DOI 10.18454/PMI.2016.4.622

Геоэкология и безопасность жизнедеятельности

УДК 692.433

ВЛИЯНИЕ ГЕОМЕТРИИ ПОВЕРХНОСТИ И ИНСОЛЯЦИИ НА ТЕМПЕРАТУРНЫЙ РЕЖИМ ЗЕЛЕНОЙ КРОВЛИ В УСЛОВИЯХ САНКТ-ПЕТЕРБУРГА

С.А.ИГНАТЬЕВ[1], Д.С.КЕССЕЛЬ[2]
[1] *Санкт-Петербургский горный университет, Россия*
[2] *Ботанический институт им. В.Л.Комарова Российской академии наук, Санкт-Петербург, Россия*

В статье рассмотрена проблема создания благоприятной среды для жизни людей в мегаполисах путем озеленения крыш. Приведены данные по озеленению крыш зданий за рубежом. Рассмотрены вопросы формирования «зеленых крыш» в климатических условиях Санкт-Петербурга, влияние озеленения крыш на экосистему мегаполиса. Приведен численный и качественный состав озеленения исследуемого объекта и 3D модель исследуемого объекта с геометрическими характеристиками. Представлена структура кровельного покрытия и качественный состав субстрата.

Рассмотрено влияние геометрии кровли на температурный режим субстрата. Приведен анализ годовых данных температуры и влажности субстрата на разных участках кровли. Представлены результаты тепловизионного мониторинга и моделирования инсоляции различных участков поверхности сформированной зеленой крыши.

***Ключевые слова*:** зеленые крыши, геометрия кровли, температурный режим, инсоляция.

***Как цитировать эту статью*:** Игнатьев С.А. Влияние геометрии поверхности и инсоляции на температурный режим зеленой кровли в условиях Санкт-Петербурга / С.А.Игнатьев, Д.С.Кессель // Записки Горного института. 2016. Т.220. С.622-626. DOI 10.18454/PMI.2016.4.622

Рост городов, недостаток зеленых зон в центре мегаполисов, усугубляемый уплотнительной застройкой, загрязнение воздушной среды, почв и другие проблемы городов в сочетании с задачами создания благоприятной среды для жизни горожан заставляют искать новые формы современного городского озеленения. Одним из таких решений являются «зеленые крыши» – тип озеленения, широко представленный в странах Европы и активно развивающийся в США. В Торонто, Копенгагене и Токио крыши многоэтажных домов уже сейчас на 30-60 % покрыты растительностью. В Канаде и Швейцарии озеленение крыш является обязательным и регламентируется законами общегосударственного уровня. В Германии зеленых крыш строят примерно 10 млн м^2 в год, а всего в Европе – 40 млн м^2. Законодательные акты отдельных территорий США предоставляют застройщику на 25 % больше территории под строительство в случае устройства им зеленых крыш [10].

Кроме того, создание зеленых крыш позволяет достичь важных для городской среды экологических эффектов [2]:

- уменьшить «тепловой стресс» городской среды;
- уменьшить нагрузку на дренажные системы;
- снизить объем сточных вод, поступающих в природные экосистемы из городов;
- создать «коридоры» для передвижения и распространения животных и растений в городской среде;
- образовать специфические местообитания для редких в данном регионе видов животных и растений;
- сформировать рекреационные зоны на крышах зданий.

Проверка различных видов растений на пригодность для выращивания на крышах зданий проводится в Европе с 1980-х годов [3-5, 7, 8]. Общим выводом является признание растительного покрова из различных видов очитков наиболее подходящим для городских крыш типом экстенсивного озеленения [1].

Проведенные исследования представляют один из этапов обширной программы исследований по мониторингу общего состояния очитковых покрытий в климатических условиях Санкт-Петербурга. Основной интерес на данном этапе представлял вопрос о влиянии геометрии кровли, температурного режима и инсоляции на изначальный потенциал развития разных видов, сортов и отдельных особей (клонов) очитков.

В ходе работы были решены следующие задачи:

- Выполнен расчет инсоляции исследуемого объекта.
- Проведен анализ температурных показателей и влажности покрытия.
- Сформулированы практические рекомендации по подбору видов и форм очитков при создании очиткового покрытия для условий Санкт-Петербурга с учетом геометрии кровли и освещенности [9].

