

УДК: 911.9:712.4(470.12-25)

DOI: 10.25688/2076-9091.2024.53.1.07

Мария Андреевна Рамих^{1, 2},
Валентина Алексеевна Топорина¹,
Алексей Андреевич Саянов¹

¹ *Московский государственный университет им. М. В. Ломоносова,
Москва, Россия*

² *Российский университет дружбы народов им. Патриса Лумумбы,
Москва, Россия,*

РАЗВИТИЕ ВОДНО-ЗЕЛЕННОЙ ИНФРАСТРУКТУРЫ В ВОЛОГДЕ

Аннотация. В связи с изменениями климата, увеличением интенсивности осадков и ростом рисков подтопления многие города в настоящее время модернизируют свою водно-зеленую инфраструктуру (ВЗИ) для более эффективной работы с поверхностным стоком.

Обустройство водно-зеленой инфраструктуры заключается в грамотном подборе различных пород деревьев, кустарников, с учетом гидрологических особенностей территории, тем самым позволяя работать с ливневыми стоками. Действуя как единая инфраструктура, водоемы и зеленые насаждения способны смягчать климат в городе, увеличивать биоразнообразие, депонировать углерод и очищать атмосферный воздух и воду. В общем, ВЗИ — эффективный инструмент для снижения различных негативных последствий устройства градостроительного каркаса.

Прежде чем рассмотреть водно-зеленую инфраструктуру Вологды, мы проанализировали и обобщили накопленный опыт внедрения ВЗИ. В данной работе было рассмотрено современное состояние водно-зеленой инфраструктуры и выявлено наиболее оптимальное сочетание элементов ВЗИ для модельного участка города, испытывающего трудности в управлении стоком.

Ключевые слова: водно-зеленая инфраструктура, управление ливневыми стоками, озеленение городов, ландшафтное планирование

UDC: 911.9:712.4(470.12-25)

DOI: 10.25688/2076-9091.2024.53.1.07

Maria Andreevna Ramih^{1, 2},
Valentina Alekseevna Toporina¹,
Alexey Andreevich Sayanov¹

¹ *Lomonosov Moscow State University,
Moscow, Russia*

² *Peoples' Friendship University of Russia named after Patrice Lumumba,
Moscow, Russia*

DEVELOPMENT OF WATER-GREEN INFRASTRUCTURE IN THE CITY OF VOLOGDA

Abstract. Due to climate change, increased precipitation intensity and increased flooding risks, many cities are currently upgrading their blue-green infrastructure (BGI) to work more efficiently with surface runoff.

The arrangement of the blue-green infrastructure consists in the competent grouping of various types of trees, shrubs, lawns taking into account the hydrological features of the territory, thereby allowing you to work with storm drains. Acting as a single infrastructure, reservoirs and green spaces are able to mitigate the climate in the city, increase biodiversity, deposit carbon and purify atmospheric air and water. In general, it is an effective tool for reducing various negative consequences of the urban framework. Before considering Vologda's blue-green infrastructure, the accumulated experience of implementing BGI was analyzed and summarized. In this paper, the current state of the blue-green infrastructure is considered and combination of elements for the city experiencing difficulties in flow management, Vologda, is revealed.

Keywords: blue-green infrastructure, stormwater management, urban greening, landscape planning

Введение

Водно-зеленая инфраструктура (ВЗИ) используется во многих городах для управления поверхностным сточными водами и снижения пиковых расходов стока, тем самым защищая городскую инфраструктуру от значительных разрушений в результате наводнений. ВЗИ представляет собой ряд мер, которые включают использование компонентов растительности и почвы, включая проницаемые поверхности, которые применяются для управления стадийности стока, то есть контроля процессов накопления, инфильтрации, испарения и в дальнейшем повторного (возможного) использования ливневых вод с целью сокращения потоков в канализационные системы и поверхностные водоемы.

Смягчение последствий наводнений — сложная задача современной урбанистики, потому что ее решение выходит за пределы инженерной науки, охватывает архитектурные, градостроительные и социальные аспекты.

В России в последнее время появляются труды по теме водно-зеленой инфраструктуры, хотя проблема организации озеленения с учетом климатических и гидрологических условий в стране обсуждается, по крайней мере, с 1930-х гг. К сожалению, в 1990-х гг. о теоретических наработках и методологиях забыли и время было упущено. Поэтому в работе использовались преимущественно труды зарубежных авторов, таких как Э. К. О’Доннелл, К. Стаддон, Х. Драйзейтль, М. Бенедикт и Э. Т. Макмахон, М. Игнатъева и др., а также пособия и справочники, такие как «Advancing Low Impact Development as a Smart Solution for Stormwater Management» [2], «Blue-green infrastructure — perspectives on planning, evaluation and collaboration» [3], «Saving the Rain. Green Stormwater Solutions for Congregations» [13], «Low impact development. Technical guidance manual for puget sound» [9] и др.

В рассматриваемой нами Вологде, с одной стороны, природные условия обуславливают склонность территории к заболачиванию, а с другой — становится очевидным тренд роста осадков и соответствующее этому увеличение расхода воды реки Вологды и ее притоков. Все это привело к тому, что в Вологде далеко не благополучные условия для отвода ливневых стоков.

