

6Министерство образования и науки Российской Федерации
Федеральное государственное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
«САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»
Инженерно-строительный институт

Кафедра «Водохозяйственное и гидротехническое строительство»

Гуляева Елизавета Александровна

**ОБУСТРОЙСТВО ЗЕЛЕННЫХ КРЫШ
ПРИ СТРОИТЕЛЬСТВЕ И РЕКОНСТРУКЦИИ
ЗДАНИЙ**

Магистерская диссертация по направлению подготовки
280100 Природообустройство и водопользование

Допущена к защите на ГАК
Заведующий кафедрой ВиГС
д.т.н., профессор Арефьев Н.В.

Научный руководитель
к.т.н., доцент Волкова Ю.В.

(личная подпись)

« » 2014 г.

(личная подпись)

« » 2014г.

Санкт-Петербург

2014

Оглавление

ВВЕДЕНИЕ	3
1. ИСТОРИЯ ЗЕЛЕННЫХ КРЫШ	6
2. ПРЕИМУЩЕСТВА ЗЕЛЕННЫХ КРЫШ	18
3. ТИПЫ ЗЕЛЕННЫХ КРЫШ И ИХ КОНСТРУКЦИИ	35
4. НАТУРНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ЗЕЛЕННЫХ КРЫШ	60
4.1. Цели и задачи натуральных исследований	60
4.2. Статистическая обработка результатов	62
4.3. Описание объектов исследования	63
4.4. СБОР ДАННЫХ	67
4.4.1. Измерительное оборудование	67
4.5. РЕЗУЛЬТАТЫ НАТУРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ	69
4.5.1. Результаты температурных исследований	69
4.5.2. Результаты гидрологических исследований	73
4.5.3. Результаты исследования выживаемости растений	78
4.5.4. Исследование возможности озеленения крыш в Гидрокорпусе-2 ..	81
5. РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ	85
6. ЗАКЛЮЧЕНИЕ	89
7. СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ	911

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время обустройство зелёных крыш при строительстве и реконструкции зданий приобретает всё большую популярность, став одной из наиболее динамично развивающихся областей ландшафтной архитектуры. В связи с возникающим в крупных городах дефицитом земли и обострением экологической обстановки появляется необходимость рационального использования кровель зданий и сооружений для создания архитектурно-ландшафтных объектов с использованием зеленых насаждений.

Зеленые дерновые кровли, помогавшие многие сотни лет сохранять тепло в домах Исландии и Скандинавии, в течение долгого времени рассматривались только как местная строительная практика. Ускорение процесса урбанизации, сопровождавшееся ухудшением экологической обстановки в мегаполисах и быстрым сокращением площадей городских озелененных территорий, возродили интерес к зеленым крышам не только в странах Северной Европы, но и во всем мире.

Площадь крыш составляет в городах значительную часть водонепроницаемых поверхностей, которые создают такие проблемы, как эффект теплового острова и увеличение объема ливневых стоков. Современная зеленая крыша представляет собой размещенные на кровле с использованием инновационных технологий слои гидроизоляции, дренажного материала и почвы, засаженные растительностью. Такая крыша ведет себя как губка, поглощая и удерживая выпадающие на нее осадки, что значительно уменьшает объем стока с крыши и его пиковый расход и снижает ливневую нагрузку на канализационные системы.

Обустройство зеленых крыш создает для зданий новые возможности энерго- и водосбережения, помогает управлять ливневыми стоками, улучшает их качество, уменьшает загрязненность атмосферного воздуха и смягчает эффект городского острова тепла. Кроме того зеленые крыши обладают эстетической привлекательностью, создают новую среду обитания

для многих видов растений, насекомых и птиц и предоставляют горожанам дополнительную возможность общения с живой природой.

Озеленение крыш имитирует природное окружение, увеличивая количество зелени, создающей тень и испаряющей влагу, и защищает собственно кровлю от неблагоприятных погодных воздействий, продлевая ее жизненный цикл. Летом оно способствует охлаждению крыши и снижению температуры воздуха как внутри, так и снаружи зданий, а зимой обеспечивает дополнительную теплоизоляцию, снижая потребность в энергии для кондиционирования воздуха и обогрева помещений. Кроме того зеленые крыши обеспечивают дополнительную защиту от городского шума.

Растительность на крыше улучшает и качество воздуха, вырабатывая в процессе фотосинтеза дополнительное количество кислорода и связывая углекислый газ, а также регулирует влажность воздуха и обладает способностью адсорбировать пыль и другие виды атмосферных загрязнений. Таким образом, обустройство зеленых крыш при строительстве и реконструкции зданий может существенно улучшить условия проживания и жизнедеятельности людей в городах, способствуя решению экологических и социальных проблем.

В настоящее время зеленые кровли получили широкое международное признание, и их строительство осуществляется практически во всех регионах мира. Различают два типа зеленых крыш, представляющих собой сложные и тщательно просчитанные кровельные системы: экстенсивные и интенсивные. Экстенсивная зеленая крыша, не требующая особого ухода, содержит над гидроизоляцией дренаж и неглубокий слой почвы с травой и низкорослыми растениями, способными произрастать в почти альпийских условиях, подвергаясь воздействию солнца и ветра.

Интенсивные зеленые крыши, напоминающие маленький парк, являются более сложными и требуют большего ухода. Они имеют более глубокий слой почвы (обычно свыше 30 см) и более разнообразный состав растений, включая деревья и кустарники. Оба типа современных зеленых

крыш представляют собой сложные, хорошо продуманные и тщательно просчитанные кровельные системы, стоимость которых с учетом их жизненного цикла, как правило, не превышает стоимости обычной кровли. Однако, интенсивные зеленые крыши по сравнению с экстенсивными считаются экологически менее эффективными и более дорогими, поскольку создают значительно большую нагрузку на несущие конструкции и требуют большей механической поддержки. Именно по этой причине рассмотрение возможности обустройства зеленой крыши над лабораториями Гидрокорпуса II СПбГПУ при его реконструкции ограничено в данной работе экстенсивным типом.

Исследования зеленых крыш, выполненные в Германии, Канаде, Швейцарии и ряде других стран, позволили оптимизировать их конструкции и технологии, которые уже используются и в России. Тем не менее, отечественных исследований, посвященных обустройству зелёных крыш при строительстве и реконструкции зданий с учетом местных условий, пока ещё недостаточно. В связи с этим целью настоящего исследования является оценка экологических преимуществ зеленых крыш экстенсивного типа в Санкт-Петербурге и разработка рекомендаций по обустройству зеленой крыши над лабораторным блоком Гидрокорпуса II СПбГПУ в данных климатических условиях.

1. ИСТОРИЯ ЗЕЛЕННЫХ КРЫШ

Прообразом зеленой крыши можно считать уже первое жилище доисторического человека, покинувшего пещеру и соорудившего навес или шалаш из растительного материала, используя стволы и ветви деревьев, а также травы и мох. Многие столетия деревянные крыши домов покрывали соломой и камышом, утепляя их в странах с суровым климатом слоем земли, на котором вырастала трава. Традиция покрывать деревянные жилища травой издавна существовала в странах Скандинавии, где до сих пор еще встречаются старые крестьянские дома с травяным покровом из дерна, уложенного поверх березовой коры (см. Рис. 1-1).



Рис. 2-1. Дома с дерновыми крышами на Фарерских островах.

Сооружение садов на крыше, появившихся вначале на Ближнем Востоке, где было принято строить здания с плоскими крышами, практиковалось еще в глубокой древности. Их родиной считаются Ассирия и Вавилон, где уже за шесть столетий до н. э. были построены так называемые «висячие сады Семирамиды», считавшиеся седьмым чудом света. При раскопках холма высотой 45 м на левом берегу Евфрата были обнаружены остатки террас, водопровода и гидравлических сооружений, что подтвердило существование именно на этом месте легендарных террасных садов. Висячий сад представлял собой несколько террас, расположенных одна над другой наподобие пирамиды и создающих равномерно распределенную на

основание нагрузку, и производил впечатление огромных зеленых ступеней. Самая верхняя терраса возвышалась над землей на 25 м, и весь сад, обращенный к югу, размещался на сводчатых перекрытиях камер, служивших погребями. Растения в этих садах, имевших специальную водопроводную систему, были высажены как в природе: на верхней террасе, где среди зелени били освежавшие воздух фонтаны — росли высокогорные, а более низменные — на нижней террасе, куда спускались каскады ручьев (см. Рис. 1-2). [9]



Рис. 2-2. Висячие сады Вавилона. Реконструкция Ф. Крисхен.

Археологи восстановили и конструкцию покрытий, которые состояли из тесаного камня, двух рядов кирпича и свинцовых плит, служивших гидроизоляцией. По плитам был проложен слой тростника, пропитанного битумом, а сверху насыпан растительный грунт. В толще колонн были скрыты трубы, по которым с помощью системы блоков и черпаков вода из реки Евфрат поднималась до самой верхней террасы.

Позднее, вместе с культурой Востока обычай украшать плоские крыши и балконы растениями в горшках был перенесен в Грецию, сопровождая культ Адониса, праздник которого отмечали и в Древнем Риме. Там тоже сохранился обычай озеленять крыши домов, используя кустарники и фруктовые деревья в бадьях. При раскопках Помпеи было обнаружено, что крыши вилл часто завершались террасами с колоннадой и зелеными

насаждениями, следы которых были обнаружены на плоской крыше аркады, окружавшей виллу Мистериас (см. Рис. 1-3). В построенном в 28 г. до н. э. на Марсовом поле в Риме мавзолее императора Августа тоже росли вечнозеленые деревья и кустарники, располагавшиеся на круглых террасах.



Рис. 2-3. Остатки античного сада на крыше виллы Мистериас в Помпеях.

Роскошные сады на террасах верхних этажей своих дворцов создавали в V в. многие византийские императоры, и один из придворных поэтов Юстиниана I воспевал защищающие от ветра и солнца красивые сады на крышах, с которых открывается чудесный вид на море. Изображения садов и террас на крышах встречаются в византийском Евангелии и молитвенниках XI - XII вв., что также говорит о распространенности этих сооружений.

Со временем зеленые крыши начинают продвигаться на север Европы, где в южной части Нюрнбергского замка германского императора Фридриха III в 1487 г. была построена зеленая крыша в виде висячего сада с виноградниками, фруктовыми деревьями и цветами. Такой же сад устроил в Тироле над замком Амбрас и эрцгерцог Фердинанд. Позднее, в Германии, на крыше дворца архиепископа Иоганна-Филиппа в Пассау был создан двухуровневый сад, в котором преобладали цветники, а деревья и кусты были высажены в кадки. Получила известность и зеленая крыша замка Карлсберг в Швеции.

В период Ренессанса принадлежавшие королям, герцогам и прочим знатным людям «висячие сады» стали особенно роскошными, когда они,

благодаря расцвету культуры вообще и садоводства в частности, обогатились чужеземными растениями. Особенно славилась такими садами Италия, где во Флоренции уже в XV в. в садах на крыше виллы Медичи росли экзотические цветы, а в г. Мантуя огромный висячий сад был сооружен на крыше дворца герцога Гонзага. Кардинал Андреа дель Валье в 1530 г. выстроил в Риме музей в виде «висячего сада», а в Вероне граф Мафарей на крыше своего дворца разбил прекрасный сад, засаженный разнообразными цветами и деревьями. [16]

В XVI—XVII вв. на севере Италии на скалах острова Изола Белла, окруженного водами озера Лаго Маджоре, на террасах замка были сооружены висячие сады, ставшие образцом садово-паркового искусства Позднего Возрождения. Под террасами, на которых были собраны растения чуть ли не со всего света, размещалась целая галерея подземных гротов, где можно было укрыться от летнего зноя (см.Рис.1-4). Строительство и эксплуатация таких террас и садов обходились чрезвычайно дорого, поэтому только очень богатые и знатные люди могли позволить себе подобную роскошь.



Рис. 2-4. Висячие сады на острове Изола Белла.

В начале XVIII в. немецкий путешественник Иоганн Фолькмер пишет: «В Венеции и Генуе над дворцами находятся роскошные, висящие в воздухе

сады. В Генуе, где большинство зданий расположено на холмах и, как известно, мало равнинных мест, принято устраивать крыши-сады над зданиями, которые могут нести дополнительную нагрузку от земли, насыпанной на крышу».

Вскоре дома с крышами-садами появились не только в Италии, но и в более северных странах, например, в богатых немецких городах Нюрнберге и Аугсбурге, и даже в Англии. Там в замке Уилтон Хаус, принадлежавшем графам Пембрукам, была построена большая озелененная терраса с бассейном и фонтаном, располагавшаяся над гротом, как это было принято в Италии в период расцвета Ренессанса.

Еще в XVIII в. известный ученый и строитель Пауль Марнергер писал, что плоские крыши надо повсеместно использовать для домашнего труда и отдыха, и рекомендовал обычные скатные крыши заменить на плоские. Спустя полвека идею строительства плоских крыш возродил Карл Рабитц, известный строитель и изобретатель, который вместе с Марнергером создал ряд принципиально новых проектов плоских крыш-садов. Особенно большие размеры строительство плоских озелененных крыш приняло в конце XIX в. и в начале XX в. в связи появлением железобетона и благодаря трудам виднейших архитекторов и градостроителей, среди которых были француз Ле Корбюзье и американец Ф. Л. Райт.

Ле Корбюзье сделал «крыши-сады» необходимой составной частью архитектуры, разработав и осуществив большое количество проектов с использованием эксплуатируемых зеленых крыш, начиная от небольших вилл и до крупных жилых комплексов. Одновременно с Ле Корбюзье подобные проекты во многих странах начали осуществлять и другие архитекторы новой волны. Например, братья Перрет построили в 1903 г. в Париже доходный дом с крышами-садами и террасами, Вальтер Гропиус в 1914 г. выстроил в Кельне конторское здание с рестораном на озелененной крыше, а в Америке тогда же Франк Ллойд Райт спроектировал в Чикаго большой ресторан с эксплуатируемыми зелеными крышами. [6]

С двадцатых годов прошлого века стали появляться новые технические решения крыш-садов, и их строительство расширилось еще больше, распространяясь по разным странам. В 30-е годы XX века на крыше шестиэтажного дома по Кенсингтон-Хай-Стрит в Лондоне архитектор Р. Хэнкок соорудил один из крупнейших в Европе садовых комплексов "Дерри энд Томз", занимающий площадь 0,6 га. Там до сих пор сосуществуют рядом сады разных стилей: викторианский "Тюдор", регулярный "испанский", а также пейзажный, чаще называемый английским (см.рис. 1-5).



Рис. 2-5. Сад "Дерри энд Томз" в Лондоне.

В настоящее время в Германии, где озеленено уже 10% всех крыш, и в ряде других европейских стран, включая, Австрию, Италию, Нидерланды, Норвегию, Швецию, Швейцарию и Великобританию, существуют ассоциации, активно продвигающие идею озеленения крыш. В Канаде и в США «зелёные крыши» также становятся популярны, хотя их количество ещё не так велико, как в Европе.[3]

Первые описания русских садов на крышах относятся к XVII веку. «Верховые сады» или «сады на снях» располагались на каменных сводах пристроек к дворцовым зданиям Московского Кремля. В Кремле было несколько таких садов, и особенно хороши были Верхний и Нижний набережные сады, получившие за свою красоту название «красных».

Верхний сад был построен в 1623 г. садовником Назаром Ивановым на сводах углового корпуса дворца, выходившего на Москву-реку. Он был

обнесен каменной оградой с окнами, из которых открывался обширный вид на Замоскворечье. Позднее, в 1687 г. в Верхнем саду был сооружен пруд глубиной 2 аршина (1,42 м) и построена сохранившаяся поныне Водовзводная башня со специальным механизмом для заполнения его водой из реки. Именно здесь, плывая по пруду на «потешной флотилии» из маленьких лодок, малолетний Петр I получил свое пристрастие к навигационному делу.

Нижний красный набережный сад находился недалеко от Верхнего и был устроен при царе Алексее Михайловиче в 1681 г. В нем также был сделан пруд. Этот сад был украшен «перспективным письмом»: расписанные мастером Петром Энглесом изнутри стены каменной ограды зрительно расширяли его пространство.

«Верховой» сад стал одним из наиболее своеобразных типов русского городского сада XVII в. Располагаясь на уровне верхних этажей дома, он как бы входил в состав жилых помещений. В Москве в XVII в. славились «красные» сады бояр Голицыных и Ордын-Нащокиных. Характерным для них было сочетание практической пользы с художественными достоинствами, и прохлада, создаваемая прозрачной легкой тенью любимых на Руси берез, дополнялась прямым ароматом цветов, душистых и целебных трав, пением певчих птиц и красочностью архитектурных деталей.[1]

Планировка верховых садов в XVII в. была очень простой. Сад обычно имел несколько дорожек, пересекавшихся под прямым углом, участки между которыми обрамлялись тонкими досками, поставленными на ребро. В образовавшихся ящиках высаживались цветы, главным образом, пионы, тюльпаны, лилий, розы, гвоздика, а также различные сорта яблонь. На зиму для защиты от холода деревья укрывались рогожами и войлоком.

Устройство верховых садов требовало больших средств. Оно предусматривало сооружение массивных опор и перекрытий, которые могли бы держать тяжесть земли. Основание сада в целях водонепроницаемости

покрывалось свинцовыми «досками» (плитами), швы между которыми запаивались.

Были, однако, и другие варианты конструкций перекрытий.

В 1675 г. патриарх Иоаким «указал строить на своем патриаршем дворе в Кремле «каменное дело» для хозяйственных помещений, а над ними, подле своих деревянных келий устроить и утвердить место, чтобы можно было на нем сад учинить, и то садовое место огородить каменной стеной». Патриаршие хоромы, занимавшие второй этаж, были по площади меньше подклетов, и поэтому на них оставалось место для создания сада. Он был устроен на крыше каменной палаты, а вместо свинцовых плит его основанием служил «бревенчатый мост с бревенчатыми толстыми желобами для спуска воды». На этот помост была насыпана земля, в которую и посажены растения.

Для своего времени Кремлевские верховые сады были в России не меньшим «чудом света», чем знаменитые висячие сады Семирамиды.

Позднее, уже в XVIII в. висячие сады появились и в новой столице России – Санкт-Петербурге, где Ф. Б. Растрелли устроил первый такой сад в Зимнем дворце, разместив его на каменных сводах дворцовых конюшен при Малом Эрмитаже (см. Рис. 1-5). Висячий сад в Зимнем дворце, напоминающий галерею под открытым небом, сохранился до наших дней.



Рис. 2-6. Висячий сад в Зимнем дворце.

В 80-х годах подобный висячий сад был создан Ч. Камероном и в загородной царской резиденции — Царском Селе, на уровне второго этажа Zubовского флигеля Екатерининского дворца. При устройстве террасы на своды была уложена гидроизоляция из закупленного в Англии листового свинца и насыпан толстый слой земли для посадки садовых растений. Здесь росли яблони, сирень, жасмин и розы, а вокруг кустов были высажены тюльпаны, пионы и нарциссы. [2]

Во второй половине XVIII в., когда в России свирепствовали пожары, архитектор Н.А. Львов наряду с огнестойкими «землебитными» конструкциями, обратил внимание домовладельцев на травяные, или «дерновые», кровли деревянных строений, защищавшие их от огня. Устройство таких крыш был посвящен даже специальный трактат, изданный С.Ф. Ушаковым в 1772 г.

В XIX в. с появлением новых строительных материалов и конструкций устройство таких садов стало доступным не только богатой знати, становясь более массовым. В 1839 г. был построен висячий сад в усадьбе Марфино под Москвой (арх. М. Быковский), а вскоре эксплуатируемые зеленые кровли появились в Москве в особняке Морозова (арх. В. Мазырин) и в доме Перлова на Мясницкой ул. (арх. Р. Клейн). В Петербурге с конца XIX в. такие сады стали появляться на крышах доходных домов: например, в доме Зайцевой на Фурштадской ул. (арх. М. Богомолов), в доме Орлова на Вознесенском пр. (арх. И. Маркелов) и др.

В XX в. к созданию садов на крышах вновь возник интерес после появления в 1911 г. статьи известного журналиста И. Василевского, описывавшего увиденные им в Лейпциге обширные зеленые кровли, которые давали хозяевам клубнику, малину, цветную капусту и низкорослые фрукты («Ресторатор», 1911, № 14). В 1912 г. владелец ресторана на Дорогомиловской улице открыл на крыше своего дома сад для посетителей ресторана, а в следующем году еще более богатый сад с гротами и фонтанами был устроен на крыше кафе на Каляевской улице.

В 20-е годы плоские эксплуатируемые крыши стали неотъемлемым компонентом новой жилой среды, войдя в структуру зданий, чему советский конструктивизм даже дал теоретическое обоснование (братья Веснины и Голосовы, М. Гинзбург, и др.). По проекту М. Гинзбурга солярий и сад с кустами роз разместился на крыше нового жилого дома на М. Бронной и 6-этажного дома-коммуны на Хавской улице, а плоскую крышу 8-этажного дома на Спиридоновке приспособили для детских игровых площадок, защищенных металлическими сетками, между которыми были высажены цветы и низкий кустарник. Озеленение крыш стало, таким образом, не только экстенсивным, но и интенсивным, поскольку растительность на кровле начали использовать как для теплоизоляции и декоративного покрытия зданий, так и для рекреации, а также для выращивания цветов, плодов, ягод и овощей.

