

ОСОБЕННОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ И РЕГУЛИРОВАНИЯ ДИФФУЗНОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ В ПРЕДЕЛАХ ГОРОДСКИХ ТЕРРИТОРИЙ (НА ПРИМЕРЕ р. ЯУЗЫ)¹

© 2023 г. В. О. Полянин^а, *, Т. Б. Фашевская^а, А. Н. Словягина^а

^аИнститут водных проблем РАН, Москва, 119333 Россия

*e-mail: vlad_polianin@mail.ru

Поступила в редакцию 23.01.2022 г.

После доработки 24.03.2022 г.

Принята к публикации 09.06.2022 г.

Рассмотрены особенности формирования качества воды р. Яузы, протекающей в пределах урбанизированного водосбора г. Москвы и ближайшего Подмосковья. Установлено, что сильная трансформация естественной гидрографической сети, а также рассредоточенные по водосбору источники диффузного загрязнения оказывают негативное влияние на формирование качества воды городского водотока и его способность к самоочищению. Современное экологическое состояние реки можно оценить как неудовлетворительное, несмотря на проводимые водоохранные мероприятия. Выполнен анализ существующей системы управления городским поверхностным стоком. Показано, что недостаточно эффективный мониторинг объемов и условий формирования стока загрязняющих веществ с городской территории не позволяет выполнить объективную оценку экологического состояния водных объектов и снижает эффективность водоохранных мероприятий.

Ключевые слова: городские водотоки, диффузное загрязнение, качество воды, очистные сооружения, водоохранные мероприятия, мониторинг.

DOI: 10.31857/S0321059623010121, **EDN:** EDJWAD

ВВЕДЕНИЕ

Можно выделить две основные причины деградации городских водотоков. Во-первых, характерная для городов трансформация гидрографической сети (в результате засыпки естественных оврагов и отвода поверхностного стока в трубы) приводит к ухудшению условий самоочищения водотоков. Время пребывания загрязнений в водном объекте — один из главных факторов самоочищения — в таких случаях сильно уменьшается, что практически полностью исключает снижение концентраций загрязнений. Например, возможности для снижения содержания органических веществ при аэрации воды в результате ветрового перемешивания и фотосинтеза фитопланктона и макрофитов, характерных для естественных водотоков, сильно ограничены в трубе. Замена естественных русел подземными коллекторами или спрямленными канализованными участками ведет к уничтожению природных буферов на пути миграции загрязняющих веществ, поступающих с поверхностным стоком, и снижает эстетическую привлекательность городского ландшафта.

Во-вторых, в городе формируется большое количество источников диффузного загрязнения, до сих пор находящихся вне системы государственного контроля и управления. В последнее время негативное воздействие таких источников на качество природных вод начинает признаваться: “Поверхностный сток с территорий города (селитебных территорий, площадок промышленных предприятий, бензозаправочных станций, автостоянок) является одним из самых интенсивных источников загрязнения окружающей среды примесями природного и техногенного происхождения” [8]. Перенос загрязнений, образующихся и накапливающихся в результате хозяйственной деятельности на водосборе, как и его общее экологическое состояние, играют ключевую роль в формировании состава поверхностного стока — факт давно известный в гидроэкологии, однако до сих пор недооцененный в практике управления городским хозяйством.

“Особенно резко негативное влияние хозяйственной деятельности сказывается на состоянии малых рек... При этом общий объем антропогенных нагрузок на многие речные бассейны превышает потенциал самоочищения воды водных объектов...” [7]. Для малых рек и ручьев в черте города

¹ Работа выполнена в рамках Государственного задания ИВП РАН (тема FMWZ-2022-0002).

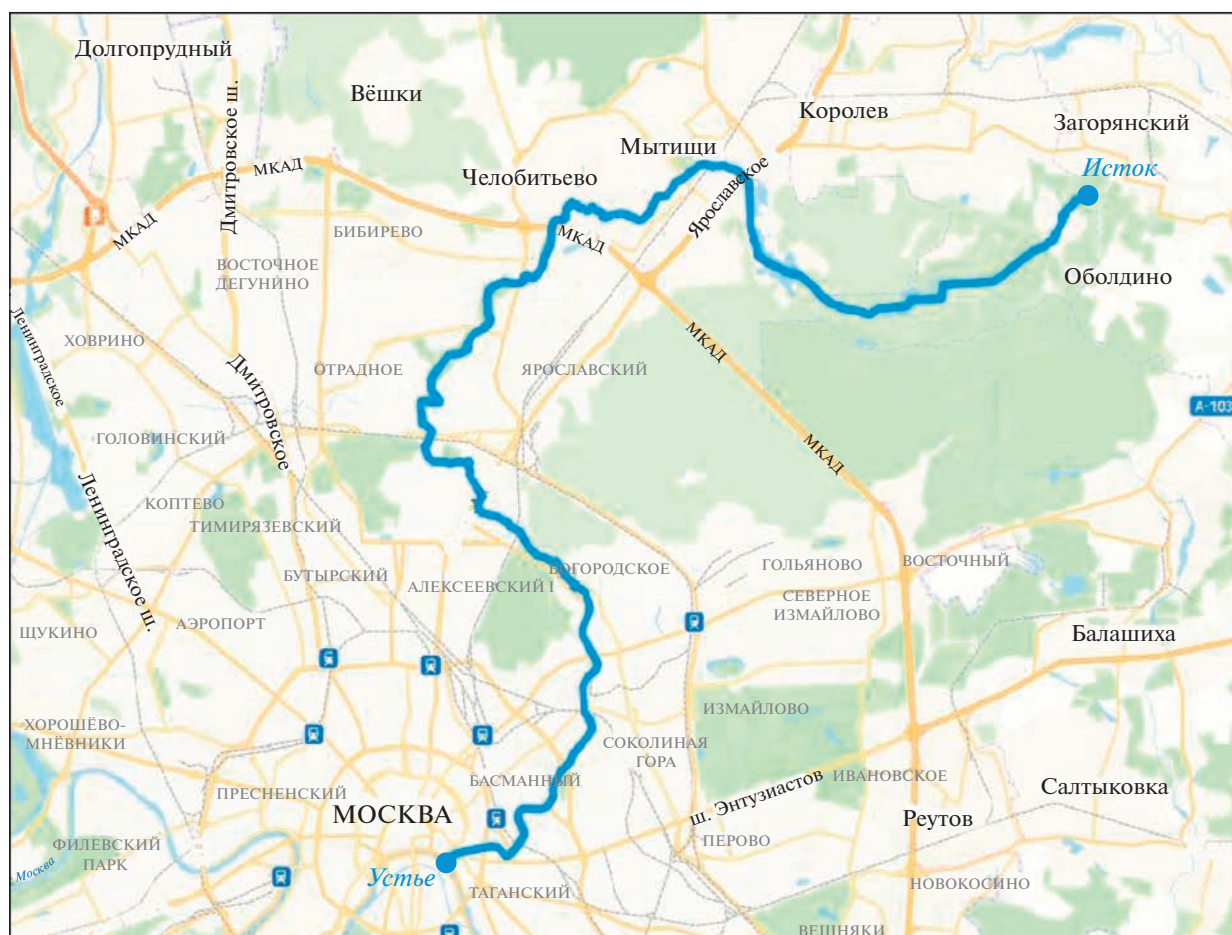


Рис. 1. Карта г. Москвы с р. Яузой (русло выделено жирной линией).

это наиболее актуально. Например, согласно [6], в черте г. Москвы 90 малых рек заключены в подземные коллекторы, а всего на территории города за последнюю сотню лет исчезло более 100 рек и ручьев, а также более 700 естественных и искусственных водоемов. Состояние оставшихся рек и их прибрежных территорий остается в целом крайне неудовлетворительным, а подавляющее большинство из них практически полностью утратили свои природные черты. Изучение городских водотоков представляет практический интерес, поскольку они являются своеобразными индикаторами как состояния городской экосистемы, так и эффективности городской экологической политики. Цель работы — оценка современного состояния р. Яузы в результате диффузного загрязнения и реализации водоохранных мероприятий.

ХАРАКТЕРИСТИКА ОБЪЕКТА ИССЛЕДОВАНИЯ И ИСХОДНЫХ ДАННЫХ

Река Яуза — типичный городской водоток, водосборная территория которого большей частью

расположена в пределах плотной городской застройки. Площадь водосбора реки составляет 452 км², длина — 48 км [20], из них ~29 км река протекает по территории г. Москвы в пределах Московской кольцевой автодороги (МКАД) (рис. 1).

