

ЛАНДШАФТНАЯ АРХИТЕКТУРА И ДИЗАЙН

СООБЩЕСТВА РОДА СЕДУМ (*SEDUM L.*) В ОЗЕЛЕНЕНИИ ЭКСПЛУАТИРУЕМЫХ КРОВЕЛЬ, ИХ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ И ДИНАМИКА ИЗМЕНЕНИЙ

А.Б. Бубнова¹, И.А. Мельничук¹,
М.Е. Игнатьева²

¹Санкт-Петербургский государственный
лесотехнический университет им. С.М. Кирова
Институтский пер., 5, Санкт-Петербург, Россия, 194021

²Шведский университет сельскохозяйственных наук
Ульс Ваг, 28В Уппсала, Швеция, 75007

Проведенный анализ растительных сообществ зеленых крыш разных возрастов, созданных по одинаковой технологии и с использованием одинакового набора видов, позволил выявить динамику изменения видового состава и площади проективного покрытия растений при отсутствии интенсивного ухода.

Ключевые слова: зеленая крыша, седум, урбоэкосистема, управление стоком, устойчивость, биоразнообразие.

Введение. Для комфортной среды существования человека в городе необходимо присутствие растений. В современной городской среде при существующей плотной застройке и интенсивной транспортной инфраструктуре возникает дефицит площадей, которые могли бы использоваться под озеленение. Именно поэтому в последнее время возникает интерес к альтернативным типам озеленения, таким как озеленение стен и крыш. Зеленые крыши (крыши, покрытые растительностью и субстратом) обеспечивают ряд положительных экологических эффектов на урбанизированных территориях.

Можно выделить три основных преимущества использования зеленых крыш: зеленые крыши являются эффективным средством управления ливневыми осадками, способствуют повышению энергоэффективности здания и увеличивают биоразнообразие городской урбоэкосистемы. Эти преимущества обеспечиваются взаимодействием трех компонентов зеленой крыши: растительности, субстрата и конструктивных мембран. Растения затеняют поверхность крыши, испаряют влагу, охлаждая крышу и направляя воду обратно в атмосферу. Субстрат, необходимый для растений, также участвует в задержании дождевых осадков. Мем-

браны предотвращают проникновение влаги и корней в кровлю. Зеленые крыши могут являться важным источником сохранения и создания разнообразных местообитаний. Исследования в ряде стран подтвердили, что зеленые крыши обычно заселяются птицами и беспозвоночными [2; 3; 6].

Условия на крышах сложны для выживания растений и их роста. Для крыш характерны переувлажнение и пересыхание, большая амплитуда перепадов температуры, интенсивная освещенность и высокая скорость ветра, что значительно повышает риск иссушения и механического повреждения растений и субстрата. Растения, подходящие для крыш экстенсивного типа озеленения (крыш с минимальным слоем субстрата, без потребности в интенсивном уходе, посещение которых предусматривается только в целях обслуживания), объединяет их способность выживать в сложных микроклиматических условиях [7]. Это невысокие вечнозеленые растения, способные к активному вегетативному размножению. Их вегетативные части (листья и стебли) способны запасать влагу.

Обоснование предмета изучения. Зеленая крыша, как любая живая система, изменчива во времени. Помимо видов, предусмотренных проектом, на крыше поселяются некоторые рудеральные виды растений [7], которые при достаточном количестве влаги могут быстро заместить выпавшие по каким-либо причинам первоначально размещенные растения. Поэтому предметом нашего изучения стала динамика изменения растительных сообществ озелененных кровель.

Обоснование выбора методики и объектов исследования. В планировании нашего исследования мы исходили из принципов создания устойчивых ландшафтов на крышах, которые в первую очередь предусматривают наиболее эффективное использование субстрата небольшой толщины, посадку стресс-толерантных видов, применение технологии устройства и ухода с минимальными трудозатратами.

Небольшая толщина субстрата снижает нагрузку на конструктивные элементы здания. Устойчивость видов к специфичным, относительно жестким условиям крыши необходима для формирования устойчивых растительных сообществ. Использование технологии, которая относительно проста в реализации и требует невысоких трудозатрат, наиболее перспективно для заказчиков.

