

ПРОЕКТИРОВАНИЕ И СТРОИТЕЛЬСТВО ДОРОГ, МЕТРОПОЛИТЕНОВ, АЭРОДРОМОВ, МОСТОВ И ТРАНСПОРТНЫХ ТОННЕЛЕЙ

ENGINEERING AND CONSTRUCTION OF ROADS, SUBWAYS, AIRDROMES, AND TUNNELS

Вестник Томского государственного
архитектурно-строительного университета.
2024. Т. 26. № 6. С. 160–175.

ISSN 1607-1859 (для печатной версии)
ISSN 2310-0044 (для электронной версии)

Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo
arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta –
Journal of Construction and Architecture.
2024; 26 (6): 160–175.
Print ISSN 1607-1859
Online ISSN 2310-0044

НАУЧНАЯ СТАТЬЯ

УДК 625.745:625.73:504.17

DOI: 10.31675/1607-1859-2024-26-6-160-175

EDN: QYUKPH

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ СИСТЕМЫ ВОДООТВОДА С АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ В СИБИРСКОМ РЕГИОНЕ

**Виктор Николаевич Лукашевич, Ольга Дмитриевна Лукашевич,
Алексей Владимирович Черемных, Елена Юрьевна Осипова**
*Томский государственный архитектурно-строительный университет,
г. Томск, Россия*

Аннотация. Негативными последствиями глобального изменения климата и быстрой урбанизации среди прочих является необходимость борьбы с городскими наводнениями, подтоплениями, а также повышения уровня безопасности сооружений, прилегающих к водным объектам, из-за смыва в них ливневых сточных вод и городского мусора. Решение данных проблем происходит медленно и малоэффективно. Это объясняется суровыми климатическими условиями для большей части территории и ростом числа аномальных ливней, недостаточным финансированием строительства ливневых систем со стороны государства и бизнес-структур, несовершенством нормативно-правовой базы, в основе которой заложены устаревшие сведения для расчета проектов.

Актуальность исследования обусловлена необходимостью совершенствования системы отведения атмосферных сточных вод с поверхности автомобильных дорог и урбанизированных зон, особенно в условиях аномального объема дождевых вод.

Цель работы – оценка эколого-экономического и технологического потенциала доступных отечественных и зарубежных технологий для обеспечения эффективного ливневого водоотвода и первичной очистки поверхностных стоков.

Задачи исследования: проанализировать современное состояние и перспективы реализации лучших зарубежных практик сбора и удаления ливневых стоков с урбанизированной территории, эффективных водоотводных устройств; выявить и дать сравнительную оценку практик, наиболее приемлемых для условий континентального климата с продолжительным холодным периодом и значительным количеством осадков; предложить мероприятия, повышающие эффективность ливневого водоотвода.

Методы. В работе применены теоретические методы исследования: изучение литературных источников, теоретический анализ, междисциплинарный синтез, методы логических обобщений, патентный анализ, поисковые и статистические методы.

Результаты. Освещены зарубежные достижения и проблемы в сфере функционирования водоотвода от городских автомобильных дорог и очистки ливневых вод. Выявлен тренд повышения интереса к биофильным инженерным технологиям, предусматривающим стадии сбора и отведения поверхностной сточной воды, первичной ее очистки, а также обеспечения испарения или инфильтрации в глубокие водоносные горизонты.

Проанализировано состояние проблемы водоотвода в России. Приведены данные о современных технических средствах, способных обеспечить организацию системы дорожного водоотвода и при необходимости – очистки ливневых сточных вод. Выявлены основные причины неудовлетворительного состояния и недостаточности систем дорожного водоотвода. Предложены возможные варианты технических решений для повышения эффективности сбора и отведения ливневых вод.

Сформулированы выводы о путях выхода из кризисной ситуации на примере г. Томска (Западная Сибирь). Предложена конструкция для улучшения сбора и отведения атмосферных вод с дорожных участков.

Выводы. Систематизация и обобщение подходов к борьбе с избыточными городскими ливневыми водами служат основой для совершенствования современных российских систем водоотвода. Зарубежный опыт отвода, изолирования, утилизации ливневых вод может применяться и получить развитие в разных природно-климатических зонах России при условии учета специфики их геоэкологической обстановки.

Ключевые слова: автомобильная дорога, атмосферные сточные воды, водосток, подтопление, очистка ливневых вод, водоприемник, меры по использованию городских дождевых вод, контроль загрязнения ливневых стоков

Для цитирования: Лукашевич В.Н., Лукашевич О.Д., Черемных А.В., Осипова Е.Ю. Совершенствование системы водоотвода с автомобильных дорог в Сибирском регионе // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. 2024. Т. 26. № 6. С. 160–175. DOI: 10.31675/1607-1859-2024-26-6-160-175. EDN: QYUKPH

ORIGINAL ARTICLE

ROAD DRAINAGE SYSTEM DEVELOPMENT IN A SIBERIAN CITY

Viktor N. Lukashevich, Olga D. Lukashevich, Aleksei V. Cheremnykh,
Elena Yu. Osipova

Tomsk State University of Architecture and Civil Engineering, Tomsk, Russia

Abstract. Negative consequences of global climate change and rapid urbanization are problems of combating urban floods, underflooding and increasing the safety of adjacent water bodies due to the washout of storm water and municipal waste. These problems are being solved slowly and ineffectively. This is explained by harsh climatic conditions in a large number of territories, higher number of abnormal rainfalls, insufficient financial injections into the construction of storm systems from the state and business structures, imperfection of regulatory

documents based on outdated information for calculating projects. Conclusions are formulated on ways out of the crisis situation in the city of Tomsk (Western Siberia). It is proposed to improve the collection and drainage of atmospheric water from road sections.

The relevance of the work is associated with the improvement of the system of atmospheric wastewater removal from the road pavement and urbanized areas, especially at abnormal volumes of rainwater.

Purpose: The aim of the work is to assess environmental, economic and technological potential of Russian and foreign techniques to ensure effective storm water drainage and primary treatment of surface runoff.

Methodology/approach: The analysis of the current state and prospects for the implementation of the best foreign practices for collecting, removing from urbanized areas, effective water drainage devices; comparative assessment of practices that are most suitable for continental climate conditions with a long cold period and significant amounts of precipitation; measures to improve the efficiency of storm water drainage; theoretical research of literary sources, theoretical analysis, interdisciplinary synthesis; methods of logical generalizations, patent analysis, search and statistical methods.

