

УДК 631.4

МРНТИ 34.35.01

DOI 10.37238/2960-1371.2960-138X.2025.97(1).49

Мария Корытина^{1,2}, Анна Гунина², Алексей Саянов¹, Вячеслав Васенев²**¹Московский Государственный Университет им. М. В. Ломоносова,
Москва, Россия,****²Российский университет дружбы народов, Москва, Россия****МЕТОДОЛОГИЯ СОЗДАНИЯ ОТКРЫТОЙ ЛАБОРАТОРИИ ПО
ИЗУЧЕНИЮ ЗЕЛЕННЫХ КРОВЕЛЬ**

Аннотация. Внедрение зелёных кровель в российских городах для обеспечения устойчивого развития требует научных аргументов, подтверждающих их эффективность в контексте смягчения последствий изменения климата. Для комплексного исследования зеленых кровель будет инициировано создание сети открытых лабораторий в зоне южной тайги, смешанных лесов и степи, что позволит отслеживать влияние зеленых кровель на климат городов. В результате запуска сети лабораторий, будут получены данные, позволяющие подтвердить положительные эффекты применения зеленых кровель экстенсивного типа для повышения качества городских пространств и снижения климатических рисков. Данная работа представляет: 1) концептуальную модель создания зеленой кровли на примере первой созданной лаборатории в г. Москва, 1) анализ выбора субстратов, с учетом доступности материалов в определенной климатической зоне и 3) методологию оценки потоков воды, тепла и эмиссии CO₂ в экосистеме зеленых кровель. Создание сети лаборатории подразумевает использование материалов российского производства и возможностью получения данных мониторинга дистанционно с использованием сети Интернет.

Ключевые слова: Зелёные крыши; управление ливневым стоком; мониторинг климатических условий.

Введение

Современные города сталкиваются с нехваткой зеленых зон и открытых пространств для общественного использования, а также существенной антропогенной нагрузкой и повышенными среднегодовыми температурами. В рамках задачи по снижению энергопотребления зданий и сохранению окружающей среды необходимо внедрять инновационные технические решения, такие как «зелёные» кровли [1].

«Зелёные» кровли представляют собой многослойную конструкцию, состоящую из корнезащитной пленки (мембраны), влагонакопительного мата, дренажной и влагоудерживающей мембраны, фильтрующего геотекстиля, и субстрата для растений (рис.1а). По сравнению с черной кровлей, «зелёные» обеспечивают шумоподавление, эффективное управление ливневым стоком, дополнительную защиту гидроизоляции здания и поддерживают рост растений.



«Зелёные» кровли как интенсивного, так и экстенсивного типа являются дополнительным рекреационным пространством для жителей здания и средой обитания городской флоры и фауны [2].

Создание и поддержание зеленых кровель требует определенных компетенций и навыков. В частности, необходимо разбираться в методологии их создания, а также уметь подбирать подходящий субстрат и виды растений. Это нужно для того, чтобы обеспечить эффективное функционирование кровель в зависимости от природной зоны.

Для решения этой задачи требуется специализированная «открытая» лаборатория, которая обеспечит проведение научных исследований, разработку методологии и рекомендаций по созданию и управлению зелёными кровлями.

Так, цель работы - разработать методологию создания открытой лаборатории по изучению зеленых кровель в России. В рамках данного исследования будут рассмотрены основные этапы создания лаборатории, необходимые ресурсы и инструменты, а также практические аспекты ее функционирования и прогнозируемые результаты.

Материалы и методы исследования

Для создания открытой лаборатории была выбрана эксплуатируемая кровля малоэтажного здания на северо-востоке Москвы (м. Дмитровская), поскольку данный район активно вовлечен в программу развития г. Москвы.

При разработке открытой лаборатории учитывались аналогичные зарубежные [3] исследования и проводился всесторонний анализ опыта создания лабораторий подобного типа [4,5].

Установка открытой лаборатории включала в себя: 1) создание зеленых кровель в металлоконструкциях (рис. 1) из оцинкованного металла и каркасной алюминиевой лаги, размером 1×1м. Дно конструкции имеет отверстия для отвода воды, под которые подходит осадкомер (рис.1). 2) Установку метеостанции (типа «Misol» (Китай) с автоматической передачей данных) для мониторинга климатических условий, 2) установку осадкомера (например, «RS485» (Китай) с постоянным автоматическим учетом изменения объема стока), 4) мониторинг влажности и температуры субстратов, для изучения водных и тепловых режимов, с помощью датчиков объемной влажности и температуры почвы «Elitech RC-4HC» и «RS485 LORA LORAWAN» (Китай) для последующего моделирования потоков воды и тепла с помощью программы HYDRUS-1D [6], 4) измерение эмиссии CO₂ с поверхности озелененной части конструкции и с поверхности субстрата с периодичностью в две недели с помощью переносного газоанализатора «EGM-5» и 6) определение альбедо поверхности (актинометром и пирометром).

