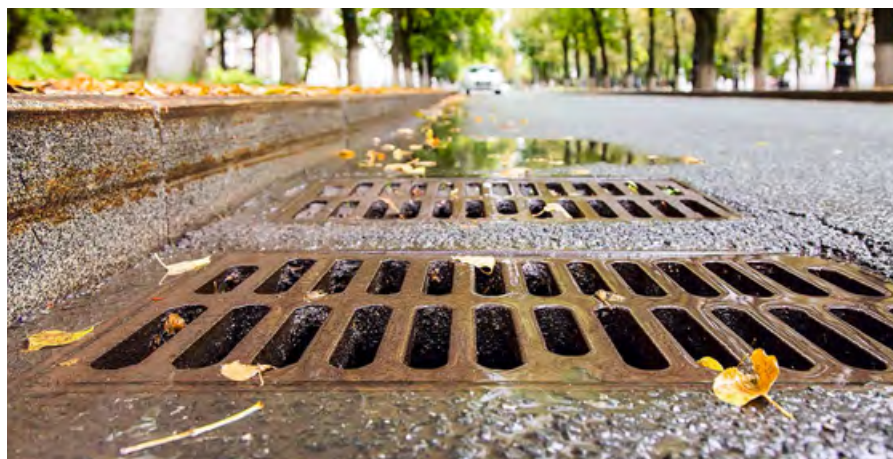




Защита водных объектов от техногенных загрязнений при отведении поверхностных сточных вод с территорий городов и поселений

Рецензия эксперта на статью получена
15.09.2019 [Expert review on the article
received on September 15, 2019].

Создание системы организованного сбора, отведения, очистки и сброса в водные объекты поверхностных сточных вод (ПСВ) с городской территории является первоочередной природоохранной задачей в сфере защиты водных источников от техногенного загрязнения.

Многолетними исследованиями установлено, что в процессе урбанизации поверхностный сток с хозяйственно-освоенных территорий городов и поселений, организованно отводимый и диффузный, превратился в основной источник деградации водных объектов и стал основной причиной утраты ими самоочищающей способности, о чём свидетельствуют результаты многолетних наблюдений ведущих отечественных и зарубежных специалистов водной отрасли [1–6].

Особенность организации системы отведения и очистки ПСВ в городе Москве — масштабное использование гидрографической сети города в качестве элементов водосточной сети, что в целом составляет коллекторно-речную городскую сеть.

К основным объектам коллекторно-речной городской сети, эксплуатируемой предприятием «Мосводосток», относятся:

- водные объекты — малые реки и водоёмы в количестве 211 единиц общей пло-

щадью 690 га и протяжённостью открытых русел рек и ручьёв 250 км;

- водосточная сеть протяжённостью 7400 км (включает 110 тыс. дождеприёмных и 160 тыс. смотровых колодцев);

- Лихоборская обводнительная система, предназначенная для обводнения реки Яуза;

- гидроузел на реке Яузе, обеспечивающий обводнение реки Москва;

- водоотводящая система Московской кольцевой автомобильной дороги и Третьего транспортного кольца;

- снегосплавные пункты (13 объектов) для утилизации снежной массы от зимней уборки городских улиц и магистралей.

Исследованиями установлено, что в процессе урбанизации поверхностных сточных вод с хозяйственно-освоенных территорий городов и поселений, организованно отводимый и диффузный, превратился в основной источник деградации водных объектов и стал основной причиной утраты ими самоочищающей способности, о чём свидетельствуют результаты многолетних наблюдений

УДК 628.212.2. Научная специальность: 05.23.04.

Защита водных объектов от техногенных загрязнений при отведении поверхностных сточных вод с территорий городов и поселений

Г. П. Варюшина, к.т.н., доцент, Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет (НИУ МГСУ)

Приводится характеристика системы отведения и очистки поверхностных сточных вод в Москве, особенностью которой является масштабное использование гидрографической сети города в качестве элементов водосточной сети. Представлены результаты натурных обследований городских территорий различного функционального значения с характеристиками состава и свойств образующихся поверхностных сточных вод. Показаны результаты исследований и оценки технологических параметров работы сооружений по очистке поверхностных сточных вод, рекомендации по совершенствованию их эксплуатации. Предложены технические решения, позволяющие модернизировать эксплуатируемые очистные комплексы и обеспечить достижение требуемых нормативов очистки поверхностных стоков при их отведении в водоёмы.