Естественная гидрографическая сеть р. Яузы практически полностью деградировала: русла водотоков преимущественно забраны в подземные коллекторы (табл. 1), местами существенно расширены, спрямлены и часто представляют собой искусственные канализованные участки с вертикальными каменными стенками (рис. 2).

Общее экологическое состояние р. Яузы можно оценить как неудовлетворительное, несмотря на отдельные и весьма дорогостоящие попытки улучшить ситуацию. Например, государственный контракт по экологической реабилитации относительно небольшого участка р. Яузы (~1/6 общей длины реки) и частично ее притоков (рек Борисовки и Сукромки в границах городского округа Мытищи) в 2016 г. оценивался в ~348 млн рублей. Однако анализ качества компонентов

Таблица 1. Характеристика основных водотоков бассейна р. Яузы в пределах МКАД

Название водотока	Общая длина водотока, км	Длина в коллекторе, км
р. Чермянка	12	0.75
р. Лихоборка	17	7.0
р. Каменка	4	1.96
р. Горячка	7.5	7.5
р. Копытовка	7.5	7.5
руч. Путяевский	1.9	0.24
руч. Олений	2	0.39
р. Рыбинка	4.05	4.05
р. Чечера	4.26	4.26
р. Черногрязка	2.28	2.28
р. Ичка	12	0.75
р. Будайка	4.4	3.2
руч. Богородский (руч. Богатырский)	2.3	2.3
р. Хапиловка	2.67	2.67
р. Синичка	4	4
руч. Золотой рожок	2	2

природной среды (почв, донных отложений, воды) и общего экологического состояния реки после проведения реабилитационных мероприятий говорит об их низкой эффективности [11] и о недовольстве 2/3 опрошенных местных жителей по итогам проведения работ [12]. Среди причин, препятствующих улучшению ситуации, следует выделить продолжающееся загрязнение водных объектов от неконтролируемых диффузных источников.

В ходе инспекционных обследований водосборной территории и русла р. Яузы выявлены

следующие источники и факторы диффузного ее загрязнения (рис. 2):

строительно-ремонтные и раскопочные работы, связанные со складированием, перемещением больших объемов строительных материалов и грунта, движением спецтехники, в том числе в пределах водоохранных зон рек (рис. 2а);

смыв загрязнений с дорог, автомагистралей, стоянок автомашин, гаражей и других объектов транспортной инфраструктуры, промышленных площадок и складских территорий;

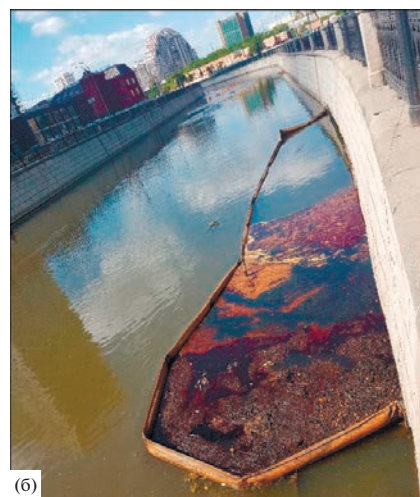
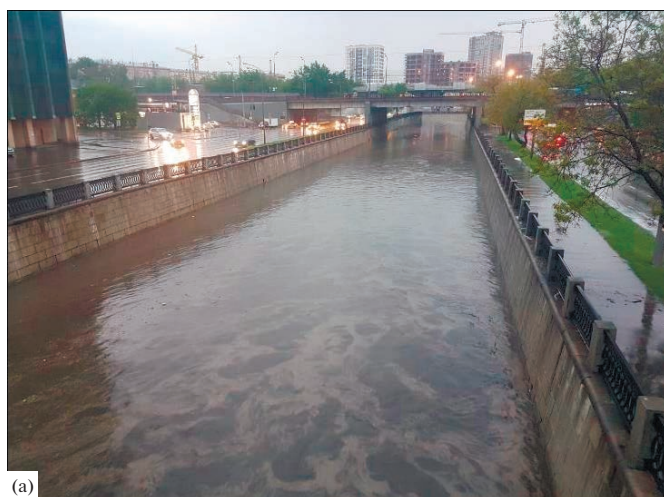


Рис. 2. Загрязнение р. Яузы от диффузных источников: а — источники загрязнения на заднем плане — строительные работы, интенсивное движение транспорта, АЗС и др.; б — несанкционированные сбросы загрязняющих веществ.

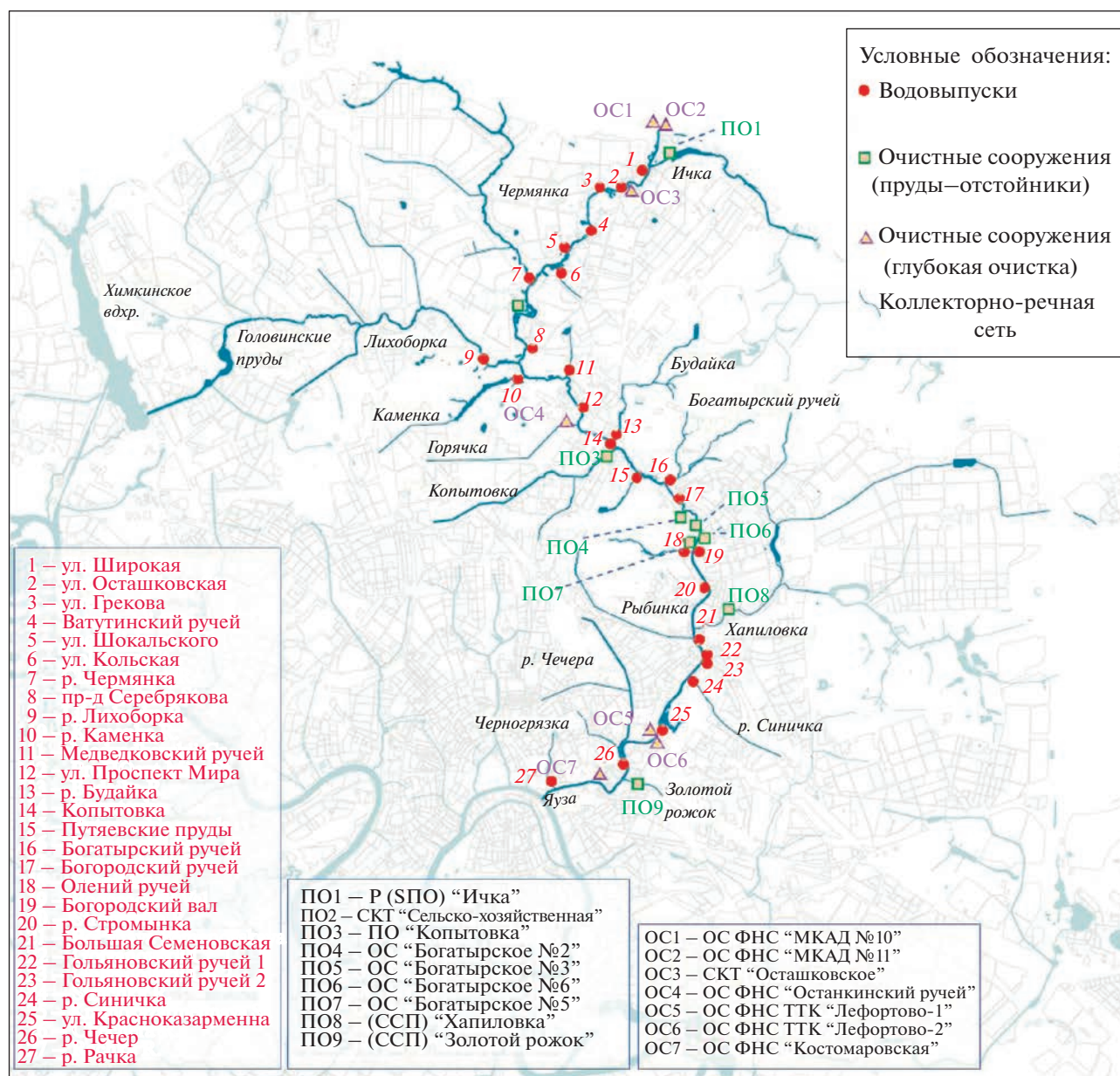


Рис. 3. Водовыпуски коллекторно-речных вод и очистных сооружений поверхностно-дренажного стока на р. Яузе в пределах МКАД: 1,..., 27 — номера водовыпусков; ПО1,..., ПО9 — пруды отстойники; ССП — снегосплавной пункт; ОС1,..., ОС7 — очистные сооружения глубокой очистки ([1] с изменениями).