Research findings: The paper highlights foreign achievements and problems of drainage and storm water treatment from urban roads. Increasing interest in biophilic engineering technologies includes stages of collection and removal of surface runoff water, its primary treatment, and evaporation or infiltration into deep aquifers. The state of the drainage problem in Russia is considered herein. Modern technical means capable of organizing a road drainage system and, if necessary, treating storm water are investigated. The main reasons for the unsatisfactory condition and insufficiency of road drainage systems are identified.

Practical implications: Systematization and generalization of approaches to combating excess urban storm water serve as the basis for improving modern drainage systems in Russia. Foreign experience in draining, isolating, and recycling storm water can be used and developed in different natural and climatic zones of Russia with respect to the specifics of their geocological situation.

Keywords: road, atmospheric waste water, drain; flooding, storm water treatment, water receiver, urban rainwater, water pollution control

For citation: Lukashovich V.N., Lukashovich O.D., Cheremnykh A.V., Osipova E.Yu. Road Drainage System Development in a Siberian City. Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta – Journal of Construction and Architecture. 2024; 26 (6): 160–175. DOI: 10.31675/1607-1859-2024-26-6-160-175. EDN: QYUKPH

Введение

Актуальность. По прогнозам ООН, к 2030 г. 60 % всего жилья будет находиться на городских территориях, при этом каждый третий человек – проживать в городе с населением не менее 500 000 чел. Интенсивная урбанизация имеет своим следствием увеличение непроницаемых для воды городских поверхностей. Это существенно изменяет естественный гидрологический цикл на урбанизированных территориях. Городские наводнения стали проявлять себя в последнее десятилетие как катастрофические явления в мировом масштабе [1, 2]. Происходит разрушение объектов инфраструктуры, загрязнение уличными отходами природной среды. Зарубежные исследователи из стран с низким уровнем водных ресурсов на душу населения ставят и решают проблему возможности эффективного водоотвода, очистки и дальнейшего использования дождевых вод в водохозяйственной системе.

По данным Росстата и «МосводоканалНИИпроект», из-за неудовлетворительной работы ливневых систем водоотвода в 982 из 1092 российских горо-

дов регулярно происходят подтопления (затопления). По данным за 2022 г., из 280 тыс. км городских улиц длина дорог, оборудованных водостоками, составляла 36 тыс. км, т. е. лишь 13 %. При этом даже на участках с имеющимся водоотводом часто происходит подъем воды на дорогах и тротуарах из-за плохого состояния водопрпускных конструкций, дренажных систем.

По словам заместителя Председателя Правительства Российской Федерации Марата Хуснуллина¹, износ ливневой канализации в большинстве городов составляет 60–90 %. Фактически она находится в неудовлетворительном состоянии. В результате негативное воздействие оказывается на окружающую среду, здоровье и имущество горожан.

В 2022 г. в Минстрое России был разработан долгосрочный поэтапный план модернизации ливневых систем. Он предусматривает более строгое регламентирование соблюдения коммунальными службами нормативов при эксплуатации ранее созданных водоотводящих сетей, минимизацию объемов атмосферных осадков за счет использования экопарковок и водопроницаемых покрытий.

Регионы должны в обязательном порядке провести полную ревизию систем ливневой канализации на своих территориях в 2023–2026 гг., создать проекты их развития, построить новые или модернизировать существующие объекты в рамках федеральной программы «Модернизация коммунальной инфраструктуры» в 2024–2030 гг.²

Вместе с тем итоги 2023–2024 гг. в контексте экобезопасности ливневой канализации по сибирским городам не позволяют считать результаты успешными.

Цель работы – оценка эколого-экономического и технологического потенциала доступных отечественных и зарубежных технологий для обеспечения эффективного ливневого водоотвода и первичной очистки поверхностных стоков.

Задачи исследования:

– проанализировать современное состояние и перспективы реализации лучших зарубежных практик сбора и удаления воды с урбанизированной территории, эффективных водоотводных устройств;

– выявить и дать сравнительную оценку практик, наиболее приемлемых для условий континентального климата с продолжительным холодным периодом и значительным количеством осадков;

– предложить мероприятия, повышающие эффективность ливневого водоотвода.

Методы исследования

В работе применены теоретические методы исследования: изучение литературных источников, теоретический анализ, междисциплинарный синтез, методы логических обобщений, патентный анализ, поисковые и статистические методы.

¹ Эксперты обсудили «дорожную карту» модернизации ливневой системы в городах России // Гост Ассистент: сайт. URL: <https://gostassistant.ru/news/488-eksperty-obsudili-dorozhnyuyu-kartu-modernizacii-li>

² Модернизацию «ливневок» могут включить в новый этап нацпроекта «Экология» // Всё о стройке: сайт. URL: <https://xn--b1agapfwapqcl.xn--p1ai/modernizacziyu-livnevok-mogut-vklyuchit-v-novyj-etap-naczproekta-ekologiya/>

Результаты и их обсуждение

Анализ доступных зарубежных и отечественных публикаций, посвященных управлению городскими поверхностными сточными (ливневыми) водами [3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15], позволил выделить несколько трендов в исследованиях. Ниже приведены те из них, которые рассмотрены в большей части исследований.

1. *Концепция городов-губок (Sponge City)*. Предполагается, что города должны действовать подобно губкам, поглощая воду во время ливней и наводнений и высвобождая её во время засухи. Для этого необходимо сохранять природную среду, создавая условия для естественного круговорота воды, и применять экологически устойчивые способы преобразования серой инфраструктуры (плотины, дамбы и системы ливневой канализации) в зелёную инфраструктуру [2, 4].

Дождевая вода на городской территории впитывается «губчатыми телами», роль которых играют почва, растительность, водные объекты. В них происходит депонирование и самоочищение воды. Такая вода впоследствии может испаряться в жаркую погоду, создавая комфортные условия горожанам, а также использоваться на нужды города. «Губчатыми телами» являются парки-губки, пешеходные либо велосипедные дорожки, вымощенные дренажным бетоном, водопроницаемым кирпичом или другим водопроницаемым покрытием (например, изготовленным из отходов каучука, отсева горных пород и связующего). Для мощения могут быть использованы различные материалы, уложенные на слой песка в виде плиток, тротуарных блоков, камней, при условии, что зазоры между ними будут обеспечивать просачивание воды.