Великая Отечественная война надолго прервала создание крыш-садов, проектирование и строительство которых в 60-х и 70-х годах велось от случая к случаю, но все же было построено несколько экспериментальных зданий с зелеными кровлями. Так, например, в 1976 г. в Минске был построен жилой дом (арх. Г. Сысоев), состоящий из двух блоков по 14 и 16 этажей, где на крыше первого из них разместился двухуровневый сад. На обеих соединенных лестницей террасах в бетонных вазах и контейнерах росли деревья, кустарники и цветы, и весь сад воспринимался снизу как архитектурное завершение здания. В течение нескольких лет там даже проводились исследования особенностей микроклимата, показавшие его достаточную комфортность и позволившие сделать вывод о целесообразности использования озелененных плоских крыш для отдыха населения. [12][13]

В Москве на кровле Ботанического сада МГУ в 1999 г. разбили сад, где теперь проводятся исследования разных видов растений для оптимизации их подбора при озеленении крыш, в том числе, для открывшегося в 2003 г. международного Дома музыки. В его зимнем саду, продолжающемся под

открытым небом, растут оранжерейные и экзотические растения, а на крыше размещены растения открытого грунта: липа, рябина, туя, можжевельник и декоративные кустарники. Этот объект стал одним из самых удачных решений среди новых садов на крышах в Москве (см. Рис. 1-7). [8]



Рис. 2-7. Московский международный Дом музыки.

Несколько проектов озеленения крыш за последние годы было выполнено и в Санкт-Петербурге, где использовалась технология немецкой компании «BAUDER», свыше 150 лет являющейся лидером по производству зеленых кровельных систем в Европе. Первым из них стал многофункциональный комплекс "Аэропорт Сити" на Стартовой ул., а затем элитный жилой комплекс "Диадема" на Крестовском острове и гостинично-развлекательный комплекс в г. Пушкин (см. Рис. 1-8 и Рис. 1-9). Крыши первых двух и стали предметом настоящего исследования.



Рис. 2-8. Зеленая крыша комплекса "Аэропорт Сити".



Рис. 2-9. Зеленая крыша жилого комплекса "Диадема"

Поверхность эксплуатируемых крыш фактически дублирует площадь застроенных территорий, поэтому их озеленение, позволяющее оптимизировать функциональные, микроклиматические и санитарно-гигиенические параметры наших городов, представляется особенно актуальной задачей.

2. ПРЕИМУЩЕСТВА ЗЕЛЕННЫХ КРЫШ

Дефицит свободных территорий и ухудшение экологической обстановки и в городах заставляют по-новому взглянуть на проблему строительства садов на крышах, которые помимо дополнительного жизненного пространства и более эстетичного вида домов дают их обитателем целый ряд экологических преимуществ. В первую очередь, озеленение крыш улучшает качество атмосферного воздуха, существенно снижая уровень загазованности, поскольку зеленые растения выделяют кислород и поглощают углекислый газ, а также адсорбируют загрязняющие воздух вещества и пыль.

На атмосферу городов влияют не только автомобили, выбрасывающие в воздух продукты сгорания топлива, которые содержат большое количество токсичных веществ, но и крыши домов, покрытые битумными материалами. В летнее время этот кровельный материал помимо тепла выделяет довольно много токсичных испарений, но озеленение крыш помогает этого избежать, в результате чего не только воздух становится чище, но и температура в городе снижается.

На стандартных крышах летом очень жарко, и температура там может подняться выше 50°C, но наличие испаряющих влагу растений позволяет за счет этого снизить температуру воздуха, примерно, до 35°C. Соответственно, снижается температура и в помещениях, расположенных непосредственно под крышей, делая проживание там более комфортным и обеспечивая экономию электроэнергии за счёт снижения потребности в кондиционировании воздуха. Снижая летом неизбежную жару в квартирах обитателей верхних этажей, озелененная крыша обладает хорошими теплоизолирующими свойствами и не дает промерзнуть потолкам зимой. При этом она обладает еще и хорошей звукоизоляцией, снижая уровень шума в помещениях, примерно, до 40 децибел.

За счёт того, что «зелёная крыша» состоит из нескольких слоёв, здание оказывается защищённым от воздействия холода зимой. Под

«зелёным мехом» температура на крыше будет не очень низкой – это, своего рода, изоляция крыши, которая продлевает срок её службы и, соответственно, снижает затраты электроэнергии на отопление. [16]

В конце 1980-х ливневые сбросы были признаны важным источником загрязнения. В 1992 в США городские стоки были признаны вторым по значимости источником ухудшения качества воды в озерах и эстуариях и третьим по величине источником ухудшения качества воды в ручьях и реках. Основные источники загрязнения включали городской сток, ливневую канализацию и неточечные источники, в том числе атмосферные осадки, загрязненные донные отложения и виды землепользования, которые генерируют загрязненный сток, например, строительство и сельское хозяйство. Агентством по охране окружающей среды была разработана Программа по ливневой воде с целью улучшения качества воды ливневых стоков, требующая специальных разрешений на ливневые сбросы применительно к производственной деятельности, строительной деятельности, нарушающей более 5 гектаров, и муниципальным системам ливневой канализации.

Другими причинами загрязнения от неточечных источников являются атмосферные осадки, местные загрязнения и природные источники. Загрязняющие вещества, найденные в ливневых стоках, варьировали, начиная от пестицидов и удобрений и кончая маслами и нефтепродуктами, строительной химией, солями и отложениями.

Вызывают озабоченность два связанных с ливневым загрязнением обстоятельства: высокие нагрузки питательных веществ и высокие пиковые расходы.

Увеличение площади непроницаемых поверхностей, происходящее в результате урбанизации, увеличивает также объем и скорость городских ливневых стоков. Высокие пиковые расходы от интенсивных дождей приводят к увеличению скорости потока, который может размывать русла рек и увеличивать эрозию берегов. Еще одной проблемой являются

незаконные сбросы из санитарных канализаций, увеличивающие тем самым уровень содержания бактерий группы кишечной палочки и создающие проблемы общественному здравоохранению. Результаты этих загрязняющих веществ, влияющих на водоемы, проявляются в гибели рыбы, загрязнении источников питьевой воды и нарушении мест обитания диких животных.

Одной из причин загрязнения, связанных с ливневыми осадками является переполнение комбинированных канализационных систем. Во многих вновь построенных городах есть отдельные санитарные и ливневые канализационные линии; однако в более старых городах, таких как Нью-Йорк, все еще имеются районы, которые обслуживаются комбинированной общесплавной системой канализации. [39] Комбинированные системы канализации обычно не вызывают экологических проблем для местных водотоков, но во время интенсивных ливней расход воды в таких системах может превышать емкость очистных сооружений [21] [43], и в результате их переполнения необработанные отходы жизнедеятельности человека попадают в близлежащие водоемы.

Увеличение пиковых расходов является результатом увеличения ливневого стока вследствие урбанизации. Седиментационные нагрузки и пиковые потоки уменьшаются при осуществлении мероприятий по обработке ливневых стоков, что привело к снижению содержания взвешенных веществ в поверхностных водах.

В то время как проницаемые тротуары могут превратить ранее непроницаемые городские площади в проницаемые зоны, зеленые крыши могут также, по сути, сделать то же самое для крыш. За счет небольшого по глубине слоя почвы, как правило, менее 15 см, экстенсивные зеленые крыши могут удерживать существенную часть дождевых осадков, уменьшая таким образом объем ливневых стоков с ранее непроницаемой площади крыш. Экстенсивные зеленые крыши также действуют подобно проницаемому дорожному покрытию потому, что почва очень пористая и после того, как она насыщается осадками, вода протекает через почву, образуя сток с крыши.

Многие государства и городские муниципалитеты начали разрабатывать ливневые программы, сосредоточивая внимание на конкретных аспектах, требующих дополнительного внимания. Например, если сток с крыш успешно отключить и направить на проницаемую поверхность, то площадь крыш можно будет вычесть из площади непроницаемой поверхности объекта, в результате чего уменьшится объема стока, учитываемого разработчиками объекта.

Есть множество преимуществ, приписываемых зеленым крышам, включая следующие, каждое из которых будет обсуждаться далее более подробно [28] [50]:

- Уменьшение ливневых стоков;
- Адсорбция загрязняющих воздух веществ и пыли;
- Снижение городского эффекта теплового острова;
- Предоставление среды обитания для биоты;
- Защита строения от колебаний освещенности и температуры, и поэтому продления срока службы крыши;
- Предоставление дополнительной теплоизоляции и, следовательно, уменьшения расходов на отопление и охлаждение здания;
- Создание дополнительного жилого пространства в перенаселенных городских районах.

Экологические преимущества:

Многие сторонники использования зеленых крыш рассматривают их как способ возвращения к природе. Когда здание построено, природное пространство земли, на котором оно стоит, становится непроницаемым, а естественная растительность и животный мир, возможно, присутствовавшие там, исчезают. Сторонники зеленых крыш рассматривают их как природные оазисы в урбанизированном море. Пространство наверху крыши можно засаживать растительностью, начиная от низкорослых стелющихся растений и до деревьев включительно. Хотя не все места обитания можно воссоздать на крыше, некоторые виды среды обитания, такие как травяные газоны и

моховые ковры на зеленых крышах могут быть воссозданы. [28] Грант и соавторы описывают различные способы воссоздания естественной среды обитания на вершине крыши, включая естественную природную колонизацию и использование дерновых ковровых покрытий и очитка. Эта воссозданная природная среда обитания может стать домом для многих видов жуков, насекомых и птиц. [23] [28]

В Швейцарии исследовали количество пауков и жуков на зеленых крышах. Эти исследования показали, что зеленые крыши, различающиеся по набору видов и по плотности посадки растений, содержат большое разнообразие видов пауков, жуков и птиц. В своих исследованиях Brenneisen [23] сравнил среду обитания зеленых крыш с сопоставимыми природными местообитаниями, найденными на уровне земли и содержащими подобную растительность, как на зеленых крышах; он установил, что присутствовавшие в каждой среде обитания виды жуков и пауков заметно не отличались. Это показывает, что зеленые крыши могут адекватно воссоздавать природную среду обитания. Исследования, проведенные в Швейцарии, показали также присутствие на зеленых крышах многих видов птиц, находившихся там в поисках пищи и для размножения. [23]

Преимущества по сокращению потребления энергии:

Слой почвы и растения на крыше обеспечивают дополнительный изолирующий слой к уже имеющейся в конструкции кровли изоляции. Этот дополнительный слой изоляции помогает снизить требования к отоплению и охлаждению здания и, следовательно, обеспечивает экономию энергии. [39] [28] Исследователи надеются представить доказательства этой выгоды зеленых крыш: сокращение использования энергии, которое дает обеспечиваемая ими дополнительная изоляция.

Канадцы Лю и Баскаран [37], проведя полевые исследования в Оттаве, установили, что потребность в энергии, необходимой для кондиционирования помещений, благодаря теплоизоляционному эффекту зеленых крыш снизилась более чем на 75 %. Исследования, в ходе которых

сравнивались экстенсивная и обычная крыши, показали снижение энергии от 6,0-7,5 кВтч/день для обычной крыши до менее чем 1,5 кВтч /день для зеленой крыши. [37] [21] Обе крыши в эксперименте были одинакового размера с площадью поверхности 72 м². [37]

Тепловые преимущества:

В городских условиях жизни, когда огромное количество автомобилей «выбрасывает» в воздух продукты использования топлива, а, именно, выхлопные газы; когда всё возрастает количество потребления кондиционеров, что, конечно приветствуется производителями и самими потребителями, так вот, за счёт этого температура в городе становится, примерно, на пять градусов выше температуры окружающей среды. Если при этом 20% крыш в городе – «зелёные», то они способствуют улучшению качества воздуха и снижению общего тепла в городе, примерно, на три градуса, что позволяет снова сократить расходы на охлаждение помещений.

Во всем мире города продолжают расширяться и городской эффект теплового острова оказывает все более значительное влияние на жизнь городского населения. Городской эффект теплового острова представляет собой явление, где температура окружающей среды в пределах городских районов оказывается выше, чем в пригородных районах. Это явление было достаточно хорошо изучено; в городах оказывается ночью на 7°С теплее, а днем на 3° С теплее, чем в их пригородных районах. [39] Например, тепловые инфракрасные фотографии НАСА показали, что температура в центре города Атланта, штат Джорджия, часто на 6°С теплее, чем в окружающих его районах. [47] Городской эффект теплового острова обусловлен наличием большего количества поглощающих тепло материалов, таких как асфальт, покрывающий почву во всех городских районах. Эти материалы поглощают тепло, а не отражают, как это делает растительный покров. В результате городские районы удерживают тепло дольше и температура окружающей среды там оказывается выше, чем в сельской местности. [39] Другими негативными последствиями городского эффекта

теплового острова являются увеличение спроса на энергию в результате повышения температуры, образование смога, увеличение образования озона, связанные с тепловым стрессом заболевания и эмиссия углекислого газа и других загрязняющих веществ в связи с увеличением производства энергии. [24] [47]

Сторонники зеленых крыш надеются, что зеленые кровли могут уменьшить городской эффект теплового острова в случае их распространения в широких масштабах по всему городу. Натурные исследования в Оттаве, Канада, показали, что тогда как температура на обычной крыше достигла 55°C , типичная экстенсивная зеленая крыша поддерживала температуру около 21°C . [37][21] Лю и Баскаран [37] также сообщали, что зеленая крыша снижает колебания температуры на крыше в течение дня. В этом канадском исследовании отмечалось, что ежедневные колебания температуры на обычной крыше в весенние и летние месяцы были в среднем 45°C , а на эквивалентной зеленой крыше всего 6°C . [37]

Зеленая крыша площадью $2\,044\text{ м}^2$ на здании мэрии в Чикаго была использована, чтобы сравнить температуры на одинаковых по площади участках крыши мэрии с твердой водонепроницаемой поверхностью, засаженных участках крыши мэрии, и асфальтовой крыши соседнего административного здания. Измерения, выполненные 9 августа 2001 г. инфракрасным термометром на крыше, показали следующие температуры: $52 - 54^{\circ}\text{C}$ для твердой водонепроницаемой поверхности, $33 - 48^{\circ}\text{C}$ для засаженной растениями поверхности и 76°C для асфальтового покрытия. [32] В том же месяце температура окружающего воздуха над зеленой крышей мэрии была приблизительно 42°C , а температура воздуха над соседним административным зданием была 46°C . [32] Более резких различий в температуре воздуха над этими крышами не наблюдалось, видимо, потому, что не вся поверхность зеленой крыши мэрии была в это время покрыта растительностью. Эта интенсивная зеленая крыша была украшена двумя небольшими деревьями и большим количеством маленьких дорожек,

пересекавших посадки растений, поэтому растительность не покрывала всю площадь поверхности крыши. Эти факты показывают возможность снижения температуры поверхности крыши и температуры окружающей среды, которое могут обеспечить зеленые крыши, причем более значительное снижение температуры может наблюдаться при более плотной посадке растительности.

В исследовании, проведенном в Университете штата Пенсильвания, сравнивалась температура трех типичных экстенсивных зеленых крыш площадью 4,5 м² и трех обычных крыш той же площади. Денардо [26] сообщает, что максимальные температуры зеленой крыши были значительно ниже максимальных температур обычных крыш в течение всех месяцев наблюдения. Различия между этими двумя типами крыши составляли 31°С в июне и 4°С в декабре. Снижение температуры в климате Пенсильвании было значительно больше в летние месяцы, чем в зимний период. Как и в канадском исследовании, выполненном Лю и Баскаран [37], исследователи из ПГУ отметили, что ежедневные колебания температуры в июне на зеленой крыше были на 41°С меньше чем на обычной крыше. [26]

Задержка воды и ливневые преимущества:

Одним из наиболее заметных преимуществ зеленых крыш является сохранение дождевой воды, которое там обеспечивает почва и растительность; это самое исследованное потенциальное преимущество зеленых крыш на сегодняшний день. Обычная крыша практически не сохраняет дождевую воду, однако на плоских крышах может сохраняться примерно 5 мм. Осадки почти сразу же стекают по крыше, попадают в систему ливневой канализации и сток направляется в ближайший водоприемник. Эти быстро движущиеся дождевые стоки с крыш в городских районах увеличивают шансы паводков во время интенсивных дождей. В старых городах, где имеются объединенные системы канализации, такие быстрые наводнения могут привести к переполнению канализационных

Систем и попаданию необработанных коммунально-бытовых сточных вод в близлежащие водотоки. Учитывая эту опасность, существующие программы управления ливневыми стоками требуют сокращения объемов и интенсивности ливневых стоков, поступающих в городские канализационные системы. [43] Зеленые крыши являются потенциальным решением этой проблемы.

В то время как исследования зеленых крыш в Германии продолжаются с 1975 года, и за это время было опубликовано более 950 отчетов об экстенсивных зеленых крышах, лишь немногие из них были переведены на английский язык. [30] Одним из видных лидеров германских исследований зеленых крыш является д-р Ханс-Йоахим Лиске (Dr. Hans-Joachim Liesecke). В своей книге "Сохранение зеленых крыш" (Das Retentionsvermugen von Dachbegrunungen) Лиске обсуждает потенциальные возможности зеленых крыш для удержания воды. Суммарное испарение играет наиболее важную роль в способности зеленых крыш удерживать воду, и задержка воды в летние месяцы значительно больше, чем в зимние месяцы, потому что в летний сезон скорость эвапотранспирации гораздо выше. [33] [34] Таким образом, в районах, где большая часть осадков приходится на зимние месяцы, зеленые крыши могут быть не столь эффективными, поскольку в зимний период имеет место меньшая задержка воды. В Германии, где выпадает примерно 580 мм осадков в год, суммарное испарение составляет около 64 мм/год с более низкой эвапотранспирацией в январе около 0,3 мм/месяц и гораздо более высокой скоростью эвапотранспирации в июле 12 мм/месяц. В другом исследовании Liesecke испытывал различные почвогрунты экстенсивных зеленых крыш глубиной от 80 мм до 120 мм. Изучались зеленые крыши с тяжелыми и легкими грунтами, некоторые с дренажными слоями, некоторые без них, и каждая зеленая крыша имела уклон в 5°, за исключением одной с уклоном 0°. Данные за трехлетний период наблюдений с 1995 год по 1997 показывают, что количество осадков было 918 мм, 712 мм и 827 мм в 1995, 1996 и 1997 г.г.

соответственно. [33] Для всех эти годы задержание воды обычной крышей варьировало в диапазоне от 10% до 20%, тогда как задержка воды зелеными крышами колебалась от 50 % до 65% с двумя исключениями; в 1995 году самая тонкая экстенсивная зеленая крыша задержала только 47% воды, а в 1996 году самая толстая зеленая крыша с уклоном 0° задержала 74% осадков. [33] Об общей интенсивности осадков для этих лет не сообщалось, и в климатических районах с более высокой интенсивностью осадков может иметь место больший сток.

Это немецкое исследование предоставило немецким компаниям своего рода общие отраслевые стандарты ежегодного удержания воды зелеными крышами. Например, годовая задержка воды для зеленых крыш с 2% уклоном и глубиной почвенного слоя 20-40 мм составляет 40-45%, при глубине почвенного слоя 60-80 мм составляет 50 -55% , а с глубиной грунта 100-120 мм составляет 55-60%. [34] Лиске также привел результаты, показывающие способность зеленых крыш уменьшать пиковый ливневой сток с крыш. В другом исследовании, проведенном в Германии, сток с обычной крыши, покрытой гравием, сравнивался со стоком с экстенсивной зеленой крыши при толщине грунта 40 мм. Через 15 минут после начала осадков сток с обычной крыши составил 20 мм из 27 мм общего количества осадков и только 0,043 мм с зеленой крыши. [34] В то время как с обычных крыш стекает 74% от общего количества осадков, с зеленых крыш за то же время стекает только 16 %; оставшаяся часть стока с зеленой крыши будет либо сохранена для использования растительностью или медленно покинет почву. Это убедительно показывает возможность снижения пикового стока с помощью зеленых крыш.

