

## АНТРОПОГЕННЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ ГИДРОХИМИЧЕСКОГО РЕЖИМА И КАЧЕСТВА ВОДЫ ГОРОДСКОГО ВОДОТОКА (НА ПРИМЕРЕ РЕКИ ЛИХОБОРКИ, МОСКОВСКИЙ РЕГИОН)<sup>1</sup>

© 2023 г. Т. Б. Фашевская<sup>а</sup>, \*, А. Н. Словягина<sup>а</sup>,  
В. О. Полянин<sup>а</sup>, А. В. Алгушаева<sup>а</sup>

<sup>а</sup>Институт водных проблем РАН, Москва, 119333 Россия

\*e-mail: [tf.ugatu@yandex.ru](mailto:tf.ugatu@yandex.ru)

Поступила в редакцию 01.06.2022 г.

После доработки 23.09.2022 г.

Принята к публикации 04.10.2022 г.

Приведены результаты гидрохимического мониторинга малой реки, протекающей в пределах урбанизированного водосбора г. Москвы. Выполнена вероятностная оценка соответствия качества речной воды нормативным требованиям и наступления случаев высоких уровней загрязнения реки (высокого и экстремально высокого загрязнения). Установлены особенности гидрохимического режима реки, отличающие городской водоток от природных водных объектов. Выполнена оценка репрезентативности данных наблюдений контролирующей качество речной воды организации и установлено, что временной шаг рядов измеряемых показателей качества недостаточен для того, чтобы полностью отражать их изменчивость. Низкая достоверность данных мониторинга контролирующей организации не позволяет объективно оценивать степень загрязнения водотока и эффективность проводимых водоохранных мероприятий.

*Ключевые слова:* малая река, урбанизированный водосбор, точечные и диффузные источники загрязнения, гидрохимический режим, вероятностная оценка качества воды.

**DOI:** 10.31857/S0321059623020074, **EDN:** IPXGWC

Естественные сезонные колебания химического состава воды водотоков, определяемые комплексом физико-географических условий (гидрометеорологических и факторов подстилающей поверхности), в пределах урбанизированных водосборов меняются под влиянием хозяйственной деятельности человека. Изменение метеорологического режима над территорией города и образование “острова тепла” [1, 12], ландшафтные преобразования и наличие участков водосбора с водонепроницаемым покрытием существенно влияют на характеристики гидрологического цикла и на формирование городского поверхностного стока [10, 30].

Поступление загрязняющих веществ от точечных и диффузных источников, сосредоточенных на городской территории, зачастую превышает потенциал самоочищающей способности рек [4, 6–8, 31]. Естественные речные русла в городских условиях трансформированы или заключены в коллекторы [2, 11]. Замена естественных русел спрямленными канализованными участками или

подземными коллекторами приводит к уничтожению природных буферов на пути миграции загрязняющих веществ, поступающих в водотоки с поверхностным стоком [22, 27].

В результате интенсивного антропогенного воздействия на городские водотоки происходит прогрессирующее ухудшение качества воды, разрушается структурно-функциональная организация водных экосистем, снижается водоохозяйственный и рекреационный потенциал рек, определяющих социальную привлекательность территории проживания людей [3, 26]. Для определения и снижения негативных последствий влияния хозяйственной деятельности человека на городские водотоки решающее значение имеет система гидрохимического мониторинга. При этом возникает главный вопрос – об ее информативности и пригодности получаемых на ее основе данных для заявленных целей [14, 21, 28, 29, 32].

Цели данной работы – получение количественных оценок качества воды р. Лихоборки, выявление особенностей ее гидрохимического режима и факторов его формирования, анализ репрезентативности данных ведомственного мониторинга водотока. Река Лихоборка, как и дру-

<sup>1</sup> Работа выполнена в рамках Государственного задания ИВП РАН (тема FMWZ-2022-0003).

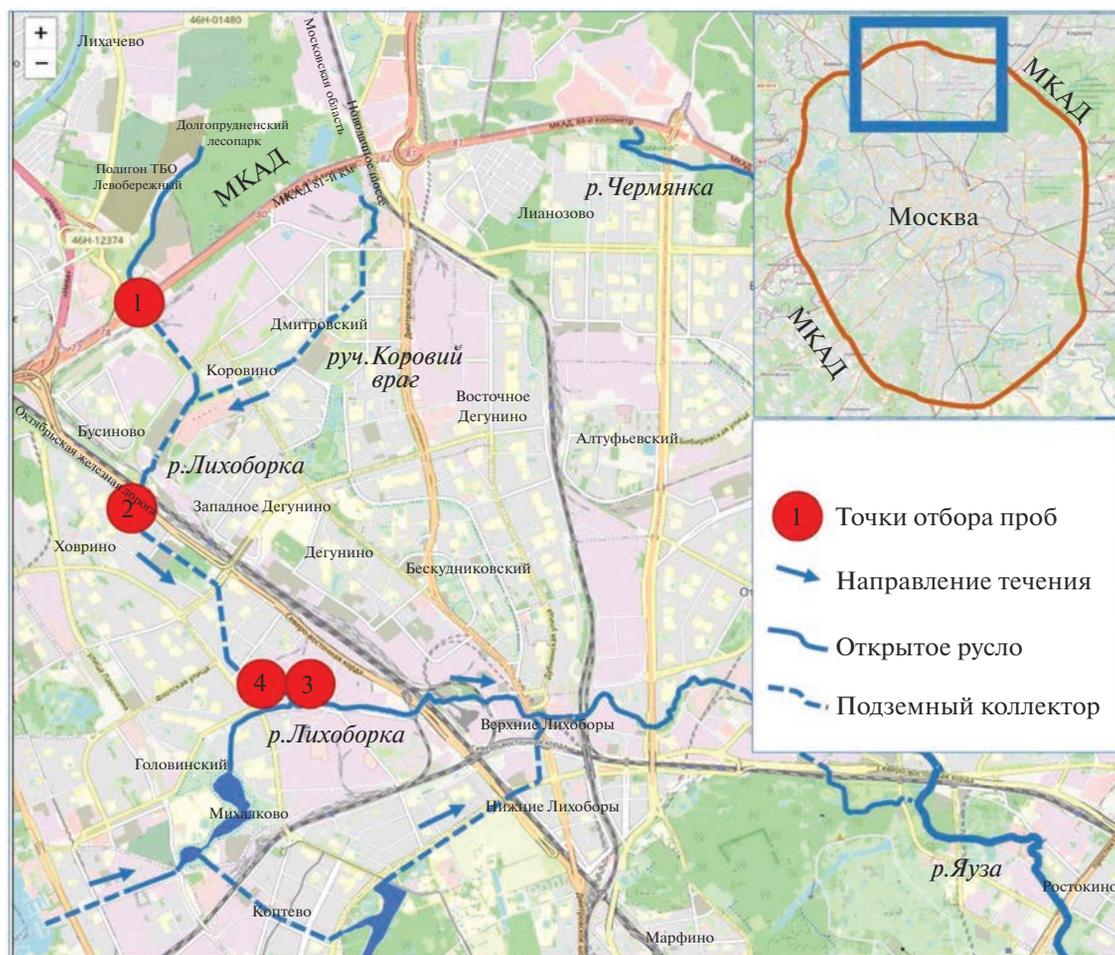


Рис. 1. Расположение р. Лихоборки и точек отбора проб воды на карте г. Москвы.

гие малые реки в черте г. Москвы, почти утратила характерные для природных водных объектов черты. Эта река — приток р. Москвы 2-го порядка и протекает по территории Северного и Северо-Восточного административных округов г. Москвы (рис. 1). Река берет начало в районе г. Долгопрудного Московской области и до слияния с руч. Коровий враг называется р. Бусинкой [13]. Общая длина р. Лихоборки составляет 17 км, из которых 7 км заключены в коллектор. Оставшаяся часть представляет собой условно естественное русло, местами в виде открытых каналов с искусственно укрепленными берегами [23]. Площадь водосбора реки составляет 58 км<sup>2</sup>, средний расход воды ~0.5 м<sup>3</sup>/с [24].

Исследуется верхняя половина водосбора р. Лихоборки, на которой расположены объекты, негативно влияющие как на экологическую обстановку города в целом, так и на качество речной воды. В верховье река протекает вдоль двух крупных полигонов ТБО Долгопрудненского и Левобережного. Далее река протекает по промзоне

“Коровино”, в пределах которой в реку поступают сточные воды ТЭЦ-21, территории рыбного завода “Меридиан”, снегосплавного пункта на ул. Ижорской и др. Затем река на >3 км уходит в подземный коллектор, принимающий поверхностный и дренажный сток с промзоны “Автомоторная” (на которой расположены автобазы, склады, растворо-бетонные узлы), со строительных площадок, а также с территорий жилых районов Ховрино, Головинского и Левобережного. На своем пути река несколько раз пересекает крупные объекты городской транспортной инфраструктуры: автодорожную развязку МКАД (в районе 79 км) и Северо-Восточную хорду (СВХ), а также железнодорожные пути Октябрьской железной дороги.

