



Особенности формирования, отведения и использования атмосферных сточных вод мегаполисов

Введение

Высокие темпы строительства в городах и уменьшение площадей зелёных насаждений обуславливают увеличение количества поверхностных сточных вод, которые необходимо отводить системами ливневой канализации и подвергать очистке с последующим сбросом в водные объекты. Уплотнительная застройка также формирует значительное увеличение притока воды во внутриквартальных сетях, присоединяемых к существующим уличным водостокам. Увеличение количества поверхностного стока вызывает перегрузку существующих систем ливневой канализации, что приводит к подтоплению проезжих частей, городских территорий, движению больших масс воды по поверхности, смыву загрязняющих веществ и выносу их в водные объекты минуя очистные сооружения.

Формирование системы загрязняющих веществ в поверхностных сточных водах также имеет несколько особенностей. Наряду с непосредственной абсорбцией загрязняющих веществ водой на поверхности водосбора во время выпадения осадков или таяния снежных масс, принятая в последнее время практика мытья проезжих частей дорог в период выпадения

осадков обуславливает высокую загрязнённость сточных вод даже при пиковых значениях интенсивности дождя. Также происходит постепенный размыв отложений, накопившихся в коммуникациях водостока в «сухой» период, что приводит к высокой загрязнённости сточных вод при их больших расходах. Принятое в настоящее время положение о том, что наиболее загрязнённые потоки поступают только в начальный период выпадения осадков, а с увеличением расхода воды в трубопроводах их загрязнённость уменьшается, часто не соответствует действительности [1, 2].

По условиям формирования сточных вод, определяющим показатели их загрязнённости, сточные воды можно разделить на три группы. Первая группа — сточные воды с поверхности путей движения, включая автомагистрали, внутригородские дороги, эстакады и мосты. Вторая группа — сточные воды с внутриквартальных территорий, включая зелёные насаждения, проезды, стоянки автотранспорта и другие замощённые участки. Третья группа — сточные воды, отводимые с кровель зданий. Традиционно все группы атмосферных сточных вод отводятся в общую систему ливневой канализации.

Рецензия эксперта на статью получена
16.01.2024 [The expert review of the article
was received on January 16, 2024]

УДК: 628.31. Научная специальность: 2.1.4 (05.23.04).

Особенности формирования, отведения и использования атмосферных сточных вод мегаполисов

Е. В. Алексеев, д.т.н., профессор, заведующий кафедрой; **О. В. Букина**, аспирант, кафедра «Водоснабжение и водоотведение», Московский государственный строительный университет (НИУ МГСУ)

В условиях интенсивного развития городской застройки увеличивается площадь водонепроницаемых поверхностей, что ведёт к росту объёмов атмосферных вод, поступающих в ливневую канализацию, и увеличению нагрузки на водоотводящие сети сверх расчётной. В ряде случаев это приводит к подтоплениям городских территорий. Цель исследования состояла в определении возможности уменьшения сброса атмосферных сточных вод, отводимых с кровель зданий и других неэксплуатируемых поверхностей, в централизованные системы водостока посредством их использования на технологические нужды при эксплуатации многофункциональных комплексов и прилегающих территорий в качестве альтернативных источников водоснабжения.

Ключевые слова: многофункциональные комплексы зданий, атмосферные сточные воды, водоотведение, кондиционирование сточных вод, использование сточных вод.

UDC: 628.31. The number of scientific specialty: 2.1.4 (05.23.04).

Features of the formation, disposal and use of atmospheric wastewater in megacities

E. V. Alekseev, Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of the Department; **O. V. Bukina**, postgraduate student, the Department of Water Supply and Water Disposal, Moscow State University of Civil Engineering (MGSU)

In conditions of intensive urban development, the area of waterproof surfaces increases, which leads to an increase in the volume of atmospheric water entering the storm sewer system and an increase in the load on drainage networks beyond the calculated one. In some cases, this leads to flooding of urban areas. The purpose of the study was to determine the possibility of reducing the discharge of atmospheric wastewater discharged from the roofs of buildings and other unused surfaces into centralized drainage systems through their use for technological needs during the operation of multifunctional complexes and adjacent territories as alternative sources of water supply.