Ключевые слова: поверхностные сточные воды, водные объекты, очистные сооружения накопительного типа, природоохранные мероприятия.

UDC 628.212.2. The number of scientific speciality: 05.23.04.

Protection of water bodies from technogenic pollution in the diversion of surface wastewater from the territories of cities and settlements

G. P. Varushina, PhD, Associate Professor, Moscow State University of Civil Engineering (MGSU)

The characteristic of the system of surface wastewater disposal and treatment in Moscow, a feature of which is the large-scale use of the hydrographic network of the city as elements of the drainage network. The results of field surveys of urban areas of different functional significance with the characteristics of the composition and properties of surface wastewater are presented. Results of researches and an assessment of technological parameters of work of constructions on treatment of superficial sewage, recommendations for improvement of their operation are shown. The proposed technical solutions to modernize operated wastewater treatment systems and to ensure the achievement of required standards of treatment of surface runoff when dilution in water.

Keywords: surface wastewater, water bodies, treatment facilities of accumulative type, environmental protection measures.

Как известно, из общего числа станций очистки ПСВ в Москве только 10% можно отнести к современным высокотехнологичным сооружениям глубокой очистки — фильтровальным очистным сооружениям (ФОС) [7].

Ежегодно в водные объекты Москвы через коллекторно-речную сеть сбрасывается до 600 млн м³ ПСВ с площади водосбора 61,2 тыс. га, а на застраиваемых присоединённых к городу территориях этот объём составит 90 млн м³ (рис. 1).

В настоящее время условия работы городской водосточной сети Москвы существенно отличаются от расчётных условий, принятых при проектировании в двадцатом веке: изменились метеорологические условия (интенсивность и продолжительность выпадения осадков в зимний и летний периоды года), увеличилось количество водонепроницаемых асфальтобетонных покрытий автомагистралей, проездов, парковок, кварталов многоэтажных жилых и офисных зданий, торговых и развлекательных комплексов, а площадь водопроницаемых поверхностей (газонов, парков, скверов, пойм рек и природных заказников) сократилась.

Большинство выпусков городской водосточной сети в водные объекты Москвы не имеют устьевых очистных сооружений, а существующие — технически устарели и не обеспечивают проектную степень очистки и обеззараживания ПСВ на уровне нормативных требований, предъявляемых к качеству воды водных объектов рыбохозяйственного значения.

Увеличение среднегодового объёма ПСВ до 690 млн м³ и, следовательно, увеличение антропогенной нагрузки на водостоки города требует масштабного строительства новых и реконструкции действующих очистных сооружений системы отведения и очистки ПСВ.

Эффект очистки ПСВ по основным загрязняющим компонентам

Очистные сооружения ПСВ	Взвешенные вещества		Нефтепродукты	
	остат. концентрация, мг/л	эффект очистки, %	остат. концентрация, мг/л	эффект очистки, %
Сооружения механической очистки (пруды-отстойники с приспособлениями для задержания плавающих нефтепродуктов, для селитебной территории)	до 10–20	20–40	до 3,0	10–15
Сооружения камерного типа СКТ (подземные резервуары проточного типа с каскадными фильтрами, для промышленных предприятий)	до 10–20	до 70	до 3,0	10–15
Сооружения, оборудованные тонкослойными модулями (для автомобильных дорог)	до 30–40	40–60	до 10	до 60
Габрионные очистные фильтрующие сооружения (с фильтрующей габрионной дамбой, для парковых зон и мест отдыха)	до 50–100	10–20	до 20	5–10
Групповые очистные сооружения с реагентной очисткой (для производственных объектов)	до 5–8	80–90	0,5–1,0	80–90
Очистные сооружения глубокой очистки (с доочисткой сорбцией, для автотранспортных комбинатов)	до 1–5	90–95	0,03–0,1	90–95