#### ХАРАКТЕРИСТИКА ИСХОДНЫХ ДАННЫХ

Для исследования антропогенных изменений гидрохимического режима и качества воды р. Лихоборки использовались данные мониторинга, проведенного в период с июня 2020 г. по август

**Таблица 1.** Описание точек гидрохимического мониторинга р. Лихоборки

Точка мониторинга	Название и местоположение точки мониторинга (соответственно рис. 1)	Краткая характеристика водосбора и объектов хозяйственной деятельности – источников загрязнения реки
1	р. Бусинка, МКАД 79 км (внешняя сторона); расстояние от истока реки до точки 1–2.37 км	Исток реки в лесопарке в северной части г. Долгопрудного; протекает вдоль двух полигонов ТБО – Долгопрудненского и Левобережного; вытекает из двух перепускных труб под автодорожной развязкой с внешней стороны МКАД
2	р. Лихоборка, Зеленоградская, 23; расстояние от истока реки до точки 2–5.04 км	В пределах частного водосбора река пересекает МКАД, принимает сбросную воду с ТЭЦ-21, сток с рыбзавода “Меридиан”, ССП “Ижорский”, со строительных площадок, авторемонтных мастерских и др.; сливается с ручьем Коровий враг, оба водных объекта протекают по промзоне “Коровино”; вытекает из перепускной трубы после железнодорожных путей
3	р. Лихоборка, Лихоборская набережная, 5 (левый водовыпуск); расстояние от истока реки до точки 3–8.17 км	В пределах частного водосбора расположены промзона “Автомоторная”, строительные площадки, жилые районы Ховрино и Головинский (частично), проходит СВХ; выходит из коллектора через двойной оголовок (левая труба)
4	р. Лихоборка, Лихоборская набережная, 5 (правый водовыпуск); расстояние от истока реки до точки 4–8.17 км	В пределах частного водосбора расположены промзона “Автомоторная”, строительные площадки, жилые районы Головинский (частично) и Левобережный; выходит из коллектора через двойной оголовок (правая труба)

2021 г. в четырех точках, расположенных в верхнем и среднем течении реки (рис. 1). Ежедекадно в каждой точке с интервалом в полчаса отбиралось по две пробы воды. Всего за исследуемый период в каждой точке мониторинга отобрано свыше 80 проб воды. Описание местоположения точек мониторинга и объектов хозяйственной деятельности – источников загрязнения реки, расположенных в пределах частных водосборов, – приведено в табл. 1. Анализировались следующие физико-химические показатели качества воды: взвешенные вещества, нефтепродукты, хлориды, сульфаты, БПК<sub>5</sub>, ХПК, азот аммонийный, рН.

В процессе отбора проб воды неоднократно фиксировались случаи несанкционированных залповых сбросов в реку сточных вод неустановленного происхождения, содержащих опасные для гидробионтов загрязняющие вещества. На рис. 2 приведены примеры загрязнения реки химическими веществами, приведшими к гибели рыб.

Для оценки репрезентативности существующего мониторинга р. Лихоборки использовались данные ведомственного мониторинга ГУП “Мосводосток” по качеству речной воды в точке, расположенной в месте выхода реки из подземного коллектора через двойной оголовок по адресу: Лихоборская набережная, д. 5. Места отбора проб воды контролирующей организацией совпадают с точками 3 и 4 мониторинга, проведенного в

рамках данного исследования. Всего за исследуемый период ГУП “Мосводосток” отобрано 6 проб воды (ежеквартально).

### ВНУТРИГОДОВЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА И КАЧЕСТВА РЕЧНОЙ ВОДЫ

Результаты проведенного мониторинга показывают, что значения исследуемых показателей качества воды р. Лихоборки характеризуются большой временной изменчивостью и могут значительно различаться как в пробах воды, отобранных с интервалом в полчаса (изменения при парном отборе проб), так и в пробах воды, отобранных в различные сезоны года (сезонные изменения) (рис. 3–5). Анализ приведенных на рис. 3–5 графиков позволяет выделить несколько типов внутригодовой динамики показателей качества воды, отражающих характер поступления загрязняющих веществ с водосборной территории.

Поступление в воду взвешенных, органических веществ и нефтепродуктов часто имеет залповый характер, что выражается в резком увеличении их содержания в речной воде (рис. 3, 5б–5г). Например, на рис. 3 видно, что несанкционированный сброс 29.03.2021 белой жидкости с сильным химическим запахом (фотография загрязнения реки на рис. 2в) привел к значительному росту содержания в речной воде органических

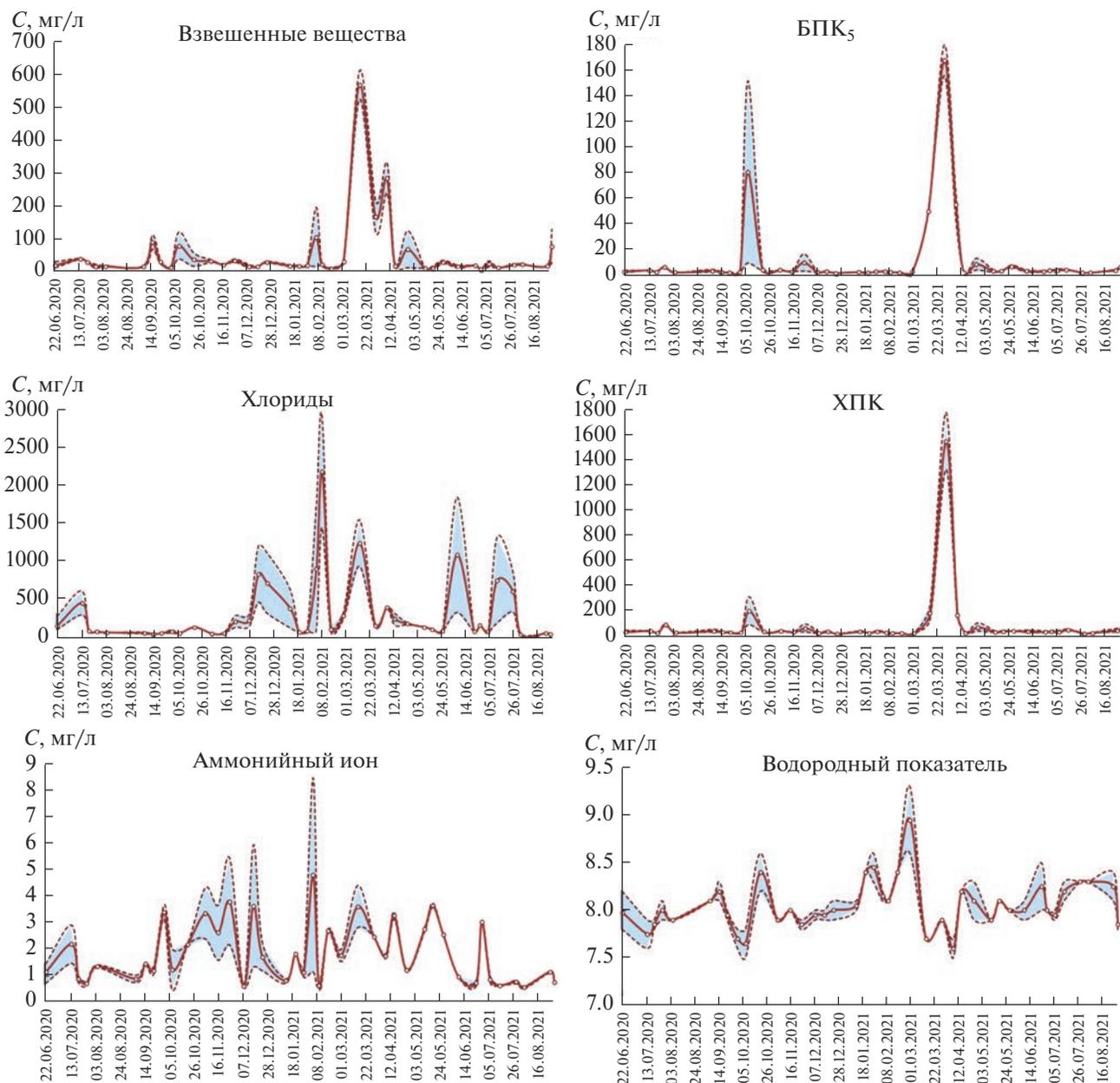


**Рис. 2.** Загрязнение р. Лихоборки в результате несанкционированных залповых сбросов сточных вод: а – 22.06.2020 сброс нефтепродуктов через правый водовыпуск (точка 4) и взвешенных веществ через левый водовыпуск (точка 3); б – 18.05.2021 сброс взвешенных веществ и слизи с запахом гниения (точка 2); в – 29.03.2021 сброс через левый водовыпуск (точка 3) белой жидкости с резким химическим запахом; г – 22.10.2020, д – 11.11.2020 сброс оранжевой/лиловой жидкости с запахом растворителя через водовыпуск новой сети ливневой канализации СВХ в р. Лихоборку, Лихоборская наб. д. 15.