Key words: multifunctional building complexes, atmospheric wastewater, water disposal, wastewater conditioning, wastewater use.

Одним из направлений решения проблемы снижения нагрузки на существующие сети водостока представляется разделение атмосферных вод по условиям формирования, локализация и использование их в пределах территории сбора. Наибольшими предпосылками для этого решения обладает третья группа сточных вод.

Основной раздел

На современном этапе развитии городов в России наметилась тенденция к увеличению плотности застройки, как в районах со сложившейся инфраструктурой, так и на вновь застраиваемых территориях. В районах со сложившейся инфраструктурой преобладают две тенденции:

- реконструкция строений бывших промышленных предприятий и освоение примыкающих к ним территорий;
- реновация жилых кварталов застройки периода 1956–1966 годов (панельных и блочных малоэтажных домов).

Приоритетом инвесторов в новом строительстве является проектирование и строительство многофункциональных комплексов (МФК) с включением высотных зданий от 22 до 55 этажей высотой до 200 м в объединённое единое общественное пространство — «стилобат». Стилобат может объединять от одного до трёх наземных этажей и от одного до пяти подземных этажей. При реализации подобных проектов площадь застройки по контуру подземной части может существенно превышать площадь застройки по контуру высотных корпусов.

Характерными примером такой застройки является многофункциональный жилой комплекс в районе Марьино Роца в городе Москве.

Данный многофункциональный комплекс характеризуется следующим распределением площадей:

- общая площадь участка застройки — 24515 м² (100 %);
- площадь застройки по контуру подземной части — 18004 м²;
- площадь застройки проектируемых зданий — 32 %;
- площадь твёрдых покрытий — 55 %;
- площадь озеленения (сумма площадей газона, покрытия из песка, по грунту и по стилобату) — 13 %.

Повышенные требования к комфорту и поддержанию благоприятной для человека окружающей среды, создание зон рекреации и искусственного озеленения требует от управляющих компаний существенных затрат на используемые ресурсы

В проектах современных многофункциональных жилых центров предпочтение отдаётся застройке со сложной архитектурой при максимальном использовании площади отведённого под строительство участка. Внутри зданий предусматриваются многочисленные зоны повышенной комфортности, дополненные открытыми пространствами на балконах, кровле, декоративным озеленением и водными объектами.

Многофункциональные бизнес-центры также имеют подземную стилобатную часть от одного до пяти этажей. Ввиду высоких требований к комфорту людей, пребывающих внутри таких зданий, данные проекты включают размещение большого количества технического оборудования, использующего воду.

Вследствие увеличения доли площади участка, используемой под строительный объём, устройства твёрдых покрытий и уменьшения доли площади участка, используемой под естественное покрытие по грунту, а также использования озеленения «по стилобату» происходит значительное увеличение объёма собираемых и отводимых атмосферных вод в период интенсивного дождя за границы участка застройки.

Цель исследования состояла в определении возможности уменьшения сброса атмосферных сточных вод, отводимых с кровель зданий и других неэксплуатируемых поверхностей в централизованные водосточные системы, посредством их использования на технологические нужды при эксплуатации многофункциональных комплексов и прилегающих территорий в качестве альтернативных источников водоснабжения. В соответствии с целью исследования были определены следующие задачи:

- рассмотреть планировочные решения городской застройки многофункциональ-

ными жилыми комплексами с позиции организации сбора и отведения атмосферных вод;

- установить общую структуру водопотребления многофункциональных комплексов;
- определить условия отведения и кондиционирования атмосферных вод с последующим использованием их в технических системах зданий и при благоустройстве территории застройки.