2. *Совершенствование защитных сооружений от воздействия воды*. Исследования по этому направлению посвящены разработке средств защиты автомобильной дороги от воздействия атмосферных осадков в штатных и штатных ситуациях (при затоплениях и подтоплениях) путем повышения прочности и устойчивости конструктивных элементов дороги [8, 11, 14, 15]. В 2022 г. на территории РФ вступил в силу новый стандарт ГОСТ Р 59433–2021 «Дороги автомобильные общего пользования. Сооружения защитные от воздействия воды. Общие технические требования». Он регламентирует процедуры проведения всех защитных мероприятий на автомобильных дорогах «для обеспечения сохранности автомобильной дороги от отрицательного воздействия воды при воздействии опасных гидрогеологических и природных явлений».

3. *Создание новых и модернизация существующих конструкций и отдельных элементов системы ливневой канализации: дождеприемных колодцев, трубопроводной арматуры, ливневых решеток и лотков* [12, 13, 16, 17].

Во многом в России заимствуется передовой опыт западноевропейских стран с близкими погодно-климатическими условиями (Европейский стандарт BS EN 752:2017. Drain and sewer systems outside buildings. Sewer system management. 2017. p.128).

4. *Ревизия и совершенствование устаревших типовых методов проектирования*. Необходимы углубленный анализ и обобщение ранее регламентированной методологии расчетов схем водоотвода с проезжей части дорог, более

детальное рассмотрение вариантов типового и индивидуального проектирования систем ливневой канализации. Это связано с особенностями гидрологического обоснования дорожного водоотвода в меняющихся климатических условиях [18]. Устаревшие ливневые карты и непредсказуемые периоды длительных обильных дождей, проявляющие себя в последние годы, не позволяют в полной мере использовать в расчетах методическую базу проектирования водоотвода с дорог, созданную на основе систематизации достижений инженерной геологии, гидрологии, геоэкологии в 1960–80-х гг. [19, 20].

В современной научной литературе практически не встречается монографий с глубоким теоретическим осмыслением результатов воздействия наблюдающихся климатических изменений на строительную отрасль. Опубликованные статьи чаще всего посвящены отдельным частным случаям, например, связанным с оттаиванием ранее мерзлых грунтов, или примерам построения математических моделей, которые в силу необходимости могут пренебречь несколькими факторами для упрощения (создания идеального объекта) и не отражают в полной мере процессы в системе «ливневая канализация города – автомобильная дорога – уличные пространства» [19, 20, 21]. Подходы к методам создания моделей, имитирующих поверхностный сток, представлены в работах [5, 18, 22]. В статьях [19, 21] дана оценка применимости зарубежных нормативно-методических документов к российским реалиям и указаны причины расхождения в расчетных характеристиках при определении расходов и диаметров самотечной сети дождевой канализации.

5. *Экономическое обоснование и менеджмент.* Примером этого направления исследований служит монография [13]. Авторским коллективом сделан вывод, что многолетняя негативная ситуация с ливневыми потоками в российских городах связана с рядом факторов. Это нехватка достоверных сведений о состоянии инфраструктуры водоотведения поверхностных стоков; непонимание городскими администрациями реального состояния межведомственного взаимодействия в вопросах строительства и содержания ливневой канализации; отсутствие надежных механизмов менеджмента и финансирования соответствующей инженерной инфраструктуры; недостаточное внимание к зарубежным трендам и положительному опыту других стран. В рассматриваемой работе [13] на основании сведений о системах ливневой канализации в 85 российских городах, отличающихся численностью населения, экономическими, географическими, природно-климатическими условиями, сделаны выводы, заслуживающие внимания в контексте темы настоящей статьи.

Отмечается пренебрежительно малая корреляция между длиной инженерных сетей ливневой канализации и численностью населения города; худшее функционирование ливневой сети в крупных городах, по сравнению с малыми; разный объем финансовых затрат на содержание сетей отведения ливневых стоков. В целом сделано заключение об отсутствии системности и слабой изученности российской практики управления поверхностными стоками [13]. Следует согласиться, что вместо устойчивых, стратегических преобразований в исследуемой сфере наблюдаются разовые вынужденные мероприятия в режиме выполнения аварийных работ, тесно связанных с сезонными климатическими проявлениями, чаще стихийного (катастрофического) характера.

В табл. 1 приведена оценка возможности реализации зарубежного опыта управления городскими поверхностными сточными водами в российских условиях. В качестве примера исследовано несколько критериев, без учета технических аспектов проблемы.

Таблица 1

**Выбор критериев для оценки причин и последствий затопления
улично-дорожной сети и выработки мероприятий
по управлению городскими поверхностными водами**

Table 1

**Evaluation criteria for causes and consequences of road network flooding
and measures for urban surface water management**

Критерий, сфера его приложения	Обоснование критерия	Потенциальная возможность использования в российских условиях
Сохранение и реабилитация окружающей среды по модели «ливневый сад»	Сотрудничество и скоординированные действия междисциплинарной команды инженеров-строителей, ландшафтных дизайнеров, проектировщиков, ученых-экологов	Применимо, продуктивно для реализации комплексного подхода в проектировании. Препятствием является ведомственная разобщенность специалистов
Стратегическое планирование	Сохранение и улучшение природной и социальной среды через реализацию экологической политики, передового опыта на отдаленную межпоколенческую перспективу	Соответствует экологическому законодательству и действующим нормативам. Имеется определенный положительный опыт в управлении ландшафтом, проектировании с учетом жизненного цикла автомагистрали
Экологическая безопасность: мониторинг, контроль, оценка	Разработка показателей экологической результативности мероприятий обеспечивает эффективное управление экологической ситуацией. Процедуры и принципы мониторинга – важная часть оценки экологических показателей	Российские показатели разработаны, продолжается их совершенствование, актуализируются новые критерии. Недостаток: методические руководства по их применению носят рекомендательный характер, следовательно, могут не выполняться
Обеспечение комфорта и безопасности для пассажиров, водителей, пешеходов, жителей придорожных домов	Ревизия, обновление на основе компромиссного решения противоречий ведомственных нормативно-правовых документов. Придание документам обязательного, а не рекомендательного статуса	Вопросам безопасности в последние 7 лет уделяется большое внимание государственных структур, ситуация улучшается (по данным Росстата), реализуются нацпроекты «Жилье и городская среда», «Безопасные и качественные дороги»
Использование новейших цифровых технологий в сфере управления ливневыми стоками	Новые проекты должны создаваться на основе системного подхода, с использованием моделирования, автоматизированного сбора и передачи данных	Активно внедряется крупными компаниями, но недоступно мелким региональным организациям. Ощущается нехватка квалифицированных кадров