Обоснование выбора видового состава. Теоретически почти любой таксон растений может применяться для озеленения крыш при условии, что для данного растения создан оптимальный слой субстрата и соблюдается необходимый режим полива. Состав и характер растительности зеленой крыши зависит от многих факторов, но в значительной степени именно глубина субстрата ограничивает возможности использования тех или иных видов. Так, субстрат небольшой глубины — 2—5 см — обладает быстрыми темпами высыхания и подвержен колебаниям температуры, но в то же время его достаточно для обитания простого сообщества седума и мхов. Субстрат глубиной 7—15 см подходит для большего разнообразия видов злаковых, других геофитов, альпийских растений, но в то же время такой субстрат является благоприятным в том числе и для сорняков, которые способны конкурировать с посаженными видами.

Только некоторые виды растений способны выдержать сложные климатические условия, в особенности интенсивные ливневые осадки и экстремальные температуры в отсутствие полива. Местные растения обычно считаются наиболее подходящими для использования в озеленении, поскольку они адаптированы к локальным условиям. Разнообразие местных видов, с одной стороны, дает большой простор для испытаний и экспериментов, но многие местные растения оказываются неподходящими для использования из-за сложных условий на поверхности крыши. Обычно наиболее существенным лимитирующим фактором является небольшая глубина субстрата. Поэтому для использования на крышах подходят только те виды, которые относятся к группе так называемых стресс-толерантных.

В исследовании Мичиганского государственного университета из 18 местных степных многолетних видов, выращиваемых на субстрате толщиной 10 см в течение трех лет, сохранились только 4 вида. Для сравнения, в то же время все 9 видов седума, не являющиеся аборигенными, процветали [10]. Начиная с 80-х гг. XX столетия исследователи протестировали большое количество травянистых и древесных растений в разнообразных условиях крыш [8; 1; 9; 4; 10]. Heinze (1985) сравнивал разнообразные комбинации видов седума, злаковых и других травянистых многолетников, посаженных в субстрат двух разных мощностей на искусственной платформе, имитирующей крышу [8]. Виды седума превзошли все остальные испытываемые виды, за исключением случая с постоянно влажным субстратом глубиной более 10 см. В этих условиях злаки и прочие травянистые растения создали свой ярус и обусловили затенение, оказавшееся неблагоприятным для седума. Другие исследования также подтверждают устойчивость низкорослых видов седума и рекомендуют данные растения для использования в озеленении крыш, подчеркивая их необычайную способность существовать на субстрате толщиной 2—3 см [13].

Таким образом, притом что рамки разнообразия растений для использования на крышах широки, и многие возможности еще не открыты и не осознаны, все же имеются достаточные основания полагать, что наиболее подходят растения рода седум (*Sedum L.*), и это подтверждается также большим распространением крыш с его использованием. Мы решили проследить динамику развития растительных сообществ рода седум (*Sedum L.*) и выяснить, насколько сохраняются их качества через нескольких лет после их создания.

Обоснование выбора технологии устройства. Основа субстрата, используемого для озеленения кровель, должна быть минеральной с небольшим добавлением органических компонентов (приблизительно 10% веса). Минеральная часть может быть разного происхождения, вес этого материала может варьировать. Керамзит и кирпичная крошка — два наиболее часто используемых материала.

В ходе исследования мы классифицировали обследованные крыши по типу конструкции и растительности и предложили разделить их на три группы.

1. Крыши, созданные с применением технологии седумных матов. Данная технология устройства крыш может считаться стандартной. На гидроизоляции-

ный слой укладывается нетканый материал, способный одновременно запастись влагой и отводить ее избыток. Вместо него может использоваться ячеистый пластиковый материал аналогичной функции, но требующий дополнительного фильтрующего слоя. В местах водостоков делается гравийная отсыпка. Затем на дренажный материал укладывается предварительно подготовленный в питомнике седумный мат, содержащий в себе нетканую основу с проволочной сеткой, плодородный субстрат и растения. Проволочная сетка укрепляет субстрат и растения. Субстрат на $\frac{2}{3}$ состоит из инертного материала и на $\frac{1}{3}$ из суглинистой почвы. Растения развиваются в питомнике в течение одного—двух вегетационных сезонов, и к моменту перемещения мата из питомника на крышу субстрат полностью скреплен развитой корневой системой. Используются следующие виды в разных соотношениях: *Sedum acre*, *Sedum album*, *Sedum sexangulare*, *Sedum spurium*, *Sedum ewersii*, *Sedum kamtschaticum*, *Sedum florifeum*, *Sedum reflexum*, *Sedum divergens*.