веществ, оцениваемых по показателям БПК<sub>5</sub> и ХПК.

Концентрации загрязняющих веществ в городском водотоке также могут существенно увеличиваться в определенные периоды года, например во время снеготаяния или выпадения дождей.

В эти периоды происходит вымывание с поверхности или из почвенно-грунтовой толщи водосбора значительного количества накопленных за сухой период загрязняющих веществ, поступление которых в речную сеть может приводить к высокому уровню загрязнения речной воды. Напри-



**Рис. 3.** Внутригодовые изменения показателей качества воды р. Лихоборки в точке мониторинга 3: средние значения (сплошная линия) и диапазон концентраций загрязняющих веществ, измеренных с интервалом в полчаса (заштрихованная область между штриховыми линиями).

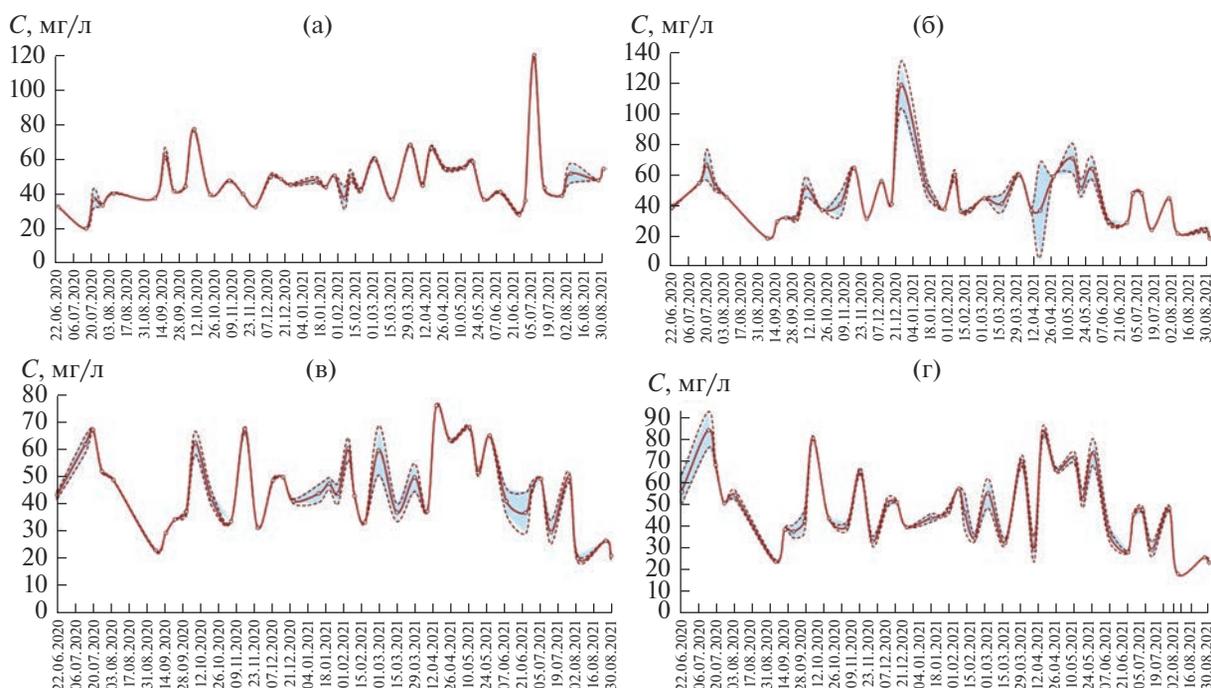
мер, такая динамика концентраций загрязняющих веществ характерна для взвешенных веществ и хлоридов (рис. 3), нефтепродуктов в точках 2–4 (рис. 5б–5г).

В других случаях концентрации загрязняющих веществ в речной воде могут варьировать в сравнительно нешироком диапазоне относительно среднегодовых концентраций без заметных трендов и связи с сезонами года. Такое изменение концентраций характерно для азота аммонийного и рН (рис. 3), сульфатов (рис. 4), иногда – неф-

тепродуктов (рис. 5а) и взвешенных веществ (в точке 1).

#### *Изменения химического состава речной воды при парном отборе проб*

Сравнительный анализ концентраций загрязняющих веществ в пробах воды, отобранных с интервалом в полчаса, показывает, что разница между ними может достигать значительных величин. Нефтепродукты характеризуются наибольшей получасовой разницей концентраций, диа-



**Рис. 4.** Внутригодовые изменения содержания в воде р. Лихоборки сульфатов: средние значения (сплошная линия), диапазон концентраций, измеренных с интервалом в полчаса (заштрихованная область между штриховыми линиями). Точки: а – 1, б – 2, в – 3, г – 4.

пазон изменения которой в точке мониторинга 4 достигает 36 раз. Меньшей разницей характеризуются: хлориды – 5–21 раз, взвешенные вещества – 5–13, БПК<sub>5</sub> – 3–15, сульфаты – 2–12, азот аммонийный – 3–7 и ХПК – 2–4 раза. Все случаи наибольшей получасовой разницы концентраций загрязняющих веществ наблюдаются в точках мониторинга 3 и 4 и, как правило, связаны с залповым поступлением в реку сточных вод. рН характеризуется наименьшей разницей измеренных с интервалом в полчаса концентраций ( $\leq 10\%$ ).

#### *Сезонные изменения химического состава и качества речной воды*

Для выявления закономерностей сезонных изменений химического состава воды р. Лихоборки определены диапазоны варьирования и рассчитаны средние значения показателей качества воды в различные фазы водного режима. Для естественных водотоков, протекающих в аналогичных физико-географических условиях, характерны следующие фазы водного режима: половодье (апрель, май), летне-осенний период (июнь–ноябрь) и зимняя межень (декабрь–март). Результаты расчетов приведены в табл. 2.

Оценка качества речной воды выполнена путем сравнения данных мониторинга с ПДК загрязняющих веществ, установленными для водных объектов рыбохозяйственного (ПДК<sub>рх</sub>) и

культурно-бытового (ПДК<sub>кб</sub>) водопользования (табл. 3) [16, 17]. Определены вероятности превышения ПДК и наступления случаев высокого загрязнения (ВЗ) и экстремально высокого загрязнения (ЭВЗ) речных вод (табл. 3) [18, 19]. Для этого построены 32 эмпирические кривые обеспеченности измеренных значений показателей качества воды (в каждой из четырех точек мониторинга 8 показателей). В работах [8, 25] описана методика построения кривых обеспеченности и приведены результаты подобных исследований. Для примера на рис. 6 показана схема определения искомых значений, а в табл. 4 приведены его результаты.

На основе проведенного анализа результатов мониторинга установлено, что концентрации взвешенных веществ в речной воде варьируют в течение года в диапазоне 3.0–782 мг/л, что соответственно составляет 0.3–73.0 ПДК<sub>рх</sub>. Вероятность превышения ПДК в разных точках мониторинга достигает 85–91% (табл. 4). Вниз по течению реки диапазон измеренных концентраций взвешенных веществ становится шире, а вероятность превышения уровня ВЗ снижается от 8 (в точке 1) до 2.5% (в точке 4).