На федеральном и ведомственном уровне нормативно-правовая база, касающаяся строительства, содержания и эксплуатации ливневой канализации, разработана достаточно подробно. Предусмотрено, что проектирование ливневой канализации проводится в соответствии с генеральными планами городов и поселений, основывается на проектах планировки и застройки районов. Учитываются ряд требований к очистке сточных вод перед сбросом в объекты окружающей среды, характер рельефа и климата, а также особенности геологических, гидрологических, экологических факторов (ГОСТ Р 59611–2021 «Дороги автомобильные общего пользования. Система водоотвода»; приказ Минстроя России от 25.12.2018 № 860/пр «Об утверждении СП 32.13330.2018 «СНиП 2.04.03-85 Канализация. Наружные сети и сооружения»; «Рекомендации по расчету систем сбора, отведения и очистки поверхностного стока сели-тебных территорий, площадок предприятий и определению условий выпуска его в водные объекты»; дополнения к СП 32.13330.2018; ОДМ 218.8.005–2014 «Методические рекомендации по содержанию очистных сооружений на автомобильных дорогах» и др.).

Представляет интерес опыт ГУП «Водоканал Санкт-Петербурга»³. В рамках проекта RAINMAN разрабатывается технико-экономическое обоснование мероприятий по адаптации городских систем водоотведения к изменяющимся климатическим условиям: уменьшение коэффициентов стока благодаря внедрению водопроницаемых покрытий, корректирование проектировочных нормативов, оптимизация потоков и емкостей при водоотведении.

Из перечисленных возможностей административно-правового, экономического и технико-технологического пути управления городскими поверхностными сточными (ливневыми) водами рассмотрим те, которые представляют интерес для условий г. Томска – крупного города, областного центра в Западной Сибири. Результаты такого исследования могут быть распространены на другие сибирские города с населением 300–400 тыс. жителей и сходными природно-климатическими условиями.

Томск расположен в природной зоне таежных лесов (более детально – средней и южной тайги с небольшими включениями лиственных и смешанных лесов) с гумидным климатом. Для этой зоны характерно избыточное количество поверхностной влаги как результат взаимного влияния и комбинации метеорологических и гидрогеоэкологических условий, особенностей рельефа (резкие перепады температур, низкие зимние температуры, неравномерное распределение осадков по сезонам года и декадам, перенасыщенность водой верхних горизонтов, склонность к образованию многочисленных оврагов и др.). Негативные ситуации усугубляются в последнее десятилетие, когда за сутки может выпасть 60–70 % от месячной нормы осадков.

Как следствие, автомобильные дороги на протяженных участках в разных районах города испытывают длительное переувлажнение. При этом ливневые сточные воды на дорогах и соседствующих улицах загрязнены нефте-

³ Адаптация систем водоотведения Санкт-Петербурга к интенсификации атмосферных осадков в условиях изменения климата // Voda News: сайт. URL: <https://vodanews.info/adaptaciya-sistem-vodootvedeniya-sankt-peterburga-k-intensifikacii-atmosferyh-osadkov-v-usloviyah-izmeneniya-klimata/>

продуктами и другими органическими веществами (микрочастицы каучука, поверхностно-активные вещества, растворители и эмульгаторы, компоненты антифризов, используемые при обработке и очистке автомобилей). Отрицательное воздействие оказывают также компоненты дорожных антигололедных смесей, тяжелые металлы. Все указанные загрязнители негативно влияют на характеристики земляного полотна и дорожной одежды. При сбросе без очистки ливневых вод на рельеф или в открытые водоемы наносится значительный вред почвенным и водным экосистемам.

Состояние системы ливневой канализации в г. Томске вызывает серьезные нарекания со стороны транспортного сектора, горожан – автомобилистов и пешеходов. Социальные сети последние 20 лет заполнены фотографиями, иллюстрирующими негативные последствия для уличной инфраструктуры весеннего снеготаяния и летне-осенних дождей (рис. 1).



Рис. 1. Состояние участков автомобильных дорог в г. Томске летом 2024 г. после интенсивных дождей

Fig. 1. Negative condition of road sections in Tomsk in summer 2024 (photo by the authors)

Ливневая канализация начала строиться в Томске с 1960 г., достигнув общей протяженности 202 км (диаметр – 100–1650 мм). 9 % сетей построено в период 1960–1970 гг., 32 % – в 1970–1980 гг., 35 % – в 1980–1990 гг., 21 % – в 1990–2000 гг., 3 % – в 2000–2014 гг.). Большая часть труб изготовлена из железобетона, 29 % – из асбоцемента, доля труб из других материалов указана в табл. 2.

Изначально и до настоящего времени ливневая канализация не покрывает потребности города в полной мере и характеризуется высокой (30–90 %) степенью износа. В соответствии с этим требуется реконструкция участков трубопроводов ливневой канализации, а также дренажных систем для повышения качества водоотведения.

По ситуации на 2024 г. отведение ливневых сточных вод с территории г. Томска осуществляется по самостоятельной сети водоотведения (полная раздельная система водоотведения сточных вод). Сбор и транспортировка поверхностных сточных вод (совокупности дождевых, снеготалых, дренажных, поливочных вод) производится по самотечным коллекторам с установленными на них канализационными насосными станциями. Атмосферные воды посту-

пают в систему водоотведения через дождеприемные колодцы, действующие на коллекторах ливневой канализации. По коллекторам поверхностные сточные воды поступают через водовыпуски в естественные водные объекты, расположенные на территории города. Водовыпуски не оборудованы очистными сооружениями, что негативно сказывается на качестве воды в реках и озерах.

Таблица 2

Характеристика сетей ливневой канализации по типам материала труб

Table 2

Pipe materials for storm water drainage networks

Материал	% от всего количества
1. Железобетон	51,25
2. Асбоцемент	29
3. Чугун	6,25
4. Керамика	5,5
5. Сталь	5,5
6. Корсис (ПЭ)	2,25
7. Полиэтилен	0,25

Дренажная сеть представляет собой систему, включающую открытую и закрытую части. По сведениям, полученным при масштабной инвентаризации ливневой канализации в 2018 г., состояние колодцев, водосборных лотков, трубопроводов в основном удовлетворительное.