2. Традиционные дерновые крыши. Данная технология использовалась в странах Скандинавии с V по XIX в. На скатную крышу с целью зафиксировать водоизоляционный слой — бересту — укладывался дерн в два слоя. Крыши данного типа отличаются большим разнообразием видов, характерных для луговых и опушечных сообществ. Основная цель скандинавских крыш — сохранить берестяной кровельный материал и продлить срок его существования. В наши дни такие крыши сооружаются в целях демонстрации в музеях, в качестве гидроизоляции используется пластиковая мембрана.

3. Сад на крыше. Технологию можно характеризовать как создание индивидуальных условий для разных групп растений. Используются деревья, кустарники, многолетние растения, для которых предусмотрена определенная (в целом различная) мощность субстрата, дифференцированные по зонам крыши системы дренажа и режимы полива.

Технология седумных матов представляется нам наиболее перспективной для использования, и поэтому в исследовании мы посвятили ей основное внимание.

Описание состава проведенного исследования. В течение 2011 и 2012 г. нами было обследовано 30 крыш разной конструкции и назначения с целью определения и изучения динамики растительных сообществ, искусственно созданных человеком. В данной статье мы приводим анализ существующих зеленых крыш 1-й группы, то есть крыш, созданных по технологии седумных матов.

Исследование проводилось на крышах разного времени создания. На крыше в целом делался перечень видов растений, на пробных площадках определялось проективное покрытие каждого вида. Проводилась фотофиксация. Осуществлялось интервьюирование лиц, ответственных за эксплуатацию крыш. В специально разработанную форму полевых исследований вносились такие данные, как этажность, функциональное назначение здания, год создания, уклон и ориентация крыши, тип и глубина субстрата, конструктивные особенности, осуществляемый уход.

Обработка данных. Для анализа данных с целью выявления динамики изменения растительных сообществ были выбраны крыши, где со времени их создания уход не осуществлялся. Объекты были отсортированы по возрасту. Из перечетных ведомостей данные об ассортименте были перенесены в сводную таблицу. Было произведено сравнение ассортимента растений, предусмотренного по проекту, и существующего.

Объекты исследования.

1. Зеленая крыша банка SEB в Стокгольме, общей площадью 7000 м², 3500 из которых покрыто растительностью. Создана в 1991 г. Эта первая плоская зеленая крыша в Швеции, созданная по технологии седумных матов. Глубина субстрата около 2 см. Изначально седумные маты содержали в неизвестных пропорциях такие виды как *Sedum acre*, *Sedum album*, *Sedum reflexum*, *Sedum lydium*, *Sedum sexangulare*.

2. Зеленая крыша в экопоселении Хогаби, Упсала; создана в 2000 г.

3. Зеленая крыша ботанического сада Аугостенборг, общей площадью 9000 м², включающая разные типы озеленения; создана в 2001 г.

4. Зеленые крыши хозяйственных построек в Мальмо, 2005 г. сооружения.

5. Зеленая крыша в кампусе SLU, Упсала, созданная в 2005—2006 гг.

6. Озелененные навесы для автомобилей в Стокгольме: три навеса общей площадью 180 м², созданы в 2009 г.

7. Зеленая крыша офисного здания в Москве, общей площадью 200 м², создана в 2009 г.

8. Зеленая крыша жилого комплекса дома «Восьмерки» в Копенгагене, общей площадью 1700 м², создана в 2010 г.

9. Зеленая крыша зоопарка музея Скансен в Стокгольме, созданная в 2011 г.

10. Зеленая крыша офисного здания на севере Стокгольма, созданная в 2012 г.