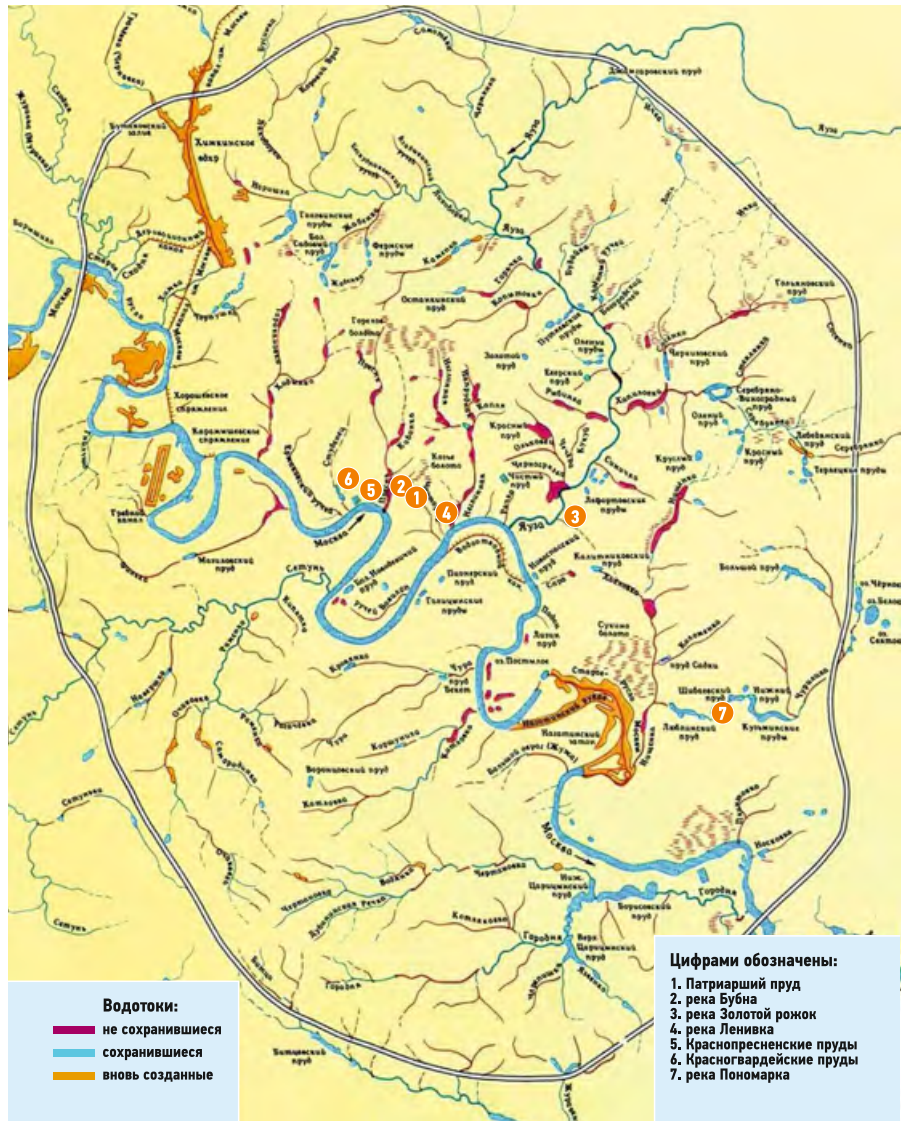


Рис. 1. Гидрографическая сеть города Москвы

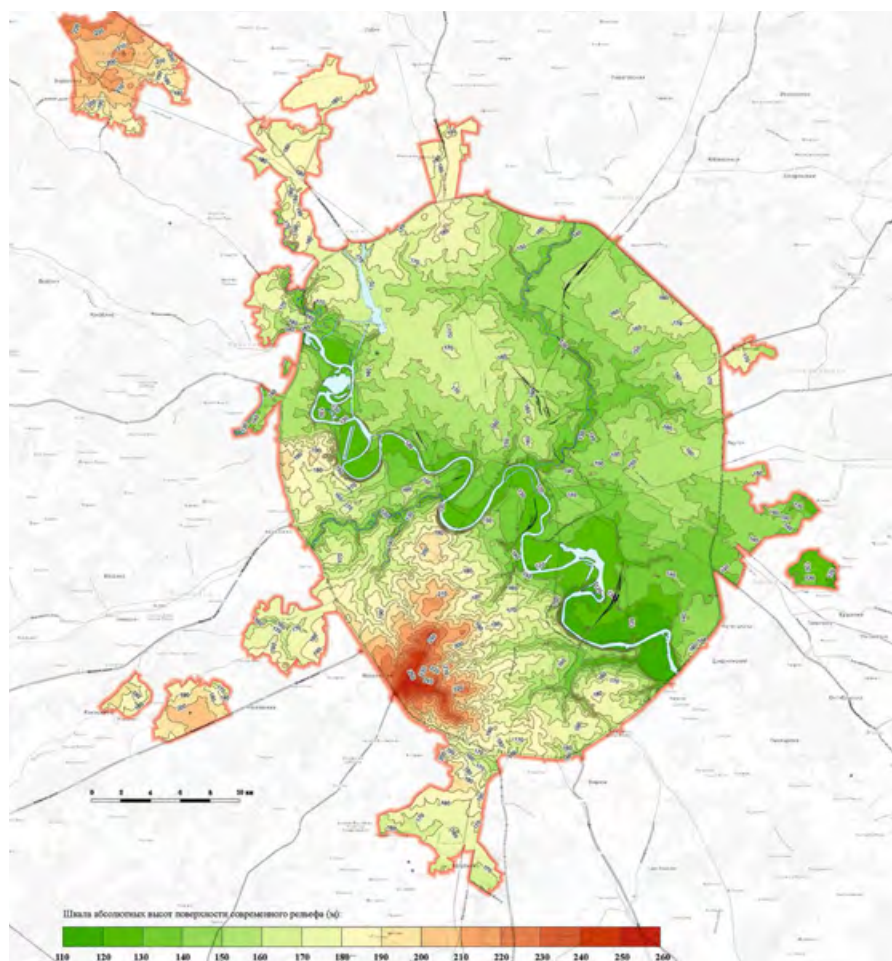
Анализ существующих технологических схем очистки поверхностных сточных вод на действующих очистных сооружениях Москвы показал (табл. 1), что остаточные концентрации взвешенных веществ в очищенных ПСВ в два-три раза (по ПДК) превышают допустимые значения, а нефтепродуктов — в 60 раз и более.

табл. 1

Динамика изменения качественного состава воды в реке Москве в черте города показала, что на входе в город состав воды удовлетворяет нормативным требованиям, предъявляемым к качеству воды водных объектов рыбохозяйственного значения, только по содержанию хлоридов, сульфатов и взвешенных веществ. Все остальные контролируемые показатели загрязнений превышены.

В частности, по нефтепродуктам превышение достигает 4,4 ПДК, по азоту аммонийному — 3,7 ПДК, по биохимическому потреблению кислорода (БПК) — 2,6 ПДК. На выходе из города превышение по нефтепродуктам в речной воде возрастает до 6 ПДК, азоту аммонийному — до 21,6 ПДК, по показателю БПК — 3,6 ПДК, что свидетельствует о загрязнении вод хозяйственно-бытовыми сточными водами и неочищенными поверхностными сточными водами с площади водосбора города.