Архитектурно-планировочные решения в виде многофункциональных комплексов предполагают следующую схему сбора и отведения атмосферных вод: атмосферные воды с кровель, фасадов, веранд, балконов зданий, а также внутренних дворов и проездов через приёмные устройства собираются трубопроводами систем водостока и по стоякам опускаются вниз в стилобатную часть здания. Оттуда они отводятся за границы стилобата во внутриквартальную сеть и далее в городские водоотводящие сети.

Повышенные требования к комфорту и поддержанию благоприятной для человека окружающей среды, создание зон рекреации и искусственного озеленения требует от компаний, управляющих такими комплексами, существенных затрат на используемые ресурсы. Одним из наиболее значимых ресурсов является вода.

В современных многофункциональных зданиях, наряду с хозяйственно-питьевыми целями, существует ряд видов водопотребления, обеспечивающих функционирование МФК:

- полив зелёных насаждений;
- полив и мытьё покрытий, полов;
- мытьё фасадов здания;
- секции увлажнения в приточных установках;
- вода для орошения адиабатических охладителей.

Структура общего водопотребления характерных видов МФК, принятых в качестве объектов анализа, представлена в табл. 1. Анализ водопотребления современных многофункциональных комплексов (табл. 1) показывает, что основной объём водопотребления приходится на хозяйственно-питьевые нужды — от 80 до 1300 м³/сут., что составляет от 63 до 97 % общего водопотребления.

:: Водопотребление зданий МФК по основным группам потребителей*

табл. 1

Вид МФК	Площадь участка застройки, м ²	Строительный объём, тыс. м ³	Хозяйственно-питьевое водопотребление, м ³ /сут.	Расход воды на технологические нужды, м ³ /сут.	Итого водопотребление на нужды здания, м ³ /сут.
Офисный центр, г. Москва	21896	114,10	79,52 (63)	12,4 (10)	127,04 (100)
Офисный центр, г. Санкт-Петербург	47253	1201,72	612,5 (90,6)	24,31 (3,5)	676,44 (100)
Жилой комплекс, г. Москва	24515	879,75	1312,45 (97)	11 (1)	1337,63 (100)

* В скобках приведены доли целевого потребления воды в общем объёме водопотребления здания, %.

Значимым потребителем технологической воды в МФК является климатическая техника — холодильные машины и вентиляционные установки. Доля потребления воды на технологические процессы климатической техники, в зависимости от показателей внешней окружающей среды и требуемых показателей внутри помещений, может колебаться в пределах от 1 до 10 % общего суточного водопотребления. В летнее время на полив зелёных насаждений и уборку прилегающих территорий службами эксплуатации в сутки может быть затрачено от 2 до 27 % всей поступающей воды из городского водопровода в МФК.

Учитывая относительно малую долю зелёных насаждений в общей площади застройки МФК (в приведённом примере — не более 15 %), представляется целесообразным рассмотреть возможность использования атмосферных вод, собираемых с кровель зданий и замощённых поверхностей, для технологического водообеспечения при соответствующем их кондиционировании.

Показатели дождевых сточных вод и нормативные требования к их составу для сброса в централизованную систему водостока и в водоёмы в городе Москве, а также требования к качеству воды на полив приведены в табл. 2.

Экологическая оценка показателей сточных вод позволяет определить их как биологически стабильные (отношение БПК/ХПК равно 0,13), содержащие в основном дисперсные примеси. Это обуславливает принципиальную возможность обеспечения потребностей МФК в технической воде частично или полностью за счёт дождевых и талых вод, отводимых по системам водостока.