В данной работе рассматривается возможность внедрения элементов ВЗИ в Вологде.

Методы исследования

Для определения тенденции развития ВЗИ нами применялся исторический метод, с помощью которого была изучена система мелиоративных сооружений и этапы создания канализации в городе. Изучив разнообразные материалы, а также осуществив натурные наблюдения, мы пришли к выводу, что система отведения стока в периоды увеличения не справляется с нагрузкой, то есть находится в неудовлетворительном состоянии.

Для того чтобы определить зоны возможного подтопления, были построены картографические изображения, отражающие ландшафтный покров территории и распределение значение индексов NDVI и NDMI (см. рис. 1). Анализ ландшафтного покрова территории и построение серии указанных карт проводился на основании дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) (спутниковые снимки Landsat 8 с пространственным разрешением 30 м).

Обобщение мирового опыта применения водно-зеленой инфраструктуры, анализ разнообразных стандартов по благоустройству территории и управления стоком таких стран, как Канада [6, 2], США [13], Великобритания и Швеция [3], а также спутниковые и полевые материалы позволили

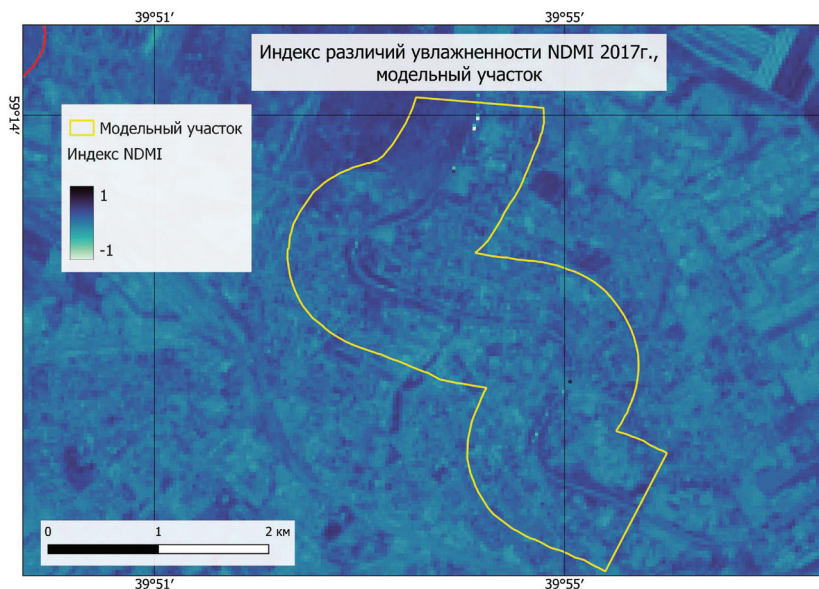


Рис. 1. Распределение индекса различий увлажненности NDMI на 2017 г., модельный участок (здесь и далее автор: М. А. Рамих)

подобрать возможное сочетание элементов ВЗИ. Кроме того, учитывались рельеф территории, тип дороги и застройки, использование ландшафта и озеленение.

Площадные элементы ВЗИ, согласно методическим рекомендациям [6], должны составлять 10–30 % от дренажной зоны. Максимальная площадь, с которой собирается сток, для дождевого сада должна составлять менее 1000 м².

В работе также были проведены расчеты стока дождя с территории модельного участка с учетом рекомендаций по внедрению ВЗИ. Нами были применены следующие инструментари: методика СП 32.13330.2018 «Канализация. Наружные сети и сооружения», данные А. М. Курганова «Таблицы параметров предельной интенсивности дождя для определения расходов в системах водоотведения» и программа Green Factor. Для расчетов была выбрана формула (1) из п.7.2 СП 32.13330.2018 «Канализация. Наружные сети и сооружения». Формула учитывает различные типы поверхностей (асфальтобетонные дороги; дороги, выложенные брусчаткой и плиткой, и др.). При расчете емкости зеленых решений водоотвода (помимо зеленых крыш) учитывалась площадь элементов ВЗИ и их глубина, для дождевых садов была принята глубина 0,3 м, для биодренажных канав — 0,6 м [13]. Среднегодовой объем дождевых вод рассчитывается по формуле:

$$W_d = 10 h_d K_d F,$$

где W_d — среднегодовой объем дождевых вод, м³, K_d — коэффициент стока дождевых вод с поверхности, F — площадь стока, га.

Опыт внедрения водно-зеленой инфраструктуры в мире и России

Наибольшее распространение водно-зеленая инфраструктура получила в США, Канаде, Европе, Китае и Австралии. Однако с каждым годом все активнее внедряется устойчивое управление ливневыми стоками и элементы ВЗИ в таких странах, как Япония, Республика Корея, Новая Зеландия, ЮАР, Сингапур, Индонезия (г. Семаранг) и другие. В этих странах можно встретить почти все виды ВЗИ: дождевые сады, биодренажные канавы, зеленые крыши, зеленые фасады, биоплато, проницаемые асфальты и водно-болотные угодья, однако в каждой стране свой подход и свои цели к внедрению ВЗИ.