DOI 10.18454/PMI.2016.4.622

Площадкой для исследования послужила кровля гостиничного комплекса, расположенного в районе аэропорта Пулково. Исследуемый объект состоит из двух частей: горизонтальной с волнистой поверхностью и наклонной (рис.1). Общая площадь исследуемого объекта «Зеленая крыша» составила 2000 м^2. Покрытие кровли представляет собой так называемый «кровельный пирог», состоящий из бетонного основания, гидроизоляционного слоя, дренажной прослойки, фильтрующего слоя, слоя почвы.

Материалом для формирования зеленого покрытия послужили растения различных видов семейства толстянковых (*Crassulaceae*) подсемейства *Sedoideae* из родов *Sedum s.str.*, *Hylothelephium*, *Aizopsis*, *Phedimus* (см. таблицу). Особенностью подбора посадочного материала являлся поиск оптимальных для выращивания на крышах зданий особей с учетом свойств внутривидового полиморфизма очитковых. В связи с этим для высадки на крышу использовалось как можно большее количество генетически различных особей одного вида. Для достижения этой цели учитывалось происхождение маточных растений, закупаемых в питомниках.

Поскольку конечной целью исследования является установление характера межвидовых отношений разных видов очитков, при формировании растительного покрова проводилось все возможное комбинирование соседей разных видов и клонов (рис.2). Расположение особей всех видов фиксировалось с учетом их видовой принадлежности и генетической специфичности в виде карты-схемы.

Субстрат для устройства почвенного слоя изготавливался из органических и минеральных компонентов с примерным составом, %: торф (смесь низинного с верховым) – 30; керамзит – 50; песок – 10; компост – 5; вермикулит вспученный – 5.

Помимо процентного соотношения фракций субстрата [6], имеется ряд других особенностей устройства и функционирования зеленых крыш в Санкт-Петербурге, обусловленых климатическими показателями нашего региона. К ним относятся: длительный период с устойчивым снеговым покровом и образование плотного наста вследствие частых зимних оттепелей, что создает проблему подснежного выпревания растений; повышенная влажность воздуха в течение всего года и выпадение максимума осадков летом, что благоприятствует развитию сорняков; короткий вегетационный период, который создает специфические условия прохождения видами соответствующих этапов онтогенеза.

На начальном этапе исследований были выявлены особенности микроклиматических условий разных частей крыши. Было выделено пять различных зон по сочетанию факторов освещенности и ветрового воздействия. Сочетание различных градаций этих двух факторов создает специфические микроклиматические условия в каждой из пяти зон.

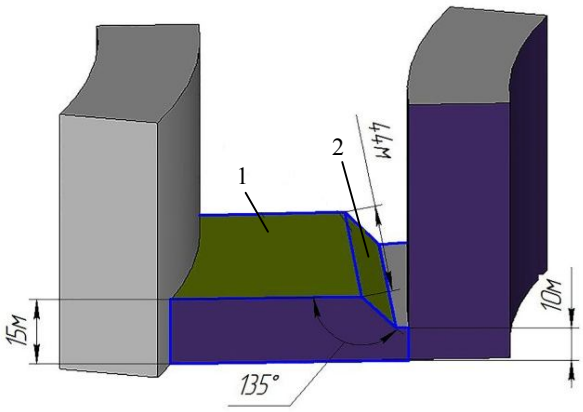
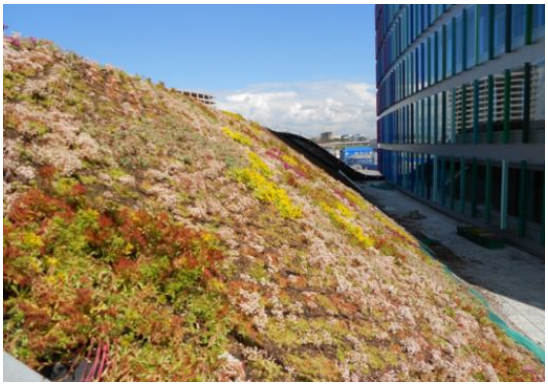


Рис.1. Модель исследуемого объекта
1 – горизонтальная часть с волнистой поверхностью;
2 – наклонная часть

Виды растений для озеленения крыши

Название	Состав, %	Количество
Sedum acre	30	15 000
Sedum album var. Coral Carpet	20	10 000
Sedum album var. Micranthum Chloroticum	10	5 000
Sedum acre var. Aureum	5	2 500
Sedum acre var. Variegata	5	2 500
Phedimus spurius	10	5 000
Sedum hexangulare	5	2 500
Aizopsis florifera	3	1 500
Aizopsis elacombiana	3	1 500
Aizopsis kamtschatica	4	2 000
Hylotelephium ewersii	5	2 500