Вместе с тем во время экстремальных осадков ливневая канализация работает неудовлетворительно. В ряде районов города даже при необильных дождях наблюдается подтопление придомовых и дворовых участков, размывается грунт, разрушается асфальтобетонное покрытие. Это может свидетельствовать о неудовлетворительном состоянии коллекторов, повреждениях и загрязнении труб, колодцев песком, бытовым и растительным мусором. Развитию подтопления способствуют особенности рельефа, плохие фильтрационные характеристики грунта, близкое залегание грунтовых вод, большая доля территорий, сверху «запечатанных» водонепроницаемыми покрытиями, препятствующими естественной инфильтрации воды.

Выполнена попытка применения системного анализа к рассматриваемой в статье проблеме. Результаты проведенного исследования представлены на рис. 2 в виде системы элементов, которые в совокупности способны обеспечить условия ливневой безопасности автомобильной дороги.

Показанные на рис. 2 элементы не могут считаться исчерпывающими и единственно верными. Значение каждого из них проанализировано в работах других авторов [1, 5, 8, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 19]. В качестве примера ниже рассмотрены конкретные технические решения, использование которых способно повысить эффективность ливневой канализации без больших финансовых затрат на реконструкцию.

На рис. 3, 4 приведены иллюстрации, поясняющие описание к патентам на полезные модели RU 173885 и RU 133853. Размещение таких устройств на требующих особого внимания участках позволит улучшить работу ливневой сети.

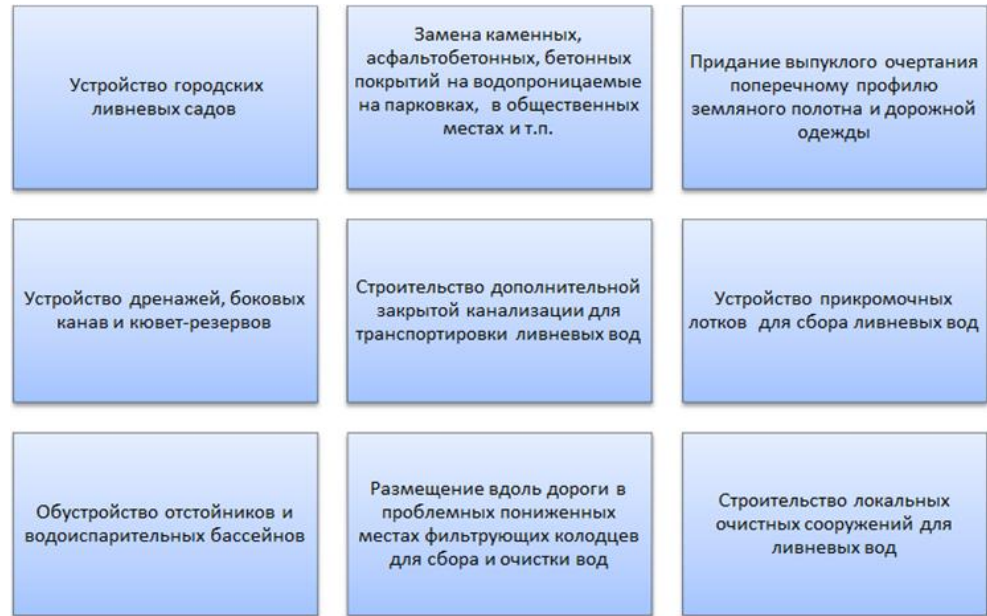


Рис. 2. Элементы комплексного обеспечения ливневой безопасности автомобильной дороги
Fig. 2. Elements of integrated provision of storm water safety of the road

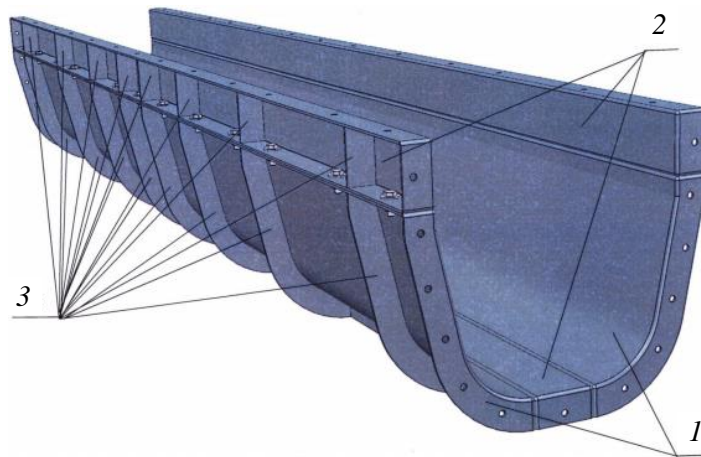


Рис. 3. Водоотводный лоток из прочного коррозионно-стойкого композиционного материала, включающий длинномерные элементы 1, 2 с ребрами жесткости 3 по патенту на полезную модель RU 173885 [16]

Fig. 3. Drainage channel made of durable corrosion-resistant composite material, including long elements (1, 2) with stiffening ribs (3) according to the utility model patent RU 173885 [18]

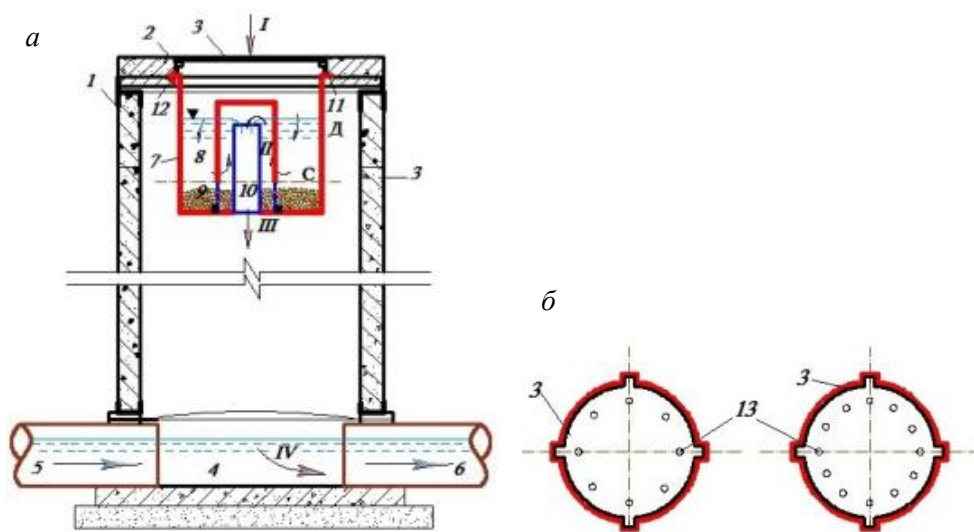


Рис. 4. Устройство для приема поверхностного стока в систему канализации (а) и крышка люка к нему (б) по патенту на полезную модель RU 133853 [17]:

1 – колодец; 2 – люк; 3 – крышка люка; 4 – лоток; 5 – трубопровод подвода сточных вод; 6 – трубопровод отвода сточных вод; 7 – глухой в нижней и открытый в верхней части съемный водоприемный цилиндр; 8 – внутренний глухой в верхней и открытый в нижней части водоотводной цилиндр; 9 – прорези; 10 – водоотводная труба; 11 – герметичное соединение; 12 – крепление; 13 – водоприемные отверстия; I – поступление в колодец; II – поступление во внутренний водоотводной цилиндр; III – отведение вод по водоотводной трубе; IV – отведение вод в трубопровод сети водоотведения; Д – режим отведения поверхностных вод; С – режим сухой погоды

Fig. 4. Device for receiving surface runoff into sewerage system (a) and manhole cover (b) according to the to the utility model patent RU 133853 [17]:

1 – well; 2 – manhole; 3 – manhole cover; 4 – tray; 5 – sewage water supply pipeline; 6 – sewage water drainage pipeline; 7 – withdrawable water intake cylinder blind at the bottom and open at the top; 8 – internal water intake cylinder blind at the top and open at the bottom; 9 – slots; 10 – drainage pipe; 11 – tight joint; 12 – fastening; 13 – water intake holes; I – well inflow; II – internal drainage cylinder inflow; III – water discharge through the drainage pipe; IV – water discharge into the drainage network pipeline; D – surface water discharge; C – dry weather mode

Для отвода воды с дорожного покрытия можно предложить ливневый отвод открытого типа (рис. 5).

Он предназначен для предотвращения скопления воды на поверхности проезжей части городских улиц. Открытые ливневые отводы устанавливаются по краям проезжей части дороги и отделяются от нее металлическими ограждениями с целью недопущения проезда автотранспорта по обустроенной полосе ливневого отвода. Со стороны тротуаров ливневый отвод отделяется бордюром, что препятствует попаданию сточных вод на тротуар. С целью удобного обслуживания и осмотра ливневый отвод монтируется из бетонных водоотводных лотков марки Л-10-7,5 (Б-1-20-75) открытого типа. Обслуживание (очистка лотков от снега, пыли и листьев) возможно механизированным способом.

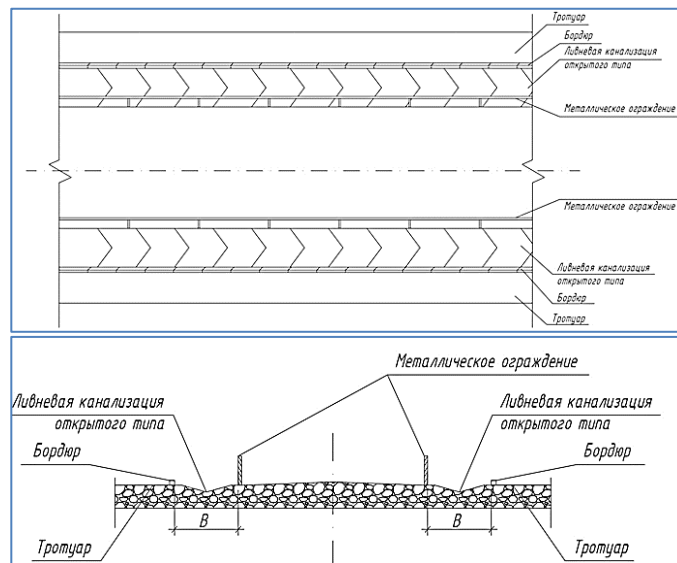


Рис. 5. Схема устройства ливневой канализация открытого типа
 Fig. 5. Schematic of open-type storm sewer system

Ширина ливневого отвода выбирается в соответствии с габаритной шириной колесного мини-погрузчика типа Bobcat. Монтаж ливневого отвода открытого типа менее трудоемок и более безопасен по сравнению с подземным вариантом.

Заключение

Зарубежными авторами, изучавшими вопросы устойчивости городской водной инфраструктуры в условиях современных климатических вызовов, показана необходимость перестройки процесса проектирования и эксплуатации городских систем водоотведения для адаптации к возможным крупномасштабным разрушительным водно-экологическим бедствиям.

Представляется перспективным применение концепции городов-губок как природосообразного приема для использования городских водоносных горизонтов, обладающих достаточным инфильтрационным потенциалом, в качестве естественных резервуаров для атмосферных вод. Непроницаемые покрытия автомобильных дорог, прилегающих к ним объектов инфраструктуры, тротуаров, площадок – все это блокирует естественную инфильтрацию и подпитку городских верхних водоносных горизонтов, которые, в отличие от горизонтов, находящихся в ненарушенных условиях, пополняются только за счет протечек в трубах и резервуарах, избыточного орошения или просачивания осадков из парков и клумб. Размещение устройств для инфильтрации (тротуары и автостоянки из водопроницаемых материалов и др.) обходится дешевле, чем монтаж подземных труб и резервуаров, мониторинг инфраструктуры для транспортировки, накопления и очистки собранной воды.

При проектировании системы сбора и очистки поверхностного стока представляют трудность расчеты максимальных объемов ливневых вод, учет

изменившихся параметров, указанных в устаревших методических изданиях. Результаты неточных расчетов создают препятствия для правильной оценки объемов поверхностных сточных вод, поступающих на очистные сооружения или сбрасываемых в водотоки и на рельеф.