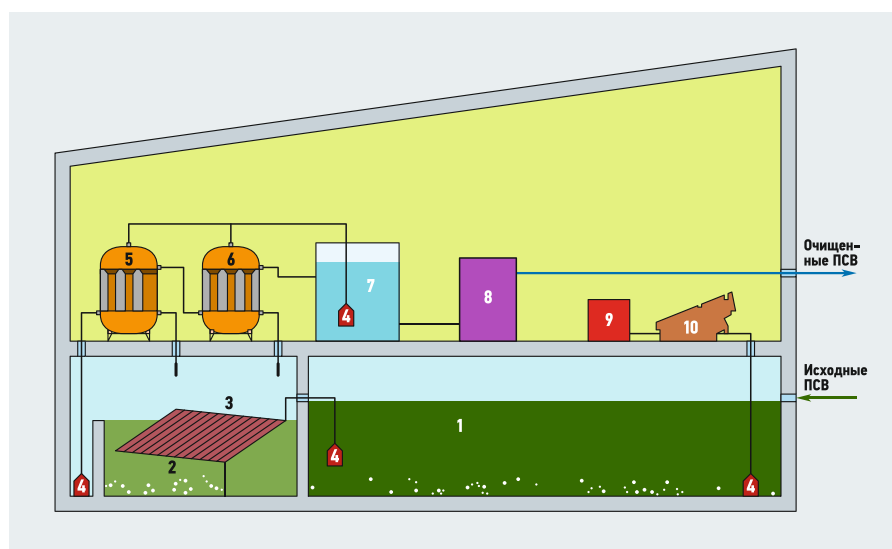
В настоящее время актуализируется городская «Программа по охране водных объектов города Москвы от загрязнения поверхностными сточными водами»,



:: Карта современного рельефа города Москвы

в которой отмечается, что улучшение экологического состояния водных объектов в современных условиях возможно при реализации мер по снижению антропогенной нагрузки на водные объекты и их водосборы, при ликвидации накопленного экологического ущерба, восстановлении способности рек и водоёмов к са-

моочищению и охране подземных вод от загрязнения. Целью программы является снижение антропогенной нагрузки на водные объекты города для улучшения санитарно-экологического состояния реки Москвы и её притоков, восстановления водных экосистем и рекреационного потенциала водоёмов для населения.



:: Рис. 2. Технологическая схема очистки ПСВ (1 — накопитель; 2 — отстойник; 3 — тонкослойный модуль; 4 — насосные агрегаты; 5 и 6 — фильтры с сорбционной загрузкой; 7 — ёмкость очищенной воды; 8 — блок бактерицидных ламп; 9 — сборник обезвоженного осадка; 10 — фильтр-пресс)

Целью программы является снижение антропогенной нагрузки на водные объекты города для улучшения санитарно-экологического состояния реки Москвы и её притоков

Программа направлена на решение следующих задач:

- снижение антропогенного воздействия на водоёмы города за счёт сокращения поступления загрязняющих веществ с поверхностными сточными водами;
- поэтапное развитие централизованной системы отведения ПСВ с увеличением процента охвата застроенной территории города водосточной сетью с 65 до 100 % со строительством новых и реконструкцией действующих очистных сооружений на основе наилучших доступных технологий очистки ПСВ;
- обоснование нормативных требований к качеству очистки ПСВ с учётом проводимого реформирования природоохранного законодательства.

При формировании требований к технологии и составу очистных сооружений ПСВ, намечаемых к строительству на территории Москвы, следует учитывать:

- результаты мониторинга сброса загрязняющих веществ в водные объекты с городских территорий различного функционального значения;
- категорию и целевое назначение водного объекта;
- гидрохимические показатели качества речной воды, сформировавшиеся под воздействием природных и техногенных факторов;
- допустимую антропогенную нагрузку с целью сохранения и восстановления водного объекта для безопасного водопользования населения.

Одна из эффективных технологий обезвреживания ПСВ с территорий городов и поселений, обеспечивающая достижение установленных нормативов сброса в водоём, включает механические и физико-химические методы и состоит из следующих сооружений: сороудерживающая решётка, горизонтальная песколовка, секционный накопительный резервуар стоков, каскад напорных фильтров с зернистыми минеральными загрузками и сорбентами, насосное оборудование и аккумулирующий резервуар очищенных ПСВ для технических нужд очистного комплекса и повторного использования воды на поливомоечные работы при санитарной уборке дорожных покрытий. Для обезвреживания образующегося осадка предусмотрен фильтр-пресс (рис. 2).

Результаты очистки ПСВ по вышеуказанной технологии представлены в табл. 2.