несанкционированные подключения к системе городской ливневой канализации и нерегулируемые сбросы в реку (рис. 26);

растворение и вынос антигололедных реагентов с поверхности водонепроницаемых покрытий и из городских почв.

Многочисленные диффузные источники формируют мощный поток загрязнений, который требует значительных затрат на эксплуатацию и ремонт очистных сооружений ливневой канализации. Общее количество очистных сооружений ливневой канализации на территории г. Москвы

составляет ~160 [19], из них 16 сооружений расположено вдоль русла р. Яузы в пределах МКАД (рис. 3).

На рис. 3 представлена обобщенная схема гидрографической сети р. Яузы в пределах городской черты с указанием местоположения очистных сооружений ливневой канализации и водовыпусков из системы городского водоотведения.

Настоящее исследование основано на анализе данных ведомственного лабораторного контроля качества воды водных объектов в бассейне р. Яузы за период 2016—2020 гг. и данных о работе очист-

Таблица 2. Сведения о количестве выпавших осадков на метеостанциях (м/ст.) вблизи водосбора р. Яузы [9]

Годы	Количество осадков, мм			
	м/ст. Балчуг	м/ст. Тушино	м/ст. Шереметьево	среднее
2016	886	779	639	768
2017	843	787	678	769
2018	591	547	498	545
2019	497	540	478	505
2020	730	851	727	769

ных сооружений с периодичностью отбора проб воды 1 раз в квартал; на результатах инспекционного мониторинга водосборной территории; на докладах о состоянии окружающей среды в г. Москве и других официальных документах, полученных из открытых источников.

Исследуемый период включает в себя годы различной водности, которая косвенно оценивается по суммарному годовому слою осадков на метеостанциях вблизи водосбора р. Яузы: Балчуг, Тушино, Шереметьево (табл. 2). Средние многолетние слои выпавших осадков по этим метеостанциям составляют, мм: Балчуг – 658 (за период 2008–2020 гг.), Тушино – 664 (за период 2008–2020 гг.), Шереметьево – 574 (за период 2006–2020 гг.).

АНАЛИЗ ФОРМИРОВАНИЯ ДИФФУЗНОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ И КАЧЕСТВА ВОДЫ р. ЯУЗЫ

В условиях радикального преобразования природного ландшафта, геологической среды и гидрографической сети качество воды в р. Яузе и ее притоках сильно трансформировано. Один из индикаторов такой трансформации – преобладание доли хлоридов над долей сульфатов в составе главных ионов поверхностных вод в черте г. Москвы. Этот факт говорит о глубокой перестройке условий формирования химического состава воды на фоне высокой доли водонепроницаемых поверхностей, широкого использования противогололедных реагентов и накопленного загрязнения в городских почвах [22].

По результатам ведомственного мониторинга р. Яузы на всех без исключения исследуемых водовыпусках ливневой канализации, расположенных вдоль реки, средние годовые концентрации хлоридов превышают концентрации сульфатов (рис. 4).

По данным [9], в устье р. Яузы за период 2011–2020 гг. наблюдается устойчивое превышение средних годовых концентраций трудноокисляемых органических веществ, оцениваемых по химическому потреблению кислорода (ХПК), взвешенных веществ, нефтепродуктов и некоторых тяжелых металлов над установленными нормативами

для водных объектов культурно-бытового назначения. Кроме того, р. Яуза занимает лидирующие позиции по количеству жалоб населения на неудовлетворительное качество воды. Факты обнаружения нефтепродуктов и горюче-смазочных материалов преобладают в общем числе обращений в единую диспетчерскую службу г. Москвы. При этом на практике в подавляющем большинстве случаев источник их поступления установить достаточно сложно, а ликвидировать последствия загрязнений приходится путем добавления непосредственно в речную воду биохимического препарата, способствующего разложению нефтяной пленки.

В общем случае именно нефтепродукты, а также взвешенные вещества можно отнести к числу репрезентативных показателей-индикаторов, характеризующих степень подверженности городской территории воздействию источников диффузного загрязнения [4, 23, 24].

Основные источники поступления нефтепродуктов в р. Яузу – смыв с автодорог, территорий автозаправочных станций и автомоек, ремонтных мастерских и стоянок автоспецтехники, дорожные работы и различные объекты строительной деятельности, площадки промышленных предприятий, а также несанкционированные сливы в городскую ливневую канализацию. В частности, источники нефтепродуктов в р. Яузе и ее притоках – обширные промышленные зоны (например, промзоны № 45 “Автомоторная”, № 46 “Коровино” в CAO г. Москвы), объекты транспортной инфраструктуры города (автодороги, стоянки спецтехники, заправки и мойки, авторемонтные мастерские), объекты строительства Большой кольцевой линии метро (станции “Сокольники”, “Электрозаводская”, “Лефортово”, “Авиамоторная”), участка Северо-восточной хорды от Измайлово до Ростокино, деятельность ТЭЦ-23, застраиваемая промзона “Калошино” и другие неконтролируемые диффузные источники. Дополнительным постоянно действующим источником, очевидно, выступают городские дренажно-грунтовые воды, содержание нефтепродуктов в которых может достигать до 10 мг/л и более [9].

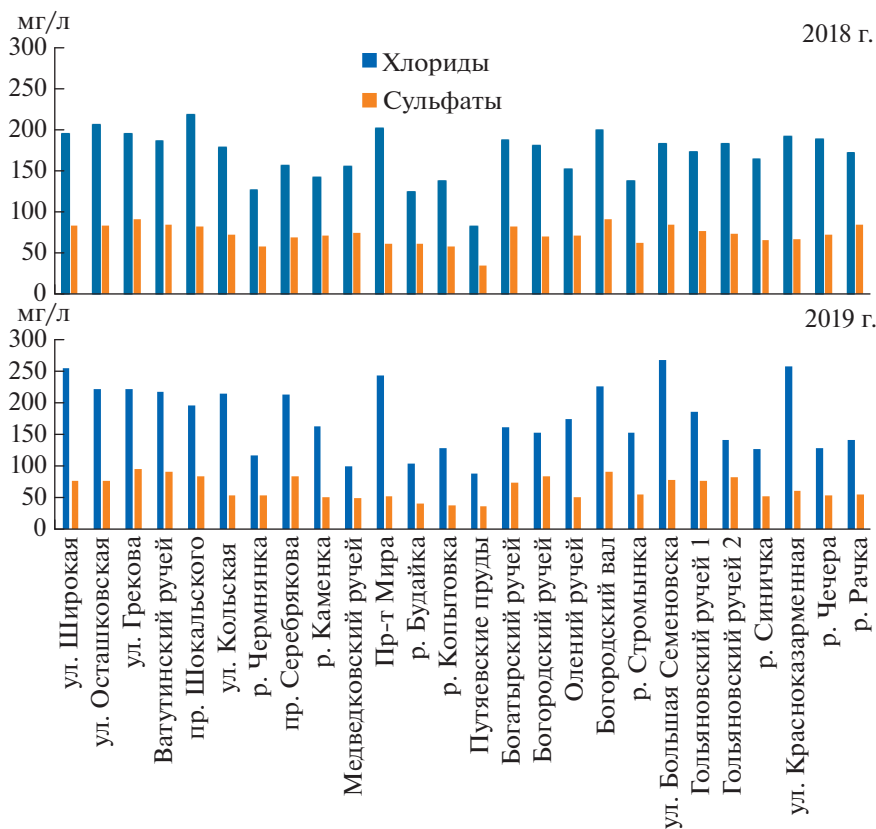


Рис. 4. Соотношение концентраций хлоридов и сульфатов в водовыпусках ливневой канализации вдоль р. Язузы в 2018 и 2019 гг.

Взвешенные вещества поступают с автодорог и их обочин, стройплощадок и мест проведения раскопочных работ, площадок промышленных предприятий, участков городской территории с оголенной и лишенной растительности почвой, нарушенным в результате эрозионных процессов почвенным покровом. Нетрудно заметить, что типы источников поступления в водоток взвешенных веществ и нефтепродуктов часто совпадают. В целом, поверхностный сток, формирующийся в пределах города, характеризуется высоким содержанием взвесей, представленных преимущественно мелкодисперсными частицами, > 50% которых имеют размер < 0.05 мм, так называемые пылеватые частицы, порядка 70% которых составляют органические примеси — нефтепродукты, образующиеся в результате разрушения асфальтобетонных дорожных покрытий, а также продуктов истирания автомобильных шин [15]. Взвешенные органические и минеральные частицы адсорбируют различные загрязнения. Необходимо отметить, что анализ химического состава взвесей не входит в стандартные программы мониторинга качества воды.