Внутригодовое изменение содержания взвешенных веществ в естественных водотоках характеризуется его увеличением в половодье и уменьшением в зимний период [25]. В р. Лихоборке наибольшие концентрации взвешенных веществ

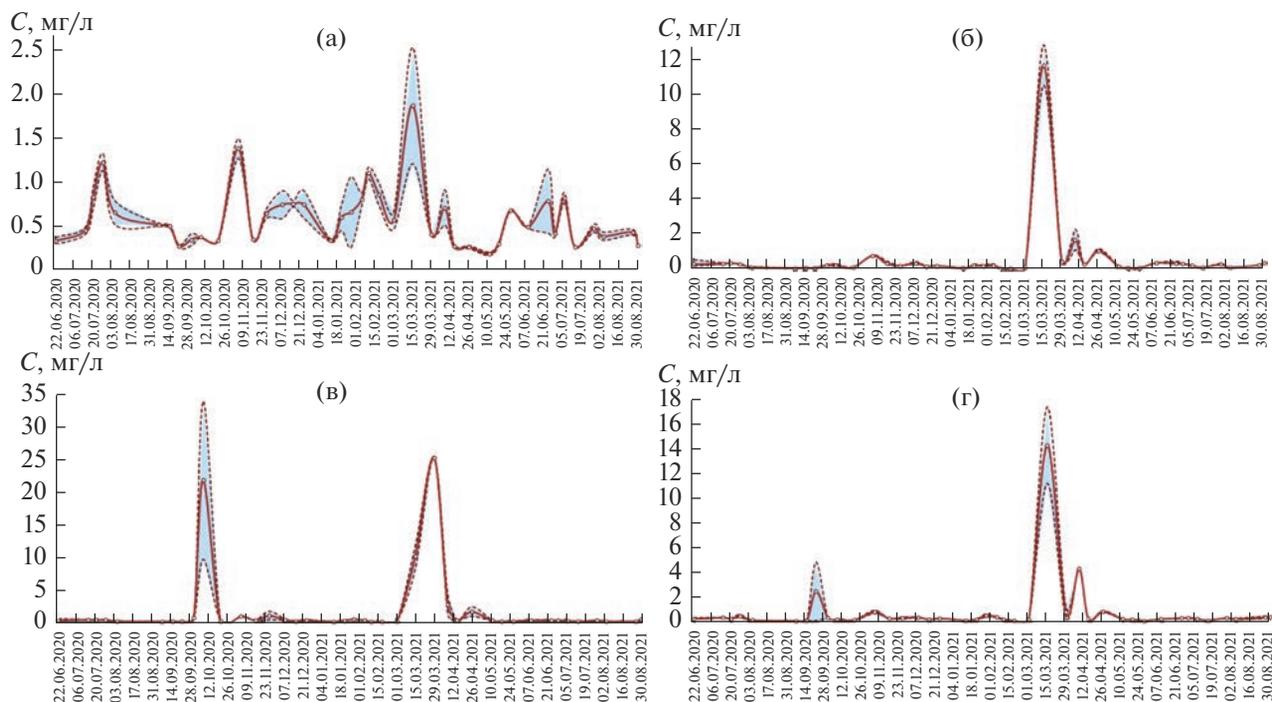


Рис. 5. Внутригодовые изменения содержания в воде р. Лихоборки нефтепродуктов: средние значения (сплошная линия), диапазон концентраций, измеренных с интервалом в полчаса (заштрихованная область между штриховыми линиями). Точки: а – 1, б – 2, в – 3, г – 4.

отмечаются в зимний период (табл. 3), наименьшие – в летне-осенний период (точки 2–4) и половодье (точка 1). Такое изменение внутригодового содержания взвешенных веществ в водотоке связано с особенностями формирования его гидрохимического режима на урбанизированном водосборе. Максимальные концентрации взвешенных веществ в точках 2–4 отмечаются в марте – последнем месяце, предшествующем половодью в водотоках, протекающих в естественных условиях. В условиях отепляющего действия городской среды и покрытия части водосборной территории водонепроницаемым покрытием (асфальтом) снеготаяние, по-видимому, происходит на месяц раньше и интенсивнее, чем в естественных условиях.

Измеренные концентрации нефтепродуктов в речной воде стабильно превышают ПДК<sub>рх</sub> и варьируют в диапазоне 0.09–33.8 мг/л, что соответственно составляет 1.8–676 ПДК<sub>рх</sub>. Вероятность превышения ПДК<sub>кб</sub> в разных точках проведения мониторинга варьирует в диапазоне 46–82%, уровня ВЗ – в диапазоне 1.4–14.0%. Вероятность экстремально высокого загрязнения р. Лихоборки нефтепродуктами достигает 7% в точке 3 (табл. 4). Наибольшие средние (за фазу водного режима) концентрации нефтепродуктов в речной воде отмечаются в зимнюю межень, наименьшие – в половодье (точки 1, 3) или в летне-осенний период

(точки 2, 4). При этом максимальные суточные концентрации нефтепродуктов во всех точках мониторинга наблюдаются в марте.

В работе [15] показано, что значительное количество нефтепродуктов поступает в городской водоток в сорбированном на взвешенных органических и минеральных частицах виде, или же сами нефтепродукты представляют собой мелкодисперсные взвешенные частицы, являющиеся результатом разрушения асфальтобетонных дорожных покрытий и продуктов истирания автомобильных шин. Поэтому между содержаниями в воде р. Лихоборки нефтепродуктов и взвешенных веществ установлены корреляционные зависимости, характеризующиеся значениями коэффициента корреляции  $R$  в диапазоне 0.43–0.96 (рис. 7).

Концентрации главных ионов (хлоридов и сульфатов) в р. Лихоборке варьируют в течение года в очень широком диапазоне: хлоридов – от 24.3 до 3215 мг/л, сульфатов – от 5.65 до 134 мг/л. Такое значительное (в десятки и сотню раз) изменение внутригодового содержания в речной воде главных ионов не характерно для водотоков, протекающих в естественных условиях. С вероятностью 10–26% содержание хлоридов в разных точках мониторинга превышает ПДК<sub>рх</sub> и ПДК<sub>кб</sub>, с вероятностью 0.2–0.4% содержание сульфатов превышает ПДК<sub>рх</sub>.

**Таблица 2.** Результаты определения значений показателей качества воды р. Лихоборки

Точки мониторинга	Диапазон измеренных значений	Среднегодовое значение	Среднее значение за фазу водного режима		
			половодье	летне-осенний период	зимняя межень
Взвешенные вещества, мг/л					
1	6.4–242	47.0	30.9	46.7	55.4
2	5.2–624	50.2	82.5	21.2	92.1
3	5.6–611	51.1	70.3	29.5	84.9
4	3.0–782	46.3	66.1	26.0	77.1
Нефтепродукты, мг/л					
1	0.16–2.52	0.59	0.39	0.54	0.78
2	0.12–12.9	0.64	0.65	0.34	1.23
3	0.12–33.8	1.75	0.90	1.25	3.17
4	0.09–17.2	0.79	1.00	0.40	1.48
Хлориды, мг/л					
1	93.0–1232	250	228	160	434
2	24.3–3215	302	168	140	693
3	32.0–2928	305	187	190	596
4	31.3–2249	300	239	233	465
Сульфаты, мг/л					
1	20.7–121	48.3	53.4	46.4	49.2
2	5.65–134	44.3	52.9	38.2	52.2
3	18.3–75.6	45.0	59.5	40.9	45.7
4	18.1–92.4	48.3	62.6	44.9	47.9
БПК <sub>5</sub> , мгО <sub>2</sub> /л					
1	3.12–61.6	16.7	8.69	12.0	29.6
2	3.08–97.0	8.91	16.0	5.52	12.2
3	2.81–180	12.7	14.3	8.00	21.3
4	2.36–53.0	6.40	10.8	4.78	7.45
ХПК, мгО/л					
1	30.3–340	100	61.8	92.5	133
2	21.4–337	51.3	66.8	47.0	52.1
3	22.1–1782	87.0	65.9	49.8	172
4	21.1–144	43.5	50.2	43.8	39.5
Азот аммонийный, мг/л					
1	2.53–38.6	13.7	7.28	13.7	17.1
2	0.45–12.4	2.05	3.00	1.76	2.16
3	0.46–8.43	1.84	2.52	1.53	2.13
4	0.26–5.99	1.67	2.35	1.51	1.65
рН					
1	6.9–8.1	7.5	7.6	7.6	7.4
2	7.5–8.9	8.1	8.0	8.1	8.1
3	7.5–9.3	8.1	7.9	8.0	8.2
4	7.4–8.4	7.9	7.8	7.9	8.0