Важно также знать необходимые для проектирования характеристики технологических схем локальных очистных сооружений с учетом наилучших доступных технологий.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. *Kea K., Dymond R., Campbell W.* An analysis of patterns and trends in United States stormwater utility systems // *JAWRA Journal of the American Water Resources Association*. 2016. V. 52. № 6. P. 1433–1449. DOI: 10.1111/1752-1688.12462
2. *Peng Y., Reilly K.* Using nature to reshape cities and live with water: an overview of the Chinese Sponge City programme and its implementation in Wuhan // European project, Grow Green. 2021.
3. *Bertram N.P. et al.* Synergistic benefits between stormwater management measures and a new pricing system for stormwater in the City of Hamburg // *Water Science and Technology*. 2017. V. 76. № 6. P. 1523–1534. DOI: 10.2166/wst.2017.337
4. *Geyler S., Bedtke N., Gavel E.* Sustainable stormwater management in existing settlements – Municipal strategies and current governance trends in Germany // *Sustainability*. 2019. V. 11. № 19. P. 5510. DOI: 10.3390/su11195510
5. *Walski T.M., Barnard T.E., Harold E., et al.* Wastewater collection system modeling and design. Bentley Institute Press : Pennsylvania USA: Exton, 2007. 606 p.
6. *Kus B., Kandasamy J., Vigneswaran S., et al.* Analysis of first flush to improve the water quality in rainwater tanks // *Water Science and Technology*. 2010. V. 61. P. 421–428. DOI: 10.2166/wst.2010.823
7. *Nickel D., Schoenfelder W., Medearis D., et al.* German experience in managing stormwater with green infrastructure // *Journal of Environmental Planning and Management*. 2013. DOI: 10.1080/09640568.2012.748652
8. *Сергеев В.В., Панурин Н.М.* Очистка сточных вод, отводимых с автомагистрали // *Экология производства*. 2012. № 3. С. 75–77.
9. *Мяжков С.В., Дергачева И.В., Мяжков С.С.* Влияние городского ландшафта на опасность наводнений от ливневых осадков // *Центральноазиатский журнал географических исследований*. 2021. № 3–4. С. 105–112.
10. *Путырев Е.И., Шеломков А.С.* Экономическое обоснование экологически безопасных технологий очистки сточных вод // *Водоснабжение и санитарная техника*. 2014. № 1. С. 5–13.
11. *Путырев Е.И.* Комплексные решения в системах ливневой канализации // *Вестник МГСУ*. 2018. Т. 13. Вып. 5 (116). С. 651–659. DOI: www.dx.doi.org/10.22227/1997-0935.2018.5.651-659
12. *Борткевич В.С., Миркис В.И., Драчиков С.А., Удовиченко Р.А.* Развитие системы городской дождевой канализации на примере города Тюмени // *Водоочистка, водоподготовка, водоснабжение*. 2017. № 12. С. 44–52. EDN: ZXFUER
13. *Сиваев С.Б., Абдуллаев А.М., Смирнов О.О., Залян Э.С., Андреева Е.С., Летуновский А.В.* Ливневая канализация в современном городе. От тарификации до инфильтрации: коллект. моногр. Москва : Изд. дом Высшей школы экономики, 2023. 120 с.
14. *Логинова О.А., Азаревич Э.Н.* Улучшение организации водоотвода на улично-дорожной сети Казани // *Известия КазГАСУ*. 2020. № 4 (54). С. 112–121. EDN: IRWPCZ
15. *Бобнева А.Н.* Способы отвода ливневых вод с проезжей части на равнинных городских территориях // *Строительные материалы и изделия*. 2022. Т. 5. № 6. С. 19–31. DOI: 10.58224/2618-7183-2022-5-6-19-31
16. *Патент № 173885* Российская Федерация, МПК E01F 5/00 (2006.01). Водоотводной лоток : № 2016149872 : заявл. 20.12.2016 : опубл. 18.09.2017 / Раннев А.К., Аликина З.Н., Сикоренко А.С., Азизов Р.Т. Бюл. № 26. 10 с.
17. *Патент № 133853* Российская Федерация, МПК E03F 5/04 (2006.01), E03F 5/14 (2006.01). Устройство для приема поверхностных вод на заливяемых участках канализационной сети водоотведения : № 2012125931/13 : заявл. 21.06.2012 : опубл. 27.10.2013 / Серпокровлов Н.С., Мкртчян Т.М. Бюл. № 30. 15 с.

18. Примин О.Г., Тэн А.Э. Анализ методов гидравлического расчета систем сбора и отвода поверхностных сточных вод // Системные технологии. 2022. № 1. С. 155–165. DOI: 10.55287/22275398_2022_1_155
19. Верецагина Л.М., Громов Г.Н., Тен А.Э., Худякова Д.Д. Анализ зарубежных и отечественных подходов к гидравлическому расчету самотечных сетей дождевой канализации // Водоснабжение и санитарная техника. 2020. № 10. С. 27–34. DOI: 10.55287/22275398_2022_1_155
20. Галкин Ю.А. Основные решения по системе сбора, регулирования и очистки сточных вод промышленно-ливневой канализации Екатеринбурга // Водоснабжение и канализация. 2014. № 1–2. С. 71–75.
21. Громов Г.Н., Тен А.Э., Джумагулова Н.Т., Брянская Ю.В. Гидравлические характеристики и расчет инновационных систем отвода поверхностных сточных вод // Водоснабжение и санитарная техника. 2021. № 2. С. 46–52. DOI: 10.35776/VST.2021.02.05
22. Linke U. HM162. Experimental Flume 309x450mm. Hamburg : GUNT Geräte-bau GmbH, 2013. 52 p.