Между среднегодовыми концентрациями нефтепродуктов и взвешенных веществ в ливне-

стоках на водосборе р. Язузы наблюдается связь, теснота которой подтверждается высокими значениями коэффициента корреляции (рис. 5). На водовыпусках из коллекторов (рис. 5б) между концентрациями нефтепродуктов и взвешенных веществ наибольшая теснота связи — в 2020 г. (самом многоводном из приведенных на рис. 5 лет), что можно рассматривать в качестве дополнительного аргумента в пользу диффузной природы поступления рассматриваемых загрязняющих веществ в водный объект. Аналогичные выводы о связи концентраций нефтепродуктов и тяжелых металлов с содержанием взвешенных веществ в городском поверхностном стоке получены в работе [10] по результатам исследований качества воды р. Серебрянки (приток 2-го порядка р. Язузы), а также в работе [3].

Из рис. 5в также видно, что те очистные сооружения, которые хорошо очищают воду от взвешенных веществ, также показывают хорошие результаты и по нефтепродуктам. И наоборот, для большинства сооружений, плохо очищающих воду от взвесей, характерна низкая эффективность очистки и по нефтепродуктам (на графиках верхняя группа точек). Отмеченная закономерность свидетельствует о том, что в поверхностном сто-

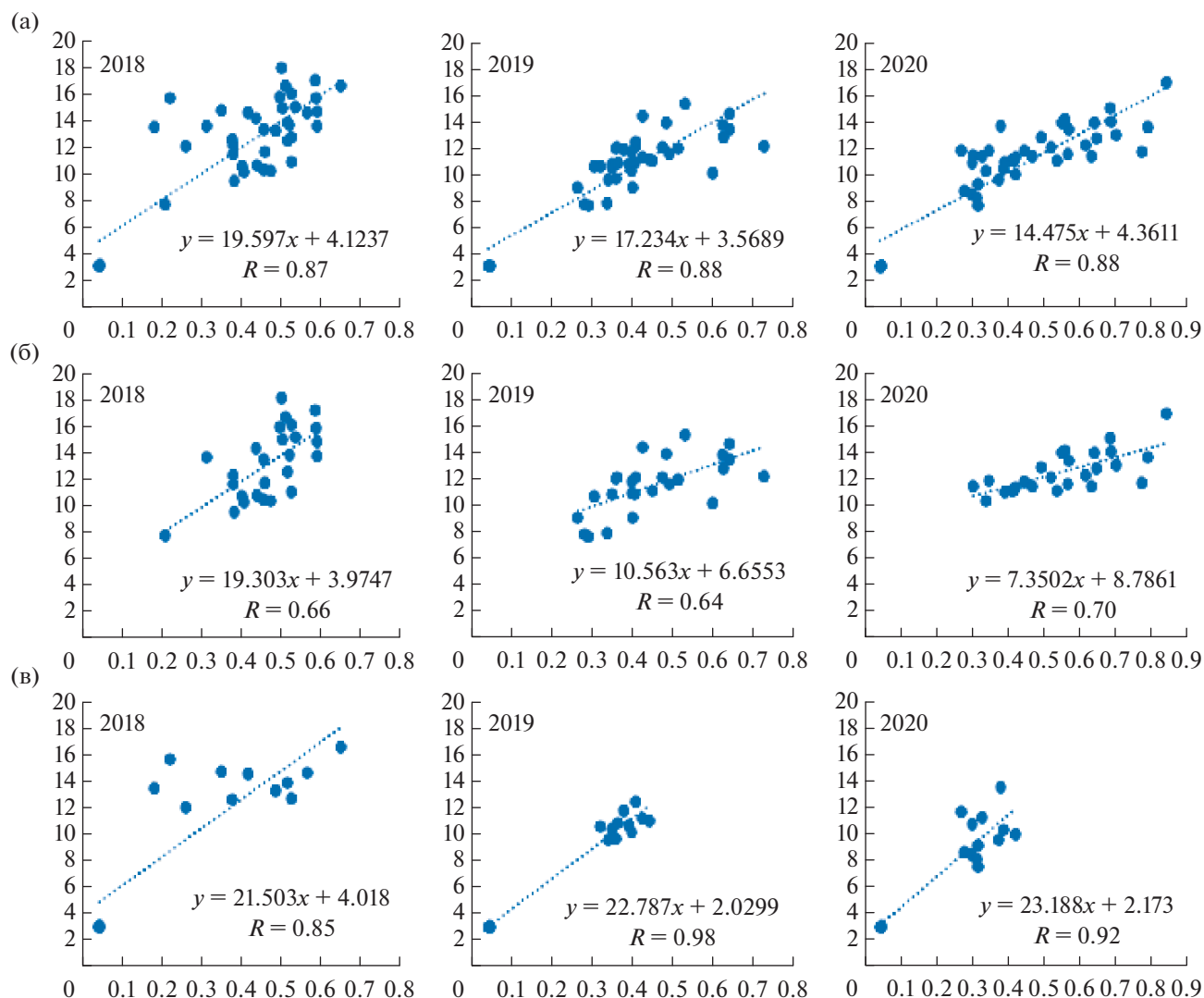


Рис. 5. Графики связи между концентрациями нефтепродуктов (мг/л, горизонтальная ось) и взвешенных веществ (мг/л, вертикальная ось) на водовыпусках коллекторно-дренажной сети и с очистных сооружений на водосборе р. Яузы (а – водовыпуски и очистные; б – только водовыпуски; в – только очистные).

ке, формирующемся на водосборе р. Яузы, в составе взвесей преобладают нефтепродукты, образующиеся в результате деятельности городского автотранспортного комплекса [15].

Диапазон изменения концентраций загрязняющих веществ на водовыпусках вдоль р. Яузы достаточно широк (рис. 6).

При этом для нефтепродуктов, взвешенных веществ и БПК₅ характерно систематическое превышение ПДК, установленных для водных объектов как рыбохозяйственного, так и культурно-бытового водопользования [16, 21]. Содержание азота аммонийного в речной воде варьирует в диапазоне от ПДК для рыбохозяйственных водных объектов (превышает норматив) до ПДК для водных объектов культурно-бытового назначения (не превышает норматив). По отношению к

условно фоновым концентрациям, наблюдающимся в воде Химкинского водохранилища на Канале им. Москвы (рис. 3), откуда происходит обводнение р. Яузы, содержание аммонийного азота в коллекторных водах превышено примерно на порядок. Концентрации хлоридов периодически превышает оба норматива.

Приведенные на рис. 6 графики основаны на данных ведомственного мониторинга в период с 2016 по 2020 г. Количество отобранных за этот период проб воды на каждом водовыпуске составило ~20 (в среднем 4 раза в год), что позволяет получить лишь весьма приближенные оценки степени загрязнения водных объектов. Также для более полной характеристики химического состава городских сточных вод не хватает еще нескольких важных показателей качества воды, а именно –