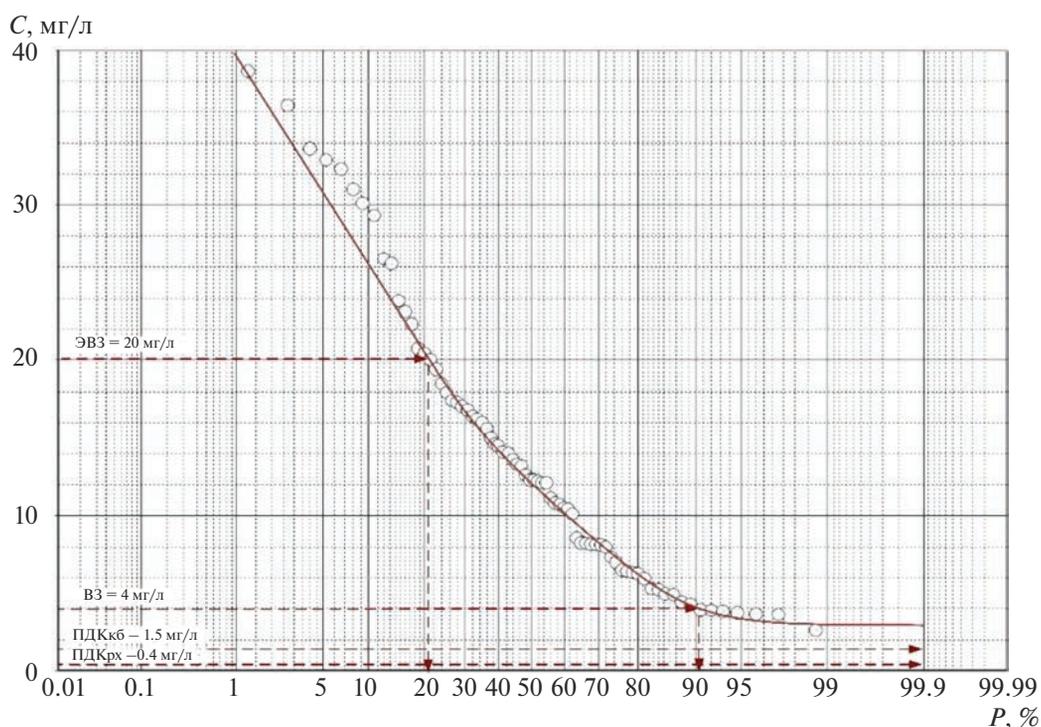
**Таблица 3.** ПДК<sub>рх</sub>, ПДК<sub>кб</sub>, ВЗ и ЭВЗ показателей качества воды р. Лихоборки

Показатель качества	Критерии качества и уровней загрязнения воды			
	ПДК <sub>рх</sub>	ПДК <sub>кб</sub>	ВЗ	ЭВЗ
Взвешенные вещества, мг/л	10.75	11.25	107.5	537.5
Нефтепродукты, мг/л	0.05	0.3	1.5	2.5
Хлориды, мг/л	300	350	3000	15000
Сульфаты, мг/л	100	500	1000	5000
БПК <sub>5</sub> , мгО <sub>2</sub> /л	2.1	4	10	40
ХПК, мгО/л	15	30	150	750
Азот аммонийный, мг/л	0.4	1.5	4	20

В естественных водотоках со снеговым типом питания внутригодовое изменение содержания главных ионов характеризуется их увеличением в зимний период и уменьшением в период половодья. В количественном соотношении в течение года сульфаты преобладают над хлоридами. В р. Лихоборке наибольшие концентрации хлоридов отмечаются в зимнюю межень (табл. 2), максимальные – в феврале или марте (рис. 8). Минимальные концентрации хлоридов наблюдаются в летне-осенний период (точки 1, 2, 4) или в половодье (точка 3). Наибольшие концентрации в речной воде сульфатов отмечаются во всех точках мониторинга в половодье, минимальные – в летне-

осенний период. Среднемесячное содержание хлоридных ионов в разных точках мониторинга превышает содержание сульфатных ионов в 1.2–28 раз (рис. 8).

Такое соотношение концентраций хлоридов и сульфатов в речной воде не характерно для естественных водотоков и, по-видимому, это результат многолетнего воздействия на ее химический состав противогололедных реагентов, основные компоненты которых – хлориды кальция, натрия и калия [20]. Об этом также свидетельствует периодическое увеличение содержания хлоридов в воде р. Лихоборки, наблюдаемое во всех точках мониторинга (как, например, в точке 3 на рис. 3)

**Рис. 6.** Пример определения вероятностей превышения ПДК<sub>рх</sub>, ПДК<sub>кб</sub>, уровней ВЗ и ЭВЗ по кривой обеспеченности концентрации азота аммонийного в воде р. Лихоборки в точке мониторинга 1.

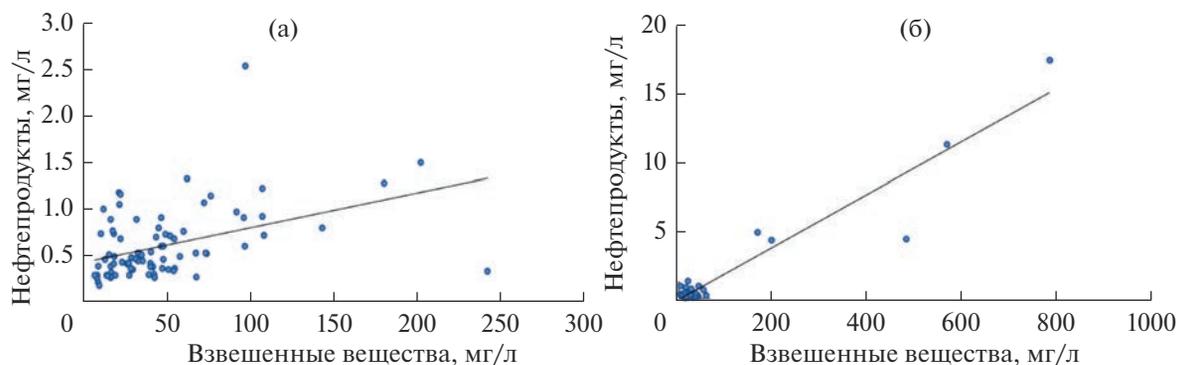
**Таблица 4.** Вероятности превышения ПДК<sub>рх</sub>, ПДК<sub>кб</sub>, ВЗ и ЭВЗ в воде р. Лихоборки, %

Точки мониторинга	Вероятность достижения и превышения уровня							
	ПДК <sub>рх</sub>	ПДК <sub>кб</sub>	ВЗ	ЭВЗ	ПДК <sub>рх</sub>	ПДК <sub>кб</sub>	ВЗ	ЭВЗ
Взвешенные вещества				БПК <sub>5</sub>				
1	91	91	8	<0.1	99.9	95	56	6.5
2	90	85	6	0.2	99.9	60	10	0.2
3	90	85	5	<0.1	99.9	55	13	2.5
4	90	85	2.5	0.2	99.9	50	9	0.3
Нефтепродукты				ХПК				
1	99.9	82	1.4	<0.1	99.9	98	12	—
2	99.9	46	3.5	1	99.9	80	2.5	—
3	99.9	56	14	7	99.9	80	8	0.6
4	99.9	50	6	2.5	99.9	60	1	—
Хлориды				Азот аммонийный				
1	15	10	—	—	99.9	99.9	91	21
2	22	19	0.4	—	99.9	52	9	—
3	26	22	0.1	—	99.9	50	8	—
4	20	16	—	—	99.1	44	4.2	—

в период со второй половины ноября до конца июля, которое может быть связано лишь с вымыванием с поверхности или из почвенно-грунтовой толщ водосбора хлоридов, накопленных в нем за зимний период. Таким образом, значительное количественное превышение хлоридных ионов над сульфатными во все месяцы года, а также несинхронность внутригодового изменения содержания в речной воде главных ионов свидетельствуют о мощном антропогенно обусловленном изменении химического состава воды р. Лихоборки и о его преобразовании по морскому типу, при котором среди анионов преобладают хлоридные [9].

В поверхностных водах сезонные изменения БПК<sub>5</sub> зависят от температуры, концентрации

растворенного в речной воде кислорода и жизненных циклов гидробионтов [9]. Поэтому биохимическая окисляемость обычно минимальна в зимнее время, когда в воде содержится минимальное количество органических веществ, а их поступление с водосборной площади ограничено. Летом, когда температура воды максимальна, скорость окисления органических веществ повышается и величина биохимического потребления кислорода достигает максимальных значений. Содержание загрязняющих веществ, оцениваемых по показателю ХПК, увеличивается в периоды половодья и дождевых паводков, что связано с увеличением водного стока и с поступлением с водосбора органических веществ естественного и антропогенного происхождения [25].



**Рис. 7.** Графики связи между содержанием нефтепродуктов и содержанием взвешенных веществ в воде р. Лихоборки в точках мониторинга: а – 1 ( $R = 0.43$ ); б – 4 ( $R = 0.96$ ).