Выбор методов очистки дождевых и талых вод обуславливается особенностями формирования, химическими и фазово-дисперсными показателями, составами и концентрациями загрязняющих веществ, а также целевым направлением

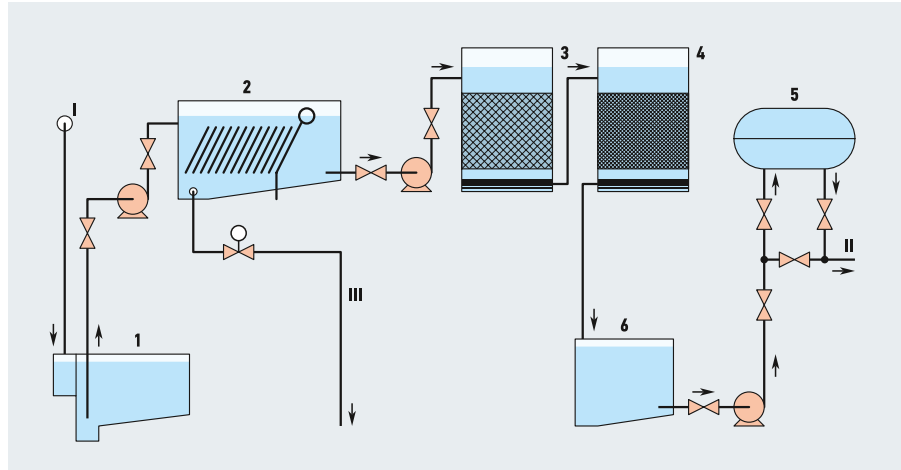


Рис. 1. Принципиальная схема процесса кондиционирования атмосферных вод селитебных территорий (1 — приёмный резервуар сточных вод; 2 — отстойник с тонкослойными модулями; 3 — устройство для фильтрации воды; 4 — устройство для сорбционной очистки воды; 5 — установка для УФ-обеззараживания очищенной воды; 6 — резервуар для хранения очищенной воды; I — поступление воды из системы водостока; II — подача чистой воды потребителю; III — отвод осадка)

их использования. В общем случае для кондиционирования этих видов сточных вод могут быть применены гидромеханические, физико-химические, химические, физические и биологические методы [3].

К проблеме использования атмосферных сточных вод современных МФК возможны два подхода. Первый предполагает использование общего потока воды со всей территории и последующую её очистку до требований целевого применения. Согласно второму — используют воду, отводимую с кровель зданий в накопительные ёмкости, расположенные в нижних частях зданий.

Для применения атмосферных сточных вод в современных МФК возможно как использование общего потока воды со всей территории, с последующей её очисткой, так и использование воды, отводимой с кровель зданий в накопительные ёмкости, расположенные в нижних частях зданий

Для очистки общего потока сточных вод селитебных территорий современной застройки с учётом рекомендаций [3, 6–8] может быть применён технологический процесс по принципиальной схеме, приведённый на рис. 1. Качество очищенной воды соответствует требованиям к системам полива зелёных насаждений.

Предварительная очистка воды осуществляется в приёмных устройствах — воронках, трапах, пескоуловителях, которые находятся в начале коллекторной сети.

Первым элементом установки является сборный резервуар для накопления и хранения воды 1 с отделением для задержания крупных примесей. Далее сточные воды поступают в отстойник 2, где происходит отделение седиментационно неустойчивых загрязняющих веществ.

Осадок удаляется автоматически через трубопровод сброса из нижней части отстойника, а нефтепродукты, образующие масляную плёнку, всплывают на поверхность сорбирующими бонами.

Очистка сточных вод от мелкодисперсных взвешенных веществ происходит в безнапорном фильтре 3. Процесс фильтрации осуществляется в направлении «сверху-вниз». Отфильтрованная вода поступает в блок сорбционной очистки 4, в котором происходит окончательная очистка воды от растворённых нефтепродуктов и других органических веществ.

Далее вода поступает в резервуар очищенной воды 6, откуда подаётся насосами на установку обеззараживания воды 5 и далее по трубопроводам к точкам водоразбора — форсункам системы автоматического полива или поливочным кранам в коверах.