Ограниченные исследования удержания воды зелеными крышами были проведены и в США, где в городе Портленд, штат Орегон, ведутся передовые исследования в этой области. Способность зеленых крыш удерживать воду зависит от целого ряда факторов, таких как интенсивность осадков, их сезонные колебания, уровень эвапотранспирации и влажности

почвы на крыше. Во время 15 -месячного периода наблюдений в 2002 и 2003 годах задержка воды из экстенсивной зеленой крыши с глубиной почвы 100-120 мм составила 69% от общего количества осадков. [31] В течение нескольких месяцев с мая 2002 года по октябрь 2002 года, свыше 90% месячных осадков было задержано зеленой крышей, однако это были сухие месяцы года с количеством осадков менее чем 50 мм в течение каждого месяца. [31] Значительное удержание осадков наблюдалось также в течение влажных зимних месяцев в Портленде. Хатчинсон и др. [31] сообщают об удержании примерно 30% осадков в январе 2002 года, удержании 50% в декабре 2002 года и удержании 60% в марте 2003 года при месячном количестве осадков около 160 мм, 108 мм и 127 мм за каждый месяц, соответственно. Результаты этого исследования показывают, что большее количество осадков зимой может привести к снижению задерживания, а более высокие скорости испарения весной могут привести к большему удерживанию. Это исследование продемонстрировало также снижение пикового стока с зеленой крыши на 80%. Пиковый ливневой расход для выбранных ливней в 2002 и 2003 варьировал от 1,2 до 5.5 м³/с, а соответствующий пиковый сток варьировал от 2.3 до 3.4 м³/с. [31]

Исследования, проведенные в Университете штата Мичиган показали, что 66% осадков было удержано экстенсивной зеленой крышей с глубиной грунта 127 мм, изученной за время 24 ливней. [41] Роу и др. [41] также отметили, что зеленая крыша уменьшила пиковый сток и задержала общий сток с крыши. Исследования в Университете штата Мичиган проводились на зеленых крышах, построенных на 2% и 6,5% склонах; на каждом склоне имелись террасы с глубиной грунта в 25 мм, 40 мм и 60 мм. Эти исследования показали, что, как и ожидалось, небольшие глубины субстрата и более крутые склоны крыши приводили к увеличению стока с зеленых крыш. [41] Например, террасы на склоне 6,5% задерживали 72% и 69% осадков при глубине грунта соответственно 60 мм и 40 мм. [41] Кроме того,

при постоянной глубине 40 мм терраса с уклоном 6,5% удерживала 69% осадков, а с уклоном 2% удерживала 74%. [41]

Шейд [42] сообщил о проведенном в Германии исследовании стока с тонкослойных экстенсивных зеленых крыш с различными уклонами, вплоть до 30°, в которых увеличение уклона крыши приводило к увеличению количества стоков за меньшее время, чем у более плоских крыш, т.е. к возрастанию скорости стока.

Если в сезон дождей, осадков выпадает достаточное количество, то можно сохранить эту воду для орошения зелёных насаждений и использовать в течение всего лета. Поскольку «зелёная крыша» является естественным фильтром, то излишки воды могут храниться ещё и для других целей.

Защита от солнечного излучения, включая УФ:

Зелёные крыши, используя отражательные свойства растительности и субстрата, защищают конструкцию кровли от вредного воздействия солнечного излучения, в том числе ультрафиолетовых лучей, температурных колебаний и электромагнитного излучения, продлевая ее жизненный цикл.

Предотвращение наводнений:

Зелёные крыши помогают справиться с этим явлением, поскольку во время сильных ливней они задерживают до 50% воды, максимально снижая вероятность затопления улиц. К тому же, зеленые крыши снижают нагрузку на ливневую канализацию, поскольку с обычной не озеленённой крыши в канализацию попадает вода с пылью и грязью, которые быстро засоряют канализационные системы, что требует дополнительных затрат на их очистку и эксплуатацию. Дождевая вода стекает с зелёной крыши, уже как бы пройдя через фильтры очистки, поэтому такие сточные воды не представляют опасность для канализации.

Привлечение птиц и насекомых:

Зелёные насаждения на крыше привлекают бабочек, птиц и других мелких животных, расширяя их биотоп и способствуя поддержанию в

городских кварталах достаточного биоразнообразия. Кроме того они позволяют таким образом сохранять ощущение природы даже в мегаполисах.

Пятый фасад:

Зелёные крыши можно теперь считать как бы пятым фасадом, поскольку своей красотой они зачастую привлекают больше внимания, чем основные фасады зданий. Они эстетичны, привлекательны, улучшают внешний вид района и города в целом, а их экологический эффект не вызывает сомнений. К тому же, они ещё создают дополнительные места для отдыха людей, среди любимых цветов и деревьев, не отходя от своего дома и не пользуясь транспортом для приближения к природе.

Глобальное потепление:

В последние годы в биосфере наблюдается процесс глобального потепления, связанный с увеличением в атмосфере концентрации парниковых газов. Основным парниковым газом является углекислый газ, образующийся при сгорании топлива и в огромных количествах выбрасываемый в атмосферу. Кроме него парниковым эффектом обладают метан, за выбросы которого отвечает, главным образом, сельское хозяйство, и окись азота, так называемый «веселящий газ». В результате глобального потепления в мире происходит дестабилизация климатических процессов, приводящая к разным катаклизмам: страшной жаре и засухе, чреватых пожарами, ливням и наводнениям, ураганам и повышению уровня моря в разных местах. Зелёные крыши могут внести свою лепту в спасение человечества от глобального потепления и его последствий, поскольку их растительность в процессе фотосинтеза снижает количество углекислого газа, поглощая его с использованием солнечной энергии и выделяя в атмосферу кислород, необходимый всему живому. Помимо этого растения на крыше очищают воздух и от других загрязнений, а также увлажняют его, улучшая качество городской атмосферы, поэтому, чем больше будет таких крыш в наших городах, тем легче будет там жить.

Стоимость зелёной кровли по сравнению со стоимостью обычной крыши будет, конечно, выше, но, благодаря ее многочисленным преимуществам, дополнительные расходы достаточно быстро окупятся в результате снижения затрат на отопление и охлаждение, экономии и накопления воды, а также уменьшения расходов на эксплуатацию самой кровли, так как служить она будет значительно дольше.

Сейчас зелёные крыши являются декоративными объектами, но их можно сделать продуктивными в прямом смысле этого слова и сажать там пищевые культуры, пригодные для еды.

В Японии, например, завод по производству рисовой водки «саке» уже предложил выращивать на своей крыше рис, из которого он будет потом производить этот напиток.

Теодор Осмундсон [39] провел обширное исследование строительства зеленых крыш в Северной Америке, Европе и Азии. Исследование показало, что резкое увеличение масштабов строительства зеленых крыш по всей Германии в течение последних нескольких лет можно объяснить особыми финансовыми стимулами, которые предлагают многие города страны. Уже сорок три процента немецких городов предлагают различные финансовые стимулы для озеленения крыш, а такие города, как Берлин, Карлсруэ и Штутгарт оказывают финансовую поддержку для создания садов на крыше, составляющую от 25 до 100% стоимости объекта. [39] Следуя примеру Германии, несколько городов в Соединенных Штатах начали предлагать стимулы для реализации зеленых крыш. Например, в 1970-х город Портленд установил плату за ливневой сток, отводимый с водонепроницаемых поверхностей. Теперь, благодаря способности зеленых крыш удерживать осадки, появляется возможность снижения сборов за ливневой сток для зданий с зелеными крышами. При этом город предлагает за зеленые крыши и другие бонусы в дополнение к снижению ливневых сборов.

Существующие в Северной Каролине правила требуют обязательного участия местных органов власти в разработке и реализации ливневых

программ в целях улучшения качества воды в бассейнах рек. В соответствии с этими правилами, городские и уездные управы несут ответственность за реализацию программ по улучшению качества городских ливневых и сельскохозяйственных стоков. Развитие программ предусматривало наряду со специальными прудами-отстойниками, водно-болотными угодьями и био-регулирующими районами, создание проницаемых покрытий и зеленых крыш. В плотно застроенных городских районах и районах с высокой стоимостью земли строительство зеленых крыш является той новой возможностью, которая позволит рационально использовать тысячи квадратных метров на крышах домов, доступных в городских условиях.

Многочисленные преимущества, связанные с внедрением зеленых крыш, включают воссоздание среды обитания диких животных, создание в перенаселенных городских районах большего жизненного пространства, уменьшение городского эффекта теплового острова, экономию энергии и ослабление ливневых стоков. Три главные преимущества, которые были отмечены в ряде исследований, это тепловые и энергетические выгоды зеленых крыш и сохранение ими воды. [16]

Через снижение температуры окружающей среды над зелеными крышами можно снизить городской эффект теплового острова. Исследования в Оттаве, Канада продемонстрировали снижение температуры на крыше; когда однажды температура окружающей среды достигла 35°C, температура контрольной крыши достигла 70°C, а на зеленой крыше температура оставалась равной 25°C. [21] Снижение колебания температуры наблюдались также в этом исследовательском центре. [37] Исследования показали, что строительство зеленых крыш может увеличить продолжительность жизни обычных крыш как минимум вдвое, уменьшив влияние колебаний температуры на кровельные покрытия.

В дополнение к проведенным в Канаде исследованиям тепловой эффективности зеленых крыш, в том же исследовательском центре было отмечено и сокращение энергетических потребностей. Лю и Баскаран [37], а

также Басс и Баскаран [21] отмечали уменьшение энергопотребления с 6,0-7,5 кВтч/день в случае обычной крыши до менее 1,5 кВтч/день для зеленой крыши. Эти исследования показали сокращение потребления энергии для кондиционирования помещений более чем на 75% в результате использования зеленой крыши. [37]

Некоторые сторонники зеленых крыш считают задержку воды одним из наиболее важных преимуществ от их реализации. Городская администрация Портленда, штат Орегон, провела исследование удержания воды зелеными крышами и возможностей сокращения ими пиковых стоков. Во время 15-месячного мониторинга экстенсивной зеленой крыши с грунтовым слоем глубиной 102-127 мм, наблюдалась задержка 69% от общего количества осадков. [31] Результаты этого исследования показали также, что большее количество осадков может привести к снижению их удерживания зеленой крышей, а более высокие скорости суммарного испарения весной могут привести к большему удержанию, чем в течение зимы. Liesecke [33] [34] также отмечает, что суммарное испарение играет самую важную роль в способности зеленой крыши удерживать воду, причем задержка воды в летние месяцы значительно выше, чем в зимние, поскольку эвапотранспирация в летний сезон гораздо больше.

Исследования, проведенные в Университете штата Мичиган, показали, что 66 % осадков было сохранено в почвенном слое глубиной 127 мм экстенсивной зеленой крыши, наблюдавшейся во время 24 ливней. [41] Как и в упомянутых выше исследованиях, Liesecke [33] также отмечал, что в течение трех лет с 1995 по 1997 год удержание осадков зелеными крышами с глубиной грунта 80 мм и 120 мм составляло в Германии от 50 до 65%.

Проведенные в Портленде исследования зеленых крыш продемонстрировали кроме того снижение ими пиковых стоков на 80%, [31] также как и исследования, проведенные в Университете штата Мичиган, зафиксировали снижение зелеными крышами пиковых стоков и задержку суммарного ливневого стока. [41]

Исследования, выполненные рядом немецких авторов, также убедительно показали значительное снижение зелеными крышами пикового стока по сравнению с обычными крышами. [34] В результате за последнее десятилетие строительство зеленых крыш в Германии значительно возросло, так что уже 14% всех домов имеют там зеленую кровлю.

Достаточно многочисленные исследования зеленых крыш, выполненные за рубежом, помогают определить примерную способность удерживать воду зелеными крышами при различной глубине грунта. Однако, эти данные ввиду климатических различий не могут быть непосредственно применены на территории Санкт-Петербурга без дополнительной проверки.

К сожалению, подобных исследований, проведенных в нашем городе, нет до сих пор, равно как нет и конкретных рекомендаций по строительству зеленых крыш в Санкт-Петербурге и выбору оптимальных конструктивных параметров на стадии проектирования. Выбор растений также является важным фактором в проектировании зеленых крыш, но в настоящее время нет никаких четких правил, указывающих, какие виды растений могут успешно произрастать на зеленых крышах в климате Санкт-Петербурга.

3.ТИПЫ ЗЕЛЕННЫХ КРЫШ И ИХ КОНСТРУКЦИИ

Любая зеленая кровля подразумевает увеличение нагрузки на несущие конструкции. Поэтому в идеале решение о создании зеленой крыши нужно принимать на этапе проектирования дома, когда есть возможность рассчитать и запланировать будущие нагрузки и создать подходящие условия для роста растений.

Зеленую крышу можно укладывать на перекрытия из различных материалов – деревянные (в этом случае обычно планируют облегченные варианты систем озеленения), железобетонные плиты и металлические листы.

Основные сложности в создании садов на крышах – разрушающая сила коревой системы и ветровые нагрузки, поэтому конструкция сада на крыше является достаточно сложной. Она имеет, как правило, несколько изолирующих слоев, дополнительные ветрозащитные устройства и специальную систему полива. Слой грунта для растений должен составлять 30-40 см, для создания газона – 15 см. К сожалению, эксплуатируемые крыши требуют дополнительных материальных затрат.

Новые технологии обустройства «зеленых крыш» включают целый комплекс строительных работ. Это решение вопросов гидроизоляции, устройство дренажного слоя с необходимой фильтрацией. [8]

Утепление зеленой крыши крайне необходимо почти во всех районах России, за исключением, возможно, самых южных. Условием использования теплоизоляции становится средняя зимняя температура воздуха, и, если она опускается ниже – 1 С, крышу следует утеплять. В настоящее время для этого используют синтетические материалы: ячеистые и легкие бетоны и пеностекло Foamglas. Применяют также фибролит, пенополистирол и плиты – пробковые и из древесной шерсти на минеральной связующей.

Растительный слой, в прошлом выполнявший функцию утеплителя в деревянных зданиях, теперь, в многоэтажных бетонных зданиях, для этой роли не подходит: при увлажнении субстрата даже всего на 30% он во

многим теряет свои теплоизоляционные свойства. А длительно воздействие «стоячей» воды в дренажном слое и в водных устройствах может стать причиной того, что покрытие вообще лишится своих теплоизоляционных свойств.

В зависимости от конкретных условий состав и число многослойного «пирога» покрытия зеленой крыши – сада могут изменяться в самых широких пределах, отвечая каждый раз определенной задаче. Что же касается сомнений многих строителей в надежности и водонепроницаемости таких крыш, то имеющиеся сведения и уже многолетний опыт их эксплуатации опровергли эти сомнения, свидетельствуя о том, что все зависит от качества строительных материалов и квалификации специалистов.

Есть два различных типа зеленых крыш: интенсивные и экстенсивные. Экстенсивные зеленые крыши используют низкорослые суккуленты, такие как очиток и мхи, и имеют слой почвы глубиной, начиная от 3 см до 15 см.



Рисунок 2-10.

Экстенсивная зеленая крыша в Германии (слева). Интенсивная зеленая крыша в Германии (справа).

Слева на Рисунке 2-10 представлена экстенсивная зеленая крыша, которая, как правило, требует минимального обслуживания. Выбор растений при проектировании такой крыши должен обеспечивать возможность их выживания без применения орошения, а только за счет естественных осадков. Однако, некоторые разработчики все же предусматривают орошение зеленой крыши на начальных этапах ее создания, чтобы помочь образованию растительного покрова, а в дальнейшем орошение такой крыше, как правило,

не требуется. Исключения могут возникать лишь во время продолжительной засухи, и если растительность на зеленой крыше находится на начальных стадиях роста. Типичное обслуживание такой крыши включает прополку в весенние и летние месяцы и очистку дренажа от любых препятствий, таких как опавшие листья и корни растений.

Интенсивные зеленые крыши могут поддерживать гораздо более сложную и разнообразную растительность, например, деревья и кустарники, которые видны на рисунке 2-10 слева, где изображена интенсивная зеленая крыша. Однако, для более интенсивной растительности требуется большая глубина грунта, поэтому глубина почвенного слоя на интенсивных зеленых крышах может варьировать от 150 мм до 1 м. Интенсивные зеленые крыши почти всегда дороже, чем экстенсивные, в связи с дополнительным структурным армированием, требующим увеличения веса, увеличением количеством почвы и дополнительным техническим обслуживанием. В отличие от экстенсивных зеленых крыш, для интенсивных крыш обычно требуется регулярный полив, и для обеспечения лучшего выживания растений в искусственной среде на крыше может также потребоваться дополнительное удобрение. Поскольку на интенсивных зеленых крышах можно обеспечить большее разнообразие растительности, эти крыши могут лучше воссоздавать природную среду обитания. [10]

Профиль типичной зеленой крыши является довольно сложным, содержащим много различных слоев, которые изображены на Рисунке 2-11, напоминая слоеный пирог. Нижним слоем зеленой крыши являются конструкции собственно кровли. Конструкция крыши должна иметь гидроизоляционный слой, чтобы вода не могла проникнуть через материал кровли. Над гидроизоляционным слоем лежит удерживающий влагу защитный слой (обозначены на рисунке 2-3а как "защитные слои").

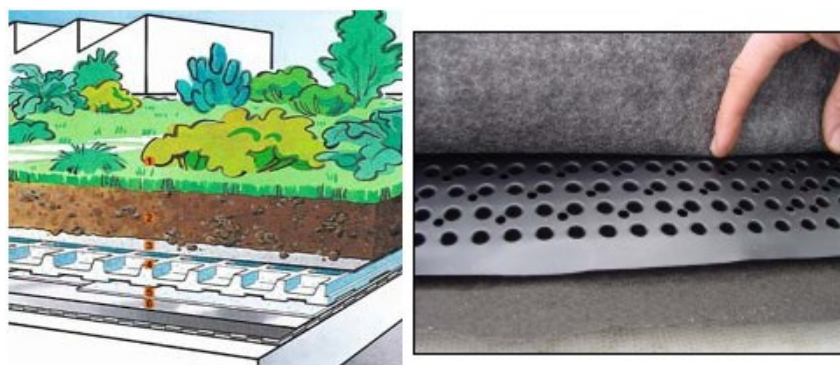


Рисунок 2-11. Профиль типичной экстенсивной зеленой крыши (слева). Справа крупным планом показаны дренажный и водоудерживающий слои.

Удерживающий влагу защитный слой служит барьером для корней растений, и он тоже сохраняет часть дождевой воды для последующего использования растениями. Корневые барьеры часто содержат сульфат меди, чтобы задерживать рост растений, предотвращая тем самым проникновение корней через гидроизолирующую мембрану. Над водозащитным слоем находится дренажный слой. Различные кровельные компании предлагают большое количество разнообразных дренажных материалов. Некоторые дренажные слои просто имеют дренажные отверстия для дождевой воды, тогда как

Другие могут быть оборудованы миниатюрными емкостями для хранения воды. Вода сохраняется в дренажном слое в течение периода времени, пока не будет поглощена почвенным слоем, откуда ее должны забрать корни растений. Над дренажным слоем помещается тканевый фильтр для предотвращения попадания в дренажный слой мелких частиц, препятствующих его работе. Почвенный слой состоит из легкого грунта для зеленой крыши толщиной, как правило, от 25 мм до 150 мм для экстенсивной крыши. Растительный слой состоит из засухоустойчивых растений, которые могут выжить в искусственной среде на крыше. Профиль интенсивной зеленой крыши очень похож на таковой экстенсивной крыши, но имеет более

глубокий слой почвы, больше видов растений и, возможно, более широкие защитные слои.

Корнезащитный слой или противокорневой слой необходим для защиты гидроизоляции от прорастания корней растений и от механических повреждений во время строительства зеленой крыши. При недостатке влаги и питательных веществ в растительном слое корни растений проникают в малейшие трещины и поры. При этом сила давления такой агрессивной корневой системы может достигать 25 атм. Конечно, далеко не все растения обладают такими свойствами. Тем не менее, у растений, наиболее требовательных к влаге, кончики корней имеют особые приспособления, которые могут захватить кристаллы песка и использовать их в качестве своеобразного «сверла», достигая слоя. Таким образом, они могут просверлить даже твердое асфальтированное покрытие, поэтому определение оптимальной толщины противокорневого слоя имеет первостепенное значение. Из этих же соображений важно правильно определять и тип конструкции контейнера для деревьев и кустарников, обладающих достаточно агрессивной корневой системой.

Используемые при строительстве зеленых крыш самые современные материалы совмещают сразу несколько функций: плиты из гродана одновременно служат и в качестве субстрата, и в качестве дренажа, а новый материал фомглас может использоваться, помимо дренажного слоя, и как утеплитель. При этом такие легкие пористые плиты имеют очень небольшой вес и могут переноситься и укладываться вручную.

Наиболее стойкими материалами для этих целей считают фольгу, фольгоизил и стекловолокно. Используются также пленки-мембраны из нового синтетического материала – эвалона. На плитах покрытия из водонепроницаемого бетона можно, казалось бы, противокорневой слой вообще исключить, поскольку такой бетон невосприимчив к кислотному воздействию корневой системы. Тем не менее, его обязательно прокладывают, поскольку со временем, вследствие попеременного

замораживания и оттаивания, в плитах могут возникнуть трещины, куда проникнут корни растений. В случае, когда при строительстве бетон не успел схватиться и затвердеть перед укладкой этого слоя, поверхность бетона пропитывается специальным составом на основе силина или силоксана.

Особый интерес представляют новые строительные материалы, совмещающие в себе несколько функций. Таков сравнительно недавно появившейся в Бельгии фомглас – одновременно и теплоизолирующий, и противокорневой материал из битого стекла и углерода.

Особенно тщательно выполняют места стыка с вертикальными плоскостями и оборудованием: парапетами, вентиляционными шахтами, стенками надстроек, чтобы исключить проникновение влаги в нижние слои конструкции озелененной кровли.

При использовании водонепроницаемого бетона в конструкции покрытия кровли разрешается засыпка растительным грунтом (или укладка плит субстрата) по всем вышеперечисленным выше слоям без гидроизоляции самого покрытия. Когда эксплуатируемая кровля рассчитывается не только на пешеходное движение, но и на другие динамические нагрузки, используют гидроизоляцию из нескольких рулонных материалов.