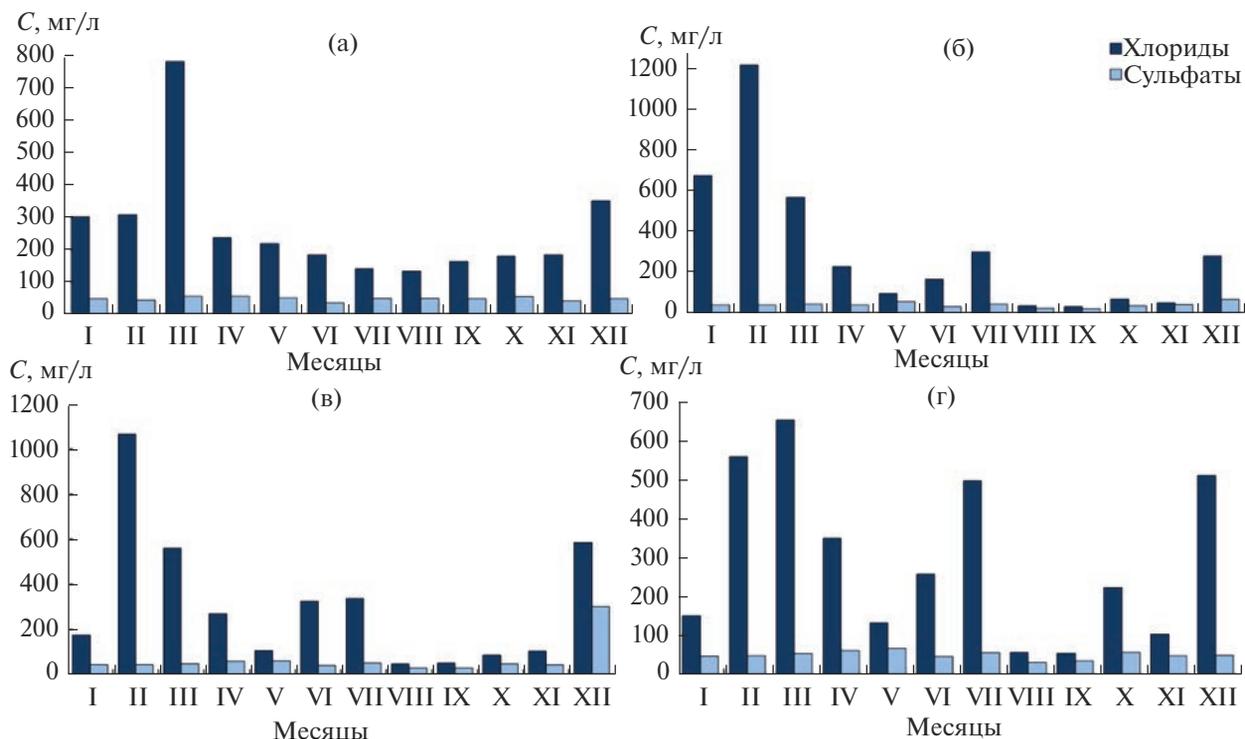


Рис. 8. Внутригодовые изменения содержания хлоридов и сульфатов в воде р. Лихоборки в точках мониторинга: а – 1, б – 2, в – 3, г – 4.

Сезонные изменения содержания загрязняющих веществ, оцениваемых по показателям БПК<sub>5</sub> и ХПК, в р. Лихоборке подобны: наибольшие значения отмечаются в зимний период (точки 1, 3) или в половодье (точки 2, 4), наименьшие – в летне-осенний период (точки 2, 3) или половодье (точка 1). Месяцы с максимальными концентрациями – декабрь и январь в точке 1; март в точках 2 и 3; март и апрель в точке 4.

Значения показателей всегда превышают ПДК<sub>рх</sub> и варьируют в диапазоне: БПК<sub>5</sub> – от 2.4 до 180 мг/л, ХПК – от 21.1 до 1782 мг/л. В точках мониторинга будет превышена ПДК<sub>кб</sub> органических веществ, оцениваемых по БПК<sub>5</sub> – с вероятностью 50–95%, оцениваемых по ХПК – с вероятностью 60–98% (табл. 4). Вероятность превышения ВЗ варьирует для БПК<sub>5</sub> в диапазоне 9–56%, для ХПК в диапазоне 1–12%. Наибольшее среднегодовое содержание загрязняющих веществ, оцениваемых по показателям БПК<sub>5</sub> и ХПК, и вероятность превышения ВЗ отмечается в точке 1, расположенной под автодорожной развязкой МКАД. Вниз по течению реки среднегодовое содержание загрязняющих веществ и вероятность превышения ВЗ снижаются. Опасность экстремально высокого загрязнения р. Лихоборки веществами, оцениваемыми по показателям БПК<sub>5</sub> и ХПК, до-

стигает 6.5% в точке 1 и 0.6% в точке 3 соответственно (табл. 4).

Подобие изменения содержания в речной воде органических веществ, оцениваемых по показателям БПК<sub>5</sub> и ХПК, сопровождается тесной корреляционной связью этих двух показателей ( $R$  в точках мониторинга варьирует в диапазоне 0.81–0.88) и указывает на поступление органических загрязнений в реку из одного и того же источника. В точках 2–4 установлены корреляционные зависимости между концентрацией нефтепродуктов и величинами БПК<sub>5</sub> ( $R$  в диапазоне 0.84–0.94) и ХПК ( $R$  – 0.61–0.77).

Содержание в речной воде азота аммонийного почти всегда превышает ПДК<sub>рх</sub> и варьирует в диапазоне 0.26–38.6 мг/л. Вероятность превышения значения ПДК<sub>кб</sub> в точках мониторинга достигает 44.0–99.9%. Наибольшим загрязнением азотом аммонийным речная вода характеризуется в точке 1, вниз по течению оно снижается, и в точке 4 среднегодовое содержание азота аммонийного уменьшается в 8 раз. Вероятность превышения ВЗ в точке 1 достигает 91%, в точке 4 снижается до 4.2% (табл. 4). В точке 1 возможно формирование ЭВЗ с обеспеченностью 21%.

Для большинства речных вод повышение концентрации азота аммонийного характерно в основном в весенне-летне-осенний период из-за

**Таблица 5.** Сопоставление результатов собственного мониторинга (в точках 3 и 4) и ведомственного мониторинга (ВМ) р. Лихоборки за исследуемый период

Показатель качества воды	Диапазон измеренных значений						Среднегодовое значение		
	минимум			максимум					
	ВМ	точка 3	точка 4	ВМ	точка 3	точка 4	ВМ	точка 3	точка 4
Взвешенные вещества, мг/л	6.8	5.6	3.0	17.5	611	782	13.1	51.1	46.3
Нефтепродукты, мг/л	0.10	0.12	0.09	1.04	33.8	17.2	0.46	1.75	0.79
Хлориды, мг/л	98.5	32.0	31.3	459	2928	2249	196	305	300
Сульфаты, мг/л	38.3	18.3	18.1	102	75.6	92.4	63.2	45.0	48.3
БПК <sub>5</sub> , мгО <sub>2</sub> /л	3.63	2.81	2.36	15.5	180	53.0	7.63	12.7	6.40
Азот аммонийный, мг/л	0.56	0.46	0.26	1.19	8.43	5.99	0.86	1.84	1.67

смыслов с водосборной территории. В зимний сезон в условиях пониженного водного стока высокие концентрации аммонийного азота в речных водах обычно связаны с поступлением хозяйственно-бытовых сточных вод [25]. Внутригодовое изменение содержания азота аммонийного в р. Лихоборке во всех точках мониторинга однообразно, происходит скачкообразно, без тенденции увеличения или уменьшения в речной воде в связи со сменой сезонов года. Наибольшие значения характерны для половодья (точки 2–4) или зимней межени (точка 1), наименьшие – для летне-осеннего периода (точки 2–4) или половодья (точка 1). Подобное внутригодовое распределение содержания азота аммонийного может свидетельствовать о том, что в речных водах периодически присутствуют стоки хозяйственно-бытовой канализации в результате несанкционированного подключения жилых домов, гаражей и незаконных сооружений к сетям ливневого водостока.

Все измеренные значения pH варьируют в диапазоне 6.9–9.3 и почти полностью находятся в пределах нормы качества воды (6–9) для водных объектов хозяйственно-бытового и рекреационного водопользования [16]. Вероятность превышения уровня ПДК<sub>кб</sub> ≤ 0.7%.

### ОЦЕНКА РЕПРЕЗЕНТАТИВНОСТИ РЕЗУЛЬТАТОВ ВЕДОМСТВЕННОГО МОНИТОРИНГА КАЧЕСТВА РЕЧНОЙ ВОДЫ

В работе предпринята попытка оценить репрезентативность данных наблюдений контролирующей качество воды р. Лихоборки организации, по которым судят о степени загрязнения водотока. Для этого выполнено сопоставление средних значений показателей качества воды, определенных в рамках данного исследования в парных пробах, и результатов ведомственного мониторинга качества речной воды в месте выхода р. Лихоборки из подземного коллектора в рай-

оне Лихоборской набережной, д. 5. Результаты этого сопоставления приведены на рис. 9 и в табл. 5.