Результаты исследования. Было выявлено, что в течение первых трех лет растения хорошо развиваются, обильно цветут, но на крышах старше трех лет начинается замещение видов седума мхами. Наиболее распространены мхи *Barbula unguiculata*, *Brachythecium albicans*, *Bryum argenteum*, *Ceratodon purpureus*, *Rhytidium rugosum*. Данные по соотношению проективного покрытия растений вида седум и мхов приведены в табл.

На рис. 1 и 2 приведены фотографии покрытия зеленых крыш, созданных в 1991 и в 2012 гг.

Из табл. 1 видно, что первые три года растительность развивается и наращивает вегетативную массу; это происходит до тех пор, пока растения не займут всю поверхность субстрата и не исчерпают запас его питательных веществ. Площадь субстрата, не занятого растениями, зависит от количества лет выращивания посадочного материала в питомнике. Затем начинается заселение субстрата мхами с постепенным вытеснением седумов.



Рис. 1. Поверхность зеленой крыши, созданной в 1991 г.



Рис. 2. Поверхность зеленой крыши, созданной в 2012 г.

Таблица

Соотношение проективного покрытия растений вида седум и мхов на озелененных крышах разных лет сооружения на момент исследования (2012 г.)

№ п/п	Год создания крыши	Проективное покрытие седумом (%)	Проективное покрытие мхом (%)	Не покрытый растением субстрат (%)
1	1991	10	85	5
2	2000	30	60	10
3	2001	40	55	5
4	2005	60	35	5
5	2005	70	25	5
6	2009	75	15	10
7	2009	70	10	10
8	2010	100	0	0
9	2011	95	0	5
10	2012	70	0	30

Единственной крышей, созданной по немного отличающейся технологии, является крыша в Москве в районе Марьино роца (№ 7 в табл.). При ее создании использовался субстрат мощностью 7—10 см, но, несмотря на это отличие, деградация седумного покрытия тоже началась на третий год после устройства крыши. Это говорит о том, что главная причина истощения субстрата — вымывание питательных веществ осадками.

Выводы.

Из результатов исследования видно, что без регулярного ухода с течением времени происходит угнетение растений рода седум и замещение их мхами. Как мы можем предположить на основании имеющихся данных, это связано с тем, что примерно за три года с момента создания крыши питательные вещества субстрата расходуются растениями и вымываются, субстрат становится бедным, годным только для произрастания нетребовательных мхов.

Хотя существуют исследования, в которых указывается, что субстрат сам по себе прекрасно может уменьшить ливневый сток с крыши [14], однако когда вода легко доступна (в таких регионах с избыточным увлажнением, как Санкт-Петербург), испарение через транспирацию гораздо больше на крыше, покрытой растениями, чем на крыше только с субстратом. Эта разница особенно заметна летом [5]. Субстрат без растений снижает сток приблизительно до 50% по сравнению с обычной гравийной крышей. Кроме того, исследования маломасштабных моделей показывают, что уменьшение теплового потока через крышу при пиковых значениях температуры дня значительно больше на крышах с растительностью, чем на крыше, покрытой только субстратом, но в то же время 70% максимального снижения потока приходилось на субстрат и оставшиеся 30% — на растительность [12].

Таким образом, обнаруженное в результате проведенного исследования угнетение растений рода седум (*Sedum L.*) на крыше снижает функциональность зеленой крыши, уменьшая ее водоудерживающую способность и способность к охлаждению поверхности (нужно отметить, что вопрос функциональности зеленой крыши с преобладанием мха не изучен). Кроме того, снижаются эстетические качества крыши, что нежелательно, если крыша открывается зрителю с более высоких этажей. Но, как можно судить из приведенных исследований, эффект от применения зеленой крыши все равно остается (крыша способна удерживать осадки и испарять влагу, задерживать пыль, и она по-прежнему декоративна).

В зависимости от назначения объекта для поддержания состояния зеленой крыши можно рекомендовать вносить раз в три года медленнодействующие неорганические удобрения, а места прогалин засеивать черенками седума для самостоятельного их укоренения.