Дренажный слой необходим для отвода излишков атмосферных осадков из растительного слоя и из мощения, когда количество воды превышает месячную норму наиболее дождливого периода, а также для удаления избытка воды при поливе растений. При отсутствии дренажа вода скапливается в почве, и корни растений могут загнить.

С другой стороны, слишком быстрый сток воды будет требовать более частого полива растений, чем в обычных условиях, где корни имеют доступ к грунтовым водам. Поэтому дренажный слой необходим и в отдельных емкостях – контейнерах для растений, в том числе и тогда, когда растительный слой распределен по всей поверхности крыши.

Дренажный слой рассчитывается на отвод излишней воды, поскольку избыток воды так же вреден для растений, как и ее недостаток. При плохом

состоянии дренажа в летнее время у растений могут появиться грибковые заболевания, а зимой – промерзание земли и разрушение корневой системы. Дренаж поглощает влагу, а в засушливое время отдает все по капиллярам в растительный слой. При отсутствии в дренаже воды его пористая структура способствует проветриванию растительного слоя и притоку воздуха к корням растений.

Поэтому материалы, используемые для дренажа должны обладать большим объемом пор, не уплотняться под действием эксплуатационных нагрузок, не поддаваться гниению и окислительным процессам и быть стабильными в любую погоду. В целом же дренажный слой при возможно малой толщине должен иметь небольшой вес. Особенно же важно объединение этих качеств в одном материале. Именно над получением такого материала, выполняющего одновременно две функции: фильтрации и дренажа успешно работали немецкие технологи, получив два слоистых рулонных материала – гидрофелд и энкадрай, обладающих обоими этими качествами.

Для дренажного слоя в современных условиях используются искусственные вспученные и волокнистые материалы, например гранулы пенополистирола, пропитанные битумными эмульсиями, шарики из полистирола, нейлона, гигромуля и других синтетических материалов. Толщина дренажного слоя из них сокращается до 4-10 см. Если же из них прессуются маты или плиты, то они имеют совсем незначительную толщину – всего 1-3 см при объеме пор не менее 50%. Так, полиамидные маты энкадрайн при толщине всего 2 см имеют объем пор 90% и очень небольшой вес. Еще одно преимущество заключается в возможности применять их на сатных крышах, закрепляя на покрытии здания.

Легкие синтетические материалы заменили традиционный дренаж в виде системы труб с отверстиями, ранее применявшимися для озелененных крыш по аналогии с дренажом садовых участков. Они вытеснили и более прогрессивные последующие конструкции, например Грасс-Сел,

представляющую собой решетку из пластика в виде пчелиных сот толщиной около 5 см со стороной шестигранника 30.5 см, которая укладывается прямо на слой гидроизоляции и отделялась от грунта фильтрующим слоем. Тем не менее, некоторые дренажные системы из труб пользуются популярностью и поныне.

Так, система Мульти-Флоу включает перфорированные трубы диаметром 2.5 см, изготовленные из высокоплотного полиэтилена и подведенные к центру внутреннего водоотвода с крыши. Внешний водоотвод с крыши независим от внутреннего водоотвода из дренажного слоя, и это достигается использованием фильтрующего слоя, а также устройством специальной воронки, имеющей три уровня: 15, 30 и 45 см. Благодаря этому, вода отводится как с поверхности, так и из растительного слоя.

Воронки, собирающие излишки воды, выполняются либо из пластика, либо из металла (латунь, нержавеющая сталь). В зависимости от решения кровли они выполняются нескольких типов: круглая, купольная, канальная и комбинированная.

Круглая воронка прикрывается сверху решеткой, имеет отверстия по всей поверхности и используется как на поверхности мощения, так и в глубине дренажного слоя. Второй тип получил название «купольный», поскольку воронка имеет выпуклую поверхность с отверстиями в крыше в виде щелей, препятствующих скоплению листьев и растительных остатков. Этот тип в основном применяется в садах интенсивного использования. Третий тип – канальный, или разборный – хорош для отвода воды от вертикальных элементов и стен, но может применяться и для стенок заглубленных бассейнов.

В каждом конкретном случае, и особенно при реконструкции крыш существующего здания, выбирают определенный тип дренажа. Среди большого количества дренажных систем особый интерес представляет оригинальная система Парр Уик, использующая дождевую воду в замкнутом цикле. Система представляет собой пластмассовые резервуары или емкости,

покрытые изнутри винилом и заполненные песком, в которых поддерживается определенный контролируемый уровень воды. Используется так называемый эффект подпруживания при котором система находится на автономном режиме, не связанном с системой водоснабжения дома.

Смотровые люки, предусмотренные рядом с емкостями, дают возможность постоянно контролировать уровень воды и влажность песка, а в случае затяжных дождей опорожнять систему. Большинство растений, выбранных для такого сада – это и травы, требующие минимального слоя растительного грунта и не нуждающиеся в постоянном поливе. Более крупные растения – преимущественно кустарники и невысокие деревья – высаживаются с комом земли в ящики или отдельные емкости, имеющие отверстия.

Таким образом, дренаж сада на зеленой крыше может осуществляться самыми различными способами, в основе которых лежит использование пористых сыпучих материалов, либо прессованных матов из них, либо, наконец, специальных емкостей, способных не только задерживать влагу, но и удалять ее излишки из растительного слоя.

Фильтрующий слой – тонкая прослойка между растительным слоем и дренажом, которая препятствует прониканию в дренаж мелких частиц грунта или субстрата (так называемому заиливанию) и вымыванию из грунта питательных веществ. Одновременно благодаря капиллярной структуре фильтрующего слоя происходит и обратный процесс – передача растениями влаги из дренажа. Такую фильтрацию после укоренения растения производят сами, но тем не менее искусственный фильтр необходим.

Чаще всего для устройства фильтрующего слоя используют легкую ткань или маты с толщиной слоя до 1 см, которые укладываются внахлест на 3-10 см. Хороший эффект дает использование фильтрующего из волокон полиэфира и полипропилена, а также материала, получившего название геотекстиль. Используют, кроме того, формальдегидную пленку, которая хорошо аккумулирует влагу. Из нее изготавливают плиты фильтрующего

слоя, недостатком которых является относительно большая толщина (до 10 см). На небольших участках покрытия в качестве фильтрующего слоя иногда применяют традиционную прокладку из соломы.

Между фильтрующим слоем и субстратом для укрепления коревой системы растений часто прокладывают специальную полипропиленовую решетку. Ее размеры – 500x215 см, а ячейки имеют размеры 75x75 мм, и их используют для крупных растений (кустарников, деревьев), в то время как для больших растений достаточно полотна, пронизываемого для корней. Его выпускают в виде рулонов шириной 100 см.

Эксплуатационный слой зеленой крыши включает почвенный субстрат и мощение.

Качество, структура, состав и состояние субстрата – это основные условия существования растений и микроорганизмов в саду, их жизненная среда. Наилучшими питательными свойствами обладает естественный грунт. Однако его использование ограничивается значительным весом, который может достигать 1800 кг/м^3 . Уменьшить вес этого слоя можно, включив в его состав рыхлители – торф, песок и неорганические (синтетические) добавки. Однако это ведет к снижению плодородия почвы и уменьшает способность большинства растений хорошо укореняться. Тем не менее, предпочтительнее не грунт, а почвенные смеси, которые получили название субстратов. К ним предъявляются достаточно жесткие требования: субстрат не должен уплотняться, затапываться во время ухода за растениями, должен иметь стабильную структуру в разных природных условиях, т.е. обладать высокой механической плотностью и долговечностью в сочетании с небольшим объемным весом. Кроме того, он должен исключать вредные для растений примеси, сорняки и микроорганизмы и быть не только как можно более легким, но и стойким против биохимических воздействий.

Предохранить субстрат от неблагоприятных атмосферных воздействий помогает защитный слой из мульчи (опилок, измельченной коры деревьев, торфяной крошки) толщиной 2-3 см либо из искусственных

пористых материалов (перлита, лавопора и др.). Рыхлые мульчирующие материалы сверху рекомендуется засыпать слоем гравия или каменной крошки толщиной порядка 5 см – он предохраняет верхний слой грунта от излишней инсоляции и выветривания.

Противоречия между требованиями растений и облегчением веса конструкций полностью устранить не удастся. Толщина и состав растительного слоя принимаются в соответствии с требованиями выбранных для зеленой крыши растений и объемом их корневой системы, а предпочтение отдается искусственному питательному грунту – субстрату.

Он составляется на основе смеси растительного грунта с органическими и легкими гранулированными, а также пористыми или волокнистыми синтетическими материалами. В эти смеси добавляют также питательные вещества и удобрения, улучшающие физические и биохимические свойства грунта, стабилизирующие его структуру.

Наиболее простая смесь – грунтово-торфяная. Она состоит из легкого перегноя и перепревшего торфа. Для уменьшения веса смеси и создания рыхлого, воздухопроницаемого и не уплотняющегося при поливе субстрата в него добавляют небольшое количество неорганических пористых материалов – керамзитового гравия либо пемзы, пенопластовых хлопьев. Предпочтительнее изготовление субстратов в производственных условиях.

Наиболее известные растительные субстраты: агронерл, гродан, гигромикс, лианрайн, легодан и др. Не все они пока еще освоены в отечественном строительстве, для каждого из них разработана своя технология изготовления.

Легодан (Legodan), например, представляет собой продукт обжига специальных глиняных гранул с пемзовым гравием при температуре до 1150 °С. В результате обжига получают мелкие гранулы, которые обволакиваются смесью глины и гумуса. Использование легодана дает значительное снижение веса растительного слоя. Если вес слоя чернозема

толщиной в 10 см составляет (во влажном состоянии) 180-200 кг/м², то такой же слой легодана (тоже увлажненный) весит всего 65 кг/м².

Еще меньше вес субстратных плит из полученного в 90-х гг. нового материала, получившего название гродан (Grodan). Вес одного элемента гродана, имеющего площадь 2.7 м² и толщину 4 см, составляет всего 18.5 кг. Гродан служит заменителем почвы и одновременно своеобразным резервуаром для накопления влаги, если в этом есть необходимость. Это чистый несгораемый материал, который прекрасно режется и формуется и в сухом виде переносится вручную. Он выпускается в виде прямоугольных матов различной толщины. Например, для посадки кустарников вместо традиционного слоя грунта в 40 см, с успехом используются маты гродана, имеющие всего 20 см в толщину. Растения высаживаются в этом слое в вырезанные острым ножом лунки, которые присыпаются сверху мульчирующим материалом или грунтом. После укладки на место и полива гродан становится благоприятной средой для развития корневой системы растений, гарантирующей от болезней и размножения сорняков. Применение гродана возможно в садах как интенсивного, так и экстенсивного использования.

Во многих странах вообще широко распространены субстратные плиты, полностью заменяющие растительный грунт. Они производятся на основе пеноматериалов либо искусственных волокон, которые спрессовываются из смеси глины, торфа и питательных веществ во влажном состоянии. Такие плиты, сохраняющие свою структуру при любой погоде, имеют в сухом состоянии очень малый вес, но при этом прекрасно поглощают влагу. Их можно использовать для посадки и низких стелющихся растений при экстенсивном озеленении. При посадке растений и во время ухода за ними такие плиты выдерживают соответствующие нагрузки, но при устройстве спортивного загона применяют только сыпучий растительный грунт, поскольку такой газон требует регулярной стрижки.

При создании наклонных зеленых крыш чаще всего используют предварительно выращенный рулонный газон. Его укладывают по растительному слою, сначала расстелив слой, а затем, положив по дренажной плите фильтрующий слой с тем, чтобы дренаж не засорили частицы грунта. После этого остается только расстелить рулоны и слегка их укатать. Существуют, также, способы выращивания растений и вовсе без грунта или субстрата – на питательных растворах. Они получили названия «гидропоника» и не требуют соответствующего оборудования и специальных помещений. С этой целью на крышах устраивают надстройки в виде небольших оранжерей, снабженных автоматикой.

Гидропоника предполагает использование питательных растворов и легких пористых материалов, а также песка и крупного гравия в специальных емкостях, куда высаживаются растения. Метод аэропоники заключается в периодическом опрыскивании корней растений питательным раствором при выращивании их во влажной воздушной среде. Оба метода применимы и для рассады, и для выращивания оранжерейных культур, но только при условии автоматизации ухода за ними, и требуют высококвалифицированного труда.

Процесс строительства экстенсивных и интенсивных зеленых крыш является относительно тем же самым, однако, могут быть небольшие вариации. Во-первых, крыша здания должна быть полностью построена и иметь достаточно несущих конструкций, чтобы выдержать дополнительный вес дренажных слоев, слоя почвы и растительности. Например, в зависимости от типа дренажного слоя и выбранного грунта установка экстенсивной зеленой крыши может добавить $13,6 \text{ кг/м}^2$ дополнительной нагрузки на крышу. В связи с дополнительным весом зеленых крыш, для строительства возможно, потребуется изменить несущие конструкции кровли. Например, у открытого навеса с крышей площадью 42 м^2 , опирающейся на колонны без стен, начальный вес крыши могут выдержать семь колонн сечением $100 \times 100 \text{ мм}$. С дополнительным весом всех

материалов при установке зеленой крыши для ее поддержки потребуется уже семь колонн сечением 152 x 152 мм вместо предыдущих размеров.

После окончания строительства кровли укладывается слой гидроизоляции, а затем приклеивается. Необходимо сначала проверить гидроизоляционный слой, чтобы убедиться, крыша не будет течь. Во многих случаях гидроизоляция уже будет на месте. Когда кровля полностью построена и приклеен слой гидроизоляции, начинается строительство собственно зеленой крыши. Над гидроизолирующей мембраной лежат защитный и дренажный слои, которые включают слой удерживающий влагу, корневой барьер, тканевой фильтр и дренажную среду. Существуют различные конструкции этих слоев: некоторые компании предлагают единый продукт, сочетающий корневой барьер, тканевой фильтр и дренажную среду, тогда как другие поставляют каждый слой отдельно. Будут ли эти различные системы объединены в один продукт или несколько, но каждый слой должен распространяться по всей поверхности крыши. [16]

Как правило, удерживающий влагу мат укладывают первым, а затем корневой барьера дренажную среду. После того как все защитные и дренажные слои будут установлены, можно распределить на крыше слой почвы. Рисунок 2-12 иллюстрирует, как дренажные слои укладываются на крыше в ходе строительства зеленой крыши.



Рисунок 2-12. Слева - разрезание защитных слоев для укладки на крыше. Справа - укладка защитного слоя перед началом размещения на крыше слоя почвы.

Немецкие кровельные компании для транспортировки почвы для крыши разработали пневматические механизмы. Это гораздо более продвинутый метод, чем те, что используются в большинстве других стран.

Рисунок 2-13 иллюстрирует различные методы, используемые для транспортировки почвы на крышу. После того, как будет уложен слой почвы, можно начать высаживать растительность. Растительность можно высаживать, используя различные формы, такие как семена, корневища, побеги или растительные коврики. Поскольку в мире строится все больше зеленых крыш, для транспортировки почвы скоро могут быть разработаны более эффективные методы.



Рисунок 2-13. Пневматическая транспортировка грунта на крышу в Германии. Слева - грузовик, используемый для транспортировки грунта, справа - насосный шланг, используемый для подачи грунта на крышу, и рабочие, распространяющие его граблями.

Успешное строительство зеленых крыш зависит от взаимодействия дренажного слоя, почвы и растительности. Растительность, присутствующая на зеленых крышах, выживает там несмотря на их сильный нагрев, поскольку дождевая вода сохраняется в почве и дренажном слое в течение определенного промежутка времени. Во время дождя осадки падают на зеленую крышу и абсорбируются в почве, которая, обладая высокой впитывающей способностью, сохраняет воду определенное время. Для экстенсивных зеленых крыш рекомендуется использовать легкие грунты, чтобы свести к минимуму необходимость дополнительной поддержки и усиления конструкций. [26]

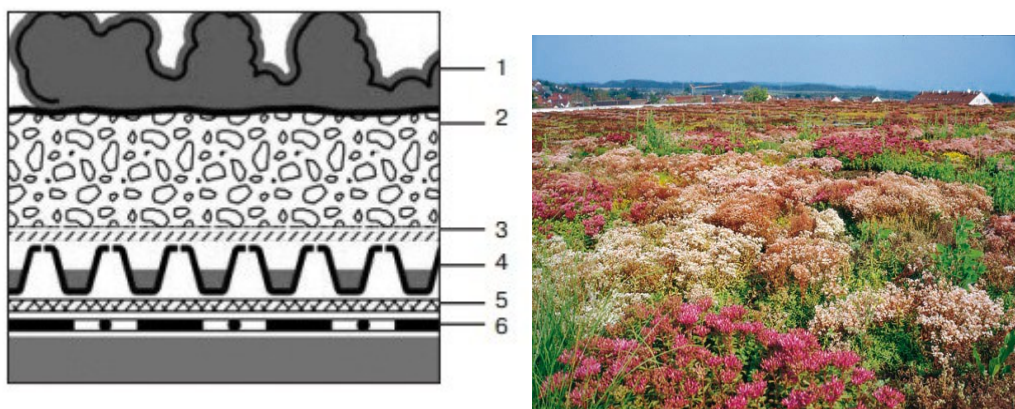
Ливневой сток с зеленой крыши происходит тогда, когда содержание воды в почве достигает максимума и она не может абсорбировать больше воды, и когда дренажный материал также использовал всю свою способность

и не может удерживать больше осадков. Обычно это происходит после продолжительного периода времени или очень высокой интенсивности дождя. [34] В результате сток с зеленой крыши может не наблюдаться в течение нескольких часов после начала дождя. Когда сток с зеленой крыши прекращается, вода сохраняется в порах почвы и дренажном слое для потребления растениями. Осадки поглощаются почвой и временно сохраняются в дренажном слое, возвращаясь затем в естественный круговорот воды через транспирацию растений и испарение от слоя почвы. [34]

Производством специализированных материалов для «зеленых» кровель занимаются многие зарубежные фирмы, чья продукция представлена на российском рынке: ZinCo (Германия), Index (Италия), Flordepot, Imperbel, и "Технониколь" (Россия).

Озеленение крыш компанией «ZinCo».

Система «Седумы» - цветной ковер и гарантированная защита гидроизоляции:



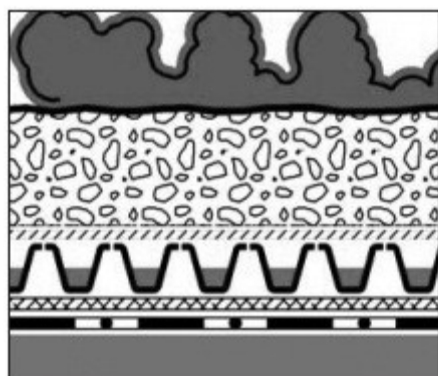
- 1- Растительный слой
- 2- Субстрат 60 мм
- 3- Системный фильтр SF
- 4- Дренажно-накопительный элемент Флорадрейн FD 25
- 5- Влагонакопительный и защитный мат SSM 45
- 6- Противокорневая пленка WSF 40

Характеристики системы:

- угол наклона: 20°-100°
- высота: 90 мм
- объем влагозадержания: 32л/м²
- вес с учетом влагонасыщения: 105кг/м²

Система «Седумы» - представляет собой систему озеленения с низкорослым растительным покровом и высотой субстрата 60 мм. Седумы и другие многолетники предназначены для создания сплошного зеленого покрова. Конструктивное решение системы «Седумы» - легкое и недорогое в эксплуатации. Для увеличения времени цветения зеленого покрова высаживают 6-7 видов седумов. Период цветения – раннее лето. Цветовое решение – желтый, красный, белый.

Система «цветущий луг»:



- 1- Растительный слой
- 2- Субстрат 150 мм
- 3- Системный фильтр SF
- 4- Дренажно-накопительный элемент Флорадрейн FD 40
- 5- Влагонакопительный и защитный мат SSM 45
- 6- Противокорневая пленка WSF 40

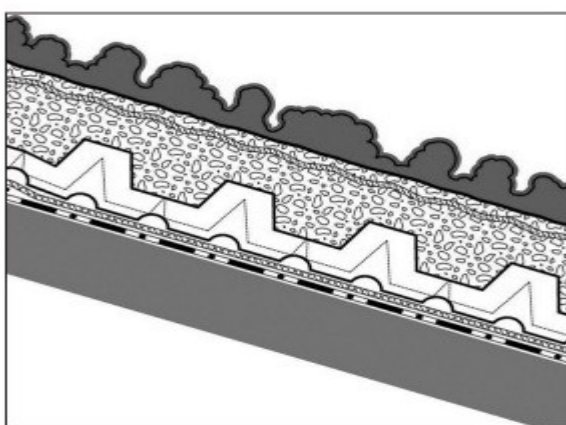
Характеристики системы:

- угол наклона: 0°-2°
- высота: 115 мм

- объем влагозадержания: 35л/м²
- вес с учетом влагонасыщения: 108кг/м²

С помощью системы «Цветущий луг» кровле можно придать индивидуальный характер. Применяя систему «Цветущий луг» при экстенсивном озеленении высаживают засухоустойчивые многолетники, как, например, среднерослая гвоздика высотой 400 мм. Седумы и другие многолетние растения предназначены для создания сплошного зеленого покрова и не требуют особого ухода после их высадки на кровле.