Применение таких сооружений накопительного типа позволяет учитывать условия и особенности образования поверхностных сточных вод, в частности, неравномерность и эпизодичность выпадения атмосферных осадков по сезонам года, их интенсивность и продолжительность их выпадения, географическое расположение местности, санитарное состояние бассейна водосбора, наличие поблизости промышленных зон, автомагистралей и транспортных нагрузок.

К основному преимуществу накопительных очистных сооружений ПСВ относится обязательное опорожнение при-

:: Эффективность очистки ПСВ на очистных сооружениях

табл. 2

Показатель состава ПСВ	Концентрация в исходных ПСВ, мг/л	Концентрация в очищенных ПСВ, мг/л	ПДК, мг/л
БПК	8,63	2,19	3,0
Взвешенные вещества	256,0	3,0	3,0
Железо	9,714	0,047	0,1
Кадмий	0,972	0,001	0,005
Марганец	2,153	0,006	0,01
Медь	1,067	0,001	0,001
Нефтепродукты	64,32	0,03	0,05
Никель	1,295	0,007	0,01
Свинец	2,689	0,002	0,006
Сульфаты	90,41	83,62	100,0
Хлориды	207,83	190,54	300,0
Цинк	1,538	0,008	0,01



Фото: ГУП «Мосводосток»

ступлении на проточные сооружения загрязнённых дождевых стоков выпавший осадок и нефтешлам залпом выбрасываются из них в водные объекты. Таким образом, достижение высокого эффекта очистки ПСВ по основным загрязняющим компонентам (взвешенным веществами нефтепродуктами), а также достижение нормативов сброса загрязняющих веществ в водный объект возможно только в сооружениях накопительного типа, поскольку в сооружениях проточного типа не предусмотрено их опорожнение после выпадения атмосферных осадков.

Для обезвоживания осадков, образующихся в процессе очистки поверхностных сточных вод в сооружениях накопительного типа, целесообразно применять как классические типы аппаратов (фильтр-прессы и центрифуги), адаптированные к трудно обезвоживаемым шламам, так и современное оборудование

ёмного накопительного резервуара от осветлённых поверхностных сточных вод путём перекачивания их насосными агрегатами на напорные фильтры доочистки, удаление образовавшегося в процессе отстаивания осадка на обезвоживание в уплотнитель и центрифугу.

Полное опорожнение приёмного накопительного резервуара после каждого периода выпадения атмосферных осадков является принципиально важной технологической операцией, обеспечивающей предотвращение негативного воздействия на водный объект неочищенных ПСВ, вторично загрязнённых в результате роста числа патогенных микроорганизмов и загнивания содержащихся в стоках органических примесей. В сооружениях проточного типа, напротив, в тёплый период года в условиях отсутствия атмосферных осадков, происходит развитие вторичного загрязнения ПСВ. При по-





нового поколения, например, декантеры, обезвоживающие установки с мешочными вакуум-фильтрами, шнековые обезвоживатели, геотубы и геоконтейнеры [8]. Целесообразность использования очистных комплексов ПСВ в зимний период обусловлена необходимостью экономить воду питьевого качества, предотвращать негативное воздействие на окружающую среду и централизованную систему водоотведения сбросом загрязнённых стоков, а также исключать затраты на вывоз и утилизацию снежной массы на городских снегосплавных пунктах.

Весь объём выпавшего снега на проезжую часть автодорог и тротуары утилизируется на очистных сооружениях ПСВ, а очищенная снеговая вода аккумулируется в накопительной ёмкости и используется на техническое водоснабжение, подпитку оборотной системы мойки автомашин и в котельной, на нужды пожаротушения, поливомоечные работы при санитарной уборке территории в ранний весенний период до наступления устойчивого периода положительных температур и дождей [9].