Принципы низкого воздействия на окружающую среду (LID), распространенные в США, Канаде и Новой Зеландии, направлены на минимизацию стоимости управления ливневыми стоками с применением подхода проектирования с учетом природы.

В США на муниципальном уровне повсеместно наблюдается тенденция перехода от крупных подземных, централизованных канализационных систем в сторону рассредоточенных, разнообразных элементов зеленой инфраструктуры (рис. 2, 3) с акцентом на многофункциональность. Еще в 2004 г. ЕРА выпустило отчет Конгрессу о широком распространении комбинированных канализационных систем (Combined sewer system, CSS), в котором упоминалось 746 проектов в США, использующих CSS [4]. Также в США наблюдается тренд использования ВЗИ для активного отдыха и времяпрепровождения, в том числе комбинирование с огородничеством и садоводством.



Рис. 2, 3. Территория вокруг торгового центра New Seasons Market, Портланд, США [источник: City of Portland, Oregon. <https://www.portlandoregon.gov/bes/35941>]

Внедрение в Канаде методов и систем управления с низким уровнем воздействия (LID) в последние десять лет быстро растет благодаря поддержке местных политиков, программ грантов и исследовательским проектам. В стране существует программа мониторинга и оценки эффективности ливневых стоков (SWAMP), а также инструментарий Soak It Up!, помогающий муниципалитетам разрабатывать программы по уменьшению стока с помощью зеленой инфраструктуры. В городах Канады активно используются и модернизируются уже существующие водоемы, каналы и водно-болотные угодья, считающиеся традиционным методом борьбы с ливневыми стоками еще с 1970-х гг., а также создаются новые [11].

В соответствии с местными принципами в Новой Зеландии сформировалась своя исследовательская программа под названием Low Impact Urban Design and Development, или LIUDD. Здесь акцент был сделан на проектировании зеленой инфраструктуры ливневых стоков с целью избежания загрязнения. Также на сегодняшний день защита и восстановление местного биоразнообразия является задачей номер один в Новой Зеландии. К примеру, в проектах разрабатываются не только элементы управления стоками, но и зеленые и водные коридоры для миграции животных [7].

В Европе активно исследуют и внедряют зеленую инфраструктуру ливневых стоков в Великобритании, Нидерландах, Швеции, однако и в других европейских странах также последнее время наблюдается внедрение элементов ВЗИ. Поскольку страны сильно различаются между собой и при управлении ливневыми стоками ставят для себя различные цели, выделить общие закономерности достаточно сложно.

В Великобритании впервые возникло направление «Устойчивая система управления поверхностным стоком» SuDS. Главная его цель — отвод ливневых стоков более устойчивым способом, воспроизводя максимально точно естественные гидрологические особенности.

Обратимся к опыту Нидерландов. Основная проблема в Нидерландах — угроза поднятия уровня воды из-за изменения климата, поэтому главной целью внедрения ВЗИ здесь стала адаптация к климатическим изменениям и повышение устойчивости города к его последствиям, в том числе озеленение разрабатывается из расчета повышения уровня моря и участвовавших паводков. Здесь существует многоуровневый подход к обеспечению безопасности: поддержание и укрепление существующей инфраструктуры (дамбы, барьеры, канализационные коллекторы), «перепроектирование» города с целью создания большего пространства для хранения воды путем продвижения ВЗИ и работа с другими городскими проектами по улучшению приемов адаптации пространственного планирования [10].

В Швеции комплекс мер по обеспечению устойчивого городского дренажа начал внедряться с 1980-х гг., особенно на юге страны [14]. Главной особенностью внедрения ВЗИ в Швеции является стремление к повсеместному охвату

территории страны. Здесь активно реализуются проекты по созданию экокварталов в уже существующих городах, к примеру, в городе Гетеборг, экогороде Хаммарбю Шёстад, в городе Мальме — экогород Аугустенборг.

В Австралии в 2009 г. был выпущен так называемый Водочувствительный кодекс городского проектирования (Кодекс WSUD). Главной задачей WSUD в Австралии является не только предотвращение подтоплений, но и фильтрация в грунтовые воды очищенных ливневых стоков, а также сбор очищенной воды для повторного использования — все это обусловлено климатическими особенностями страны: здесь частые засухи и, как следствие, постоянная нехватка воды. Во многих городах Австралии внедряется система по очистке ливневых вод с помощью природных очистных объектов: болот, садов дождя, водоемов для биоудерживания или сооруженных водно-болотных угодий, а также системы для фильтрации, накопления и дальнейшего сбора ливневых стоков.