Система «Скатная кровля» с углом уклона до 20°:



- 1- Растения семейства седумы
- 2- Субстрат > 50 мм над дренажно-накопительным элементом Флорасет FS 75
- 3- Дренажно-накопительный элемент Флорасет FS 75
- 4- Влагонакопительный мат BSM 64
- 5- Гидроизоляция с противокорневым эффектом (FLL сертификат)

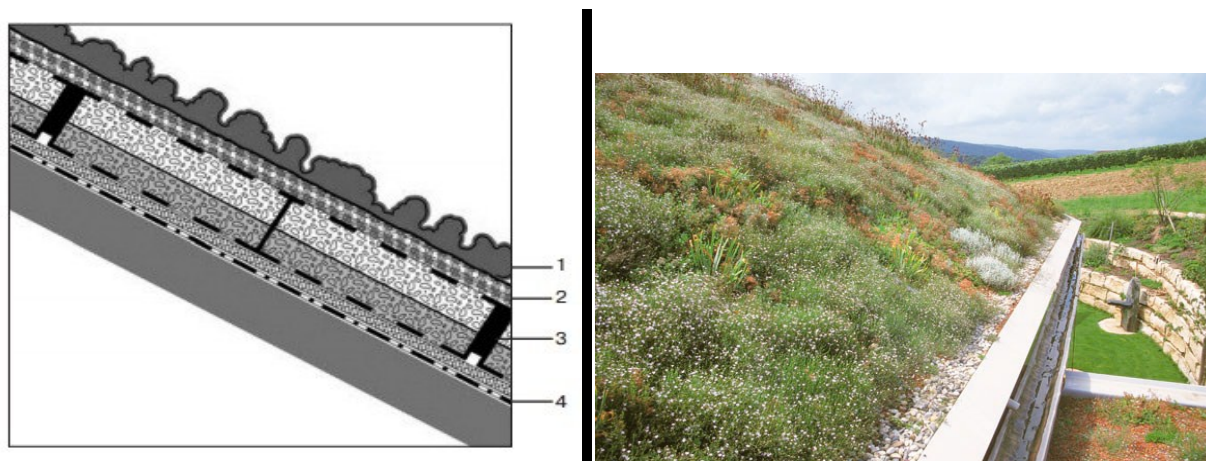
Характеристики системы:

- угол наклона: 10°-20°
- высота: 130 мм
- объем влагозадержания: 38л/м²
- вес с учетом влагонасыщения: 145кг/м²

Система озеленения «Скатная кровля» на кровлях с уклоном более 10 отличается от озеленения плоских кровель. На скатных кровлях должна быть

уменьшена нагрузка на опоры, парапеты, карнизные свесы и слой субстрата защищен от эрозии. Выбор растений также должен соответствовать наклону кровли и экспозиции. Важное условие – использование стойкой к корням растений гидроизоляции. Гидроизоляция должна быть устойчива к коням растений, так как укладка дополнительного слоя противокорневой пленки повлечет за собой увеличение силы сдвига всего кровельного пирога. Важно уже при проектировании предусмотреть варианты дальнейшего обслуживания кровли. На поверхности кровли должно быть предусмотрено достаточное количество направляющих, по которым могут вестись работы по сервисному и техническому обслуживанию.

Система «Скатная кровля» с углом наклона до 35°:



- 1- Растения семейства седумы
- 2- Субстрат > 100 мм над Георатстром
- 3- Дренажная решетка Георастр
- 4- Влагонакопительный мат WSM 150

Характеристики системы:

- угол наклона: 20°-35°
- высота: 60 мм
- вес с учетом влагонасыщения: 185кг/м²

С системой озеленения скатных кровель на основе элементов «Георастр» возможно озеленение кровель с уклоном более 25. Элементы

георешетки размером 54x54 см, высотой 10 см из полиэтилена высокого давления без использования инструмента легко вставляются друг в друга. Это обеспечивает быстрое, стабильное и ровное соединение.

По площади, покрытой Георастом можно ходить, она готова для заполнения смесью субстрата. Благодаря объему элементов остается относительно много места для развития корневой системы. Конечно, выбор растений должен соответствовать условиям скатной кровли, южная сторона которой подвержена интенсивному солнечному облучению. Осадки здесь стекают намного быстрее, чем на плоских кровлях. В конструкции озеленения скатных кровель необходимо учитывать, чтобы возникающие силы сдвига были компенсированы достаточно стабильной окантовкой свеса. А при необходимости дополнительными брусками. [49]

Озеленение крыш компанией Bauder.

Экстенсивное озеленение.

Водосборник более 10 л/м²:



1- Озеленение.

2- Субстрат – на основе минералов 90% и 10% органики.

3- Фильтрующий слой – Bauder FV (сделан из полипропилена, плотностью 1 мм, вес 105 г/м², крепление механическое).

- 4- Водосборник – Bauder WSP 50 (водосборник с интегрированной функцией дренажа, сделан из экспандированного полистирола, высота 50 мм, вес 0,6 кг/м², водопоглощение 10,1 л/м²).
- 5- Защитный слой – Bauder FSM 600 (изготовлен изполиэстера и полипропилена, плотность 4 мм, вес 600 г/м², водопоглощение 3 л/м²).
- 6- Разделительный слой – полиэтиленовая пленка Bauder PE 02(плотность 0,2 мм, вес 190 г/м²).

Характеристики системы:

- угол наклона: 0°-5°
- высота: 13 см
- водонакопление: 44 л/м²
- вес с учетом влагонасыщения: 123,7 кг/м²

Озеленение больших площадей с помощью мата Bauder SDF: защитный, дренажный и фильтрующий слой в одном материале:



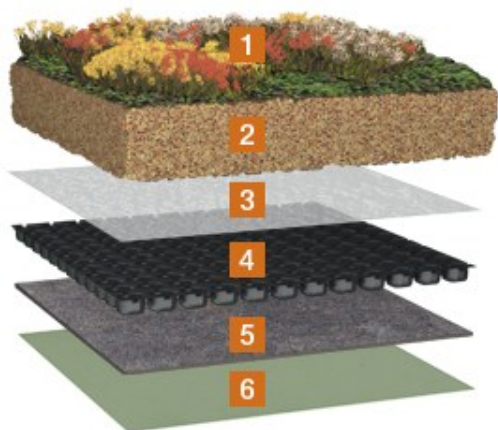
- 1- Озеленение.
- 2- Субстрат – на основе минералов 90% и 10% органики.
- 3- Защитный, дренажный и фильтрующий слой - Bauder SDF (материал дренажа полиамида – моноволокно, плотность дренажа 400 г/м², материал защитного и фильтрующего слоев полиэстер, плотность 200 г/м², толщина 20 мм, общий вес 600 г/м²).

Характеристики системы:

- угол наклона: 1°-5°
- высота: 10 см

- водонакопление: 32 л/м²
- вес с учетом влагонасыщения: 111,2 кг/м²

Дренаж с нагрузкой на поверхность – сплошной слой под озеленением и пешеходными дорожками/террасами:



- 1- Озеленение.
- 2- Субстрат – на основе минералов 90% и 10% органики.
- 3- Фильтрующий слой – Bauder FV(сделан из полипропилена, плотностью 1 мм, вес 105 г/м², крепление механическое).
- 4- Водосборник – Bauder DSE 20 (изготовлен из ПЭВП, высота 20 мм, вес 1,2 кг/м², водопоглощение 7,4 л/м²).
- 5- Защитный слой – Bauder FSM 600(изготовлен изполиэстера и полипропилена, плотность 4 мм, вес 600 г/м², водопоглощение 3 л/м²).
- 6- Разделительный слой – полиэтиленовая пленка Bauder PE 02(плотность 0,2 мм, вес 190 г/м²).

Характеристики системы:

- угол наклона: 1°-5°
- высота: 10 см
- водонакопление: 41,4 л/м²
- вес с учетом влагонасыщения: 121,1 кг/м²

Интенсивное озеленение.

Водосборник более 21 л/м²:



- 1- Озеленение.
- 2- Субстрат – на основе минералов 75% и 25% органики.
- 3- Фильтрующий слой – Bauder FV 105 (сделан из полипропилена, плотностью 1 мм, вес 105 г/м², крепление механическое).
- 4- Водосборник – Bauder WSP 75 (водосборник с интегрированной функцией дренажа, сделан из экспандированного полистирола, высота 75 мм, вес 0,95 кг/м², водопоглощение 21,5 л/м²).
- 5- Защитный слой – Bauder FSM 600 (изготовлен изполиэстера и полипропилена, плотность 4 мм, вес 600 г/м², водопоглощение 3 л/м²).
- 6- Разделительный слой – полиэтиленовая пленка Bauder PE 02(плотность 0,2 мм, вес 190 г/м²).

Характеристики системы:

- высота: 28 см
- водонакопление: 117,5 л/м²

- вес с учетом влагонасыщения: 306,5 кг/м²

Озеленение скатных крыш. Угол наклона 5°-15°:



1- Озеленение.

2- Субстрат – на основе минералов 90% и 10% органики, наполнение прямо в дренажную плиту.

3- Водосборник – Bauder WSP 50 (водосборник с интегрированной функцией дренажа, сделан из экспандированного полистирола, высота 50 мм, вес 0,6 кг/м², водопоглощение 10,1 л/м²).

4- Защитный слой – Bauder FSM 600 (изготовлен изполиэстера и полипропилена, плотность 4 мм, вес 600 г/м², водопоглощение 3 л/м²).

Озеленение скатных крыш. Угол наклона 15°-25°:



- 1- Озеленение.
- 2- Субстрат – на основе минералов 90% и 10% органики, наполнение прямо в дренажную плиту.
- 3- Защита от сдвига – обрешетка.
- 4- Водосборник – Bauder WSP 75 (водосборник с интегрированной функцией дренажа, сделан из экспандированного полистирола, высота 75 мм, вес 0,95 кг/м², водопоглощение 21,5 л/м²).
- 5- Защитный слой – Bauder FSM 600 (изготовлен изполиэстера и полипропилена, плотность 4 мм, вес 600 г/м², водопоглощение 3 л/м²). [52]

Грунтовые «зеленые» крыши восполняют недостаток зелени в современных городах и сокращают огромные площади залитых битумом крыш, улучшая жизненную среду человека, поскольку травяной покров существенно изменяет условия поглощения солнечной радиации и испарения влаги, способствуя очищению воздуха и воды и улучшению их состава. Озелененные крыши изменяют городской ландшафт и создают благоприятный микроклимат, смягчая экстремальную разность температур, повышая влажность среды и воздухообмен.

Грунтовые крыши имеют давние традиции во многих районах планеты. В настоящее время и в России имеются примеры устройства эксплуатируемых крыш как в южных районах, так и на севере. Еще в 1986 г. газетой «Московская правда» был поднят вопрос об использовании крыш городских зданий для размещения теплиц, в которых можно было бы выращивать овощи и цветы круглый год.

Все вышеперечисленные достоинства делают систему озеленения крыш не только быстрокупаемым проектом, но и проектом, направленным на улучшение экологии, поддерживающим здоровый микроклимат и украшающим внешний вид зданий.

4. НАТУРНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ЗЕЛЕННЫХ КРЫШ

4.1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ НАТУРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Общие цели натуральных исследований были следующие:

1. Определение возможного снижения температуры экстенсивными зелеными крышами с разными типами растительности;
2. Определение доли осадков, удерживаемых зеленой крышей, и снижения пикового стока с нее;
3. Определение оптимальной глубины почвы для желаемого роста растений в течение первого года создания зеленой крыши;
4. Определение типа зеленого покрова, наиболее пригодного для создания зеленой крыши над лабораторным блоком Гидрокорпуса-2 СБГПУ.

Целью натуральных исследований была проверка следующих предположений:

1. Температура зеленой крыши с любым типом растительности в теплое время года значительно ниже, чем у обычной крыши.
2. Количество осадков, стекающих с зеленой крыши, значительно меньше количества выпавших осадков.
3. Пиковый сток с зеленой крыши значительно меньше, чем пиковое количество осадков.
4. Рост и развитие растений в конце первого года вегетации в почве глубиной в 10 см идет интенсивнее, чем при глубине 5 см.

Выполнены следующие исследования:

1. Определена температура зеленых крыш с разным растительным покровом и проведено сравнение ее с температурой контрольных крыш, чтобы проверить первое предположение;
2. Определено количество осадков, удержанных на зеленой крыше во время дождя и оценено их долю от количества выпавших, чтобы проверить второе предположение;

3 . Определен пиковый сток с зеленой крыши во время наблюдаемого дождя и интенсивность последнего, а также оценено снижение пикового стока, чтобы проверить третье предположение;

4 . Измерена доля покрытия зеленой крыши выбранной растительностью после первого года вегетации на грунте глубиной в 5 см и в 10 см для проверки четвертого предположения.

4.2. СТАТИСТИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА РЕЗУЛЬТАТОВ

При статистической обработке экспериментального материала среднюю арифметическую (M), дисперсию (σ^2), среднее квадратическое отклонение (σ), среднюю квадратическую ошибку (m) и коэффициент вариации (V) вычисляли стандартными методами.

Для оценки существенности различий между средними арифметическими сравниваемых вариационных рядов применяли t-критерий Стьюдента. Различия считали достоверными при $P < 0,05$ и недостоверными при $P > 0,1$. При $0,05 < P < 0,1$ предполагали лишь тенденцию к изменению. Уровень значимости $P < 0,05$ был выбран для того, чтобы вероятность ошибки предположения была достаточно малой.

4.3 ОПИСАНИЕ ОБЪЕКТОВ ИССЛЕДОВАНИЯ

В данной работе исследованы две экстенсивных зеленых крыши, впервые построенные в Санкт-Петербурге кровельной фирмой «Нимбус» по немецкой технологии. Исследована также возможность обустройства зеленой крыши над лабораториями Гидрокорпуса – 2 СПбГПУ с применением технологии немецкой фирмы «BAUDER», использованной на первых двух объектах. Местоположение всех перечисленных объектов показано на схеме (см. Рис. 3-1).

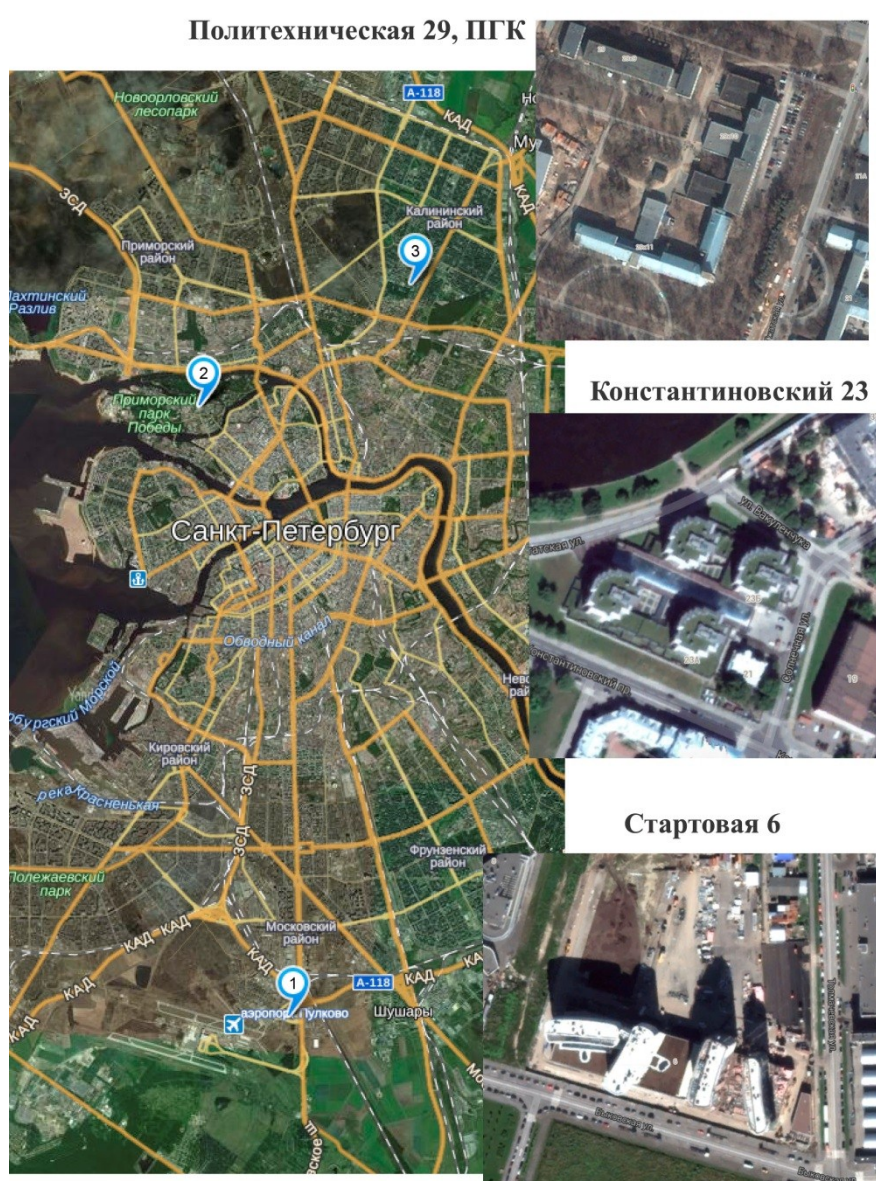


Рисунок 3-1. 1 - комплекс "Аэропорт Сити" по адресу: Стартовая ул., 6; 2 - жилой комплекс "Диадема" на Крестовском острове по адресу: Константиновский пр., 23; 3 – Гидрокорпус-2 СПбГПУ по адресу: Политехническая ул., 29.

Зеленая эксплуатируемая кровля семиэтажного жилого комплекса "Диадема" на Крестовском острове - это первая зеленая крыша в Санкт-Петербурге, выполненная в 2011 г. по технологии немецкой кровельно-ландшафтной компании «ZinCo». Элитный жилой комплекс "Диадема" в составе четырех домов построен в уникальной зеленой исторической зоне Санкт-Петербурга рядом с парками Каменного и Аптекарского острова. Квартиры первого и второго этажей, как и пентхаусы, имеют эксплуатируемые озелененные террасы с системами снеготаяния, а уникальный атриум с зимним садом создает комфортную природную среду в самом сердце здания (см. Рис. 3-2).

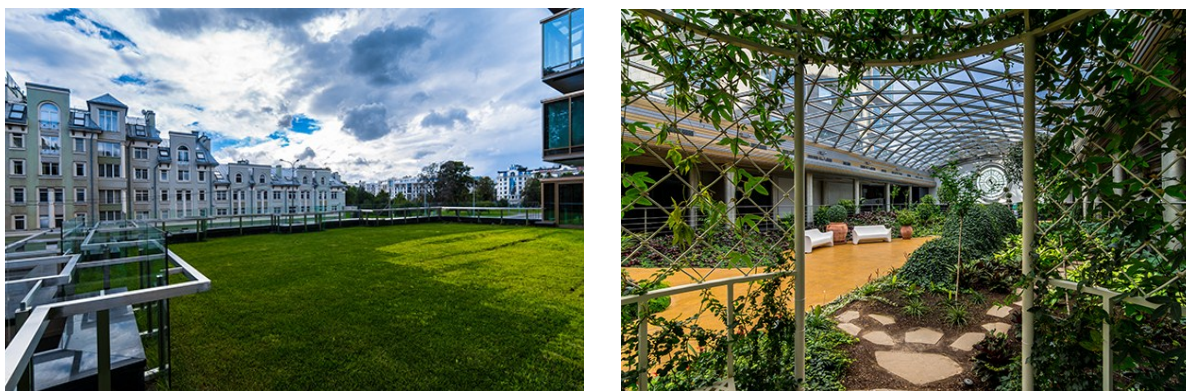


Рис. 3-2. Озелененные террасы (слева) и зимний сад (справа) комплекса «Диадема»

Площадь эксплуатируемой кровли с системой «травяной газон» составляет 4000 м², а площадь зимнего сада с древесной и кустарниковой растительностью - 1880 м². Уклон кровли и уклон гидроизоляции составляет от 1 до 1.5%. Водонакопительный и дренажный слой с высотой ячеек 20-40 мм обеспечивают водонакопление в среднем 7.4 л/ м². Толщина субстрата составляет 200 мм, а в качестве растительного покрытия использован рулонный травяной газон. Одна из озелененных террас площадью 70 м² с центральным стоком была выбрана в качестве экспериментальной площадки, а симметрично расположенная терраса той же площади, но не имевшая зеленого покрытия, стала контрольной. Каждая терраса имела в центре отверстие для стока, который отводился в ливневую канализацию через измерительный водослив с треугольным расходомером.

Озелененная кровля многофункционального комплекса "Аэропорт Сити" выполнена в 2012 г. с использованием фирменной технологии компании «BAUDER», являющейся лидером по производству зеленых кровельных систем в Европе. Для этого проекта были специально подобраны несколько видов растения очиток (седум) с разным временем цветения, чтобы сделать открывающийся из окон вид более привлекательным (см. Рис. 3-3).



Рис. 3-3. Зеленая кровля в комплексе «Аэропорт Сити».