REFERENCES

1. Kea K., Dymond R., Campbell W. An Analysis of Patterns and Trends in United States Stormwater Utility Systems. *Journal of the American Water Resources Association*. 2016; 52 (6): 1433–1449. DOI: 10.1111/1752-1688.12462
2. Peng Y., Reilly K. Using Nature to Reshape Cities and Live with Water: An Overview of the Chinese Sponge City Programme and its Implementation in Wuhan. European project, Grow Green, 2021.
3. Bertram N.P., et al. Synergistic Benefits Between Stormwater Management Measures and a New Pricing System for Stormwater in the City of Hamburg. *Water Science and Technology*. 2017; 76 (6): 1523–1534. DOI: 10.2166/wst.2017.337
4. Geyler S., Bedtke N., Gawel E. Sustainable Stormwater Management in Existing Settlements—Municipal Strategies and Current Governance Trends in Germany. *Sustainability*. 2019; 11(19): 5510. DOI: 10.3390/su11195510
5. Walski T.M., Barnard T.E., Harold E., et al. Wastewater Collection System Modeling and Design. Bentley Institute Press. Pennsylvania USA: Exton, 2007. 606 p.
6. Kus B., Kandasamy J., Vigneswaran S., et al. Analysis of First Flush to Improve the Water Quality in Rainwater Tanks. *Water Science and Technology*. 2010; 61: 421–428. DOI: 10.2166/wst.2010.823
7. Nickel D., Schoenfelder W., Medearis D., et al. German Experience in Managing Stormwater with Green Infrastructure. *Journal of Environmental Planning and Management*. 2013. DOI: 10.1080/09640568.2012.748652
8. Sergeev V.V., Papurin N.M. Treatment of Wastewater Discharged from Highway. *Ekologiya proizvodstva*. 2012; (3): 75–77. (In Russian)
9. Myagkov S.V., Dergacheva I.V., Myagkov S.S. Urban Landscape Influence on Flood Hazard from Storm Rainfall. *Tsentral'noaziatskii zhurnal geograficheskikh issledovaniy*. 2021; (3–4): 105–112. (In Russian)
10. Pupyrev E.I., Shelomkov A.S. Economic Justification of Environmentally Safe Wastewater Treatment Technologies. *Vodosnabzhenie i sanitarnaya tekhnika*. 2014; (1): 5–13 (In Russian)
11. Pupyrev E.I. Integrated Solutions in Storm Sewer Systems. *Vestnik MGSU*. 2018; 13. (5): 651–659. DOI: www.dx.doi.org/10.22227/1997-0935.2018.5.651-659 (In Russian)
12. Bortkevich V.S., Mirkis V.I., Sensors S.A., Udovichenko R.A. Development of Rain Sewer System in Tyumen. *Vodoochistka, vodopodgotovka, vodosnabzhenie*. 2017; (12): 44–52 EDN: ZXFUER (In Russian)
13. Sivaev S.B., Abdullaev A.M., Smirnov O.O., Zalyan E.S., Andreeva E.S., Letunovsky A.V. Stormwater Drainage in a Modern City. From Billing to Infiltration. Moscow, 2023. 120 p. (In Russian)
14. Loginova O.A., Azarevich E.N. Improvement of Drainage Organization on Kazan Road Network. *Izvestiya KazGASU*. 2020; 4 (54): 112–121. EDN: IRWPCZ (In Russian)
15. Bobneva A.N. Methods of Storm Water Drainage from the Roadway in Flat Urban Areas. *Stroitel'nye materialy i izdeliya*. 2022; 5(6): 19–31. DOI: 10.58224/2618-7183-2022-5-6-19-31 (In Russian)

16. *Rannev A.K., Alikina Z.N., Sidorenko A.S., Azizov R.T.* Drainage Tray. UMP Rus. Fed. N 173885. 18 September 2017, No. 26. (In Russian)
17. *Serpokrylov N.S., Mkrtychyan T.M.* A Device for Receiving Surface Water in Flooded Areas of Sewage Disposal Network. UMP Rus. Fed. N 133853. 24 October 2013. (In Russian)
18. *Primin O.G., Ten A.E.* Analysis of Hydraulic Calculation Methods of Surface Wastewater Collection and Disposal Systems. *Sistemnye tekhnologii*. 2022; (1): 155–165. DOI: 10.55287/22275398_2022_1_155 (In Russian)
19. *Vereshchagina L.M., Gromov G.N., Ten A.E., Khudyakova D.D.* Analysis of Foreign and Domestic Approaches to the Hydraulic Calculation of Gravity Rain Sewer Networks. *Vodosnabzhenie i sanitarnaya tekhnika*. 2020. No. 10. Pp. 27–34. DOI: 10.55287/22275398_2022_1_155 (In Russian)
20. *Galkin Yu.A.* Wastewater Systems of Collection, Regulation and Treatment from Industrial Stormwater Sewerage in Yekaterinburg. *Vodosnabzhenie i sanitarnaya tekhnika*. 2014; (1–2): 71–75. (In Russian)
21. *Gromov G.N., Ten A.E., Dzhumagulova N.T., Bryanskaya Yu.V.* Hydraulic Characteristics and Analysis of Innovative Surface Wastewater Drainage Systems. *Vodosnabzhenie i sanitarnaya tekhnika*. 2021; (2): 46–52 (In Russian)
22. *Linke U.* HM162. Experimental Flume 309x450 mm. Hamburg: UND Gerätebau GmbH, 2013. 52 p.

Сведения об авторах

Лукашевич Виктор Николаевич, докт. техн. наук, профессор, Томский государственный архитектурно-строительный университет, 634003, г. Томск, пл. Соляная, 2, vnluc@yandex.ru

Лукашевич Ольга Дмитриевна, докт. техн. наук, профессор, Томский государственный архитектурно-строительный университет, 634003, г. Томск, пл. Соляная, 2, eodluk@yandex.ru

Черемных Алексей Владимирович, магистрант, Томский государственный архитектурно-строительный университет, 634003, г. Томск, пл. Соляная, 2, avceh@mail.ru

Осипова Елена Юрьевна, канд. геол.-мин. наук, доцент, Томский государственный архитектурно-строительный университет, 634003, г. Томск, пл. Соляная, 2, kyky60@bk.ru

Authors Details

Viktor N. Lukashovich, DSc, Professor, Tomsk State University of Architecture and Building, 2, Solyanaya Sq., 664003, Tomsk, Russia, e-mail: vnluc@yandex.ru

Olga D. Lukashovich, DSc, Professor, Tomsk State University of Architecture and Building, 2, Solyanaya Sq., 664003, Tomsk, Russia, e-mail: odluk@yandex.ru

Aleksei V. Cheremnykh, Undergraduate Student, Tomsk State University of Architecture and Building, 2, Solyanaya Sq., 664003, Tomsk, Russia, avceh@mail.ru

Elena Yu. Osipova, PhD, A/Professor, Tomsk State University of Architecture and Building, 2, Solyanaya Sq., 664003, Tomsk, Russia, kyky60@bk.ru

Вклад авторов

Все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Authors contributions

The authors contributed equally to this article.

The authors declare no conflicts of interests.

Статья поступила в редакцию 28.10.2024
Одобрена после рецензирования 29.10.2024
Принята к публикации 31.10.2024

Submitted for publication 28.10.2024
Approved after review 29.10.2024
Accepted for publication 31.10.2024