В Китае существует своя практика борьбы с наводнениями — Sponge city (SCP, или город-губка). Программа «Город-губка» (SCP) была принята правительством в 2013 г. для решения городских проблем с экологической ситуацией, водоснабжением, подтоплениями, быстрой урбанизацией и сокращением проницаемых покрытий [10]. Особенностью данной программы является комплексное внедрение по всему городу устойчивых дренажных систем. 20 % земель данных городов должны включать в себя «губчатые» объекты, например дождевые сады, болота, водно-болотные угодья. Городской план SCP включает в качестве своих целей не только эффективную борьбу с наводнениями в городах, но и сбор дождевой воды. В стране планируется, что 80 % городских садов будут собирать и повторно использовать 70 % дождевой воды [8].

Первыми городами в Юго-Восточной Азии, в которых внедряются принципы устойчивой застройки и устойчивого управления ливневыми стоками, стали Семаранг (Индонезия) и Сингапур.

Города Индонезии подвержены обильным дождям из-за муссонного климата, что приводит к затоплениям важной инфраструктуры, загрязнению питьевых источников и ущербу сельскохозяйственным полям. В Семаранге была запущена программа маломасштабного внедрения ВЗИ, представляющая собой создание сети средств биоудержания, состоящей из биопор (biopore), сбора и фильтрации дождевой воды. Задача работы биопор состоит в том, чтобы улучшить способность почвы поглощать воду и, следовательно, уменьшить уровень затопления во время дождя. Пористость и водопоглощение почвы улучшится, если делать в грунте отверстия и заполнять их органическими отходами для получения компоста. Данная практика была признана успешной [12].

В 2006 г. в Сингапуре (Singapore National Water Agency) была разработана и запущена программа «Активные, красивые, чистые воды» (ABC Waters), в рамках которой проводится интеграция зеленых насаждений и парков с водоемами, чтобы превратить Сингапур в город садов и парков. Программа

подразумевает создание таких элементов ВЗИ, как зеленые крыши, вертикальное озеленение, дренажи, сады дождя, каналы, собирающие осадки, водоемы и болота. Важной особенностью программы является создание инфраструктуры, которая не только собирает и очищает сточные воды, но и является живописной, привлекательной и может быть использована населением для удовлетворения рекреационных запросов.

Положительным примером внедрения элементов водно-зеленой инфраструктуры в России является каскадная система на берегу озера Кабан в Казани. Разноразмерные резервуары с высаженной влаголюбивой растительностью служат природными биофильтрами и очищают поверхностные стоки. Также данные элементы задерживают и регулируют ливневой сток [1].

В 2022 г. в Перми был открыт один из первых дождевых садов в России, который собирает ливневые стоки с прилегающих автопарковок и автодороги. Данный проект был реализован для очистки поверхностных сточных вод. По данным муниципального образования г. Перми, в рамках проекта «Зеленое кольцо» запланировано обустроить 12 дождевых садов в долине реки Егошихи и 13 — в долине реки Данилихи.

Также стоит упомянуть экспозицию «Сад дождя» в Аптекарском огороде Ботанического сада МГУ в Москве, открытую в сентябре 2020 г., которая демонстрирует успешно функционирующий элемент ВЗИ, позволяющий разгружать ливневую канализацию.

Достаточно распространенным элементом водно-зеленой инфраструктуры в России являются зеленые крыши. Озелененные крыши можно встретить в Москве: это, например, крыша бюро «Новая Земля» на Шереметьевской улице, крыша здания Союза московских архитекторов в Гранатном переулке, кровли с растительностью на Остоженке. В Санкт-Петербурге есть зеленая крыша бизнес-центра Crowne Plaza в комплексе зданий аэропорта Пулково. Также встречаются зеленые крыши в Калининграде, Воронеже, Твери, Южно-Сахалинске, Сочи, Екатеринбурге и других городах.

Результаты исследования

Для разработки предложений по внедрению ВЗИ был выбран модельный участок, располагающийся вдоль набережной реки Вологды (от парка Мира до квартала Дьяконово). Анализ цифровой модели рельефа, а также построенных карт распределения индексов NDVI и NDMI показал, что на данном участке есть пониженные формы рельефа со склонностью к подтоплениям, также здесь сосредоточены зоны с высокой плотностью застройки (рис. 4).

Водно-зеленая инфраструктура на модельном участке не справляется со стоком во время выпадения интенсивных осадков: на некоторых участках