Особенностью этого комплекса общей площадью 17000 м² стало использование не только зеленой крыши, но и других «зелёных» технологий, включая энергосбережение и систему регуляции тепла. Общая площадь плоской эксплуатируемой кровли составила 5000 м² с уклоном кровли и гидроизоляции от 1 до 1.5%. Водонакопительный и дренажный слой DSE 20 с высотой ячеек 20 мм обеспечивают водонакопление в среднем 7.4 л/м² при толщине субстрата 100 мм. В качестве растений использованы 6 видов очитков (*Sedum reflexum* – Очиток отогнутый, *Sedum sexangulare* – Очиток шестиугольный, *Sedum album* – Очиток белый, *Sedum album chloroticum* – Очиток белый мелкоцветковый, *Sedum album murale* – Очиток белый стенной, *Sedum spurium fuldaglut* – Очиток ложный, *Sedum grisebachii*) с плотностью посадки 25 штук на 1 м². Часть растений в порядке эксперимента и в целях возможной экономии была высажена в почвенный слой глубиной 50 мм, обеспечив возможность сравнения их роста и выживаемости в зависимости от глубины почвы.

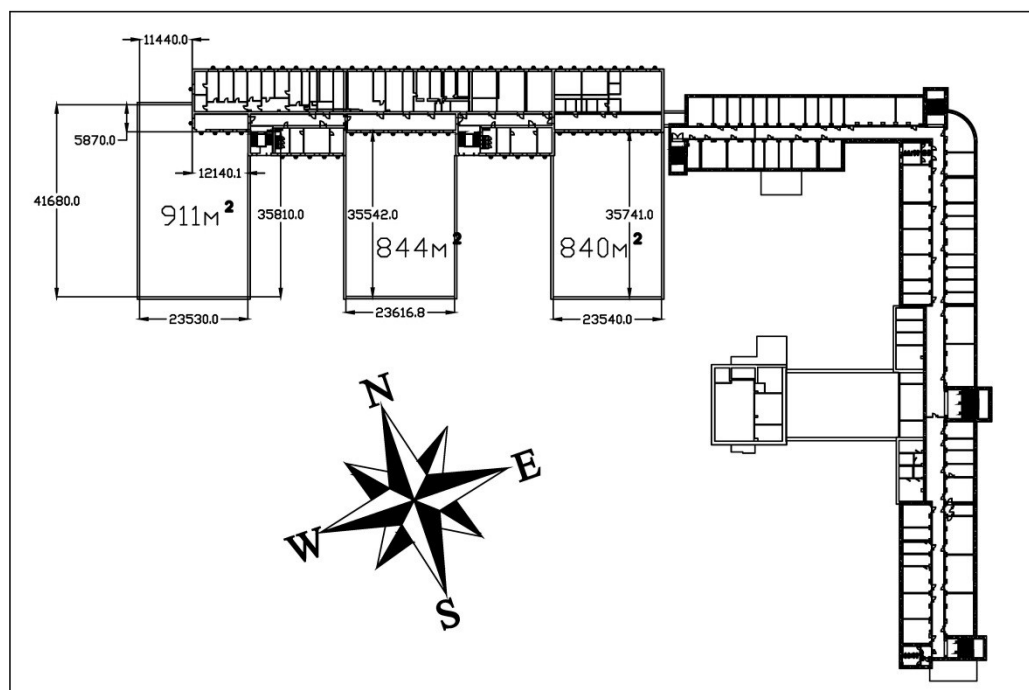
В качестве варианта обустройства зеленой крыши при возможной реконструкции здания были выбраны лаборатории построенного в 1975 г Гидрокорпуса-2 СПбГПУ по проекту, разработанному институтом «Ленгипрогор» (см. Рис. 3-4). Конструктивные особенности, как показали расчеты, позволяют плитному покрытию лабораторий выдерживать дополнительную равномерно распределенную нагрузку до 250 кг/м^2 , что создает возможность обустройства экстенсивной зеленой крыши при реконструкции здания.



Рис.3-4.
Гидрокорпус-2
СПбГПУ;
современный
вид - слева,
справа - проект
реконструкции.



Как видно из представленного ниже плана (см. Рис. 3-5), общая площадь трех лабораторий с плоскими крышами, имеющими уклон 1,5%, составляет 2595 м^2 , что лишь на 1500 м^2 меньше, чем общая площадь зеленых крыш четырех зданий комплекса «Диадема».



4.4. СБОР ДАННЫХ

4.4.1. Измерительное оборудование

Данные о температурах на каждом из исследуемых объектов с зелеными крышами были собраны в разные дни, близкие по погодным условиям. Поскольку эти два объекта удалены друг от друга примерно на 22 км, снять их температурные характеристики одновременно было невозможно. Температуру зеленой и контрольной крыши в комплексе «Аэропорт Сити», а также в комплексе «Диадема» измеряли почвенным термометром (см. Рис. 3-5), делая замеры в 3-х разных точках и вычисляя среднее арифметическое.

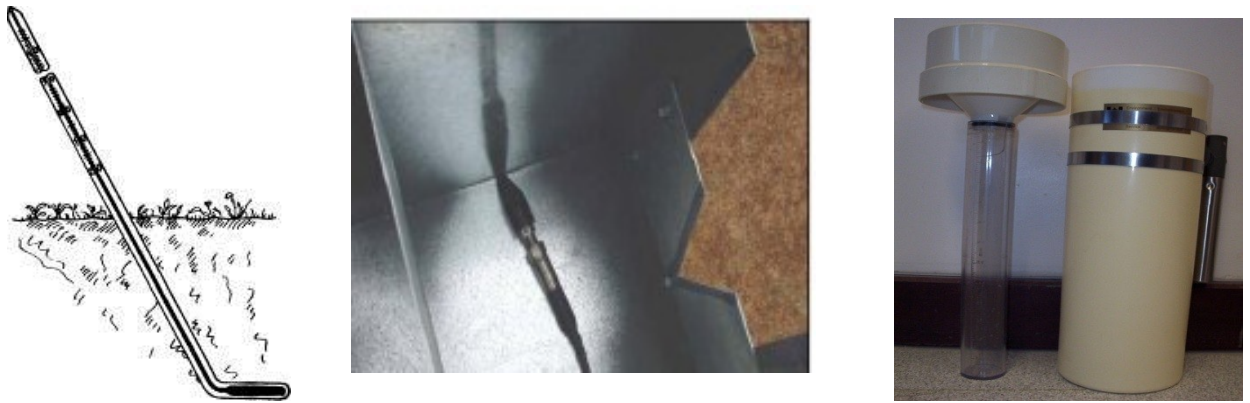


Рис. 3-5. Почвенный термометр (слева), измерительный водослив (в центре) и дождемер (справа).

Гидрологические данные были собраны для одного объекта – жилого комплекса «Диадема», – поскольку конструкция систем водоотведения давала возможность точно измерить сток с озелененной и с контрольной крыши только на этом объекте. Сток, отводимый с каждой террасы жилого комплекса «Диадема» измеряли, используя водослив с треугольным расходомером, имевшим V-образный вырез в 30° . На дне измерительного водослива находился погруженный датчик, который измерял уровень воды над вырезом расходомера с точностью $\pm 1\%$. Количество осадков измеряли при помощи дождемера, установленного на террасе.

Данные по выживанию и росту растений были получены на зеленой крыше комплекса «Аэропорт Сити», где имелись участки с глубиной почвенного слоя в 50 и 100 мм. Зеленая крыша на этом объекте была обустроена и засажена растениями в 2012 г., а оценку их выживаемости роста проводили через год в 2013 г. При обустройстве зеленой крыши необходимо скорейшее образование растительного покрова и заполнение поверхности крыши для ее затенения и уменьшения ветровой эрозии почвы. В связи с этим оценивали скорость разрастания растений, которую измеряли как долю покрытия поверхности крыши после первого года роста, используя своего рода фотограмметрию.

Для этого фотоаппаратом Canon 450D с высоты 1,5 м фотографировали растения, растущие на участках крыши с разной глубиной почвы на площади 1 м². Изображения распечатывали на листах бумаги формата А5 и взвешивали на аналитических весах. Затем вырезали оттуда участки, занятые растениями, проводили взвешивание и определяли их весовую долю, которую сравнивали у четырех разных видов очитков (см. Рис. 3-6).

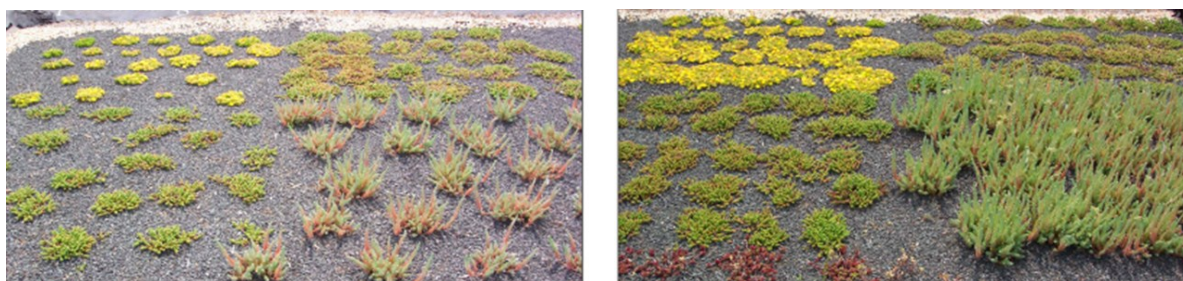


Рис. 3-12. Вид растений на почве глубиной 50 мм (слева) и 100 мм (справа). Внизу - использовавшиеся фотокамера (слева) и аналитические весы (справа).



4.5. РЕЗУЛЬТАТЫ НАТУРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

4.5.1 Результаты температурных исследований

Санкт-Петербург находится в зоне умеренного климата, с достаточно мягкой зимой и умеренно теплым летом и с характерным непостоянством погоды, обусловленным частой сменой воздушных масс. Атлантические циклоны приносят пасмурную, ветреную погоду и осадки, становясь причиной резких потеплений зимой, а летом, наоборот, несут прохладу. В антициклонах, формирующихся в континентальных воздушных массах, устанавливается малооблачная и сухая погода, летом жаркая, а зимой холодная. Резкие понижения температуры воздуха, как правило, связаны с вторжением арктических воздушных масс, вызывающих резкие изменения погодных условий.

По данным Северо-Западного управления Росгидромета среднегодовая температура воздуха в Санкт-Петербурге составляет 5°C , а число дней в году со среднесуточной температурой выше 0°C составляет 232 дня; самым холодным месяцем является февраль со средней температурой от $-8,0^{\circ}\text{C}$ до $-8,5^{\circ}\text{C}$, а самым теплым месяцем – июль с температурой от $17,4^{\circ}\text{C}$ до $18,0^{\circ}\text{C}$.

Среднегодовое количество осадков в Санкт-Петербурге, находящемся в зоне избыточного увлажнения, составляет 637 - 666 мм, большая часть которых (67%) приходится на теплый период. Общее количество дней с осадками в Санкт-Петербурге составляет в среднем 191 день в году, хотя бывают и периоды бездождья, которые могут длиться до 25-30 дней. Минимум осадков обычно приходится на февраль, а максимум – на август, причем самое большое зарегистрированное количество осадков, выпадавших за одни сутки с интенсивностью 1,1...1,3 мм/ч, составляет 75,7 мм.

Температурные наблюдения на каждой крыше проводили в августе 2013 г. в сухую жаркую погоду в течение 12 часов, начиная с 9 часов утра, с часовыми интервалами. В комплексе «Аэропорт Сити» температурные наблюдения проводили в среду 7 августа, а в комплексе «Диадема» - в четверг 8 августа.

Таблица 3-1. Средние температуры воздуха и крыш в «Аэропорт Сити»

Время дня, час.	Т воздуха, °С	Т обычной крыши, °С	Т зеленой крыши, °С
09	22,8 ± 0,2	33,1 ± 0,3	20,2 ± 0,2
10	25,7 ± 0,2	39,5 ± 0,4	21,0 ± 0,2
11	28,3 ± 0,3	49,1 ± 0,5	23,2 ± 0,2
12	28,9 ± 0,3	56,0 ± 0,6	23,9 ± 0,2
13	29,6 ± 0,3	58,1 ± 0,6	24,1 ± 0,2
14	29,2 ± 0,3	57,4 ± 0,6	24,2 ± 0,2
15	28,2 ± 0,3	56,1 ± 0,6	24,2 ± 0,2
16	28,1 ± 0,3	52,2 ± 0,5	24,0 ± 0,2
17	27,3 ± 0,3	46,3 ± 0,5	23,5 ± 0,2
18	26,6 ± 0,3	42,1 ± 0,4	23,1 ± 0,2
19	25,4 ± 0,2	35,0 ± 0,3	21,8 ± 0,2
20	22,4 ± 0,2	30,3 ± 0,3	21,4 ± 0,2
21	21,2 ± 0,2	26,5 ± 0,3	21,2 ± 0,2
Т ср.	26,4 ± 0,3	44,7 ± 0,4	22,7 ± 0,2

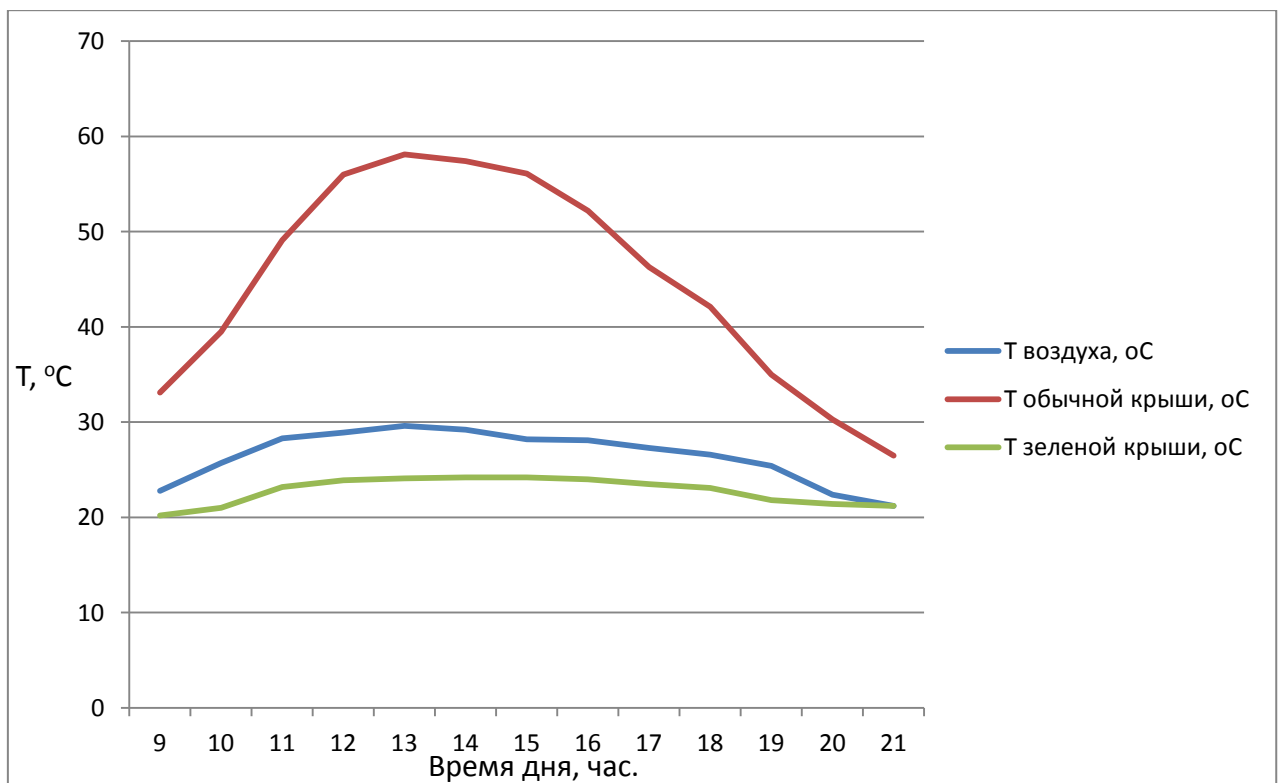


Рис. 3-6. Динамика температур воздуха, зеленой и гравийной крыш в комплексе «Аэропорт Сити»

Таблица 3-2. Средние температуры воздуха и крыш в комплексе «Диадема»

Время дня, час.	Т воздуха, °С	Т обычной крыши, °С	Т зеленой крыши, °С
09	24,8 ± 0,2	33,5 ± 0,3	20,8 ± 0,2
10	25,7 ± 0,2	39,5 ± 0,4	21,2 ± 0,2
11	28,3 ± 0,3	50,4 ± 0,5	21,8 ± 0,2
12	29,1 ± 0,3	56,2 ± 0,6	23,2 ± 0,2
13	29,8 ± 0,3	58,6 ± 0,6	23,8 ± 0,2
14	29,4 ± 0,3	58,2 ± 0,6	23,6 ± 0,2
15	29,2 ± 0,3	56,8 ± 0,6	23,2 ± 0,2
16	28,1 ± 0,3	54,6 ± 0,5	23,0 ± 0,2
17	27,3 ± 0,3	48,5 ± 0,5	22,8 ± 0,2
18	27,1 ± 0,3	43,3 ± 0,4	22,0 ± 0,2
19	25,4 ± 0,3	35,4 ± 0,3	21,8 ± 0,2
20	22,4 ± 0,2	30,0 ± 0,3	21,6 ± 0,2
21	21,3 ± 0,2	26,5 ± 0,3	21,2 ± 0,2
Т ср.	26,7 ± 0,3	45,5 ± 0,5	22,3 ± 0,2

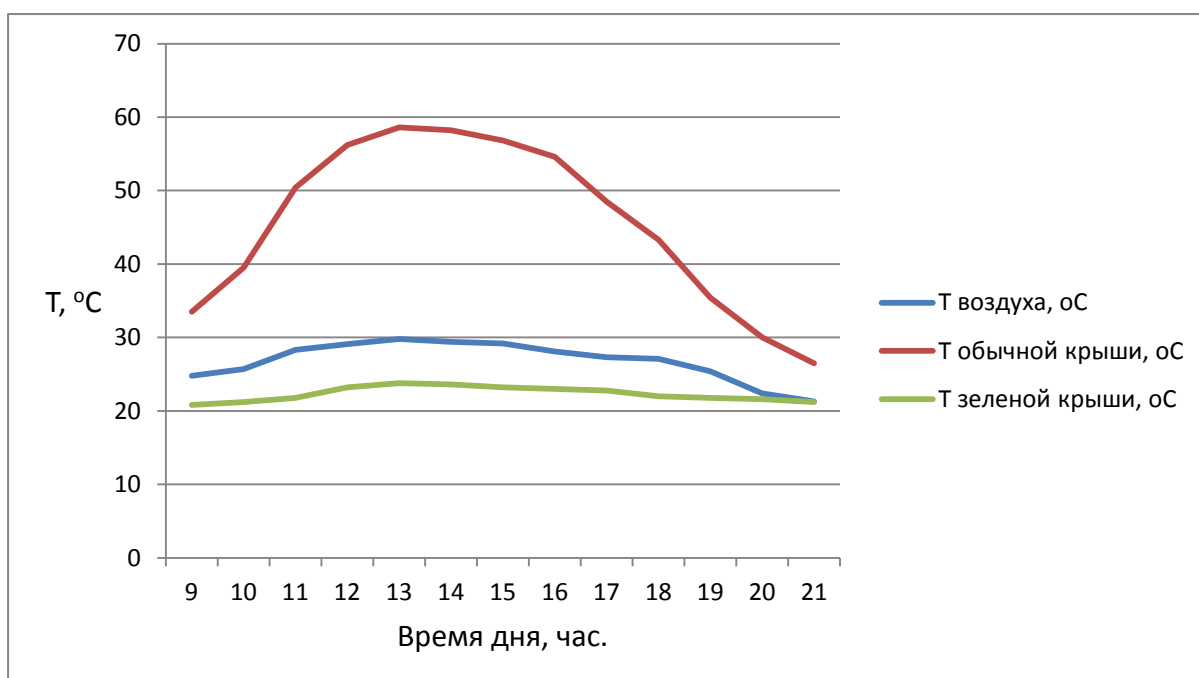


Рис. 3-7. Динамика температур воздуха, зеленой и гравийной крыш в комплексе «Диадема»

Как видно из таблиц и рисунков, температура воздуха в оба дня наблюдений 8 и 9 августа 2013 г. была необычно высокой для этого месяца, превышая в середине дня $29\text{ }^{\circ}\text{C}$, что позволяет считать температурные условия для обеих сравниваемых зеленых крыш практически одинаковыми. Температура обычных кровель, использовавшихся в качестве контроля, в эти дни уже в 9 часов утра превышала $30\text{ }^{\circ}\text{C}$, а после полудня достигала $58\text{ }^{\circ}\text{C}$, опускаясь к 9 часам вечера до $21\text{ }^{\circ}\text{C}$. Таким образом, размах температурных колебаний только в течении летнего дня превышал на этих крышах $35\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Температура зеленой крыши в комплексе «Аэропорт Сити» не превышала $24\text{ }^{\circ}\text{C}$ даже в самое жаркое время дня, а в комплексе «Диадема» была даже на $0,5\text{ }^{\circ}\text{C}$ ниже, хотя столь небольшие температурные различия между зелеными крышами с разными типами растительного покрова не являются достоверными ($P > 0.95$). В то же время температурные различия между зеленой и обычной крышами в течение дня, в среднем превышавшие $22\text{ }^{\circ}\text{C}$, а в самое жаркое время дня $35\text{ }^{\circ}\text{C}$, оказались высоко достоверными ($P < 0,05$). Полученные данные безусловно подтверждают высокую способность зеленой крыши эффективно снижать температуру кровли и в климатических условиях Санкт-Петербурга.