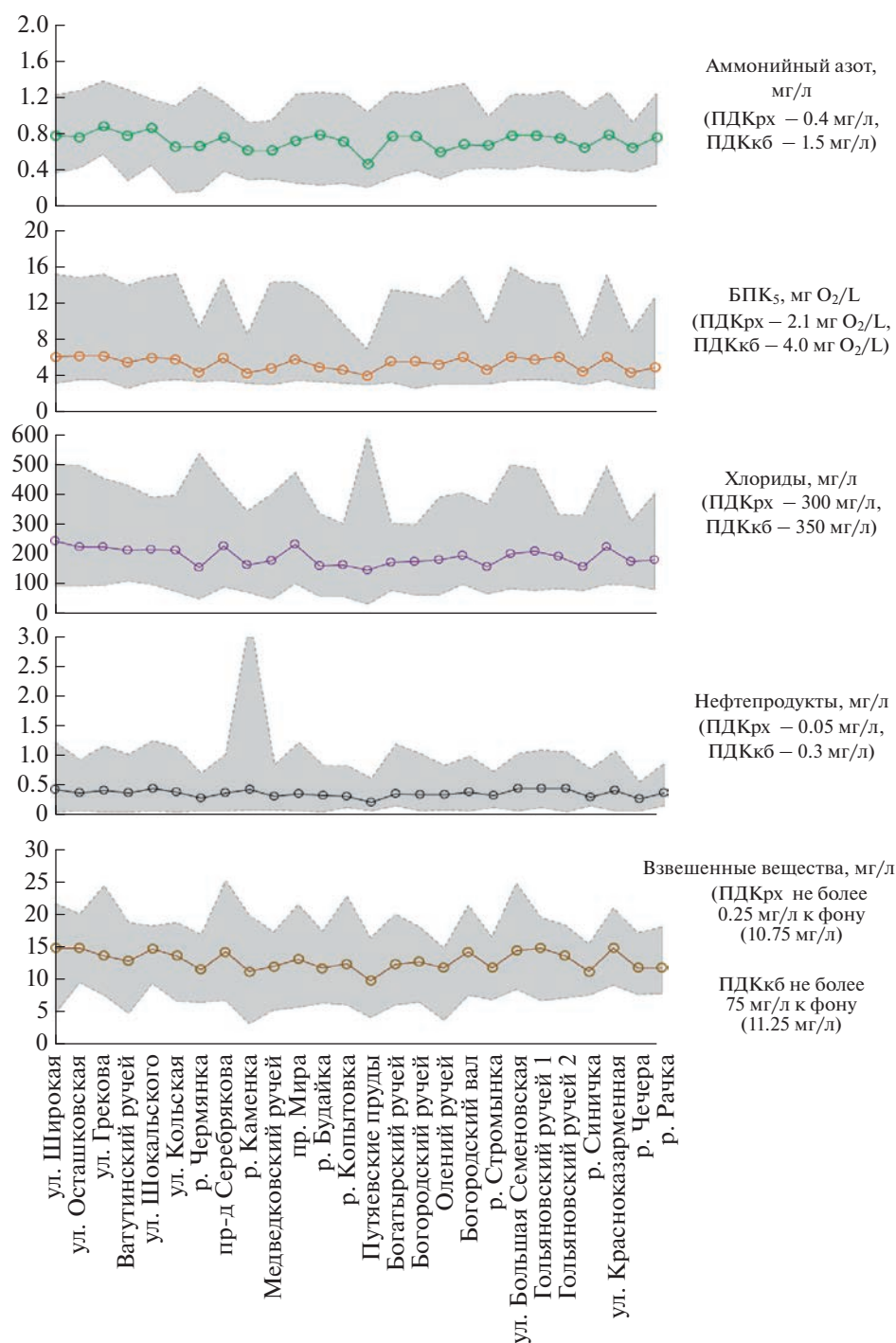


Рис. 6. Средние многолетние значения и диапазон изменений концентраций загрязняющих веществ за период 2016–2020 гг. на водовыпусках ливневой канализации в р. Язу (ПДК_{рх} – ПДК для водохозяйственных водных объектов, ПДК_{кб} – ПДК для объектов культурно-бытового назначения).

содержания тяжелых металлов и трудноокисляемых органических веществ (оцениваемых по ХПК), концентрации которых, по-видимому, могут быть особенно высокими в периоды половодья и дождевых паводков. До настоящего времени ведомственный мониторинг содержания в речной воде тяжелых металлов и величины ХПК не проводил-

ся. По вышеприведенному набору показателей за указанный период к наименее загрязненным водным объектам относятся Путяевские пруды и реки Синичка, Чермянка и Каменка.

Таким образом, многочисленные диффузные источники загрязнения, рассредоточенные по во-

досбору р. Яузы, и трансформация ее гидрографической сети оказывают существенное влияние на увеличение содержания в речной воде загрязняющих веществ. Качество воды в реке не соответствует нормативам качества для водных объектов рыбохозяйственного и культурно-бытового водопользования по определяемым контролирующими органами показателям: взвешенным веществам, нефтепродуктам и БПК₅ (биохимическое потребление кислорода); для рыбохозяйственного водопользования — по азоту аммонийному. Содержание в речной воде хлоридов лишь периодически превышает оба норматива. Однако значительное превышение концентрациями хлоридов концентраций сульфатов на всех водовыпусках в р. Яузу свидетельствует о мощном антропогенно обусловленном изменении химического состава речной воды и о его преобразовании по морскому типу. Для более полного представления о процессах, происходящих в городском водотоке, необходимы расширение перечня контролируемых показателей качества воды (в том числе определение химического состава взвеси) и увеличение частоты отбора проб воды в течение года.

ОЦЕНКА РЕАЛИЗАЦИИ ВОДООХРАННЫХ МЕРОПРИЯТИЙ НА р. ЯУЗЕ

Для очистки городских сточных вод в г. Москве используются очистные сооружения следующих типов: песколовки, пруды-отстойники, сооружения камерного типа, щитовые заграждения, габрионные очистные фильтрующие сооружения, а также очистные сооружения глубокой очистки. На большинстве из них действует базовая схема: песколовка—отстойник, которая в отдельных случаях предусматривает также и фильтрацию. У сооружений глубокой очистки базовая схема дополняется осветлением воды с добавлением коагулянта и дополнительной фильтрацией на комбинированных фильтрах с включением щебня, гравия, кварцевого песка, антрацита и вспененного полистирола (более подробно изложено, например, в [5]).

В частности, на очистном сооружении глубокой очистки — фильтрующей насосной станции третьего транспортного кольца (ОС ФНС ТТК) “Лефортово-1” (рис. 3) загрязненные воды сначала поступают в отделение грубой механической очистки, где на сороудерживающих корзинах задерживается плавающий мусор, далее — на песколовках задерживается песок гидравлической крупностью 18.7–24.2° мм/с и крупнодисперсные включения. После этого в регулирующих емкостях происходит отстаивание воды средней продолжительностью 1.72 сут. Оборудованные системой перегородок и перепускными окнами емкости обеспечивают осаждение осадка ≥60% от первоначального содержания и грубодисперсных

примесей по ходу движения воды. Плавающие нефтепродукты собираются при помощи передвижной вакуумной насосной установки (ПВНУ) 18/15 “Вихрь”. Осветленная вода из регулирующей емкости при помощи погружных насосов подается на фильтрацию с предварительным введением коагулянта (5%-й раствор оксихлорида алюминия) и флокулянта. Такая компоновка обеспечивает существенно лучшие результаты, позволяя достигать установленные для перечисленных загрязняющих веществ нормативы.

В табл. 3 приведены данные по выпускам с очистных сооружений и коллекторов системы водоотведения поверхностного стока, расположенным вдоль р. Яузы, согласно рис. 3. Для примера, за 2018 и 2019 гг. сравнивается качество воды на выходе с очистных сооружений поверхностного стока и из ливневых коллекторов по репрезентативным для городской территории показателям качества воды: нефтепродуктам и взвешенным веществам. Сравнение качества воды на водовыпусках проводилось по трем критериям:

С, мг/л — средние годовые концентрации загрязняющих веществ на водовыпусках;

М, т — масса загрязняющих веществ, фактически поступивших/сброшенных в р. Яузу за год;

ΔМ, т — превышение массы загрязняющих веществ, фактически поступивших/сброшенных в р. Яузу в течение года, над установленными лимитами на сброс с каждого водовыпуска и очистного сооружения.

Из табл. 3 видно, что из 17 сооружений очистки поверхностного стока эффективно очищают воду от взвешенных веществ и нефтепродуктов только 6 (ОС ФНС “Костомаровская”, ОС ФНС “Останкинский ручей” и др.), на которых предусмотрена глубокая очистка: нефтепродукты до 0.05 мг/л — уровня ПДК рыбохозяйственного водопользования, взвешенные вещества — до ~3 мг/л, что в 2–6 раз меньше, чем на выходе с остальных очистных сооружений.

Вода на выходе с остальных 11 очистных сооружений по своему качеству сопоставима с водой, поступающей в р. Яузу из 26 водовыпусков коллекторов без какой-либо очистки (табл. 3). Среднегодовые концентрации нефтепродуктов на большинстве водовыпусков превышают не только нормативы качества воды для водных объектов рыбохозяйственного и культурно-бытового водопользования, но и условные фоновые концентрации (0.03–0.06 мг/л [22]), наблюдающиеся в воде Головинских прудов (рис. 3).