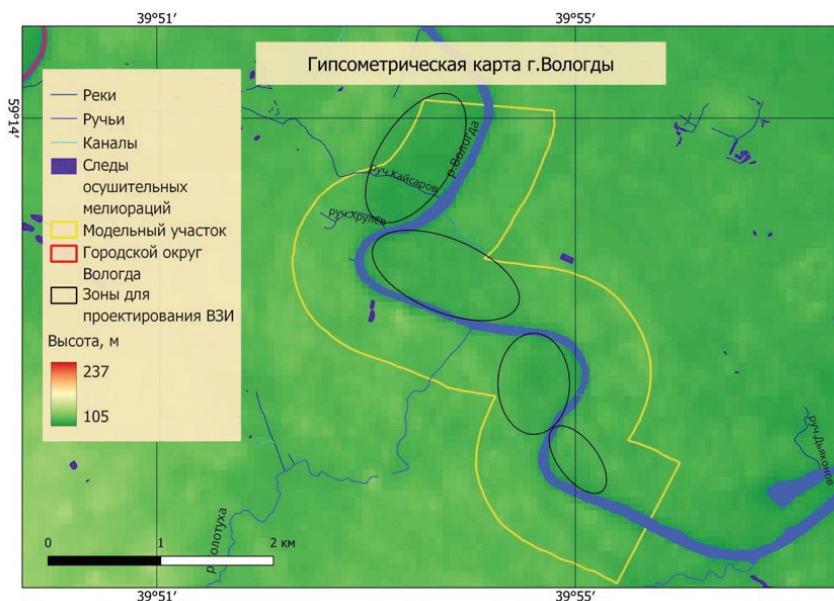


Рис. 4. Гипсометрия модельного участка с выбранными зонами для перспективного проектирования ВЗИ

отсутствует ливневая канализация, в других местах засорены дождеприемные колодцы, также наблюдаются неорганизованные сбросы стоков в реку. Вдоль улиц и во дворах высажена преимущественно растительность, неэффективно работающая со стоком, — это газоны и деревья, подобранные исходя из их декоративных качеств. Напротив, естественные заросли луговой растительности на территориях с малой плотностью застройки, а также заросли влаголюбивых деревьев и хорошо озелененные участки набережной можно считать эффективными существующими элементами ВЗИ.

При подборе технологических элементов для благоустройства ВЗИ модельного участка рекомендованы дождевые сады, городские дождевые сады, биодренажные каналы, биоплато и зеленые крыши (см. рис. 5).

Дождевые сады и *биодренажные каналы* представляют собой понижения в рельефе, в которых поверхностный сток накапливается, а потом испаряется за счет специального грунта и влаголюбивой растительности. В целом тем самым уменьшается объем стока. Также в тех зонах, где было предложено размещать дождевые сады на месте существующего асфальтового покрытия, при отсутствии возможности модернизации территории и демонтажа участка дороги, рекомендуется предусмотреть размещение зеленых крыш как альтернативу для задержания осадков и сокращения стока.

Зеленые крыши, в отличие от садов, приемлемы для проектирования и последующего применения в кварталах с плотной застройкой и значительной площадью запечатанных поверхностей (см. рис. 6).

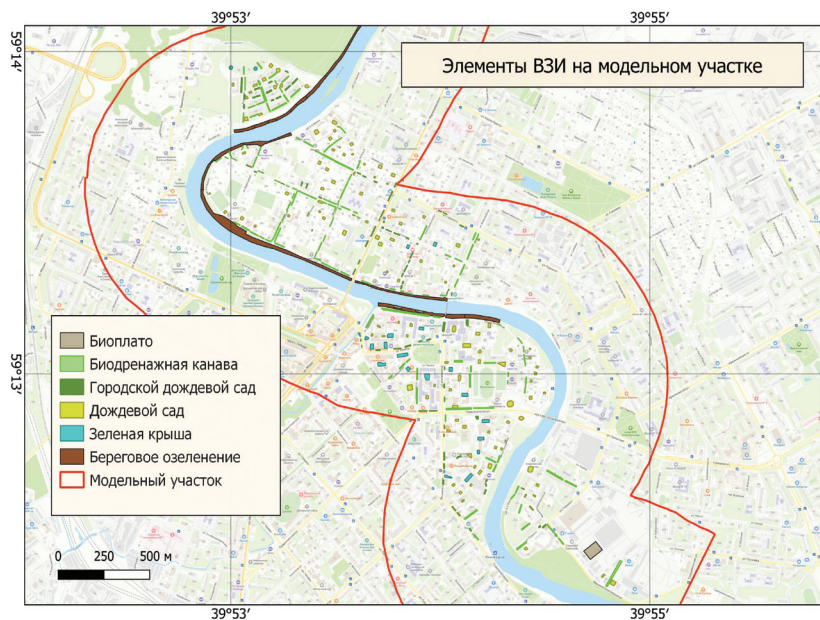


Рис. 5. Распределение элементов ВЗИ на модельном участке



Рис. 6. Пример расположения зеленых крыш и городских дождевых садов на составленной схеме элементов ВЗИ

Городские дождевые сады было предложено также располагать в зонах с плотной застройкой в качестве пристроек к проезжей части, пешеходным зонам и зданиям, на дорожных островках и внутри небольших круговых движений (см. рис. 6). Засаживать их можно только низкорослой растительностью, чтобы не мешать обзору при дорожном движении.

Биодренажные каналы по аналогии с дождевыми садами следует предусмотреть на участках с небольшой плотностью застройки вдоль городских дорог. Такое расположение неслучайно, потому что вдоль этих дорог оставляют неблагоустроенную обочину, заросшую растительностью (см. рис. 7 и 8), или неорганизованные парковочные места. Однако данный элемент помогает справиться только с небольшими объемами стока, поэтому биодренажные каналы стоит располагать по направлению к площадным элементам водно-зеленой инфраструктуры, к примеру дождевым садам и водоемам для транспортировки избыточного стока. На рассматриваемом участке большинство каналов направлены в сторону береговой зоны.