На графиках (рис. 9) видно, что определенные в рамках ведомственного и собственного мониторинга концентрации загрязняющих веществ в одних и тех же даты отбора проб воды вполне сопоставимы. Однако очевидно, что в результате чрезвычайно малой частоты отбора проб организацией, контролирующей качество воды, не выявляется большая внутригодовая изменчивость концентраций загрязняющих веществ в речной воде. По большинству загрязняющих веществ (за исключением сульфатов) это определяющий фактор невысокой достоверности информации о степени загрязнения водотока и об условиях формирования качества его воды в течение года. Так, по данным ведомственного мониторинга, концентрации взвешенных веществ в речной воде в течение года меняются в 2.6 раза, а по данным собственного мониторинга – в 10 раз больше (табл. 5). По данным ведомственного мониторинга, внутригодовое изменение концентраций нефтепродуктов составляет 10.4 раза, а по данным собственного мониторинга – 282 раз и т. д. В результате среднегодовая концентрация загрязняющих веществ занижается в 1.6 (хлориды) – 3.9 раз (взвешенные вещества). Малая достоверность данных ведомственного мониторинга лишает возможности рассчитывать реальные объемы выноса загрязняющих веществ с водосбора, объективно оценивать степень загрязнения водотока, оперативно выявлять и устранять источники его загрязнения, определять эффективность реализации водоохраных мероприятий.

### ВЫВОДЫ

В результате проведенного исследования получены количественные оценки качества воды р. Лихоборки. Установлено, что речная вода в пределах исследуемого участка водосбора реки хронически не соответствует нормативам каче-

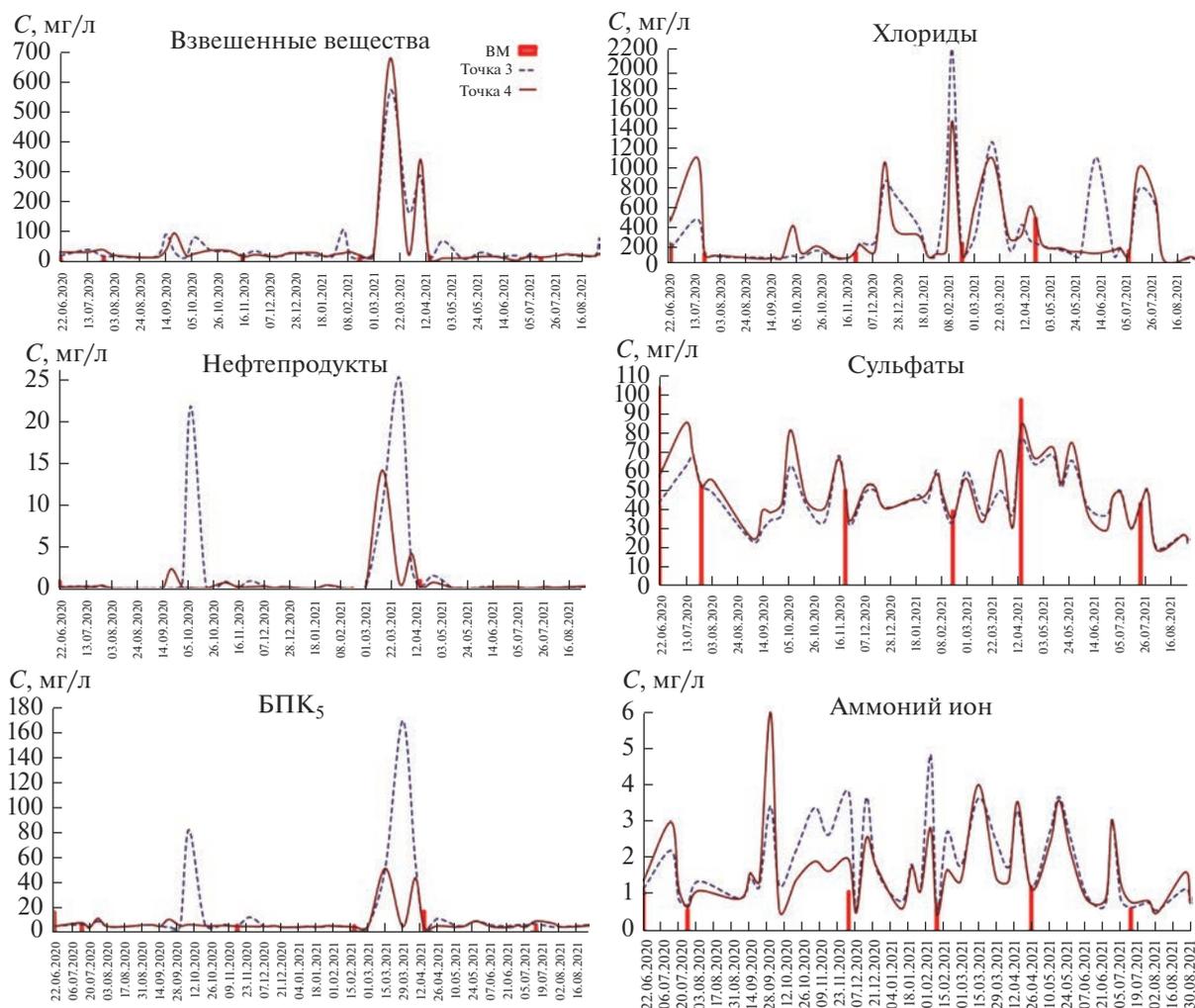


Рис. 9. Внутригодовые изменения показателей качества воды р. Лихоборки в точках мониторинга 3 (штриховая линия) и 4 (сплошная линия), а также результаты ведомственного мониторинга (ВМ) «Мосводостока».

ства для водных объектов рыбохозяйственного водопользования по большинству из определенных в процессе мониторинга показателей: взвешенным веществам, нефтепродуктам, ХПК, БПК<sub>5</sub>, азоту аммонийному. Определена вероятность несоответствия воды р. Лихоборки нормативам качества вод культурно-бытового назначения. Вероятность превышения ПДК<sub>кб</sub> в речной воде в разных точках мониторинга следующая, %: органических веществ, оцениваемых по ХПК, – 60–98; азота аммонийного – 44–99,9; органических веществ, оцениваемых по БПК<sub>5</sub>, – 50–95; нефтепродуктов – 46–82; хлоридов – 10–22; взвешенных веществ ~90.

Выполнена вероятностная оценка наступления случаев высоких уровней загрязнения реки. Вероятность высокого ( $\geq 10$  ПДК) загрязнения реки в точках мониторинга следующая, %: взвешенными веществами – 2,5–8, нефтепродуктами – 1,4–14, азотом аммонийным – 4,2–91, загрязняю-

щими веществами, оцениваемыми по ХПК, – 1–12. Вероятность высокого ( $\geq 5$  ПДК) загрязнения, оцениваемого по БПК<sub>5</sub>, достигает 9–56%. В отдельных точках мониторинга будет наблюдаться экстремально высокое ( $\geq 50$  ПДК) загрязнение реки с вероятностью 0,6 (ХПК) – 21% (азот аммонийный).

Выявлены следующие особенности гидрохимического режима р. Лихоборки, отличающие городские водотоки от природных и свидетельствующие о подчиненности природных факторов формирования химического состава воды антропогенным:

отсутствуют различия содержания загрязняющих веществ в речной воде в разные фазы водного режима, или максимумы и минимумы концентраций отмечаются в те фазы водного режима, когда в естественных водотоках наблюдаются минимумы и максимумы концентраций;

диапазоны внутригодового изменения измеренных концентраций загрязняющих веществ значительно (в несколько и десятки раз) больше, чем в естественных водотоках;

наблюдается не характерное для естественных водотоков соотношение содержаний в речной воде хлоридов и сульфатов, указывающее на преобразование химического состава речной воды по морскому типу.

Установлены следующие основные факторы формирования качества воды и изменения в гидрохимическом режиме городского водотока.

1. Микроклиматические условия городской среды и покрытие части водосборной территории водонепроницаемым покрытием приводят к смещению сроков и сокращению продолжительности снеготаяния, увеличивают частоту выпадения осадков и сокращают длительность их стекания в водоток.

2. Диффузные источники, рассредоточенные по водосборной территории и подверженные влиянию метеорологических факторов, способствуют накоплению загрязняющих веществ на поверхности или в почвенно-грунтовой толще водосбора в сухой период и высокому уровню загрязнения речной воды в периоды снеготаяния и выпадения дождей.