Между тем в [9] указано, что в последние годы содержание нефтепродуктов в водных объектах г. Москвы снижается. В качестве обоснования приводится соответствующая статистика за последние пять лет в виде графиков среднегодовых концентраций нефтепродуктов на 13 пунктах на-

Таблица 3. Сравнительная характеристика содержания нефтепродуктов и взвешенных веществ на водовыпусках в р. Яузу из коллекторов и с очистных сооружений (C – концентрация, M – масса, ΔM – превышение массы)

Наименование водовыпусков из коллекторов и с очистных сооружений	2018 г.						2019 г.					
	нефтепродукты			взвешенные вещества			нефтепродукты			взвешенные вещества		
	C , мг/л	M , т	ΔM , т	C , мг/л	M , т	ΔM , т	C , мг/л	M , т	ΔM , т	C , мг/л	M , т	ΔM , т
Водовыпуски из коллекторов												
руч. Ватугинский	0.46	0.44	0.05	10.33	11.37	1.00	0.40	0.221	0.178	9.00	5.08	-4.25
руч. Богатырский	0.51	0.14	0.01	14.93	6.16	3.60	0.36	0.036	0.019	12.00	1.05	-2.57
руч. Богородский	0.46	1.24	0.19	13.40	23.59	-17.3	0.40	1.174	1.172	10.83	30.4	29.9
руч. Гольяновский 1	0.52	1.97	0.14	16.63	82.59	51.7	0.48	0.536	0.347	12.03	10.12	-30.8
руч. Гольяновский 2	0.60	0.41	0.05	14.70	6.70	-4.47	0.64	0.472	0.467	13.40	10.28	9.24
руч. Олений	0.46	0.56	0.07	11.65	13.09	-2.36	0.45	0.589	0.549	11.00	15.33	6.54
Путяевские пруды	0.21	0.16	0.03	7.70	5.74	-0.81	0.28	0.088	0.038	7.70	2.41	-8.27
р. Копытовка	0.48	3.29	0.29	10.28	71.63	16.5	0.34	1.026	0.683	7.83	23.4	-50.2
р. Черера	0.32	1.45	0.11	13.58	73.16	42.1	0.31	0.231	0.051	10.60	8.86	-29.8
ул. Большая Семеновская	0.54	0.17	0.02	15.08	3.17	-0.31	0.73	0.155	0.149	12.13	3.12	1.77
ул. Красноказарменная	0.51	0.10	0.01	18.03	4.58	1.79	0.63	0.093	0.086	12.73	1.88	0.36
ул. Осташковская	0.53	0.39	0.03	16.03	15.46	7.99	0.64	0.153	0.126	14.53	3.31	-2.58
ул. Широкая	0.59	0.28	0.03	15.70	6.61	2.03	0.63	0.186	0.170	13.70	4.04	0.58
р. Стромынка	0.38	0.20	0.03	12.18	3.78	-2.56	0.35	0.153	0.145	10.73	5.32	3.69
руч. Медведковский	0.44	1.44	0.21	10.65	17.17	-17.0	0.41	1.689	1.598	12.08	46.4	26.7
пр-д Серебрякова	0.44	1.70	0.26	14.20	23.84	-26.5	0.60	2.373	2.361	10.10	24.2	21.7
пр-д Шокальского	0.60	0.43	0.05	13.63	17.66	-7.43	0.53	0.317	0.308	15.27	9.75	7.71
ул. Проспект Мира	0.53	0.10	0.01	13.70	5.27	0.48	0.36	0.067	0.065	11.93	2.23	1.85
р. Рачка	0.41	0.93	0.19	10.58	4.12	-24.5	0.40	1.179	1.166	11.70	29.8	27.3
р. Синичка	0.39	0.29	0.03	9.45	20.23	1.50	0.27	0.055	0.017	8.97	1.51	-6.80
ул. Богородский Вал	0.50	2.65	0.38	15.80	24.32	-32.0	0.43	1.821	1.769	14.33	63.0	51.8
ул. Грекова	0.52	0.46	0.04	12.50	34.22	1.88	0.52	0.231	0.203	11.90	5.49	-0.54
ул. Кольская	0.59	0.52	0.05	17.10	15.18	5.67	0.49	0.237	0.208	13.83	7.21	0.75
р. Будайка	0.53	2.41	0.12	10.95	58.64	33.7	0.50	0.294	-0.005	11.53	10.7	-53.4
р. Каменка	0.38	0.91	0.11	11.53	33.15	9.62	0.29	0.348	0.173	7.60	8.58	-29.1
р. Чермянка	0.41	2.19	0.18	10.18	56.30	17.5	0.41	0.424	-0.019	10.80	9.89	-85.4

Таблица 3. Окончание

Наименование водовыпусков из коллекторов и с очистных сооружений	2018 г.						2019 г.					
	нефтепродукты			взвешенные вещества			нефтепродукты			взвешенные вещества		
	С, мг/л	М, т	ΔМ, т	С, мг/л	М, т	ΔМ, т	С, мг/л	М, т	ΔМ, т	С, мг/л	М, т	ΔМ, т
Водовыпуски с очистных сооружений												
ОС “Богатырское № 2”	0.38	0.006	0.001	12.6	0.18	0.04	0.41	0.014	0.012	12.44	0.38	0.03
ОС “Богатырское № 3”	0.27	0.007	0.001	12.1	0.28	0.04	0.36	0.018	0.015	9.69	0.46	-0.11
ОС “Богатырское № 5”	0.66	0.001	0.000	16.7	0.02	0.01	0.34	0.001	0.001	9.59	0.03	0.00
ОС “Богатырское № 6” (верхнее)	0.42	0.004	0.000	14.6	0.13	0.03	0.35	0.009	0.008	10.48	0.24	-0.02
ОС “Богатырское № 6” (нижнее)	0.52	0.004	0.000	13.9	0.13	0.03	0.40	0.011	0.010	10.24	0.22	-0.03
ОС ФНС “Костомаровская”	0.05	0.004	0.004	3.09	0.24	-0.21	0.05	0.004	-0.001	3.06	0.24	-0.21
ОС ФНС “Останкинский ручей”	0.05	0.142	0.260	3.15	9.37	-21.3	0.05	0.142	-0.118	3.04	8.33	-22.4
ОС ФНС МКАД № 10	0.05	0.004	0.007	3.11	0.25	-0.41	0.05	0.004	-0.002	3.08	0.26	-0.41
ОС ФНС МКАД № 11	0.05	0.001	0.001	3.08	0.06	-0.06	0.05	0.001	0.000	3.04	0.05	-0.06
ОС ФНС ТТК “Лефортово-1”	0.05	0.006	0.008	3.08	0.43	-0.61	0.05	0.005	0.000	3.08	0.33	-0.38
ОС ФНС ТТК “Лефортово-2”	0.05	0.002	0.003	3.09	0.15	-0.21	0.05	0.002	-0.001	3.10	0.15	-0.21
ПО “Копытовка”	0.53	1.271	0.131	12.8	33.01	4.84	0.38	2.313	2.012	11.83	68.7	4.22
ПО (ССП) “Золотой рожок”	0.36	0.186	0.027	14.8	7.57	1.76	0.43	0.506	0.444	11.23	12.8	-0.48
ПО (ССП) “Ичка”	0.57	0.437	0.046	14.6	12.45	2.18	0.45	0.940	0.834	11.05	21.18	-2.19
ПО (ССП) “Хапиловка”	0.49	7.214	0.651	13.3	168.4	28.4	0.40	12.35	10.86	10.73	315.3	-4.21
СКТ “Осташковское”	0.23	0.012	0.002	7.85	0.41	0.04	0.24	0.029	0.024	7.95	0.86	-0.07
СКТ “Сельскохозяйственная”	0.19	0.007	0.001	6.75	0.24	-0.03	0.28	0.022	0.019	8.15	0.60	-0.06

Таблица 4. Сведения об очистке ливнестоков на типовом очистном сооружении г. Москвы в 2016 г. (ВВ – Взвешенные вещества, НП – нефтепродукты)

Месяц	Точка отбора	ВВ, мг/л	НП, мг/л	Месяц	ВВ, мг/л	НП, мг/л	Месяц	ВВ, мг/л	НП, мг/л	Месяц	ВВ, мг/л	НП, мг/л
Январь	Вход Снег	88.4	6.90	Апрель	—	—	Июль	—	—	Октябрь	—	—
	Вход Вода	38.6	0.46		19.8	0.21		19.3	0.36		42.2	0.81
	Выход	13.2	0.22		11.4	0.22		12.4	0.11		12.5	0.21
Февраль	Вход Снег	276	9.05	Май	—	—	Август	—	—	Ноябрь	—	—
	Вход Вода	46.2	2.25		4.1	0.17		19.5	0.38		52.7	1.45
	Выход	11.3	0.26		12.8	0.18		10.6	0.23		14.2	0.25
Март	Вход Снег	31.4	0.90	Июнь	—	—	Сентябрь	—	—	Декабрь	86.2	3.17
	Вход Вода	56.2	2.03		14.4	0.35		31.1	0.37		16.8	0.68
	Выход	12.3	0.19		13.2	0.21		10.8	0.13		11.4	0.26