На территории промышленного предприятия, где почти нет озелененных участков, следует разместить *биоплато*. По сравнению с другими технологическими решениями биоплато обладает следующим преимуществом: оно способно собирать загрязненные стоки и сохраняет свои фильтрующие и стокоудерживающие функции.

Разработанные предложения могут быть дополнены также другими элементами ВЗИ, например вертикальным озеленением, собирающими стоки водоемами и прудами, и другими зелеными и водными элементами ландшафта, а также проницаемыми покрытиями, резервуарами для хранения воды, дренажными трубами. Система сбора отфильтрованной воды из элементов водно-зеленой инфраструктуры в емкости для хранения с помощью дренажных труб поможет повторно использовать воду для полива и иных целей.

Предлагаемые нами меры предотвратят резкое повышение уровня грунтовых вод во время интенсивных осадков, сгладят дождевые паводки, а также снизят нагрузку на существующую ливневую канализацию и тем самым предотвратят или уменьшат подтопления изучаемой территории.

Для оценки эффективности работы элементов ВЗИ были произведены расчеты двух вариантов развития территории: с внедрением водно-зеленой инфраструктуры (первый вариант) и с отсутствием таковой (второй вариант). Расчеты показали, что с территории площадью 6 798 027 м² при повторяемости дождя продолжительностью 20 мин. (q₂₀) раз в 2 года будет стекать 131 560 м³, раз в 10 лет — 208 949 м³, раз в 50 лет — 301 815 м³.

В случае реализации второго варианта, например появления зеленых крыш на части зданий (0,66 % от всех кровель модельного участка), сток сократится на 0,2 %. При глубине дождевых садов 0,3 м, биодренажных каналов 0,6 м емкость предлагаемых зеленых решений водоотвода (помимо зеленых крыш) площадью 30 861 м² (1,1 % от всего озеленения) составит 14 565,6 м³,

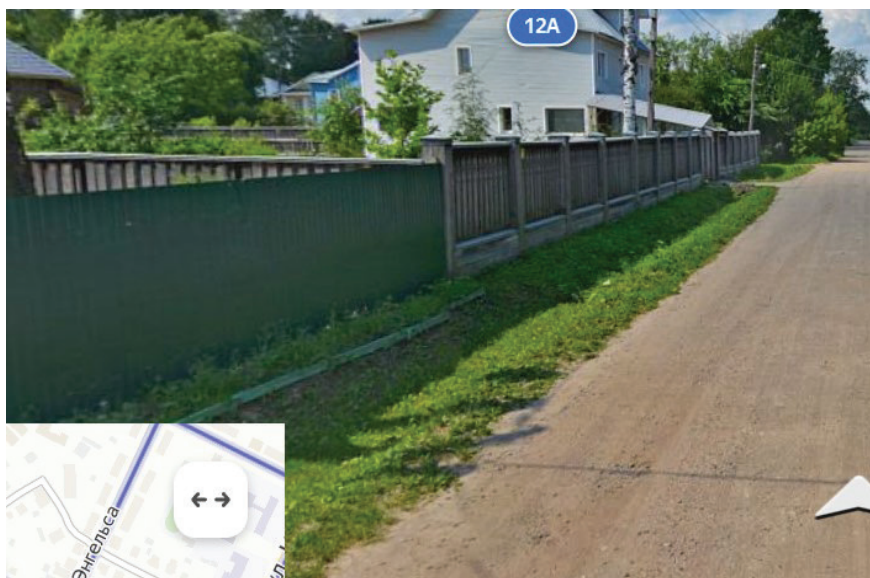


Рис. 7. Ул. Горького, Вологда [источник: «Яндекс.Карты»]

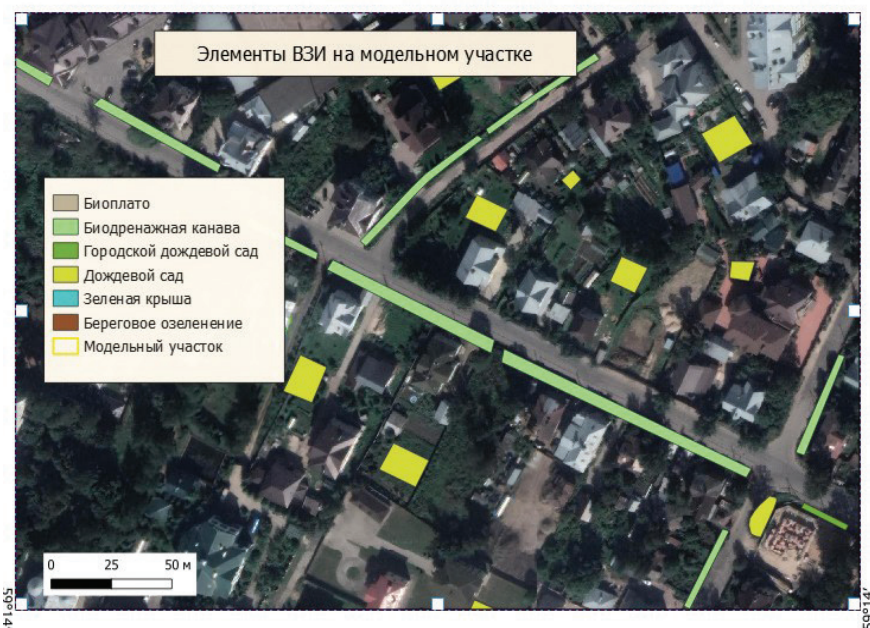


Рис. 8. Пример расположения элементов ВЗИ (в том числе биодренажные каналы) на ул. Горького

