

Издатель

ФГБОУ «Петрозаводский государственный университет»
Российская Федерация, г. Петрозаводск, пр. Ленина, 33

Студенческий научный электронный журнал

StudArctic Forum

<http://saf.petrso.ru>

XX / 2019

Главный редактор

В. С. Сюнёв

Редакционный совет

С. Б. Васильев
Г. Н. Колесников
А. Н. Петров

Редакционная коллегия

М. И. Зайцева
А. Ю. Борисов
Т. А. Гаврилов
А. Ф. Кривоноженко
Е. И. Соколова
Л. А. Девятникова
Ю. В. Никонова
Е. О. Графова
А. А. Кузьменков
Р. В. Воронов
М. И. Раковская

Редакция

А. Г. Марахтанов
А. А. Малышев
Р. А. Мацуев

ISSN 2500-140X

Адрес редакции

185910, Республика Карелия, г. Петрозаводск, ул. Ленина, 33.

E-mail:saf@petrsu.ru

<http://saf.petrso.ru>

Сельское, лесное и рыбное хозяйство

Классификация технологий зелёной инфраструктуры и их использование для управления поверхностными стоками в урбанизированной среде

**ЕРМОХИН Артём
Алексеевич**

-магистратура, Мытищинский филиал МГТУ им.
Н. Э. Баумана (ул Молитовская, дом 6 , корпус 1 ,
кв 55),
ermohin_1997@mail.ru

Ключевые слова:

зелёная инфраструктура;
управление дождевой
водой; фиторемедиация.

Аннотация:

Рассматриваются современные подходы организации стока поверхностных вод с помощью технологий зелёной инфраструктуры. Зелёная инфраструктура – достаточно новое понятие для России, но за рубежом существует ряд положительных примеров использования её технологий в качестве борьбы с затоплениями и подтоплениями. Помимо основной задачи по регулированию стока, зелёная инфраструктура выполняет и важные задачи по сбережению экологических ресурсов, а её технологии и не вредят окружающей среде. В статье приведена классификация технологий зелёной инфраструктуры. Изучен иностранный опыт и приведены актуальные примеры положительного использования технологий зелёной инфраструктуры в качестве регулирования поверхностного стока в зарубежных городах, таких как Филадельфия.

Основной текст

Неорганизованный сток является причиной множества проблем в городах. Атмосферные осадки нередко приводят к затоплению территорий, а вместе с тем к неудобству использования пешеходной и транспортной инфраструктуры, перебоям в работе предприятий и затоплению нижних этажей зданий. Ливневая канализация, предназначенная для отвода поверхностных дождевых и талых вод с кровель зданий, автомобильных дорог, пешеходных тротуаров и различных площадок, не всегда справляется, и сток загрязняет поверхностные воды, такие как реки, озера,

водохранилища, болота и т.п. Вместе с тем происходит обеднение грунтовых вод, которые не получают достаточного водного питания из-за отвода воды ливневыми канализациями. Технологии зелёной инфраструктуры во многом способствуют решению проблем, связанных с водоотведением в городах.

Термин «зелёная инфраструктура» появился в середине 1980-х годов в США и был признан основной стратегией борьбы с изменением климата. Этот термин определяется как введение и организация новых технологий, имитирующих природные процессы, для решения экологических задач (в городах) [1]. Агентство окружающей среды США трактует термин «зелёная инфраструктура» в более узком смысле и определяет его, как технологии и способы управления поверхностными водами, обычно основанные на использовании растительности [2].

По всему миру использование технологий зелёной инфраструктуры являются частью экологического развития городов. В Великобритании, США и Австралии, например, существуют государственные программы, связанные с применением систем регулирования поверхностного стока. Программы направлены на организацию поверхностного стока, где технологии зелёной инфраструктуры являются ключевыми компонентами этих систем.

Классификация и описание технологий зелёной инфраструктуры

Технологии зелёной инфраструктуры обладают определённым набором функций и действуют по-разному. Так, например, дождевой сад фильтрует воду, дренирует её в нижние почвенные горизонты; растения в процессе транспирации испаряют воду. Но основное назначение сада – сбор (накопление) воды с водонепроницаемых поверхностей. А биофильтрационные полосы, к примеру, при большой скорости поверхностного стока обладают водопроводящей функцией, а при более малых скоростях – инфильтрующей (скорость стока снижается, инфильтрация увеличивается). Но основное назначение их – первичная очистка и фильтрация воды с помощью растений. Поэтому предложенная классификация базируется на **основной** функции технологии зелёной инфраструктуры.