блюдений, расположенных на р. Москве. При этом не принимаются во внимание: водность каждого из сравниваемых лет, существенно влияющая на содержание загрязняющих веществ и его изменение от года к году; факт существенного разбавления вод, поступающих с городской территории, относительно чистыми водами Канала им. Москвы, подающимися в городской бьеф р. Москвы через Сходненскую ГЭС и в р. Яузу через Лихоборскую обводнительную систему в течение большей части года. Для малых рек — притоков р. Москвы — статистика [9] не выглядит достаточно убедительной. Таким образом, остаются не до конца ясными причины выявленных тенденций: то ли эти изменения связаны с водоохранной политикой городских властей, то ли это флуктуации, вызванные иными причинами, в том числе изменением водности рассматриваемых лет. Кроме того, сравнение концентраций нефтепродуктов проводится с ПДК для водных объектов культурно-бытового водопользования, которая намного менее жесткая, чем ПДК для рыбохозяйственного водопользования, и выше, чем условная фоновая концентрация, поэтому не всегда объективно отражает “экологическое благополучие” водной среды.

Из табл. 3 видно, что содержание взвешенных веществ на большинстве водовыпусков из коллекторов и с очистных сооружений превышает значение ПДК, установленное для водных объектов г. Москвы, — 10.75 мг/л; т. е. пруды-отстойники и большинство действующих очистных сооружений не в состоянии эффективно справиться с

очисткой воды от взвешенных веществ и тем более от мелкодисперсных взвесей.

В табл. 4 приведены сведения об очистке городских сточных вод на типовом очистном сооружении (пруде-отстойнике), имеющем в своем составе снегосплавной пункт. Данный пруд-отстойник расположен на одном из притоков р. Москвы в пределах городской черты, имеет типичную для такого рода сооружений конструкцию и поэтому может быть использован для приближенной характеристики работы аналогичных сооружений, имеющих в своем составе снегосплавные пункты и расположенных в пределах, например, водосборной территории р. Яузы. В табл. 4 приведена сравнительная характеристика качества воды по показателям “нефтепродукты” и “взвешенные вещества” на входе и выходе с очистных сооружений. Прежде всего обращает на себя внимание чрезвычайно высокое содержание взвешенных веществ и нефтепродуктов в снеге на городских улицах. Например, значения этих показателей для февраля 2016 г. на входе очистных сооружений в талой воде (“вход снег”) составили 276 и 9.05 мг/л соответственно. Другая интересная особенность — то, что вне зависимости от исходных концентраций загрязняющих веществ, которые могут различаться на порядок, их концентрации на выходе с очистных сооружений остаются примерно одинаковыми. Для объективной оценки эффективности очистки сточных вод и соответствующих выводов о работе очистных сооружений требуется анализ, основанный на более репрезентативных данных, включающих в себя более длительные и детальные наблюдения.

Сооружения очистки поверхностного стока, в которых технологически предусмотрены циклы фильтрования, использование реагентов, тонкослойных модулей и различного рода сорбентов, не имеют достаточных мощностей (производительности), чтобы очистить большие объемы поверхностных вод. При этом стоимость их строительства может достигать 0.5–1.0 млрд рублей, не считая высоких затрат на эксплуатацию [2]. Для сравнения, согласно [19], затраты на реконструкцию только лишь двух прудов-отстойников (ПО) Тушино 1 и Тушино 2 (р. Москва ниже устья р. Сходни в пределах МКАД), характеризующихся стандартными технологиями очистки и включенных в Региональную программу г. Москвы по строительству и реконструкции (модернизации) очистных сооружений водопроводно-канализационного хозяйства на 2019–2024 гг., запланированы в размере 1.62 млрд руб. Такова цена снижения диффузного загрязнения с относительно небольшой части городской территории — порядка 0.01% от общей площади г. Москвы в его старых границах.

Несмотря на складывающуюся ситуацию, для многих водовыпусков лимиты на сбросы загрязняющих веществ остаются не выбранными, что выражается отрицательными значениями по критерию ΔM (табл. 3). Эта в общем парадоксальная ситуация отчасти связана с большими погрешностями установления объемов загрязняющих веществ, поступающих в водные объекты с поверхностным стоком по каждому из водовыпусков. Причины этого кроются в недостаточной частоте отбора проб и в ошибках определения расходов воды (объемов стока) в коллекторно-дренажной сети города. Так, согласно докладом [8, 9] о состоянии окружающей среды в г. Москве, наблюдения за качеством воды в водных объектах Москвы проводятся не чаще, чем 1 раз в месяц, а во многих контрольных створах, как в рассмотренном выше примере для р. Яузы, — лишь один раз в квартал. В целом такую частоту наблюдений нельзя признать достаточной для того, чтобы надежно оценивать объемы поступающих загрязнений, тем более для оперативного выявления источников загрязнения стока с городской территории. Исследованиями в [14] установлено, что основной объем загрязняющих веществ в результате смыва с трудно проницаемых поверхностей территории города и вымывания из загрязненных почвогрунтов попадает в реки в течение многоводных периодов года — весной при интенсивном снеготаянии и во время дождевых паводков, часто в первой половине дождя. Эксперименты показывают, что необходима частота наблюдений за качеством воды для оценки объемов загрязняющих веществ в тало-дождевом стоке зависит от площади водосбора, интенсивности дождя и ряда других параметров и может колебаться от 1 раза в

15 мин (жидкие осадки) до 1 раза в сутки в период снеготаяния.

Годовой объем водоотведения сооружений поверхностного стока в г. Москве в 2017, 2018 и 2019 гг. принят в объеме ~600 млн м³. От года к году эта цифра менялась незначительно, что отражено в производственных программах предприятия, соответствующих отчетах об их выполнении и иных документах, находящихся в открытом доступе [13, 17]. При этом годовое количество осадков, зафиксированное в г. Москве за эти же годы, составило (табл. 2): по метеостанции Тушино — 787, 547 и 540 мм соответственно, по метеостанции Балчуг — 843, 591 и 497 мм соответственно. Отсутствие связи между ежегодным объемом водоотведения и годовой суммой осадков выглядит странно и требует отдельного анализа. Очевидно, что ежегодный объем водоотведения в г. Москве рассчитывается по некоторой средней величине и не отражает реальную картину формирования поверхностного стока для каждого конкретного года. Кроме того, суммарная мощность очистных сооружений поверхностного стока в г. Москве составляет 381 млн м³ в год [19]. Таким образом, как минимум 35% поверхностного стока вообще не подвергается какой-либо очистке.

Таким образом, для очистки поверхностных сточных вод, формирующихся на водосборе р. Яузы, используют различные комбинации сооружений механической, биологической, сорбционной, коагуляционной, реагентной и фильтрационной очистки. Однако из 17 сооружений очистки поверхностного стока эффективно работают лишь 6, качество воды на выходе с остальных 11 сооружений сопоставимо с качеством воды на входе в них. Как минимум 35% поверхностного стока не подвергается никакой очистке. Для повышения эффективности водоохраных мероприятий необходимы не только модернизация и увеличение мощностей очистных сооружений. Необходим точный учет отличающихся большой внутригодовой и межгодовой неравномерностью количества загрязняющих веществ, транспортируемых в коллекторно-дренажной сети города, и объемов поступающих на очистные сооружения поверхностных сточных вод.

ВЫВОДЫ

Установлено, что трансформация природного ландшафта и естественной гидрографической сети, многочисленные источники диффузного загрязнения, рассредоточенные в пределах городской территории, оказывают негативное влияние на формирование качества воды р. Яузы. Качество воды в реке не соответствует нормативам качества для водных объектов рыбохозяйственного и культурно-бытового водопользования по опре-

деляемым контролирующими органами показателям: взвешенным веществам, нефтепродуктам и БПК₅; для рыбохозяйственного водопользования — по азоту аммонийному. Соотношение содержаний в речной воде хлоридов и сульфатов свидетельствует о глубокой перестройке условий формирования химического состава речной воды и о его преобразовании по морскому типу.