объем фильтрации в затопляемых зонах 303,5 м³, что составляет 11 % от всего объема стока при дожде q20 раз в 2 года, 7 % при дожде q20 раз в 10 лет и 5 % при дожде q20 раз в 50 лет.

Для полного удержания элементами ВЗИ стока дождя необходимо, чтобы дождевые сады и биодренажные канавы составляли 20 % от всего озеленения изучаемого модельного участка, в то время как при предлагаемых рекомендациях в выбранных зонах данные элементы составляют только 1,1 % от всего модельного участка (табл. 1).

Таблица 1

Расчеты объема стока дождя с модельного участка (автор: М. А. Рамих)

Объем стока дождя q20 (сток с крыш и дороги), м ³				Дождь, повторяемость раз в 10 лет		
				2	10	50
				Слой осадков, мм		
№	Тип покрытия	Площадь, м ²	K	34	54	78
1	Проезды (асфальт)	2 322 929,7	0,9	71 081,6	112 894,4	163 069,7
2	Брусчатка, плитка	261 103,3	0,6	5326,5	84 59,7	12 219,6
4	Озеленение без затопляемых зон	2 781 609,50	0,1	9457,5	15 020,7	21 696,6
5	Биодренажные канавы	17 690,5	0,95			
6	Дождевые сады	13 171,00	0,95	425,4	675,7	976,0
7	Кровли зданий (в сторону проспекта)	1 392 198,7	0,95	44 968,0	71 419,8	103 161,9
8	Зеленые крыши	9324,3	0,1	31,7	50,4	72,7
	Всего	6 788 703		131 291	208 521	301 196

Примечание: K — коэффициент стока дождевых вод с поверхности.

Выводы

В Вологде существует проблема отвода ливневых стоков, что увеличивает риск затопления жилых территорий. Как показывает просмотр местных СМИ, жители обеспокоены подобным положением и обращаются с жалобами на подтопление объектов города. Органы власти также ищут пути решения данной проблемы. Внедрение элементов водно-зеленой инфраструктуры — один из путей решения проблемы избыточного стока.

Опыт использования ВЗИ показывает, что данная природоподобная технология позволяет контролировать подтопление территорий города, потому что дополняет уже существующую «серую» инфраструктуру. Было выявлено, что наиболее распространенными в мире элементами являются дождевые сады, биодренажные канавы и зеленые крыши. Данные элементы активно внедряются в таких городах, как Портланд, Лондон, Мельбурн, Роттердам, Гетеборг, Сингапур; в Канаде популярно создание искусственных водно-болотных угодий; в Китае существует практика проектирования Sponge city с комплексным

внедрением устойчивых дренажных систем. В России пока можно привести единичные примеры обустройства элементов ВЗИ: два дождевых сада в Перми, биоплато в Казани; при этом зеленые крыши в нашей стране становятся уже достаточно распространенным элементом.

Современная водно-зеленая инфраструктура в Вологде не справляется со стоком во время выпадения интенсивных осадков. На основании сложившейся практики, а также изучения стандартов и рекомендаций по благоустройству территорий и управления стоком стран Европы и Северной Америки, исходя из природных условий территории, плотности дорог и застройки, функционального зонирования и существующего озеленения, было рекомендовано при дальнейшем благоустройстве города использование дождевых садов, биодренажных канав, зеленых крыши и биоплато.