В ходе работы были выявлены основные функции технологий: биологическая фильтрация (Ф), накопление (Н), инфильтрация (И), транспорт (Т) и эвапотранспирация (Э).

Технологии с основной функцией биологической фильтрации (Ф)

1. Биофильтрационные канавы – это линейные понижения в рельефе, предназначенные для очистки поверхностного стока воды с высоким уровнем загрязнения с помощью растений и нескольких фильтрующих слоёв. Они состоят из нескольких слоёв. Поверхностный растительный слой на песчаной основе фильтрует загрязнения и контролирует скорость прохождения воды в нижние слои. Переходный слой, представленный геотекстилем, предотвращает вымывание мелких частиц из

поверхностного растительного слоя. Дренажный слой, в основном состоящий из гравия или щебня, позволяет воде дренировать в почву. Очищенные излишки воды, дренировавшей по слоям, направляются в водосточные трубы, ведущие в ливневую канализацию [3 с. 339]. Таким образом, компоненты дренажной канавы очищают воду, удаляют из нее взвешенные частицы, биогенные элементы и другие поллютанты за счет фильтрации через слои щебня и почвенного субстрата с высаженными на нем растениями. В каждой системе предусмотрено дополнительное устройство для отвода жидкости на случай, если почва не успеет впитать её. Как правило, оно находится на высоте нескольких сантиметров над уровнем почвы и через него излишки воды удаляются в ливневую канализацию.

2. Искусственные болота – неглубокое искусственно созданное понижение в рельефе с постоянно стоячей водой, эквивалентной болотам. Основное назначение – фильтрация воды с помощью растений и накопление стока. Возможен высокий уровень разнообразия растений, которые способствуют биологической очистке, эвапотранспирации, фильтрации и инфильтрации воды. Обычно создаются в местах высокого уровня грунтовых вод либо с использованием водонепроницаемой мембраны в основании [3 с. 485].

3. Биофильтрационные полосы – участки земли, покрытые газоном или другой растительностью, предназначенные для фильтрации, седиментации и инфильтрации стока с соседних участков с водонепроницаемым покрытием. Биофильтрационные полосы часто используются в качестве компонента предварительной очистки воды. Полосы имеют продольный уклон от 2 до 5 % [3 с. 291 – 292].

4. Плавающие острова – устройства, предназначенные для очистки воды от различных загрязнений во время вегетационного сезона. Органические загрязнители в результате деятельности плавающих островов разлагаются, а загрязнения с соединениями азота превращаются в газ и удаляются. Неорганические загрязнители остаются прикрепленными к корням плавающих растений и к субстрату [4 с. 242 – 244].

Если по данным лабораторных исследований плавающие острова не будут слишком токсичными, то, после их эксплуатации и накопления вредных веществ, острова могут быть закомпостированы.

В России искусственные острова ещё не заслужили широкого применения. Но существуют пример плавающего острова в Москве, на территории национального парка «Лосиный остров» (рис. 1).

Рис. 1. Плавающий остров в национальном парке «Лосиный остров» в Москве

В основе механизма действия систем с биологической фильтрацией лежат методы фиторемедиации – комплекс методов очистки сточных вод и грунтов с

использованием растений. А основным механизмом таких систем является ризофильтрация – метод фиторемедиации, при котором вода фильтруется через корневые системы растений [5]. Корни растений выводят поллютанты из поверхностного стока воды, насыщая её кислородом и разлагая органические вещества, которые приносятся со стоком. Так, например, нефтяные продукты, пестициды и хлористые соединения деградируются, неорганические вещества (металлы и фосфорные соединения) задерживаются в корневых системах растений, а соединения азота (нитраты, нитриты) с помощью бактерий трансформируются в атмосферный азот [4 с. 235 – 237].

Технологии с основной функцией накопления стока (Н)

1. Дождевые сады – небольшие по площади понижения в рельефе (глубиной около 15 см), предназначенные для сбора, дальнейшей фильтрации и инфильтрации дождевой воды с кровли зданий, дорог и других участков с водонепроницаемым покрытием. Дождевые сады, как правило, представляют собой небольшие сооружения, которые обслуживают часть одного объекта (например, принимают дождевой сток воды с кровли здания). В дождевых садах, в отличие от биофильтрационных канав, поверхностный растительный и дренажный слои, как правило, заменяются небольшим (всего 200–500 мм) слоем песчаных почв или специальных лёгких почво-смесей [3 с. 335]. Ассортимент дождевого сада должен быть представлен местными видами с широкой экологической амплитудой по отношению к водному режиму, устойчивым к временному затоплению и способным переносить пересыхание.