3. Точечные источники существенным образом влияют на формирование и поддержание постоянного уровня загрязнения речной воды, особенно в маловодные периоды года, когда диффузный сток с водосбора снижается. Так, в результате несанкционированного подключения жилых домов, гаражей и незаконных сооружений к сетям ливневой канализации в речных водах периодически присутствуют стоки хозяйственно-бытовых сточных вод.

4. Значительный вклад в формирование высоких уровней загрязнения реки в любые сезоны года вносят неконтролируемые несанкционированные залповые сбросы сточных вод, при которых непосредственно в реку или в водоприемные колодцы ливневой канализации в течение непродолжительного времени сбрасывается значительное количество загрязняющих веществ. Наибольшее влияние залповых сбросов проявляется в зимний период, когда поверхностный сток с водосбора практически отсутствует. В этот период наблюдается максимальный за год уровень загрязнения р. Лихоборки нефтепродуктами, взвешенными и органическими веществами, что может быть обусловлено залповыми сбросами.

Установленные особенности суточного и внутригодового изменения различных показателей качества воды р. Лихоборки, а также оценка репрезентативности результатов мониторинга, проводимого контролирующей организацией, свидетельствуют о необходимости следующих мер:

разработка и реализация более гибкой программы мониторинга, адаптированной к условиям формирования качества воды городского водотока, учитывающей гидроклиматические особенности территории и набор объектов-загрязнителей в пределах частных водосборов на отдельных участках речной сети;

внедрение в практику мониторинга автоматизированных станций, которые позволяли бы отслеживать изменения качества воды по наиболее репрезентативным показателям в режиме реального времени;

совершенствование организационно-правовых основ инспекционного и лабораторного контроля за деятельностью хозяйствующих субъектов, расположенных в пределах урбанизированной водосборной территории.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Варенцов М.И., Самсонов Т.Е., Кислов А.В., Константинов П.И.* Воспроизведение острова тепла Московской агломерации в рамках региональной климатической модели COSMO-CLM // *Вестн. Московского ун-та. Сер. 5, География.* 2017. № 6. С. 25–37.
2. *Горюнова С.В.* Влияние антропогенного воздействия на экологическое состояние малой городской реки // *Вестн. Московского гор. пед. ун-та. Сер. Естественные науки.* 2010. № 2. С. 57–64.
3. *Горюнова С.В.* Закономерности процесса антропогенной деградации водных объектов. Автореф. дис. ... докт. биол. наук. М.: МГУ, 2006. 43 с.
4. Государственный доклад “О состоянии и об охране окружающей среды Российской Федерации в 2016 году”. М.: Минприроды России; НИА-Природа, 2017. 760 с.
5. Доклад “О состоянии окружающей среды в городе Москве в 2014 году” / Под ред. *А.О. Кульбачевского.* М.: ДПиООС, НИА-Природа, 2015. 384 с.
6. Доклад “О состоянии окружающей среды в городе Москве в 2016 году” / Под ред. *А.О. Кульбачевского.* М.: ДПиООС, НИиПИ ИГСП, 2017. 363 с.
7. Доклад о состоянии окружающей среды в Москве в 2009 году. М.: ДПиООС, 2010. 238 с.
8. *Долгонос Б.М., Корчагин К.А.* Сезонные изменения в распределении вероятностей показателей качества речной воды // *Вод. ресурсы.* 2014. Т. 41. № 6. С. 39–48.
9. *Зенин А.А., Белоусова Н.В.* Гидрохимический словарь / Под ред. *А.М. Никанорова.* Л.: Гидрометеиздат, 1988. 241 с.
10. *Коронкевич Н.И., Мельник К.С.* Влияние урбанизированных территорий на речной сток в Европе // *Изв. РАН. Сер. географическая.* 2019. № 3. С. 78–87.
11. *Лебедева Е.В., Михалев Д.В.* Водные объекты урбанизированных территорий: подходы и методы реабилитации (на примере Московского региона) // *Территория и планирование.* 2010. № 2. С. 62–68.

12. *Ле Минь Туан, Шукуров И.С., Нгуен Тхи Май.* Исследование интенсивности городского острова тепла на основе городской планировки // *Строительство: наука и образование.* 2019. Т. 9. Вып. 3 (33). 22 с.
13. *Насимович Ю.А.* Реки, озера и пруды Москвы. [Электронный ресурс]. <http://temnyjles.narod.ru/Reki3-36.htm> (дата обращения: 15.10.2021)
14. *Никаноров А.М.* Научные основы мониторинга качества вод. СПб.: Гидрометеиздат, 2005, 576 с.
15. *Орлов Б.В., Бойкова И.Г., Печников В.Г.* Экологическая реабилитация Московской городской водоотводящей системы // *Водоснабжение и санитарная техника.* 2011. № 7. С. 51–57.
16. Постановление Главного государственного санитарного врача РФ от 28 января 2021 г. № 2 “Об утверждении санитарных правил и норм СанПиН 1.2.3685-21 Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания”.
17. Приказ Минсельхоза России от 13.12.2016 № 552 (ред. от 10.03.2020) “Об утверждении нормативов качества воды водных объектов рыбохозяйственного значения, в том числе нормативов предельно допустимых концентраций вредных веществ в водах водных объектов рыбохозяйственного значения”.
18. Приказ Росгидромета от 31.10.2000 № 156 “О введении в действие порядка подготовки и представления информации общего назначения о загрязнении окружающей природной среды (с изменениями на 30 декабря 2015 года)”.
19. Р 52.24.756-2011 Рекомендации. Критерии оценки опасности токсического загрязнения поверхностных вод суши при чрезвычайных ситуациях (в случаях загрязнения).
20. Распоряжение Департамента жилищно-коммунального хозяйства и благоустройства города Москвы № 05-14-650/1 от 28.09.2011 г. “Об утверждении Технологии зимней уборки проезжей части магистралей, улиц, проездов и площадей (объектов дорожного хозяйства г. Москвы) с применением противогололедных реагентов и гранитного щебня фракции 2–5 мм (на зимние периоды с 2010–2011 гг. и далее)”. 50 с.
21. Рекомендации по расчету систем сбора, отведения и очистки поверхностного стока с селитебных территорий, площадок предприятий и определению условий выпуска его в водные объекты. М.: НИИ ВОДГЕО, 2014. 88 с.
22. *Рыбка К.Ю.* Фито-очистная система открытого типа как природно-техногенный барьер для загрязняющих веществ. Дис. ... канд. геогр. наук: М.: ИВП РАН, 2020. 229 с.
23. *Словягина А.Н., Полянин В.О., Фащевская Т.Б.* Пространственно-временная динамика качества воды городского водотока (на примере р. Лихоборка) / Сб. ст., посвященный 100-летию со дня образования Гидрохим. ин-та, “Современные проблемы гидрохимии и мониторинга качества поверхностных вод”. Ч. 1. Ростов-на-Дону: ГХИ, 2020. С. 146–152.
24. *Товарищ Хэлл.* Подземные реки Москвы. Екатеринбург: Издател. решения, 2019. 492 с.
25. *Фащевская Т.Б.* Оценка антропогенного воздействия на качество водных объектов (на примере р. Белой). Дис. ... канд. геогр. наук: СПб.: РГГМУ, 2006. 216 с.
26. *Щеголькова Н.М.* Динамика экологического состояния основного водотока мегаполиса (на примере реки Москвы). Автореф. дис. ... докт. биол. наук. М.: МГУ, 2006. 48 с.
27. Best Management Practices Guide for Stormwater. Burnaby: GVS&DD, 1999. 100 p.
28. *Brion N., Verbanck M.A., Bauwens W., Elskens M., Chen M., Servais P.* Assessing the impacts of wastewater treatment implementation on the water quality of a small urban river over the past 40 years // *Environ. Sci. Pollution Res.* 2015. V. 22. P. 12720–12736.
29. *Dressing S.A., Meals D.W., Harcum J.B., Spooner J., Stribling J.B., Richards R.P., Millard C.J., Lanberg S.A., O'Donnell J.G.* Monitoring and Evaluating Nonpoint Source Watershed Projects. Washington: EPA, 2016. 522 p.
30. Impacts of Impervious Cover on Aquatic Systems: Watershed Protection Research Monograph No. 1. Ellicott City: Center for Watershed Protection, 2003. 158 p.
31. *Ullah Z., Khan H., Waseem A., Mahmood Q., Farooq U.* Water Quality Assessment of the River Kabul at Peshawar, Pakistan: Industrial and Urban Wastewater Impacts // *J. Water Chem. Technol.* 2013. V. 35. № 4. P. 170–176.
32. *Vilmin L., Flipo N., Escoffier N., Groleau A.* Estimation of the water quality of a large urbanized river as defined by the European WFD: what is the optimal sampling frequency? // *Environ. Sci. Pollution Res.* 2018. V. 25. P. 23485–23501.