Показатели атмосферных сточных вод и нормативы допустимого сброса

табл. 2

Показатели	Вид атмосферных сточных вод		Нормативы показателей сбрасываемых сточных вод		
	Селитебная территория современной жилой застройки [3]	Кровли зданий и сооружений [3]	В систему водоотведения ГУП «Мосводосток» [4]	В водный объект [5]	В систему полива зелёных насаждений (усредненно)
pH, ед.	7,0–8,0	7,0–8,0	6,0–9,0	6,5–8,5	6,5–8,5
Взвешенные вещества, мг/дм ³	400–650	20	10,75	12 (сред.)	40
БПК _п , мг O ₂ /дм ³	40–60	10	3	2,1	30
ХПК, мг O/дм ³	300–480	80	–	–	50
Нефтепродукты, мг/дм ³	8–12	0,01–0,7	0,05	0,05	0,1
Азот (NH ₄ ⁺), мг/дм ³	–	–	0,4	0,5	5

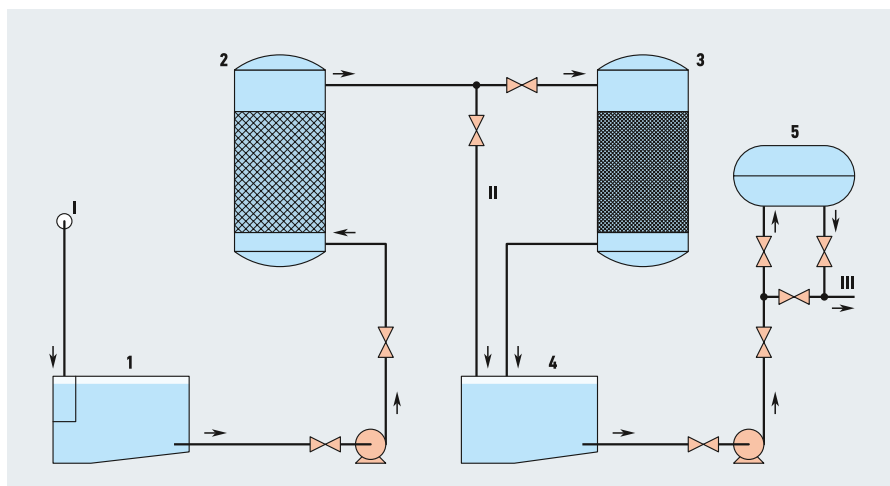


Рис. 2. Принципиальная схема процесса кондиционирования атмосферных вод, отводимых с кровель зданий [1 — резервуар-накопитель в строительном исполнении, рассчитанный на приём дождевой воды в период выпадения дождей и ливней, оснащённый устройством для задержания крупных включений (листья, мусор и т.п.); 2 — устройство для фильтрования воды; 3 — адсорбционный фильтр; 4 — установка для УФ-обеззараживания очищенной воды; 5 — резервуар очищенной воды; I — поступление воды из системы водостока; II — обводной трубопровод; III — подача чистой воды потребителю]

Приведённые в табл. 2 данные показывают, что основные отличия атмосферных вод, собранных с кровельных покрытий зданий, от атмосферных вод, собранных с поверхности земли в черте селитебной территории застройки, заключаются в том, что атмосферные воды, собранные с покрытий зданий, имеют значительно меньшую загрязнённость, как по составу, так и по концентрации загрязняющих веществ. Также их отличие состоит в низком содержании солей жёсткости, железа и малой общей минерализации. Эта особенность создаёт предпосылки частичного или полного обеспечения МФК водой, используемой на технологические нужды посредством сбора дождевых и талых вод с кровель зданий, отводимых по системам внутренних водостоков в приёмный резервуар, расположенный в подземной части стилобата.

Сопоставляя показатели сточных вод, отводимых с селитебных территорий и кровель зданий (табл. 2), можно заключить, что для кондиционирования последней не требуется сложный многоступенчатый процесс. При этом достигаемое качество очищенной воды может соответствовать нормативам использования как для целей ухода за территорией МФК, так и для технологических нужд климатической техники. Целесообразный состав оборудования для кондиционирования атмосферных вод, отводимых с кровель зданий, приведён на рис. 2.