2. Зелёные кровли – озеленённые пространства, которые создаются при помощи дополнительных слоев грунта и растений поверх традиционной кровли. Зелёные кровли поглощают дождевую воду (80 – 90 % от годового количества осадков), обеспечивают защиту от городского шума, а также защищают здания от холода и перегрева [4 с. 210]. Кроме того, зелёные крыши служат украшением городов и средой обитания городской фауны. Различают экстенсивную (неэксплуатируемая) и интенсивную зелёные кровли. В некоторых странах Европы и США экстенсивная зелёная кровля является обязательным условием застройки на законодательном уровне [6]. А кровли с интенсивным озеленением – это своеобразные сады на крыше, которые эксплуатируются человеком. Кровельный пирог, необходимый для их создания, отличается большей толщиной и весом, чем при использовании экстенсивного озеленения. Такие крыши нуждаются в систематическом техническом обслуживании. В зависимости от того, насколько глубоким будет слой грунта, можно высадить газоны, многолетние растения, кустарники и деревья [7].

3. Растительные боксы – системы, построенные на поверхности земли по типу интенсивной зелёной кровли. Предназначены для сбора и удержания дождевой воды с кровли здания. В растительные боксы высаживаются многолетние травянистые

растения, кустарники и небольшие деревья. В нижнем слое устраивается отводящая перфорированная труба, в верхнем слое – переливное отверстие для удаления излишков воды. Технология особо полезна в условиях города [3 с. 337].

4. Пруды отстойники с растительностью и без растительности. Искусственно созданные пруды, предназначенные для постоянного хранения воды. Основная функция – накопление поверхностного стока и отстаивание воды. Дождевая вода поступает равномерно со всех поверхностей: через биофильтрационные полосы, лотки, канавы и т.д. [3 с. 485 – 488]. Осадок постепенно отстаивается в воде в течение следующих 24 – 72 часов.

Дополнительно в пруд могут быть высажены растения. Растения выставляются в контейнерах, либо в подготовленный субстрат. Обычно такие пруды сочетают в себе несколько зон: зона сырого берега, зона болотца и зона основного водоёма, благодаря чему увеличивается разнообразие применяемых растений. По сравнению с искусственными болотами, пруды являются более глубокими и менее озеленёнными.

5. Резервуары для накопления воды. Резервуары могут быть надземные и подземные. В надземных накопителях дождевая вода с кровель зданий через желоба и водосточные трубы собирается в специальные резервуары, и в дальнейшем может использоваться для полива или технических нужд зданий. Резервуары могут быть встроенными в здания и быть объектом дизайна.

Подземные накопители широко распространены за рубежом. В России же, такие системы пока не получили всеобщего признания. Но в Ботаническом саду МГУ им. М. В. Ломоносова «Аптекарский огород» в 2018 году в саду была представлена первая в России система по сбору дождевой воды. Система собирает не весь поверхностный сток, а только «чистую» вода с кровли оранжерей. Сбор дождевой воды позволил сэкономить около 20 процентов ресурсов воды для полива растений из городского водопровода [8].

6. Дождевые бочки – это резервуары для хранения воды. Они накапливают дождевую воду, стекающую с крыши здания. Таким образом, дождевая вода накапливается, отстаивается в бочках и используется для личных целей. Такие технологии используются на частных резиденциях.

Технологии с основной функцией инфильтрации (И)

1. Водопроницаемые покрытия – это покрытия, позволяющие проникать воде через поверхность в нижележащие слои. Примерами проницаемых покрытий могут быть твёрдые модульные покрытия со швами, пористый асфальт, газонные решётки, гравийные покрытия, пористый бетон, травянистые покрытия и т.д. [3 с. 387 – 393].

2. Закрытые дренажные системы. Представляют собой траншеи, по всей глубине которых находится смесь хорошо фильтрующего материала (крупнозернистый песок, щебень и др.) Для дополнительного дренажа на дно укладывается перфорированная труба [9 с. 32]. Такие системы могут быть озеленёнными: верхний слой такой

дренажной системы представлен хорошо дренирующим растительным субстратом.