Для модернизации систем очистки ПСВ рекомендуется интегрированный подход, включающий совершенствование технологии очистки с целью достижения её соответствия следующим критериям:

- обезвреживание ПСВ должно решаться комплексно, включая эффективные методы обработки воды, образующегося осадка и нефтешлама, а также обеззараживания очищенных ПСВ перед отведением их в водоём;
- технология очистки ПСВ должна быть разработана с учётом очистки талых вод, загрязнённых различными противогололёдными реагентами;

□ процессы очистки ПСВ и обработки осадка должны быть автоматизированы и оснащены устройствами передачи информации об их работе в диспетчерский пункт службы эксплуатации;

□ контроль за работой комплекса очистки должен осуществляться анализаторами качества поверхностных сточных вод в автоматическом режиме;

□ комплекс очистных сооружений ПСВ должен быть оснащён приборами контроля за количеством обрабатываемой воды, осадка и нефтешлама;

□ в проекте комплекса должны быть применены энергосберегающие аппараты, инновационное технологическое оборудование, приборы и материалы;

□ в проекте комплекса должны быть предусмотрены рациональные решения и мероприятия, обеспечивающие использование очищенных ПСВ на технические нужды (поливомоечные работы при летней уборке автодорог, полив зелёных насаждений и др.) в соответствии с природоохранными требованиями;

□ показатели состава очищенной воды должны соответствовать нормативам сброса в водоёмы рыбохозяйственного назначения по всем контролируемым показателям, в том числе биогенным элементам и тяжёлым металлам;

□ в проекте должен быть представлен расчёт стоимости годовых затрат на экс-

плуатацию предлагаемых очистных сооружений, мероприятия по их минимизации и себестоимость очистки 1 м³ ПСВ;

□ в проекте должны быть разработаны технические решения по оптимизации стоимости строительных работ по созданию системы очистки ПСВ с целью увеличения её срока эксплуатации.

Выводы

1. Для снижения техногенного воздействия на водные объекты городов и поселений необходима поэтапная реализация Программы их защиты, одним из основных направлений которой является совершенствование и развитие системы сбора, отведения и очистки ПСВ.

2. Выбор технологии и сооружений по обезвреживанию ПСВ необходимо проводить с учётом особенностей их формирования на водосборной поверхности, климатических параметров, количественных и качественных характеристик ПСВ, установленных требований к сбросу очищенных стоков в водоём и величине годовых затрат на эксплуатацию водоочистного комплекса.

3. Для обоснования инвестиций в реконструкцию и развитие системы сбора, отведения и очистки ПСВ рекомендуется производить технико-экономические и экологические сравнения вариантных решений по схеме водоотведения с учётом вышеприведённых критериев. ●

1. Чечевичкин В.Н., Ватин Н.И. Особенности состава и очистки поверхностного стока с территории городов и промышленных площадок // Инженерно-строительный журнал, 2014. №6. С. 67–74.
2. Рабинский М.А., Душко А.О., Мирончик Г.М., Жиров Е.Н. Очистка хозяйственно-бытовых и дождевых сточных вод в Российской Федерации: проблемы и пути решения // Инженерные системы, 2012. №2. С. 16–20.
3. Ким А.Н., Михайлов А.В., Графова Е.О. Технические аспекты поверхностного стока с урбанизированных территорий. — СПб.: Изд-во СПбГАСУ, 2017. 200 с.
4. Bleck G. T., Zinger Y., Deletić A., Fletcher T., Viklander M. Influence of intermittent wetting and drying conditions on heavy metal removal by stormwater biofilters. Water Research. Vol. 43. 2009. Pp. 4590–4598.
5. Hatt B.E., Fletcher T.D., Deletić A. Hydrologic and pollutant removal performance of stormwater biofiltration systems at the field scale. Journal of Hydrology. Vol. 365. No. 3–4. 2009. Pp. 310–321.
6. Takaijudin H., Ghani A., Zakaria N. Preliminary study on impacts of variation engineered soil composition in bio-retention on hydraulic performance. 13th International Conference on Urban Drainage. September 7–12, 2014. Sarawak, Malaysia. 9 p.
7. Феофанов Ю.А., Мишуков Б.Г. Особенности формирования состава поверхностных сточных вод и выбор сооружений по их очистке // Вода и экология: проблемы и решения, 2017. №3. С. 49–66.
8. Варюшина Г.П., Примин О.Г. Опыт эксплуатации комплексов очистных сооружений поверхностных стоков и рекомендации по совершенствованию технологии обработки осадка // Водоснабжение и санитарная техника, 2018. №4. С. 39–47.
9. Варюшина Г.П., Примин О.Г. Практические аспекты эксплуатации очистных сооружений поверхностных сточных вод в зимний период // Водоснабжение и санитарная техника, 2019. №1. С. 28–35.