Кондиционирование атмосферных вод, отводимых с кровель зданий для целей полива зелёных насаждений и ухода за территорией, заключается в отделении грубодисперсных примесей и обеззара-

живание воды (рис. 2). Соответственно, после механического фильтрования 2 по обводной линии (III) вода поступает на обеззараживание и далее непосредственно в систему водоразбора.

Подготовка атмосферных вод для технологических нужд климатической техники обуславливается более строгими требованиями к составу воды в части дисперсных примесей и органических веществ. Это условие незначительно усложняет технологический процесс кондиционирования воды и достигается применением фильтра для отделения микродисперсных примесей и включением адсорбционного фильтра 3 перед установкой обеззараживания очищенной воды.

Заключение

Для современной застройки мегаполисов характерны как тенденция к увеличению строительного объёма зданий, так и максимально возможное использование площади участка.



Современные жилые МФК имеют значительный объём суточного потребления воды, как для хозяйственно-питьевых нужд, так и для других функциональных и технологических процессов. Например, в подобных зданиях значительный объём воды (от 2 до 25 %) расходуется на полив зелёных насаждений и покрытий, а также на нужды климатического оборудования (в бизнес-центрах).

Особенности состава атмосферных вод обуславливают целесообразность использования их в системах технического водопотребления МФК с прилегающими территориями.

Перспективное направление рециклинга атмосферных вод в многофункциональных комплексах — использование этих вод в системах полива зелёных насаждений, ухода за твёрдыми покрытиями территорий и обеспечения потребностей климатической техники.

Использование дождевых вод внутри городской застройки уменьшает пиковую нагрузку на централизованные системы водоотведения в период интенсивных дождей, а также позволяет уменьшить потребление воды питьевого качества, тем самым снижая экономические затраты на технологическое водопотребление многофункциональным комплексом. Наиболее важным достоинством данного направления является сохранение воды как ценного природного ресурса. ●

1. Пугачёв Е.А. Водоотведение поверхностного стока современных мегаполисов: монография. — М.: Изд-во «АСВ», 2013. 96 с.
2. 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.
3. Рекомендации по расчёту систем сбора, отведения и очистки поверхностного стока селитебных территорий, площадок предприятий и определению условий выпуска его в водные объекты. — М.: ОАО «ВНИИводгео», 2014. 88 с.
4. Об установлении нормативов состава сточных вод для объектов абонентов ГУП «Мосводосток»: Распоряжение Департамента ЖКХ города Москвы от 07.09.2020 №01-01-14-186/20.
5. Об утверждении нормативов качества воды водных объектов рыбохозяйственного значения, в том числе нормативов предельно допустимых концентраций вредных веществ в водах водных объектов рыбохозяйственного значения» (с изм. на 22.08.2023): Приказ Минсельхоза России от 13.12.2016 №552.
6. Верещагина Л.М. Нормы проектирования систем отведения и очистки поверхностных сточных вод и неурегулированные требования водоохранного законодательства // Водоснабжение и санитарная техника, 2023. №1. С. 19–25.
7. Шукин И.С. Технология очистки и использования поверхностного стока с урбанизированных территорий в условиях холодного климата // Вопросы современной науки и практики, 2015. №2. С. 34–40.
8. Примин О.Г., Верещагина Л.М., Худякова Д.Д. Технологические схемы очистки поверхностных сточных вод с территории городов и поселений // Промышленное и гражданское строительство, 2023. №2. С. 81–86.

References — see page 79.

Features of the formation, disposal and use of atmospheric wastewater in megacities. Pp. 32–35.