Существуют закрытые дренажные системы в виде ям и лощин, которые получили название инфильтрационных бассейнов.

3. Открытая дренажная канава с травянистым покрытием – открытые дренажные системы, укреплённые засевом трав. Каналы, как правило, имеют трапециидальное сечение. Основная функция заключается в инфильтрации, транспортировке поверхностного стока с осушаемой поверхности и в биологической очистке воды [9 с. 30 – 31]. Для очистки воды максимальная скорость стока по канавам не должна превышать 0,3 м/с [3 с. 318].

4. Подземные инфильтрационные кассеты – используются для контроля и управления поверхностными водами, и вода в них хранится временно. Они состоят из отдельных пластиковых модулей, которые используют при создании подземной структуры для хранения воды. Структура подземного хранилища формируется путём сборки необходимого количества отдельных узлов и оборачивания их в геотекстиль (или в геомембрану). Модули совмещаются между собой по принципу сообщающихся сосудов [3 с. 437 – 438].

Технологии с основной функцией транспорта стока (Т)

1. Каналы с водонепроницаемым основанием – открытые дренажные системы, желоба. Служат связующим элементом между остальными технологиями зелёной инфраструктуры, транспортируя воду. При протекании по неровной поверхности желоба, вода аэрируется, насыщаясь кислородом.

2. Водосток в открытую сеть. Водосток отделяется от системы ливневой канализации и перенаправляется на проницаемые покрытия, чаще всего на газон. Дождевой сток с поверхности зданий также могут принимать дождевые сады, дренажные каналы, растительные боксы и другие устройства.

Технология с основной функцией эвапотранспирации (Э)

Гидролесомелиорация (фитогидравлика) – система мероприятий по регулированию водного режима земель лесного фонда, направленная на улучшение их состояния [10 с. 39]. Использование видов растений, способных поглощать максимальное количество воды из почвы и испарять её в атмосферу путём транспирации (берёза, тополь, ива). Кроме того, подземные части растений улучшают и инфильтрацию воды.

Зарубежный опыт

Вышеперечисленные технологии зелёной инфраструктуры активно и успешно применяются в зарубежных странах, таких как США, Канада, Германия, Франция, Великобритания, Швеция, Китай, Австралия и др. А одним из первых городов, взявших

курс на использование технологий зелёной инфраструктуры, стал город Филадельфия.

Изношенная канализация Филадельфии не справлялась с ливнями, поэтому город часто страдал от затоплений и подтоплений. Важно сказать, что в естественных природных сообществах приблизительно половина осадков, выпадающих во время дождя, проникает в землю, а остальные 40 – 50 % испаряются с поверхности земли. В Филадельфии, где около 70 % – 90 % процентов площади города было представлено участками с непроницаемой поверхностью, только 15 % воды проникало в землю, 30 % испарялось, а оставшиеся 55 % попадало на непроницаемые поверхности. Это неочищенная вода, стекающая с кровель зданий, автомобильных дорог и парковок, попадала в канализацию. Канализация не справлялась с объёмом поверхностного стока, и неочищенная вода загрязняла ручьи и реки [11 с. 68 – 75].

Тогда в 2006 году была развернута программа «Greenworks Philadelphia», одной из задач которой было не допустить дождевую воду в подземные коллекторы [11 с. 68 – 75]. В том же году Департаментом водоснабжения Филадельфии была разработана 25-летняя программа «Зелёный город, чистые воды», согласно которой на законодательном уровне любые строительные объекты, имеющие площадь более чем 1500 м² должны иметь зелёные зоны, способные поглощать осадки [12]. И начиная с 2006 года, город начал «обрастать» дождевыми садами, зелёными кровлями, биодренажными канавами и другими сооружениями, направленными на уменьшение стока.

Чтобы отследить эффективность программы, была принята единица измерения – «зелёный акр», что соответствует около 0,4 га. Каждый акр ежегодно получает около 1 миллиона галлонов дождевых осадков в год. По состоянию на 2018 год, Департамент водных ресурсов Филадельфии построил более 1000 зеленых акров и планирует добавить еще 1300 в течение следующих трех лет. Технологии зеленой инфраструктуры оказались в три раза эффективнее, чем планировалось изначально: технологии снизили нагрузку на канализационную систему почти на 30% и позволили сократить объём ливневого стока на 1,7 миллиарда галлонов [13]. К тому же, изменился и внешний облик; город за последние 15 лет преобразился из «серого» в «зелёный».