4.5.2. Результаты гидрологических исследований

Данные об удержании воды зеленой крышей в комплексе «Диадема» были собраны в 2013 г. в августе, когда в Петербурге обычно наблюдается максимум осадков. В общей сложности были исследованы и проанализированы стоки с крыш в течение 3-х достаточно интенсивных дождей, имевших ливневой характер, которые наблюдались 9, 14 и 20 августа. Недостаточно интенсивные осадки (менее 10 мм) не учитывались, поскольку в этих случаях сток с зеленой крыши не наблюдался. Количество осадков, удерживаемых зеленой крышей, определяли как разность между объемом осадков и объемом стока для каждого случая дождя. Удерживаемые осадки какое-то время сохраняются в почве и дренажном слое зеленой крыши, но, в конце концов, теряются в результате испарения и транспирации.

На зеленую крышу в комплексе «Диадема» за время трех указанных дождей выпало в общей сложности 67 мм осадков, а сток с нее составил всего 17 мм, следовательно, количество удержанных осадков составило за время этих событий 50 мм. Количество осадков, удержанное зеленой крышей, оказалось достоверно значительно больше, чем количество стока с нее ($P < 0,05$), поскольку она сохранила 75% от общего количества осадков, выпавших за три дня в августе 2013 г.

Таблица 3-3 содержит информацию о количестве измеренных осадков, выпадавших в течение этого месяца в период наблюдений, которая также представлена графически на рисунках 3-8 и 3-9.

Таблица 3-3. Удержание осадков зеленой крышей комплекса «Диадема»

Период	Осадки, мм	Сток, мм	Удержание, мм	Удержание, %
09.08.2013	22	4	18	80
14.08.2013	18	6	12	68
20.08.2013	27	7	20	74
ВСЕГО	67	17	50	75

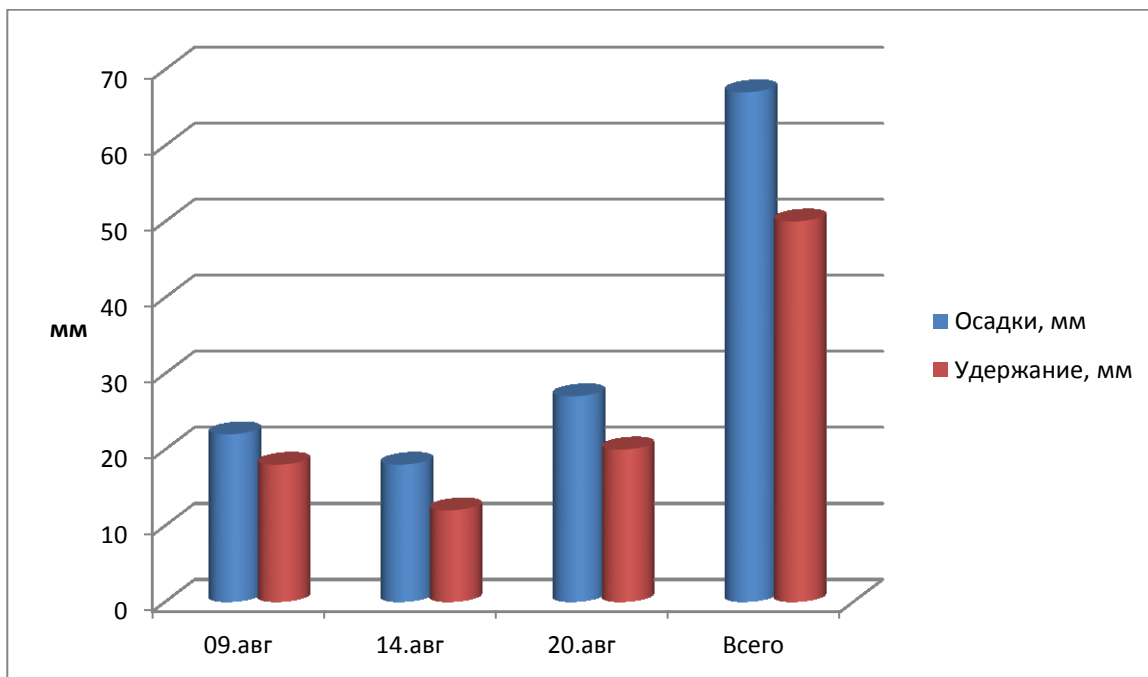


Рис. 3-8. Количество осадков, выпавших и удержанных зеленой крышей.

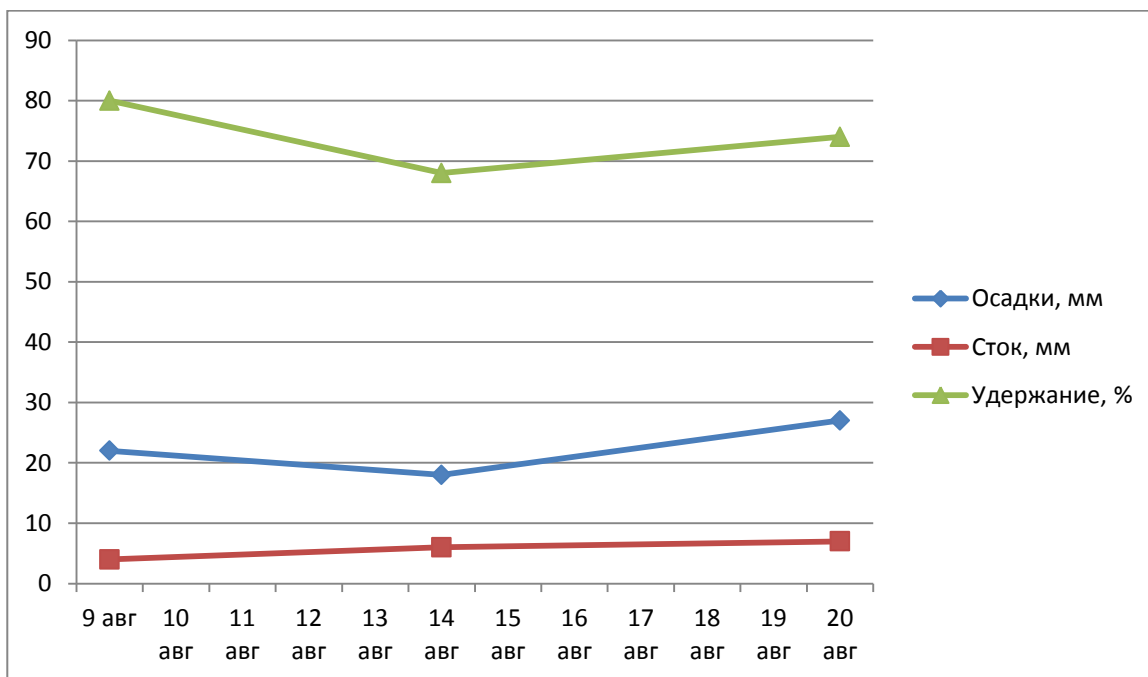


Рис. 3-9. Количество выпавших осадков, сток с зеленой крыши и процент удержания.

Следует отметить, что до 9 августа в Санкт-Петербурге в течение недели стояла жаркая сухая погода, чем, вероятно, объясняется более высокий процент удержания влаги почвенным слоем во время первого сильного дождя. Максимальная дневная температура в эти дни была 26 - 28 °С, обеспечивая довольно интенсивное испарение, так что почва не была

достаточно насыщена влагой перед дождем, и поэтому после него смогла удержать 80% осадков.

Перед вторым сильным дождем, прошедшим 14 августа, два дня периодически моросил мелкий дождь, во время которого с зеленой крыши сток вообще не наблюдался. Количество выпавших за эти два дня осадков составило 5 мм, но, видимо, все же увлажнило почву, снизив ее удерживающую способность, поскольку из выпавших 14 августа 18 мм осадков было удержано 68%.

В течение следующих пяти дней погода была сухая, и почва к очередному сильному дождю 20 августа, утратив часть влаги в результате испарения, смогла восстановить свою удерживающую способность, задержав 74% осадков. Интересно также отметить разный характер выпадения осадков за эти дни. 14 августа дождь сопровождался грозой и был достаточно интенсивным ливнем. Сток с зеленой крыши стал наблюдаться через 25 минут после начала дождя, общая продолжительность которого составила около 47 минут.

Дождь 20 августа был значительно более продолжительным, чем предыдущий, т.к. его общая продолжительность составила около 1,5 часов, но сток с зеленой крыши не наблюдался в течение примерно получаса после начала осадков. Различия в характере этих двух дождей и характере стока показывают, что удерживающая способность зеленой крыши может зависеть еще и от продолжительности и интенсивности осадков. Во время коротких и интенсивных дождей ее удерживающая способность уменьшается.

Средний процент удержания осадков зеленой крышей в комплексе «Диадема» за дни наблюдений составил 75 %, оказавшись несколько выше, чем у немецких исследователей, отмечавших удержание до 65% осадков экстенсивной зеленой крышей с глубиной грунта от 75 до 100 мм. [33] [34] Однако, эти результаты можно считать вполне сопоставимыми, поскольку на зеленой крыше в комплексе «Диадема» слой почвы был толще, составляя

200 мм, чем, вероятно, и обусловлен большой процент удержания ею осадков.

Одной из основных функций зеленой крыши является удержание дождевой воды путем абсорбции осадков в почве и дренажном слое, в связи с чем ливневой сток с зеленой крыши обычно не происходит до полного насыщения ее водой. В результате между началом дождя и появлением стока с зеленой крыши возникает задержка во времени, которая может достигать нескольких часов, в зависимости от интенсивности и продолжительности дождя и уклона крыши. Сток с обычной наклонной крыши с твердым покрытием начинается сразу же с момента выпадения осадков и имеет практически ту же интенсивность, что и осадки. На плоской крыше с твердым покрытием осадки на какое-то время задерживаются, и до начала стока на поверхности крыши может сохраняться до 5-6 мм осадков.

Скорость стока с зеленой крыши в комплексе «Диадема» сравнивали со скоростью стока с контрольной крыши и скоростью выпадения осадков. Скорость выпадения осадков и скорость стока с контрольной крыши практически совпадали, а скорость стока с зеленой крыши была достоверно значительно меньше ($P < 0,05$). Средняя скорость выпадения осадков в августе 2013 г. составила в среднем 25 мм/час, а средний сток с зеленой крыши за это время был равен 6 мм/час, что в результате дает среднее снижение скорости стока на 78%. Таблица 3-4 показывает сокращение пикового стока с зеленой крыши комплекса «Диадема».

Таблица 3-4. Осадки и скорость стока с зеленой крыши комплекса «Диадема»

Даты августа 2013 г.	Количество осадков, мм	Время выпадения осадков, мин.	Скорость выпадения осадков, мм/час	Сток с зеленой крыши, мм/час	Снижение скорости стока, %
9.08.	22	36	37	10	72
14.08.	18	47	23	5	77
20.08	27	76	14	2	86
Среднее значение			25	6	78

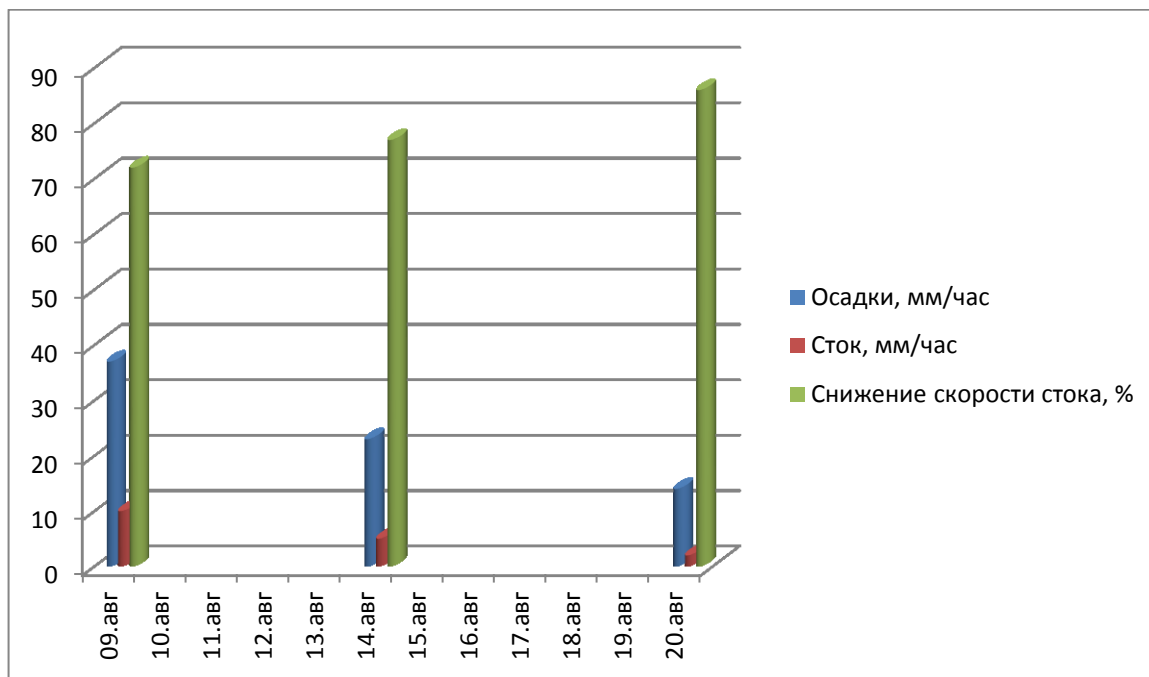


Рис. 3-10. Снижение скорости стока с зеленой крыши и скорость выпадения осадков.

Как видно из рисунка 3-10, во время более интенсивных и менее продолжительных дождей скорость стока с зеленой крыши снижается в меньшей степени, поскольку при этом уменьшается ее удерживающая способность. Тем не менее зеленая крыша уменьшает скорость ливневого стока весьма значительно, т.к. за период наблюдений снижение скорости стока с нее в среднем составляло 78%, что достаточно хорошо согласуется с литературными данными.

4.5.3. Результаты исследования выживаемости растений

Исследование проводилось на участках зеленой крыши комплекса «Аэропорт Сити», различавшихся по глубине почвенного слоя, который составлял 100 и 50 мм. Посадку растений в 2012 г. осуществляли сотрудники фирмы «Нимбус». Для озеленения были использованы 6 видов очитков (*Sedum reflexum* – Очиток отогнутый, *Sedum sexangulare* – Очиток шестиугольный, *Sedum album* – Очиток белый, *Sedum album chloroticum* – Очиток белый мелкоцветковый, *Sedum album murale* – Очиток белый стеной, *Sedum spurium fuldaglut* – Очиток ложный, *Sedum hybridum* – Очиток гибридный). Плотность их посадки на нескольких квадратных участках как на почве глубиной 100мм, так и на почве глубиной 50 мм составляла 25 штук на 1 м². Эти неприхотливые почвопокровные растения суккуленты широко используются на зеленых крышах, где они быстро образуют плотный надпочвенный покров наподобие газона, имеющего яркую окраску и не требующего стрижки.

Целью исследования было определить, какие из этих растений и при какой глубине почвы лучше выживают на экстенсивной зеленой крыше в климатических условиях Санкт-Петербурга. Для успешного произрастания на экстенсивной зеленой крыше растения должны иметь неглубокие корневые системы, быть свето-, засухо-, ветро- и морозоустойчивыми и хорошо воспроизводиться. Этим требованиям отвечают все шесть вышеперечисленных видов очитков, представленных на рисунке 3-11, однако предстояло выяснить, существует ли разница между ростом растений на зеленой крыше с глубиной почвы в 50 мм и 100 мм.

При создании зеленой крыши желательно, чтобы травяное покрытие над почвой образовалось там как можно скорее, поскольку, чем раньше оно появляется, тем меньше почвы будет потеряно в результате ветровой эрозии. Изначально предполагалось, что скорость покрытия крыши растительностью будет больше при глубине почвы 100 мм, чем при глубине почвы 50 мм.



Рис. 3-11. 6 видов очитков, высаженных на зеленой крыше комплекса «Аэропорт-Сити». Слева направо: *Sedum reflexum* – Очиток отогнутый; *Sedum sexangulare* – Очиток шестиугольный; *Sedum album* – Очиток белый; *Sedum album chloroticum* – Очиток белый мелкоцветковый; *Sedum album murale* – Очиток белый стеной; *Sedum spurium fuldaglut* – Очиток ложный; *Sedum hybridum* – Очиток гибридный.

Одна из секций зеленой крыши имела глубину почвы 50 мм, а остальные - 100 мм, и в каждой секции были посажены по четыре вида растений: *Sedum reflexum* – Очиток отогнутый; *Sedum sexangulare* – Очиток шестиугольный; *Sedum album* – Очиток белый и *Sedum hybridum* – Очиток гибридный. У каждого вида определяли степень разрастания растений после одного полного года роста, измеряя долю покрытия поверхности. Зеленая крыша комплекса «Аэропорт Сити» был обустроена и засажена растениями в 2012 г., поэтому оценку их роста проводили на следующий год, в августе 2013 г.

Как и предполагалось, разрастание и покрытие поверхности крыши растительностью было значительно выше на почве глубиной 100 мм, чем на почве глубиной 50 мм ($P < 0,05$). Статистически значимых различий в степени покрытия поверхности между *Sedum album* и *Sedum hybridum* выявлено не было ($P < 0,05$), тогда как степень разрастания у *Sedum reflexum*

была значительно выше, чем у них ($P < 0,05$), а *Sedum sexangulare* занимал промежуточное положение.

Таблица 3-5. Покрытие поверхности крыши при разной глубине почвы, %

Вид растения	Глубина почвы 50 мм	Глубина почвы 100 мм
<i>Sedum album</i>	22 ± 2	65 ± 5
<i>Sedum hybridum</i>	24 ± 3	67 ± 5
<i>Sedum reflexum</i>	35 ± 3	81 ± 7
<i>Sedum sexangulare</i>	27 ± 3	78 ± 7

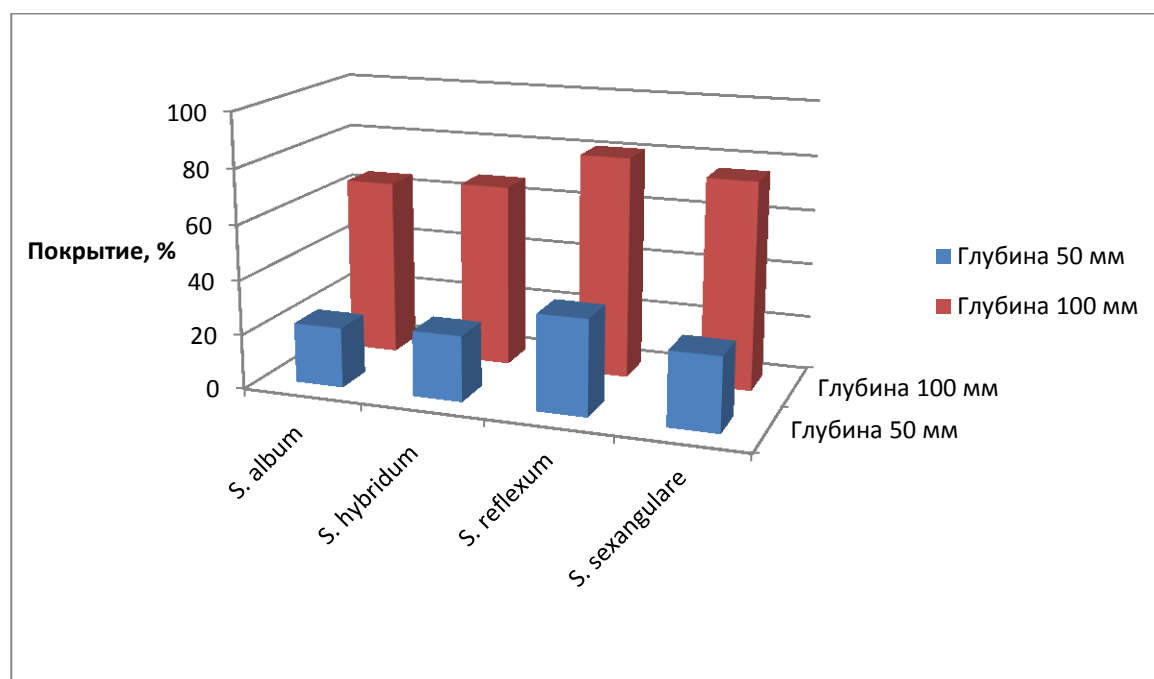


Рис. 3-12. Покрытие поверхности крыши растениями при разной глубине почвы.

Как видно из рисунка 3-12, средний процент покрытия поверхности крыши у каждого из четырех исследованных видов растительности после первого года роста превышал 60 % при глубине почвы 100 мм. В то же время при глубине почвы 50 мм растения росли почти в 3 раза медленнее, и покрытие ими поверхности крыши составляло чуть более 20%. Полученные результаты показывают, что уменьшение глубины почвенного слоя тормозит рост растений и задерживает установление растительного покрова на крыше.