а



б



Рис.2. Формирование растительного покрова на наклонном (*а*) и горизонтальном (*б*) участках

DOI 10.18454/PMI.2016.4.622

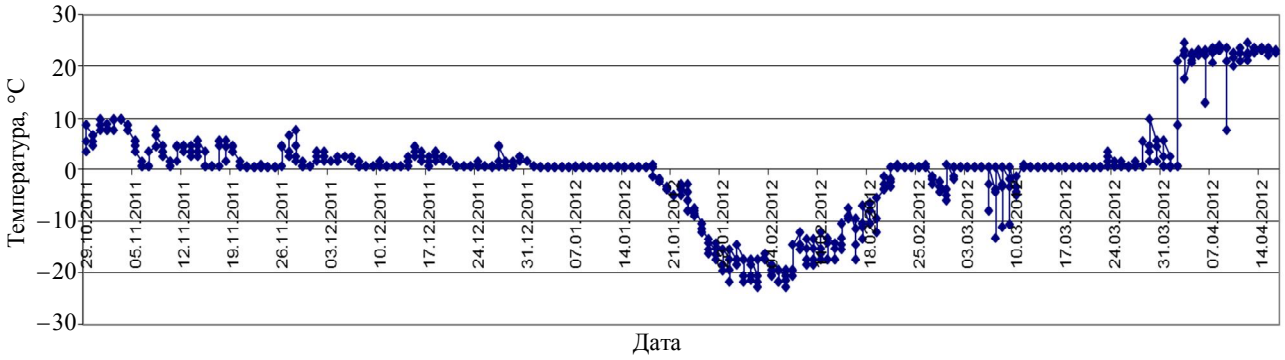


Рис.3. Температурный режим субстрата одной из зон в зимний период

• Первая зона – закрыта от ветра и солнца, освещается только в ранние утренние часы в течение двух часов.

• Вторая зона – закрыта от ветров с востока и севера, освещена в течение всего дня.

• Третья зона – закрыта от ветров с востока и севера, освещена только во второй половине дня.

• Четвертая зона – имеет сквозное продувание по направлению север – юг, закрыта от ветров с востока и запада, освещена в течение всего дня.

• Пятая зона – имеет сквозное продувание по направлению север – юг, закрыта от ветров с востока и запада, освещена только во второй половине дня.

Для мониторинга температурно-влажностных режимов субстрата использовались логгеры температуры и влажности DS1923-F5, которые являются самодостаточными устройствами (т.е. для их работы не требуется дополнительного питания и линии передачи информации), предназначенными для измерения и регистрации температуры и относительной влажности с последующей обработкой информации на ПК. Логгеры закладывались в субстрат в разных зонах; мониторинг температуры и влажности проводился в течение года.

Анализ полученных данных (рис.3) показал четкую зависимость температурного режима субстрата от возникающих микроклиматических особенностей, на которые значительное влияние оказывала ветровая нагрузка. На горизонтальной поверхности в зимний период значительно выдувался снежный покров, что приводило к частичному оголению поверхности. В то же время на наклонной поверхности снег выдувался незначительно и, как показал анализ данных, полученных с логгеров, температура субстрата на наклонной поверхности в зимний период выше.

Анализ данных влажности субстрата показал, что на наклонной поверхности влажность выше, чем на горизонтальной, что можно объяснить значительно меньшим периодом инсоляции наклонной поверхности. Расчеты инсоляции исследуемой поверхности проводились на основе модели, построенной в Revit, и с учетом географического положения объекта. За период расчета инсоляции принимался период вегетации (с 1 мая по 1 октября).

Проведенные расчеты показали, что наклонная поверхность получает прямой солнечный свет в течение двух с половиной часов с 12 до 14.30 ч. (рис.4), а горизонтальная поверхность с 11 до 16 ч. (рис.5).

Определение температуры поверхности зеленой кровли проводилось с помощью тепловизора (рис.6), что позволило кроме мониторинга температурного режима определить места тепловых потерь (рис.7).