Evgeny V. Alekseev, Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of the Department; **Olga V. Bukina**, postgraduate student, the Department of Water Supply and Water Disposal, Moscow State University of Civil Engineering (MGSU)

1. E.A. Pugachev. *Vodootvedenie poverhnostnogo stoka sovremennykh megapolisov: monografiya* [Water disposal of surface runoff in modern megacities: A monography]. Moscow. Izd-vo "ASV" [Publishing House of the Association of Construction Universities ("ASV" Publishers)]. 2013. 96 p. [In Russian]
2. Ju.A. Feofanov, B.G. Mishukov. *Osobennosti formirovaniya sostava poverhnostnykh stochnykh vod i vybor sooruzhenij po ikh oчитке* [Features of the formation of the composition of surface wastewater and the choice of structures for their treatment]. *Voda i jekologiya: problemy i reshenija* ["Water and Ecology: Problems and Solutions" Magazine]. 2017. No. 3. Pp. 49–66. [In Russian]
3. *Rekomendatsii po raschetu sistem sbora, otvedeniya i oчитки poverhnostnogo stoka selitebnykh territorij, ploshhadok predpriyatij i opredeleniju uslovij vypuska ego v vodnye ob#ekty* [Recommendations for calculating systems for collecting, draining and purifying surface runoff from residential areas, enterprise sites and determining the conditions for its release into water bodies]. Moscow. AO "NII Vodgeo" ["NII VODGEO", JSC]. 2014. 88 p. [In Russian]
4. *Ob ustanovlenii normativov sostava stochnykh vod dlja ob#ektov abonentov GUP "Mosvodostok"* [On establishing standards for the composition of wastewater for the facilities of subscribers of the "Mosvodostok" State Unitary Enterprise]. *Rasporjazhenie Departamenta zhilishhno-kommunal'nogo khozjajstva goroda Moskvy ot 07.09.2020 №01-01-14-186/20* [The Order of the Department of Housing and Communal Services of the city of Moscow No. 01-01-14-186/20 of September 7, 2020]. [In Russian]
5. *Ob utverzhdenii normativov kachestva vody vodnykh ob#ektov rybkhozjajstvennogo znachenija, v tom chisle normativov predel'no dopustimnykh koncentratsij vrednykh veshhestv v vodakh vodnykh ob#ektov rybkhozjajstvennogo znachenija* (s izm. na 22.08.2023) [On approval of water quality standards for water bodies of fishery importance, including standards for maximum permissible concentrations of harmful substances in the waters of water bodies of fishery importance" (as amended as of August 22, 2023)]. *Prikaz Minisel'khoza Rossii ot 13.12.2016 №552* [The Order of the Ministry of Agriculture of Russia No. 552 of December 13, 2016]. [In Russian]
6. L.M. Vereshchagina. *Normy proektirovaniya sistem otvedeniya i oчитки poverhnostnykh stochnykh vod i neuregulirovannye trebovaniya vodookhrannogo zakonodatel'stva* [Standards for the design of systems for the disposal and treatment of surface wastewater and unsettled requirements of water protection legislation]. *Vodosnabzhenie i sanitarnaja tekhnika* ["Water Supply and Sanitary Technology" Magazine]. 2023. No. 1. Pp. 19–25. [In Russian]
7. I.S. Shchukin. *Tekhnologija oчитки i ispol'zovaniya poverhnostnogo stoka s urbanizirovannykh territorij v uslovijakh kholodnogo klimata* [Technology of purification and use of surface runoff from urbanized areas in cold climates]. *Voprosy sovremennoj nauki i praktiki* ["Issues of Modern Science and Practice" Magazine]. 2015. No. 2. Pp. 34–40. [In Russian]
8. O.G. Primin, L.M. Vereshchagina, D.D. Khudyakova. *Tekhnologicheskie shemy oчитки poverhnostnykh stochnykh vod s territorij gorodov i poselenij* [Technological schemes for treating surface wastewater from the territory of cities and settlements]. *Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitel'stvo* ["Industrial and Civil Construction" Magazine]. 2023. No. 2. Pp. 81–86. [In Russian]