Таким образом, основываясь на опыте зарубежных стран, методы организации поверхностного стока, представленные рядом технологий зелёной инфраструктуры, действительно работают, и основаны они на естественных биологических процессах, а также на сборе дождевой воды и последующем её использовании. Чтобы улучшить работу ливневых канализаций и избежать подтоплений и затоплений, технологии необходимо интегрировать в уже существующую серую инфраструктуру.

Список литературы

1. Green infrastructure. – Electronic text data. – Mode of access: https://en.wikipedia.org/wiki/Green_infrastructure#cite_note-Urban_green-blue_grids-1 (date of accessed 26.09.2019). – Title from screen
2. What is Green Infrastructure; U.S. EPA: Washington, DC, USA. – Electronic text data. – Mode of access: <https://www.epa.gov/green-infrastructure/what-green-infrastructure> (date of accessed 26.09.2019). – Title from screen
3. The SuDS Manual / T. Woods Ballard, S. Wilson, H. Udale-Clarke and other. – London.: CIRIA, 2015. – 937 P.
4. Kennen K., Kirkwood, N. Phyto: Principles and Resources for Site Remediation and Landscape Design / K. Kennen, N. Kirkwood, 2015. – 378 P.
5. Phytoremediation. – Electronic text data. – Mode of access: <https://en.wikipedia.org/wiki/Phytoremediation> (date of accessed 27.09.2019). – Title from screen
6. Экстенсивное озеленение кровли. – Электрон. текстовые дан. – Режим доступа: <https://www.zinco.ru/systems/ehkstensivnoe-ozelenenie/sedumnyj-kover/> (дата обращения 27.09.2019). – Загл. с экрана
7. Интенсивное озеленение кровли. – Электрон. текстовые дан. – Режим доступа: <https://www.zinco.ru/systems/intensivnoe-ozelenenie/> (дата обращения 27.09.2019). – Загл. с экрана
8. Первая в России система сбора дождевой воды / Официальный сайт Аптекарского огорода. – Электрон. текстовые дан. – Режим доступа: <https://hortus.ru/news/pervaja-v-rossii-sistema-sbora-dozhdevo.html> (дата обращения 26.09.2019). – Загл. с экрана
9. Криулин, К.Н. Дренажные системы в ландшафтном и коттеджном строительстве / К.Н. Криулин. СПб.: ООО «Студия НП-Принт», 2014. – 120 с.
10. Гидролесомелиорация избыточно увлажненных земель. Термины, понятия и определения: учеб. пособие / С.В. Залесов, А.В. Тукачева. – Екатеринбург: Урал. гос. лесотехн. ун-т, 2018. – 67 с.
11. David C. Rouse, AICP, and Ignacio F. Bunster-Ossa, Green Infrastructure: A Landscape Approach, – 2013 . – 144 P.
12. SuDS Storage Survey. – Electronic text data. – Mode of access: <https://www.hydro-int.com/en/resources/suds-storage-survey> (date of accessed 27.09.2019). – Title from screen.
13. With a Green Makeover, Philadelphia Is Tackling Its Stormwater Problem. – Electronic text data. – Mode of access: <https://e360.yale.edu/features/with-a-green-makeover-philadelphia-tackles-its-stormwater-problem> (date of accessed 01.10.2019). – Title from screen

Agriculture, forestry and fisheries

Classification of green infrastructure technologies and its using for managing surface runoff in an urban environment

**ERMOKHIN Artyom
Alexeyevich**

- magistracy, Mytishchi branch of MSTU N.E. Bauman (Moscow region, Mytishchi-5, st. 1st Institutskaya, d. 1),
ermohin_1997@mail.ru

Ключевые слова:

green infrastructure; rainwater management; phytoremediation

Аннотация:

The article discusses modern approaches of the organization of surface water runoff using green infrastructure technologies. Green infrastructure is a fairly new concept for Russia, but in abroad there are a number of positive examples of the using of its technologies as a fight against flooding. In addition to the main task of regulating runoff, green infrastructure also performs important tasks to conserve environmental resources, and green technologies do not harm the environment. Foreign experience was studied and relevant examples of the positive green infrastructure technologies using as a regulation of surface runoff in foreign cities such as Philadelphia were presented.