo, talogo i drenazhnogo stoka v sistemy kommunal'noi kanalizatsii* [Method of calculating the amounts of controlled and uncontrolled rainfall, snowmelt and drainage runoff in public sewers. St. Petersburg, Ekologiya i Pravo Publ., 2000, 52 p.].
18. *Prognozy podtopleniia i raschet drenazhnykh sistem na zastraivaemykh i zastroyennykh territoriiakh* [Predictions of flooding and calculation of drainage systems on build-up and under construction territories. Reference Book under the editorship of I. A. Barinov. Moscow, Stroizdat Publ., 1991, 272 p.].
19. Kantsiber Iu. A., Shtykov V. I. [Evaluation of drainage water treatment from residential and industrial territories of the North-West of Russia]. *Inzhenerno-Stroitel'nyi Zhurnal*, 2012, no. 4, pp. 46–51. (In Russian).
20. Iudina I. G. [Specificity of drainage water composition in Rostov-on-Don city]. *Inzhenernyi Vestnik Dona*, 2011, v. 17, no. 3, pp. 48–51. (In Russian).
21. Mitrakhovich A. I., Kaz'miruk I. Ch. [Selection of drainage filters for amelioration systems]. *Melioratsiia*, 2015, no. 1 (73), pp. 54–67. (In Russian).
22. Domashenko Iu. E., Vasil'ev S. M. [Modeling and evaluation of pollutants entering collector-drainage runoff]. *Nauchnyi Zhurnal Rossiiskogo NII Problem Melioratsii*, 2016, no. 2 (22), pp. 112–127. (In Russian).
23. *SNiP 3.05.04–85. Naruzhnye seti i sooruzheniia vodosnabzheniia i kanalizatsii* [SNiP 3.05.04–85. Water supply and sewerage outdoor networks and structures. Moscow, TSITP Gosstroia SSSR Publ., 1990, 48 p.].
24. Dikarevskii V. S., Kurganov A. M., Nechaev A. P., Alekseev M. I. *Otvedenie i ochestka poverkhnostnykh stochnykh vod* [Surface runoff disposal and treatment. Leningrad, Stroizdat Publ., 1990, 224 p.].
25. Zonn S. V. *Zhelezo v pochvakh* [Iron in soils. Moscow, Nauka Publ., 1982, 206 p.].
26. Chukhrov F. V., Gorshkov A. N., Drits V. A. *Gipergennye okisly margantsa* [Supergene manganese oxides. Moscow, Nauka Publ., 1989, 208 p.].
27. Vodianskii Iu. N., Vasil'ev A. A., Lesovaia S. N., Sataev E. F., Sivtsov A. V. [Formation of manganese oxides in soils]. *Pochvovedenie*, 2004, no. 6, pp. 663–675. (In Russian).
28. Perelomov L. V., Pinskiy D. L. [Mn, Pb and Zn forms in sulphur forest soils of the Central Russian Upland]. *Pochvovedenie*, 2003, no. 6, pp. 682–691. (In Russian).
29. Vereshchagina L. M. [Calculation of the surface runoff treatment facilities capacity under the conditions of the environmental legislation reform]. *Vodosnabzhenie i Sanitarnaia Tekhnika*, 2015, no. 1, pp. 4–8. (In Russian).
30. Gal'kin S. M., Kan'kovskii A. A. [New solutions of storm runoff collection, treatment and discharge]. *Vodosnabzhenie i Sanitarnaia Tekhnika*, 2010, no. 4, pp. 59–64. (In Russian).
31. Il'in V. I. [Improving the efficiency of surface runoff treatment facilities operation]. *Ekologiya Promyshlennogo Proizvodstva*, 2011, no. 4, pp. 56–58. (In Russian).
32. Variushina G. P. [Modern experience of surface runoff treatment facilities operation]. *Vodoochestka*, 2014, no. 1, pp. 24–28. (In Russian).
33. Petrov E. G., Kirichevskii D. S. [Sorption technologies of industrial wastewater and surface storm water treatment]. *Vodosnabzhenie i Sanitarnaia Tekhnika*, 2005, no. 6, pp. 34–36. (In Russian).
34. Chechevichkin V. N., Vatin N. I. [Economically efficient surface runoff treatment in big cities]. *Evrostroj-Profi*, 2015, no. 78, pp. 48–52. (In Russian).
35. Chechevichkin A. V. *Proektirovanie i primenenie lokal'nykh ochestnykh sooruzhenii poverkhnostnogo stoka na osnove fil'trov FOPS®* [Design and use of local surface runoff treatment facilities based on FOPS® filters. St. Petersburg, Liubavich Publ., 2017, 176 p.].
36. 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 storm runoff from residential areas in Saint-Petersburg]. *Vodosnabzhenie i Sanitarnaia Tekhnika*, 2017, no. 1, pp. 58–65. (In Russian).
37. Nitskaia S. G., Vasil'ev V. I., Antonenko I. V., Surova N. V. [On the reconstruction of the facilities for industrial storm runoff treatment]. *Vestnik IUURGU. Stroitel'stvo i Arkhitektura*, 2014, v. 14, no. 1, pp. 50–53. (In Russian).
38. Misin V. M., Maiorov E. V. [Recovery of heavy metals from urban surface runoff with the use of filamentous chemisorption materials]. *Voda: Khimiia i Ekologiya*, 2012, no. 3, pp. 42–47. (In Russian).
39. Ermakova L. S., Gonopol'skii A. M. [Binding free technology of solid waste compacting into large-sized blocks]. *Khimicheskoe i Gazovoe Mashinostroyenie*, 2010, no. 11, pp. 18–20. (In Russian).
40. Navosha Iu. Iu., Prokhorov S. G., Strigutskii V. P. [On the interaction of humic substances with metal ions]. *Pochvovedenie*, 1992, no. 1, pp. 109–113. (In Russian).