Проведенные исследования и анализ полученных данных показали, что геометрия поверхности напрямую оказывает незначительное влияние на температурный режим зеленой кровли. Однако в сочетании с другими факторами, такими как пространственная ориентация, близкое расположение соседних строений, ветровая нагрузка, период инсоляции, приводит к формированию участков со своим микроклиматом, что в свою очередь значительно меняет температурную картину субстрата и зеленой крыши в целом.

Полученные результаты позволили определить факторы внешнего воздействия и ранжировать виды и сорта по интенсивности разрастания:

• *Sedum hexangulare* > *var. Micrantum Chloroticum* > *Sedum acre* > *Sedum album var. Coral Carpet*, *Sedum acre var. Variegata*, *Sedum acre var. Aureum.*

• *Phedimus spurius* > *Aizopsis kamtschatica*, *Aizopsis ellacombiana* > *Hylotelephium ewersii*, *Aizopsis florifera.*

DOI 10.18454/PMI.2016.4.622

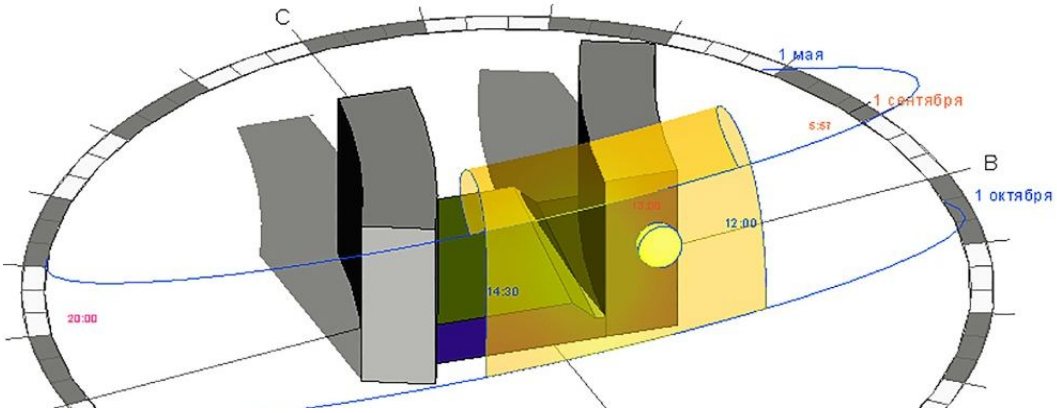


Рис.4. Период инсоляции наклонного участка

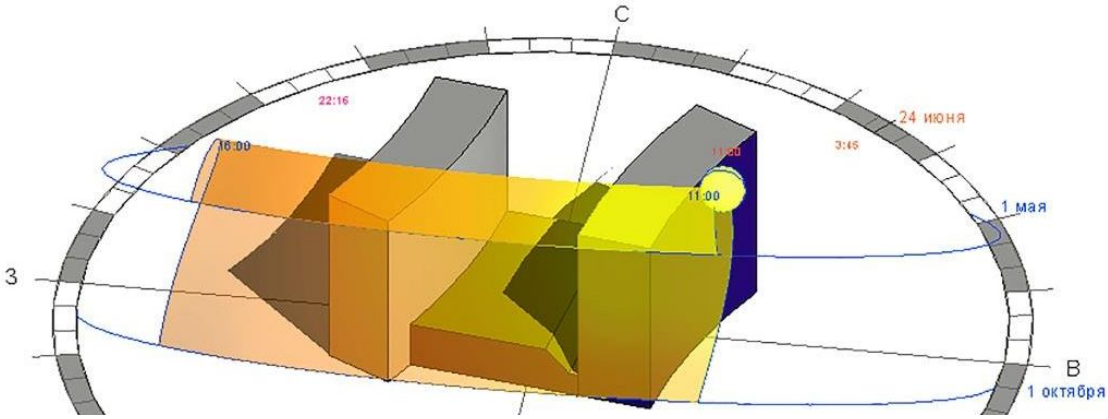
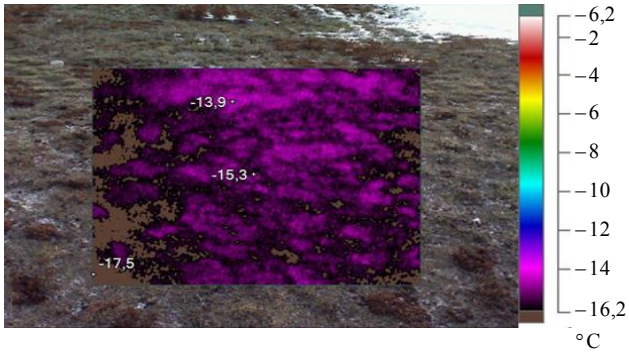