Выполнен анализ существующей системы управления городским поверхностным стоком. Рассмотрены типы и выполнена оценка эффективности работы сооружений очистки городских сточных вод в г. Москве. Выявлено, что из 17 очистных сооружений в бассейне р. Яузы эффективно работают лишь 6, на которых предусмотрена глубокая очистка городских сточных вод. Как минимум 1/3 поверхностного стока не подвергается никакой очистке. Установлено, что ежегодный объем водоотведения поверхностного стока (и, соответственно, массы транспортируемых в городских водотоках загрязняющих веществ) рассчитывается по некоторой средней величине, не связанной с годовым количеством выпавших осадков и поэтому не отражающей реальную картину формирования поверхностного стока в различные по водности годы.

Для получения более полного представления о процессах, происходящих в р. Яузе, и о ее экологическом состоянии необходимо как минимум увеличение частоты отбора проб воды в течение года, особенно в периоды весеннего половодья и дождевых паводков (по сравнению с одним разом в квартал в настоящее время), и расширение перечня контролируемых показателей качества (в том числе определение химического состава взвешенных веществ).

Принятая в настоящее время частота наблюдений за качеством воды поверхностного стока в г. Москве создает высокие риски:

недостоверной интерпретации результатов наблюдений (объемов загрязняющих веществ), ведущих факторов качества воды и экологического состояния рек;

не выявления или несвоевременного выявления конкретных причин и источников загрязнения (диффузных или точечных);

погрешностей при установлении лимитов на сброс с очистных сооружений и водовыпусков, а также недостаточной обоснованности принятия управленческих решений при планировании и реализации водоохранных мероприятий.

Для более надежного принятия управленческих решений при планировании и реализации водоохранных мероприятий необходимы:

создание более “гибкой” системы мониторинга (частота, количество точек отбора проб воды,

перечень анализируемых показателей качества воды, водность сезона);

дополнение мониторинга качества воды водных объектов наблюдениями за расходами воды в ливневых коллекторах и инспекционным контролем за хозяйственной деятельностью в пределах частных водосборов;

замена методов “серой инфраструктуры” (подразумевающей заключение рек в коллекторы, спрямленные бетонированные русла, строительство берегозащитных сооружений, непрерывное увеличение мощности очистных сооружений и др.) технологиями “зеленой инфраструктуры” (биопруды и биофильтрационные зоны, дождевые сады, травополосы, снижение доли водонепроницаемых поверхностей и др. [25]);

целостный подход к управлению городским ливневым стоком на основе создания единой модели коллекторно-дренажной сети города с использованием современных средств численного гидродинамического (гидравлического) моделирования, специализированных программных продуктов и ГИС-технологий.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Анализ территории набережных р. Яузы. 2020. <https://reka.yauza.ru/upload/characteristics.pdf> (дата обращения: 28.11.2021)
2. Бойкова И.Г., Волшаник В.В., Карпова Н.Б., Печников В.Г., Пузырев Е.И. Эксплуатация, реконструкция и охрана водных объектов в городе. М.: Изд-во Ассоциации строительных вузов, 2008.
3. Веницианов Е.В., Воронина К.П. Физико-химические особенности формирования качества вод городских рек // Современные проблемы гидрометеорологии и мониторинга окружающей среды на пространстве СНГ. Сб. тез. Международ. науч.-практ. конф., посвященной 90-летию РГГУ. СПб.: РГГУ, 2020. С. 309–311.
4. Волчек А.А., Бульская И.В. Ливневой сток как источник загрязнения поверхностных вод // Вестн. Брестского гос. тех. ун-та. 2012. № 2.
5. Воронина К.П., Веницианов Е.В. Проблемы экологической реабилитации малых городских рек // Физическая и аналитическая химия природных и техногенных систем. Сб. тр. Всерос. конф. с международ. участием / Под общей ред. П.П. Гладышева. Дубна: Ун-т “Дубна”, 2021.
6. Горюнова С.В. Влияние антропогенного воздействия на экологическое состояние малой городской реки // Вестн. Московского гор. педагогич. ун-та. Сер. Естественные науки. 2010. № 2.
7. Государственный доклад “О состоянии и об охране окружающей среды Российской Федерации в 2016 году”. М.: МПР, 2017.
8. Доклад “О состоянии окружающей среды в городе Москве в 2018 году” / Под ред. А.О. Кульбачевского. М.: ДПиООС; НИиПИ ИГСП, СтудияАроу, 2019. <https://www.mos.ru/eco/documents/doklady/>

9. Доклад “О состоянии окружающей среды в городе Москве в 2019 году” / Под ред. *А.О. Кульбачевского*. М., 2020. <https://www.mos.ru/eco/documents/doklady/>
10. *Елецкая А.Ю., Барабаш Ю.А., Тихонова И.О.* Экологическое обследование малых рек г. Москва — р. Серебрянка // *Успехи в химии и химической технологии*. 2014. Т. 28. № 5.
11. *Золкин А.Г., Камнев А.Н., Климова В.О.* Оценка экологической эффективности реабилитации реки Яузы в границах городского округа Мытищи Московской области // *Экологическая безопасность строительства и городского хоз-ва*. 2020. № 2.
12. *Золкин А.Г., Климова В.О., Мартынова Н.А., Мороз П.Н.* Критерии эффективности реабилитации реки Яузы в городском округе Мытищи // *Проблемы региональной экологии*. 2019. № 6.
13. Информация об основных показателях финансово-хозяйственной деятельности в сфере услуг водоотведения за 2017, 2018, 2019, 2020 гг. Раздел “Основные показатели деятельности, характеристики услуг в сфере водоотведения”. <http://www.mosvodostok.com/about/disclosure/>
14. *Кирпичникова Н.В., Полянин В.О.* Особенности организации мониторинга диффузного загрязнения природных вод // *Научные проблемы оздоровления Российских рек и пути их решения*. Сб. науч. тр. М.: Студия Ф1, 2019.
15. *Орлов Б.В., Бойкова И.Г., Печников В.Г.* Экологическая реабилитация Московской городской водоотводящей системы // *Водоснабжение и санитарная техника*. 2011. № 7.
16. Приказ Минсельхоза РФ от 13 декабря 2016 года № 552 “Об утверждении нормативов качества воды водных объектов рыбохозяйственного значения, в том числе нормативов предельно допустимых концентраций вредных веществ в водах водных объектов рыбохозяйственного значения”. 2016.
17. Производственная программа организации, осуществляющей водоотведение, на 2018, 2019, 2020 годы (Приложение к Приказу ДЭПР г. Москвы от 15.12.2017 № 644-тд). 2017).
18. Расписание погоды. Информационно-прогностический интернет-портал. <https://rp5.ru/> (дата обращения: 28.11.2021)
19. Региональная программа города Москвы по строительству и реконструкции (модернизации) очистных сооружений предприятий водопроводно-канализационного хозяйства на 2019–2024 гг. Утв. распоряжением ДЖКХ г. Москвы № 01-01-14-469/19 от 25.09.2019.
20. Ресурсы поверхностных вод СССР: Гидрологическая изученность. Т. 10. Верхне-Волжский район / Под ред. *В.П. Шабан*. Л.: Гидрометеиздат, 1966.
21. СанПиН 2.1.3684-21 “Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания”.
22. *Словягина А.Н., Полянин В.О., Фасцевская Т.Б.* Пространственно-временная динамика качества воды городского водотока (на примере р. Лихоборка) // *Материалы Всерос. науч.-практ. конф. с международ. участием “Современные проблемы гидрохимии и мониторинга качества поверхностных вод”*. Ростов-на-Дону: ГХИ, 2020.
23. *Lundy L., Wade R.* A Critical Review of Urban Diffuse Pollution Control: Methodologies to Identify Sources, Pathways and Mitigation Measures with Multiple Benefits Stage 1-A critical review of methodologies to identify the sources and pathways of urban diffuse pollutants). Aberdeen, UK: CREW centre of expertise for water, 2013. 30 p.
24. *Novotny V., Olem H.* Water Quality: Prevention, Identification and Management of Diffuse Pollution. N. Y., 1994.
25. Storm Smart Schools A Guide to Integrate Green Stormwater Infrastructure to Meet Regulatory Compliance and Promote Environmental Literacy. EPA/EPAN 903-K-17-001. 2017. June. https://www.epa.gov/sites/production/files/2017-10/documents/storm_smart_schools_print_final_071317.pdf