Список источников

1. Набережная Кабана в Казани: как работает система очистки воды и чем заполнить пространство. Дата публикации: 17.06.2018 // Новости Казани и Татарстана: [сайт]. URL: <https://prokazan.ru/news/view/nabereznaa-kabana-v-kazani-kak-rabotaet-sistema-ocistki-vody-i-cem-zapolnit-prostranstvo> (дата обращения: 13.10.2022).
2. Advancing Low Impact Development as a Smart Solution for Stormwater Management // Minister of Environment and Climate Change of Canada. Version 1.0, 2013. 2015. Credit Valley Conservation. 36 p.
3. Blue-green infrastructure — perspectives on planning, evaluation and collaboration. C780a, CIRIA. London. UK, 2019. 58 p.
4. Chini C. M., Canning J. F. The Green Experiment: Cities, Green Stormwater Infrastructure, and Sustainability // Stillwell. Sustainability. 2017. V. 9 (1). 105 p. DOI: 10.3390/su9010105
5. Managing urban flood resilience as a multilevel governance challenge: an analysis of required multilevel coordination mechanisms / C. Dieperink, H. Mees, S. J. Ek. [at al] // Ecol. Soc, 2018. V. 23. DOI: 10.5751/ES-09962-230131
6. Grey to Green Road Retrofits: Optimizing Your Infrastructure Assets through Low Impact Development // Minister of Environment and Climate Change of Canada. 2017. 166 p.
7. Ignatieva M., Stewart G. H. Low Impact Urban Design and Development (LIUDD): matching urban design and urban ecology // Landscape Review. 2008. Vol. 12. URL: https://www.researchgate.net/publication/27814706_Low_Impact_Urban_Design_and_Development_LIUDD_matching_urban_design_and_urban_ecology (дата обращения: 13.10.2022).
8. Jia H., Wang Z., Zhen X., Clar M. China's sponge city construction: A discussion on technical approaches // Frontiers of Environmental Science & Engineering. 2017. Vol. 11 (4). DOI: 10.1007/s11783-017-0984-9
9. Low impact development // Technical guidance manual for puget sound. Washington, 2012.
10. O'Donnell E. C. International Perceptions of Urban Blue-Green Infrastructure: A Comparison across Four Cities / E. C. O'Donnell, N. R. Netusil, F. Chan, N. Dolman // Water. 2021. Vol. 13 (4). 544 p. DOI: 10.3390/w13040544
11. Rain Community Solution. Canada. URL: <https://raincommunitysolutions.ca/en/toolkit/> (дата обращения: 13.10.2022).

12. Rianawati E., Sagala S. Communal Based Flood Mitigation Measures in Bandung City // Resilience Development Initiative (RDI), Working Paper Series. Bandung, Indonesia, 2014. № 10. 174 p.
13. Saving the Rain. Green Stormwater Solutions for Congregations. EPA, U. S. Environmental Protection Agency // Office of Water. 2020. 32 p.
14. Stahre P. Blue-Green Fingerprints in the City of Malmö, Sweden: Malmö's Way towards a Sustainable Urban Drainage // Show more. Va syd, Malmö, Sweden, 2008. 81 p.

References

1. Kabana Embankment in Kazan: how the water purification system works and how to fill the space. Date of publication: 17.06.2018 // ProKazan: [website]. (In Russ.). URL: <https://prokazan.ru/news/view/nabereznaa-kabana-v-kazani-kak-rabotaet-sistema-ocistki-vody-i-cem-zapolnit-prostranstvo> (accessed date: 13.10.2022).
2. Advancing Low Impact Development as a Smart Solution for Stormwater Management // Minister of Environment and Climate Change of Canada. Version 1.0, 2013. 2015. Credit Valley Conservation. 36 p.
3. Blue-green infrastructure — perspectives on planning, evaluation and collaboration. C780a, CIRIA. London. UK, 2019. 58 p.
4. Chini C. M., Canning J. F. The Green Experiment: Cities, Green Stormwater Infrastructure, and Sustainability // Stillwell. Sustainability. 2017. V. 9 (1). 105 p. DOI: 10.3390/su9010105
5. Managing urban flood resilience as a multilevel governance challenge: an analysis of required multilevel coordination mechanisms / C. Dieperink, H. Mees, S. J. Ek. [et al.] // Ecol. Soc, 2018. V. 23. DOI: 10.5751/ES-09962-230131
6. Grey to Green Road Retrofits: Optimizing Your Infrastructure Assets through Low Impact Development // Minister of Environment and Climate Change of Canada. 2017. 166 p.
7. Ignatieva M., Stewart G. H. Low Impact Urban Design and Development (LIUDD): matching urban design and urban ecology // Landscape Review. 2008. Vol. 12. URL: https://www.researchgate.net/publication/27814706_Low_Impact_Urban_Design_and_Development_LIUDD_matching_urban_design_and_urban_ecology (accessed date: 13.10.2022).
8. Jia H., Wang Z., Zhen X., Clar M. China's sponge city construction: A discussion on technical approaches // Frontiers of Environmental Science & Engineering. 2017. Vol. 11 (4). DOI: 10.1007/s11783-017-0984-9
9. Low impact development // Technical guidance manual for puget sound. Washington, 2012.
10. O'Donnell E. C. International Perceptions of Urban Blue-Green Infrastructure: A Comparison across Four Cities / E. C. O'Donnell, N. R. Netusil, F. Chan, N. Dolman // Water. 2021. Vol. 13 (4). 544 p. DOI: 10.3390/w13040544
11. Rain community solution. Canada. URL: <https://raincommunitysolutions.ca/en/toolkit/> (accessed date: 13.10.22).
12. Rianawati E., Sagala S. Communal Based Flood Mitigation Measures in Bandung City // Resilience Development Initiative (RDI), Working Paper Series. Bandung, Indonesia, 2014. № 10. 174 p.
13. Saving the Rain. Green Stormwater Solutions for Congregations. EPA, U. S. Environmental Protection Agency // Office of Water. 2020. 32 p.
14. Stahre P. Blue-Green Fingerprints in the City of Malmö, Sweden: Malmö's Way towards a Sustainable Urban Drainage // Show more. Va syd, Malmö, Sweden, 2008. 81 p.