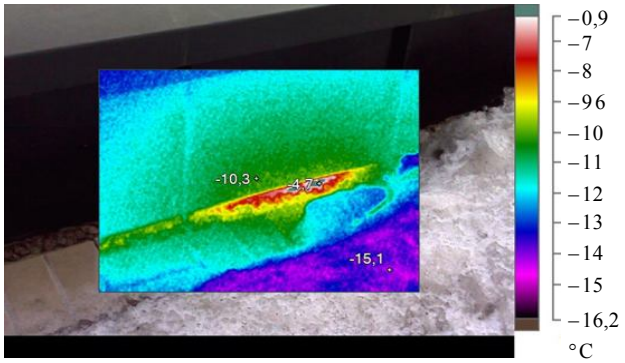
Рис.5. Период инсоляция горизонтального участка



Маркеры основного изображения

Имя	Температура	Коэффициент излучения	Фон
Центральная точка	-15,3°C	0,80	-10,0°C
Горячий	-13,9°C	0,80	-10,0°C
Холодный	-17,5°C	0,80	-10,0°C

Рис.6. Температурный режим участка горизонтальной поверхности



Маркеры основного изображения

Имя	Температура	Коэффициент излучения	Фон
Центральная точка	-10,3°C	0,80	-10,0°C
Горячий	-4,7°C	0,80	-10,0°C
Холодный	-15,1°C	0,80	-10,0°C

Рис.7. Выявленное место тепловых потерь

DOI *10.18454/PMI.2016.4.622*

По результатам работы сформулированы практические рекомендации для создания в климатических условиях Санкт-Петербурга очитковых покрытий с требуемыми декоративными и ростовыми характеристиками.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Орлова О.Н.* Виды очитковых (Crassulaceae) для озеленения города Белгорода / О.Н.Орлова, О.А.Сорокопудова // Научные ведомости. Серия «Естественные науки». 2010. № 9 (80). Вып.11. С.45-48.

2. *Brenneisen S.* Space for urban wildlife: designing green roofs as habitats in Switzerland // Urban Habitats. 2006. Vol.4. P.27-36.

3. *Dunnett N., Nagase A., Booth R., Grime P.* Influence of vegetation composition on runoff in two simulated green roof experiments // Urban Ecosystems. 2008. Vol.11. P.385-398.

4. *Dunnett N., Nagase A., Both R., Grime P.* Vegetation composition of green roofs and its influence on ruoff and biodiversity. Paper presented at the Third Annual Greening Rooftops for Sustainable Communities Conference, Awards and Trade Show. Washington, DC, 2005.

5. *Dvorak B., Volder A.* Green roof vegetation for North American ecoregions: A literature review // Landscape and Urban Planning. 2010. № 96. P.197-213.

6. *Emilsson T.* Vegetation development on extensive vegetated green roofs: Influence of substrate composition, establishment method and species mix // Ecological engineering. 2008. № 33. P.265-277.

7. *Getter K.L., Rowe D.B., Cregg B.M.* Solar radiation intensity influences extensive green roof plant communities // Urban Forestry & Urban Greening. 2009. № 8. P.269-281.

8. *Kohler M.* Long-term vegetation research on two extensive green roofs in Berlin // Urban Habitats. 2006. Vol.4. P.3-26.

9. *Maclor J., Lundholm J.* Performance evaluation of native plants suited to extensive green roof condition in a maritime climate // Ecological Engineering .2011. Vol.37. P.407-417.

10. *Oberndorfer E., Lundholm J., Bass B., Coffman R.R., Doshi H., Dunnett N., Gaffin S., Kohler M, Liu K.K.Y., Rowe B.* Green roofs as urban ecosystems:Ecological structures, functions, and services. 2007. BioScience 57. P.823-833.

***Авторы*: С.А.Игнатьев,** *канд. техн. наук, доцент, isa@spmi.ru* (*Санкт-Петербургский горный университет, Россия*), **Д.С.Кессель,** *младший научный сотрудник, dasha_kessel@mail.ru* (*Ботанический институт им. В.Л.Комарова Российской академии наук, Санкт-Петербург, Россия*).

Статья принята к публикации 14.03.2016.