Технология седумных матов доступна и функциональна, имеет свои достоинства и недостатки. Данная технология рекомендуется к использованию как часть системы управления ливневыми осадками и с целью охлаждения верхних этажей зданий летом, но для повышения биоразнообразия, создания местообитаний в городе и достижения большей декоративности необходимо обратить внимание на другие технологии, создающие условия для произрастания большего количества видов, способных создать более устойчивое растительное сообщество на крыше.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] *Boivin M.A., Lamry M.P., Gosselin A., Dansereau B.* Effect of artificial substrate depth on freezing injury of six herbaceous perennials grown in a green roof system // *Hort Technology*. — 2001. — 11. — P. 409—412.
- [2] *Brenneisen S.* Space for urban wildlife: Designing green roofs as habitats in Switzerland // *Urban Habitats*. — 2006. — 4. — P. 27—36. — URL: www.urbanhabitats.org/v04n01/index.html
- [3] *Coffman R.R., Davis G.* Insect and avian fauna presence on the Ford assembly plant ecoroof. — Paper presented at the Third Annual Greening, 2005.
- [4] *Durham A., Rowe D.B., Ebert-May D., Rugh C.L.* Evaluation of crassulacean species on extensive green roofs. — Paper presented at the Second Annual Greening Rooftops for Sustainable Communities Conference, Awards and Trade Show. — Portland, Oregon, 2—4 June, 2004.
- [5] *Farzaneh R.* Evapotranspiration rates from extensive green roof plant species. — Master's thesis. — Pennsylvania State University, 2005.
- [6] *Gedge D., Kadas G.* Bugs, bees, and spiders: Green roof design for rare invertebrates. Paper presented at the Second Annual Greening Rooftops for Sustainable Communities Conference, Awards and Trade Show. — Portland, Oregon, 2—4 June, 2004.
- [7] *Grime J.P.* Plant Strategies, Vegetation Processes and Ecosystem Properties. — 2001.
- [8] *Heinze W.* Results of an experiment on extensive growth of vegetation on roofs // *Rasen Grünflächen Begrünungen*. — 1985. — 16 (3). — P. 80—88.
- [9] *Köhler M.* Plant survival research and biodiversity: Lessons from Europe. — Paper presented at the First Annual Greening Rooftops for Sustainable Communities Conference, Awards and Trade Show. — Chicago, 20—30 May, 2003.
- [10] *Monterusso M.A., Rowe D.B., Rugh C.L.* Establishment and persistence of *Sedum spp.* and native taxa for green roof applications // *HortScience*. — 2005. — 40. — P. 391—396.
- [11] *Oberndorfer E., Lundholm J., Bass B.* Green Roofs as Urban Ecosystems: Ecological Structures, Functions, and Services // *BioScience*. — 2007. — 57 (10). — P. 823—833.
- [12] *Takakura T., Kitade S., Goto E.* Cooling effect of greenery cover over a building // *Energy and Buildings*. — 2000. — 31. — P. 1—6.
- [13] *VanWoert N.D., Rowe D.B., Andresen J.A., Rugh C.L., Xiao L.* Watering regime and green roof substrate design impact *Sedum* plant growth // *HortScience*. — 2005. — 40. — P. 659—664.
- [14] *VanWoert N.D.* Green roof stormwater retention: Effects of roof surface, slope, and media depth // *Journal of Environmental Quality*. — 2005. — 34. — P. 1036—1044.

SEDUM PLANT COMMUNITIES, APPLYING ON GREEN ROOFS AND DYNAMIC OF DEVELOPMENT

A.B. Bubnova¹, I.A. Melnichuk¹,
M.E. Ignatieva²

¹Saint Petersburg State Forest Technical University S.M. Kirov
Institutskiy per., 5, St. Petersburg, Russia, 194021

²Swedish University of Agricultural Sciences
SLU, P.O. Box 7070, SE-750 07, Uppsala, Sweden

The analysis of plant communities on green roofs of different ages, created by the same technology and using the same set of species, reveals the dynamics of change in species composition and area of the projective cover of plants in the absence of intensive maintenance.

Key words: green roof, sedum, urban ecosystems, storm water management, sustainability, biodiversity.