4.5.4. Исследование возможности озеленения крыш в Гидрокорпусе-2

В этой части работы рассмотрена возможность строительства зеленой кровли при реконструкции лабораторного блока Гидрокорпуса-2 СПб ГПУ и разработаны рекомендации по обустройству зеленой крыши.

Проект Гидрокорпуса-2 был разработан институтом «Ленгипрогор» в 1973г., а его строительство было завершено в 1975 г. Для оценки возможности обустройства зеленой крыши на плоской кровле лабораторий было проведено изучение архивных документов проекта при участии сотрудников кафедры СМиСК. Кроме того было визуально обследовано состояние железобетонных конструкций лабораторий: фундамента, колонн, балок и плит покрытия (Рис. 3-13).



Рис. 3-13. Вид крыши лаборатории Гидрокорпуса-2.

В результате исследования было установлено, что в проекте использованы типовые конструкции, изделия и узлы зданий и сооружений серии 1.462.1-1/88. Проведенный в соответствии со СНиП 2.01.07-85 «Нагрузки и воздействия» расчет полезной нагрузки на конструкции, которые проектировались с учетом использования подъемно-транспортного оборудования, показал, что она может превышать 300 кг/м^2 . Никаких возможных отклонений от проекта, а также дефектов, возникших в процессе эксплуатации, при обследовании обнаружено не было. Учитывая вышеизложенное, было сделано заключение о возможности размещения на

плитном покрытии здания дополнительной равномерно распределенной нагрузки в пределах 100 - 250 кг/м², что вполне соответствует техническим характеристикам основных типов экстенсивной зеленой крыши фирмы Баудер.

Рассматривалось пять проектов озеленения крыш, предлагаемые фирмой Баудер: три экстенсивного (WSP 50; SDF; DSE 20) и два интенсивного (WSP 75; DSE 60) типа. Исходя из оценки несущей способности крыши лабораторий Гидрокорпуса-2, выбор был сделан в пользу экстенсивного озеленения, которое в насыщенном водой состоянии требует возможной дополнительной нагрузки не менее 70 кг/м² массы поверхности. Для проектов интенсивного озеленения крыши минимум планируемой нагрузки составляет 300 кг/м², что может превысить несущую способность рассматриваемой крыши лабораторий ПГК.

Из трех перечисленных типов экстенсивного озеленения был выбран SDF-мат, как наиболее экономичный способ обустройства зеленой крыши. Его общая масса при максимальном водонасыщении составляет 111,2 кг/м², включая изоляционную пленку PE-02 из устойчивого к битуму полиэтилена, SDF-мат, являющийся одновременно защитным, дренажным и фильтрующим слоем, субстрат с органическим наполнением и собственно растения, высаживаемые в почву, или травяной газон. При общей высоте надстройки над поверхностью кровли 100 мм расчетная водонакопительная способность такой зеленой крыши составляет 38 л/м², позволяя в климатических условиях Санкт-Петербурга обходиться без дополнительного полива и требуя минимального ухода.



Рис. 3-15. Слева - SDF-мат, справа - вид зеленой крыши после реконструкции (проект).

На рисунке 3-15 представлен возможный вид зеленой крыши одной из лабораторий Гидрокорпуса-2 после реконструкции по технологии экономичного экстенсивного озеленения фирмы Баудер с использованием SDF-мата. В качестве растительного покрова для такого мата могут быть использованы более быстрорастущие виды очитков (седумов) - например, *Sedum reflexum* и *Sedum sexangulare*, - или устойчивые к засухе травы. Такая крыша будет не только иметь более привлекательный вид, но и обладать целым рядом практических преимуществ.

Озеленение защитит гидроизоляцию кровли от неблагоприятных природно-климатических воздействий и как минимум вдвое продлит ее жизненный цикл. Зеленая крыша улучшит тепло- и звукоизоляцию здания и обеспечит экономию до 70% энергии, расходуемой на отопление и кондиционирование помещений. Ее обустройство улучшит качество атмосферного воздуха и создаст новое жизненное пространство и среду обитания для биоты.

Кроме того обустройство зеленой крыши за счет ее водоудерживающих свойств позволит рационально использовать ливневой сток и экономить на оплате его отведения в системы коммунальной канализации. В соответствии с «Методикой расчета объемов организованного и неорганизованного

дождевого, талого и дренажного стока в системы коммунальной канализации Санкт-Петербурга» объем дождевого стока, сброшенного в системы коммунальной канализации определяется по формуле:

$$W_d = 10 \times \Psi_{cp} \times H_d \times F, \quad \text{куб.м,}$$

где W_d - объем дождевого стока;

Ψ_{cp} - усредненный коэффициент стока дождевых вод;

H_d – слой выпавших атмосферных осадков за теплый период года;

$F = \sum F_i$ - общая площадь территории, га.

При расчете значение коэффициента Ψ_{cp} для кровель и асфальтобетонных покрытий принимается равным 0.6, значение H_d – равным 468 мм, а $F = 0,2595$ га. В итоге ежегодный объем отводимого с крыш дождевого стока составляет 728,7 м³. Большая часть этого стока будет удержана зеленой крышей, а остальную часть стока можно будет собрать в водосборный бассейн и использовать в лабораториях. [7]

5. РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Сравнительные наблюдения за температурой зеленых крыш комплекса «Аэропорт Сити» и комплекса «Диадема», проведенные нами в августе 2013 г., стали первыми исследованиями такого рода в Санкт-Петербурге. Канадские авторы Лю и Баскаран в 2003 г. показали, что температура стандартных крыш может подниматься летом до 70°C и выше, а наличие на зеленой крыше затеняющих ее и испаряющих влагу растений позволяет снизить ее температуру почти на 50°C.

Как показали наши исследования, температура воздуха в Санкт-Петербурге в августе 2013 г. тоже была достаточно высокой, а температура обычных кровель достигала 58°C, в результате чего температурные колебания в течение дня превышали 35°C. В то же время температуры зеленых крыш и в комплексе «Аэропорт Сити», и в комплексе «Диадема» не превышали 24°C даже в самое жаркое время дня. Таким образом, разница в температурах между зелеными и обычными крышами, составив в среднем в течение дня 22°C, в самое жаркое время дня превысила 35°C.

Полученные нами данные вполне согласуются с данными зарубежных авторов, подтверждая первую гипотезу и способность зеленых крыш с любым типом растительности достаточно эффективно снижать температуру кровли и в климатических условиях Санкт-Петербурга. Зеленые крыши нагреваются медленно и незначительно, создавая, таким образом, хорошую защиту нижерасположенной кровли от солнечного излучения и высоких температур. При этом температура в помещениях, расположенных непосредственно под крышей, тоже становится ниже, что делает условия жизнедеятельности более комфортными и обеспечивает экономию электроэнергии, снижая потребность в кондиционировании воздуха. Это отмечали не только работники «Аэропорт Сити», но и менеджеры комплекса «Диадема», считающие свои зеленые крыши весьма эффективной инновацией. Особенно эффективным такое снижение температуры должно

быть в помещениях под зеленой крышей в одно- или двухэтажных зданиях, подобных лабораториям Гидрокорпуса-2.

Еще одной важной функцией зеленой кровли является удержание ею осадков путем абсорбции дождевой воды в почве и дренажном слое, которое по данным немецких авторов [33] [34] может достигать от 50 до 90% в зависимости от типа. Зеленая экстенсивная крыша комплекса «Диадема» показала близкие к этим значениям вододерживающие возможности, поскольку в среднем она удержала 75% общего количества осадков, а во время одного из дождей сохранила даже 80% выпавших осадков, подтвердив справедливость и второй гипотезы.

Полученные нами цифры оказались даже выше, чем у немецких исследователей кровли того же типа, зарегистрировавших удержание 65% осадков при глубине почвенного слоя от 75 до 100 мм. Однако, эти небольшие различия в результатах исследований, скорее всего, объясняются различиями не столько в климатических условиях, сколько в толщине субстрата. На зеленой крыше в комплексе «Диадема» слой почвы был в два раза толще, составляя 200 мм, что, вероятно, и обусловило ее большую вододерживающую способность.

Сохраняя дождевую воду, зеленые крыши еще и замедляют сток с нее, поскольку он обычно начинается лишь после полного насыщения почвы водой. В результате между началом дождя и началом стока с зеленой крыши возникает временная задержка, которая во время наших исследований на кровле комплекса «Диадема» достигала получаса, но по данным зарубежных исследователей (Davis, A.P. et al., 2001; Nerman, R. 2003) может достигать даже нескольких часов, завися от интенсивности и продолжительности дождя.

После начала стока с зеленой крыши его динамика с некоторой задержкой следовала за динамикой выпадения осадков. С ростом интенсивности дождя интенсивность стока постепенно увеличивалась, а потом снижалась вслед за снижением интенсивности ливня. Средняя

скорость выпадения осадков во время наших исследований в августе 2013 г., рассчитанная по трем дождям, составляла в среднем 25 мм/час, тогда как средний сток с зеленой крыши был равен 6 мм/час. Следовательно, зеленая крыша в комплексе «Диадема» снижала скорость стока в среднем на 78%, что по значению оказывается весьма близким к результатам зарубежных авторов (Morgan A.C., 2004), подтверждая и третью из выдвинутых гипотез.

Исследования роста и выживаемости растений показали, что все шесть видов седума (очитков), высаженных на зеленой крыше комплекса «Аэропорт Сити», хорошо росли, и уже в течение первого года сформировали покров, затеняющий не менее 60% поверхности, а в ряде случаев и более. В настоящее время после второго года вегетации вся поверхность крыши превратилась в сплошной цветной ковер из седума, все шесть видов которого можно рекомендовать для посадки на зеленых крышах в Санкт-Петербурге.

Сравнительное исследование, предпринятое с целью определить, была ли глубина почвы оптимальной для них роста, показали, что, все растения на почве глубиной 100 мм росли лучше, чем на почве глубиной 50 мм, подтвердив справедливость и четвертой гипотезы. Возможно, разница в степени зарастания поверхности при разной глубине почвы со временем станет не так заметна, но для формирования зеленой крыши наиболее важен рост растений в течение первого года, поскольку, чем раньше образуется на зеленой крыше растительный покров, тем скорее он начнет защищать ее почву от ветровой эрозии. Конечно, можно в менее глубокой почве посадить растения более плотно, чтобы они смогли покрыть больше поверхности зеленой крыши, но это надо с самого начала учитывать при проектировании и планировании бюджета зеленой крыши. В каждом проекте зеленой крыши необходимо сбалансировать по стоимости глубину грунта и плотность посадки растений, чтобы как можно быстрее и экономически эффективнее создать растительный покров на зеленой крыше. Такой подход необходимо применить и при обустройстве зеленой крыши при реконструкции лабораторий Гидроорпуса-2 с использованием технологии фирмы «Баудер».

Строительство зеленой крыши сможет принести не только экономические выгоды, позволив рационально использовать ливневой сток и экономить на оплате его отведения в системы коммунальной канализации. Зеленая крыша улучшит тепло- и звукоизоляцию здания и обеспечит экономию до 70% энергии, расходуемой на отопление и кондиционирование помещений. Она защитит гидроизоляцию кровли от неблагоприятных природно-климатических воздействий, продлив как минимум вдвое ее жизненный цикл, и исключит выделение опасных для здоровья человека летучих веществ и соединений из битумных кровельных материалов. Ее обустройство улучшит качество атмосферного воздуха, снизив его загрязнение и выделив за год количество кислорода, достаточное для дыхания 17 тыс. человек, а также придаст зданию новый неповторимый вид и создаст новое жизненное пространство и среду обитания для биоты.

6. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Обустройство зелёных крыш при строительстве и реконструкции зданий становится в настоящее время одной из наиболее динамично развивающихся областей ландшафтной архитектуры и приобретает всё большую популярность в Санкт-Петербурге. Принимая во внимание недостаточное количество отечественных работ, посвященных строительству зелёных крыш с учетом местных условий, был исследован ряд экологических преимуществ экстенсивных зеленых крыш с разными типами растительности в условиях Санкт-Петербурга.

Данное исследование температурных, гидрологических и биологических характеристик двух типов экстенсивных зеленых крыш позволило подтвердить их экологические преимущества и получить полезную информацию для расширения их строительства в Санкт-Петербурге. Было выявлено эффективное снижение в летний период температуры зеленой кровли вне зависимости от типа растительного покрова, а также удержание ею значительного количества осадков и снижения скорости стока с нее. Была также проверена и подтверждена выносливость шести видов растений, рекомендуемых для посадки на зеленой крыше, и установлена оптимальная глубина почвы для их роста в течение первого года. Кроме того была оценена возможность строительства зеленой крыши над лабораторным блоком Гидрокорпуса-2 СПбГПУ и разработаны рекомендации по ее обустройству

Учитывая ограниченность периода наблюдений, для более точной оценки многочисленных преимуществ зеленых крыш было бы полезно иметь более долгосрочные данные, проследив их количественную динамику хотя бы в течение года. Дальнейшие исследования зеленых крыш могут быть связаны с изучением роли различных субстратов и видов дренажа, а также уклона в обеспечении их водоудерживающей способности и других полезных характеристик. Для выполнения подобных исследований желательно создать нескольких экспериментальных зеленых крыш,

различающихся типами покрытий, дренажных слоев и другими параметрами, одной из которых могла бы стать зеленая крыша лабораторий Гидрокорпуса-2 СПбГПУ.

В заключение хочется выразить огромную благодарность Генеральному директору кровельной компании «Нимбус» Александру Федоровичу Станкевичу и в его лице всем сотрудникам фирмы за любезно предоставленные материалы, помощь и советы, а также сотрудникам элитного жилого комплекса «Диадема» и многофункционального комплекса «Аэропорт Сити», за оказанную помощь и содействие в проведении натурных исследований на этих объектах.

7. СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Алексеев Ю., Родионовская И. Опыт эксплуатации плоских крыш // Архитектура и строительство Москвы. 1985. № 11.
2. Бессонов В. Московские крыши // Архитектура и строительство Москвы. 1988. № 2.
3. Груб Г. Зелень между домами. Мюнхен, 1990.
4. Ильичева А. Приближаясь к небу // Красивые дома. 2002. № 2(28).
5. Лицкевич В. Жилище и климат. М., 1984.
6. Ле Корбюзье. Творческий путь. М., 1970.
7. «Методикой расчета объемов организованного и неорганизованного дождевого, талого и дренажного стока в системы коммунальной канализации Санкт-Петербурга»
8. Пособие по озеленению и благоустройству эксплуатируемых крыш жилых и общественных зданий, подземных и полуподземных гаражей, объектов гражданской обороны и других сооружений. — М.: Москомархитектура, ОАО «Моспроект», 2001.
9. Саурова В., Торчик В. Озеленение террас, крыш и открытых внутренних двориков. Минск, 1990.
10. Современные крыши. Обзор технических возможностей и материалов // Современ, строит, товары. 2000. № 1.
11. Сокол А. Я. Огород на крыше. СПб., 1996.
12. Сосков И. Микроклимат и эксплуатация сада на крыше высотного жилого дома в Минске // Строительство и архитектура Белоруссии. 1983. № 10.
13. Сычева А., Сосков И. Актуальность организации садов на искусственных основаниях // Строительство и архитектура Белоруссии. 1984. № 1.
14. Сычева А., Титова Н. Ландшафтный дизайн. Эстетика деталей жилой среды. Минск, 1984.
15. Титова Н. Ландшафтная архитектура: современные тенденции // Архитектура. 1984. № 15.

16. Титова Н. Сады на крыше.
17. Титова Н., Гордий И. Озеленение крыш // Архитектура и строительство России. 1989. № 6.
18. Торчик В. Сады на крышах. Минск, 1989.
19. Трефф Э. Долговечные конструкции плоских крыш. М., 1988.
20. Эксплуатируемые и озелененные кровли. EUTON, Брюссель, 1999.
21. Bass, B. and B. Baskaran. 2003. Evaluating Rooftop and Vertical Gardens as an Adaptation Strategy for Urban Areas. Institute for Research and Construction, Ottawa, Canada: National Research Council.
22. Brattebo, B.O. and D.B. Booth. 2003. Long-Term Stormwater Quantity and Quality Performance of Permeable Pavement Systems. Center for Water and Watershed Studies, Seattle, Washington.
23. Brenneisen, S. 2003. The Benefits of Biodiversity from Green Roofs Key Design Consequences. In Proc. Greening Rooftops for Sustainable Communities: Chicago 2003.
24. Cheney, C. and C. Rosenzweig. 2003. Green Roofs and Environmental Restoration Towards an Ecological Infrastructure for New York City. In Proc. Greening Rooftops for Sustainable Communities: Chicago 2003.
25. Davis, A.P., M. Shokouhian, H. Sharma, and C. Minami. 2001. Laboratory Study of Biological Retention for Urban Stormwater Management. Water Environment Research, 73(1): 5-14.
26. DeNardo, J. C., A.R. Jarrett, H.B. Manbeck, D.J. Beattie, and R.D. Berghage. 2003. Green Roof Mitigation of Stormwater and Energy Usage. ASAE Meeting Paper No. 032305. St. Joseph, Michigan.
27. Emilsson, T. 2003. The Influence of Substrate, Establishment Method and Species Mix on Plant Cover. In Proc. Greening Rooftops for Sustainable Communities: Chicago 2003.
28. Grant, G., L. Engleback, B. Nicholson, D. Gedge, M. Frith, and P. Harvey. 2003.

29. Greenroofs: their existing status and potential for conserving biodiversity in urban areas. English Nature Reports, Number 498. Peterborough, England.
30. Herman, R. 2003. Green Roofs in Germany: Yesterday, Today and Tomorrow. In Proc. Greening Rooftops for Sustainable Communities: Chicago 2003.
31. Hutchinson, D., P. Abrams, R. Retzlaff, and T. Liptan. 2003. Stormwater Monitoring Two Ecoroofs in Portland, Oregon, USA. In Proc. Greening Rooftops for Sustainable Communities: Chicago 2003: May 29-30, 2003; Chicago, Illinois.
32. Laberge, K. 2003. Urban Oasis: Chicago's City Hall Green Roof. In Proc. Greening Rooftops for Sustainable Communities: Chicago 2003.
33. Liesecke, H-J. 1999. Extensive Begrünung bei 5° Dachneigung. Stadt Und Grun, 48 (5): 337-346. (In German)
34. Liesecke, H-J. 1998. Das Retentionsvermögen von Dachbegrünungen. Stadt Und Grun, 47 (1): 46-53. (In German)
35. Lindhqvist, V. 2003. Swedish Green Roof Initiative: The Green Roof Society, The International Green Roof Institute and Augustenborg's Botanical Roof Garden. In Proc. Greening Rooftops for Sustainable Communities: Chicago 2003.
36. Line, D.E., N.W. White, D.L. Osmond, G.D. Jennings, and C.B. Mojonnier. 2002.
37. Liu, K. and B. Baskaran. 2003. Thermal Performance of Green Roofs Through Field Evaluation. In Proc. Greening Rooftops for Sustainable Communities: Chicago 2003.
38. Moran, A.C.. NC Field Study to Evaluate Greenroof Runoff: Raleigh. 2004.
39. Osmundson, T. 1999. Roof Gardens: History, Design, and Construction. New York, New York: W.W. Norton & Company Ltd.
40. Roof Decks. Design. Guidelines // Central Mortgage and Housing Corporation. 1988.

41. Rowe, D.B., C.L. Rugh, N. VanWoert, M.A. Monterusso, and D.K. Russell. 2003. Green Roof Slope, Substrate Depth, and Vegetation Influence Runoff. In Proc. Greening Rooftops for Sustainable Communities: Chicago 2003.
42. Schade, C. 2000. Wasserrückhaltung und Abflussbeiwerte bei dunnschichtigen Extensivbegrünungen. Stadt Und Grün, 49 (2): 95-100. (In German)
43. Slone, D.K. and D.E. Evans. 2003. Integrating Green Roofs and Low Impact Design into Municipal Storm Water Regulations. In Proc. Greening Rooftops for Sustainable Communities: Chicago 2003.
44. Scrivens S. Roof Gardens // Architect's Journal. 1980. Vol. 172. № 11.
45. Scrivens S. Design Guide. Roof Gardens//Architect's Journal. 1982. Vol. 175. № 17.
46. Snodgrass, E. and McIntyre, L., The Green Roof Manual: A Professional Guide to Design, Installation, and Maintenance. Publisher: Timber Press. 2010.
47. Taube, B. 2003. City of Atlanta Greenroof Demonstration Project. In Proc. Greening Rooftops for Sustainable Communities: Chicago 2003.
48. Titova N. Rooftop Gardens //Science in the USSR (Moscow). 1990. № 5.
49. ZinCo GmbH. 2002. ZinCo International: Roof Landscapes in their most attractive form. Unterensingen, Germany: ZinCo GmbH.
50. ZinCo GmbH. 2000. "Planning Guide—The Green Roof." 6th Edition. Unterensingen, Germany: ZinCo GmbH.
51. Snodgrass, E. and McIntyre, L., The Green Roof Manual: A Professional Guide to Design, Installation, and Maintenance. Publisher: Timber Press (2010).
52. <http://www.bauder.ru>