References — see page 94.

Очищенная снеговая вода аккумулируется в накопительной ёмкости и используется на техническое водоснабжение, подпитку оборотной системы мойки автомашин и в котельной, на нужды пожаротушения и т.п.

Protection of water bodies from technogenic pollution in the diversion of surface wastewater from the territories of cities and settlements. Pp. 17–21.

Galina P. Varushina, PhD, Associate Professor, Moscow State University of Civil Engineering (MGSU)

1. Chechevichkin V.N., Vatin N.I. *Osobennosti sostava i ochistki poverhnostnogo stoka s territorii gorodov i promyshlennykh ploshchadok* [Features of the composition and purification of surface runoff from cities and industrial sites]. *Inzhenerno-stroitel'nyj zhurnal* [Civil Engineering Journal]. 2014. No. 6. Pp. 67–74. [In Russian]
2. Rabinskij M.A., Dushko A.O., Mironchik G.M., Zhironov E.N. *Ochistka hozjajstvenno-bytovykh i dozhdovykh stochnykh vod v Rossijskoj Federacii: problemy i puti reshenija* [Treatment of domestic and rain wastewater in the Russian Federation: problems and solutions]. *Inzhenernye sistemy* [“Engineering systems” Magazine]. 2012. No. 2. Pp. 16–20. [In Russian]
3. Kim A.N., Mihajlov A.V., Grafova E.O. *Tekhnicheskie aspekty poverhnostnogo stoka s urbanizirovannykh territorij* [Technical aspects of surface runoff from urban areas]. St. Petersburg. Izd-vo SPbGASU [Publishing House of the Saint Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering]. 2017. 200 p. [In Russian]
4. Bleck G.T., Zinger Y., Deletić A., Fletcher T., Viklander M. Influence of intermittent wetting and drying conditions on heavy metal removal by stormwater biofilters. *Water Research*. Vol. 43. 2009. Pp. 4590–4598.
5. Hatt B.E., Fletcher T.D., Deletić A. Hydrologic and pollutant removal performance of stormwater biofiltration systems at the field scale. *Journal of Hydrology*. Vol. 365. No. 3–4. 2009. Pp. 310–321.
6. Takaijudin H., Ghani A., Zakaria N. Preliminary study on impacts of variation engineered soil composition in bioretention on hydraulic performance. 13th International Conference on Urban Drainage. September 7–12, 2014. Sarawak, Malaysia. 9 p.
7. Feofanov Ju.A., Mishukov B.G. *Osobennosti formirovaniya sostava poverhnostnykh stochnykh vod i vybor sooruzhenij po ih ochistke* [Features of the formation of surface wastewater composition and the choice of treatment facilities]. *Voda i jekologija: problemy i reshenija* [“Water and ecology: problems and solutions” Magazine]. 2017. No. 3. Pp. 49–66. [In Russian]
8. Varjushina G.P., Primin O.G. *Opyt jekspluatacii kompleksov ochistnykh sooruzhenij poverhnostnykh stokov i rekomendacii po sovershenstvovaniju tehnologii obrabotki osadka* [Experience in the operation of complexes of wastewater treatment plants for surface effluents and recommendations for improving the technology of sludge treatment]. *Vodosnabzhenie i sanitarnaja tehnika* [“Water supply and sanitary equipment” Magazine]. 2018. No. 4. Pp. 39–47. [In Russian]
9. Varjushina G.P., Primin O.G. *Prakticheskie aspekty jekspluatacii ochistnykh sooruzhenij poverhnostnykh stochnykh vod v zimnij period* [Practical aspects of the operation of treatment facilities for surface wastewater in the winter]. *Vodosnabzhenie i sanitarnaja tehnika* [“Water supply and sanitary equipment” Magazine]. 2019. No. 1. Pp. 28–35. [In Russian]