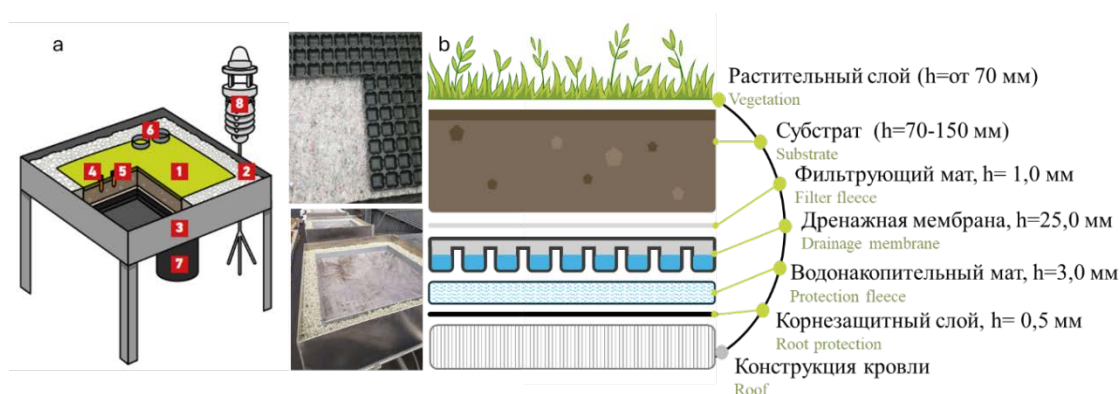


Рис. 1. Конструкция макета открытой лаборатории (а) и конструкция зеленой крыши (b): а – 1 – озеленение, 2 – отсыпка из пеностекла, 3 – конструкция из оцинкованного металла, 4 – датчик влажности почвы, 5 – датчик температуры почвы, 6 – места отбора проб для газоанализатора CO₂, 7 – осадкомер, 8 – метеостанция

[Fig. 1. Model of the open laboratory structure (a) and structure of green roof (b): a – 1 – landscaping, 2 – foam glass backfill, 3 – galvanized metal structures, 4 – soil moisture sensor, 5 – soil temperature sensor, 6 – sampling location for the CO₂ gas analyzer, 7 – precipitation gauge, 8 – weather station)]

При создании зеленых кровель и устойчивого развития растительного сообщества необходимо 1) использовать субстраты с оптимальными условиями для произрастания растений при небольшой плотности сложения, высокой влагоудерживающей способности и малого веса [7,8], и 2) учитывать доступность субстрата в регионе создания. В качестве субстратов для создания зеленых кровель применяются смеси состоящие из вермикулита, перлита, компоста, торфа, вулканические породы, битый кирпич, и коммерческие субстраты, взятые в различных соотношениях (таблица 1).

Таблица 1 - Спектр субстратов для зеленых кровель (обзор литературы)

Субстрат [Substrate]	Климат, Регион [Climate, Region]	Тип кровли, растительное сообщество [Roof type, plant community]
Вулканическая красная лава, мелкая пемза, компост, торф, песок, кокосовое волокно, гравий, в разных соотношениях [9] [Volcanic red lava, fine pumice, compost, peat, sand, coconut fiber, gravel, in different proportions]	умеренный морской, Нидерланды [temperate marine, Netherlands]	Экстенсивная, смесь из очитков, смесь трав [Extensive, sedum mix, grass mix]
30% перлита и 30%	Субтропический, Китай	Экстенсивная, очиток

керамических гранул и 40% (вермикулит+ торфяная почва + керамзит+ органические остатки) или 40% региональной почвы [10] [30% perlite and 30% ceramic granules and 40% (vermiculite + peat soil + expanded clay + organic residues) or 40% regional soil]	[Subtropical, China]	линейный [Extensive, linear sedum]
Торф, вермикулит, пемза, в разных пропорциях [11] [Peat, vermiculite, pumice, in different proportions]	Умеренный, Китай [Moderate, China]	Экстенсивная, смесь из очитков [Extensive, sedum mix]
1) 60% шлака, 20% шлакового заполнителя, 20% кокосового волокна 2) 80% измельченной черепицы и 20% кокосового волокна [12] [1) 60% slag, 20% slag aggregate, 20% coconut fiber 2) 80% crushed tiles and 20% coconut fiber]	Субтропический морской, Австралия [Subtropical Marine, Australia]	Экстенсивная, смесь из очитков, Карпобротус, Дисфима [Extensive, mixture of sedum, Carpobrotus, Disphima]
Гранитная крошка, обогащенная компостом [13] [Granite chips enriched with compost]	Влажный субтропический, Китай [Humid subtropical, China]	Интенсивная, травы, кустарники и деревья [Intensive, herbs, shrubs and trees]
Шлак, терракотовый песок и компост [14] [Slag, terracotta sand and compost]	Умеренный океанический климат, Франция [Temperate oceanic climate, France]	Полуинтенсивная, смесь из очитков [Semi-intensive, sedum mix]

Состав субстрата определяется доступностью материала, низким весом, возможностью использовать вторичные материалы (например, измельченная черепица или кокосовое волокно из тепличного хозяйства). Экстенсивные и интенсивные «зелёные» кровли различаются уровнем засыпки субстрата (чем более интенсивный тип кровли, тем больше высота засыпки субстрата) и мерами по уходу, которые включают полив, внесение удобрений, удаление сорняков и посадку новых растений [15].

На основании обзора литература были разработаны 2 вида субстратов: субстрат для экстенсивного озеленения (субстрат №1) и субстрат для

интенсивного озеленения (субстрат №2) (таблица 2). Состав субстратов может быть изменен исходя из климата региона и видов растительности. Выбор компонентов для субстратов при создании кровель экспериментальной лаборатории обусловлен вторичным происхождением компонентов и их доступностью: так, были выбраны органоминеральная смесь на основе переработанного осадка сточных вод (со станции в городе Апрелевка, Московская область), вторичное кокосовое волокно (отработанное из теплиц) и пеностеклольный щебень Grow Plant, получаемый из переработанного стекла и используемый производителем для создания питательных субстратов для выращивания растений. Такой подход позволил максимально снизить затраты на покупку и транспортировку материалов. Было учтено, что общее содержание физической глины и илистых частиц в субстрате на экстенсивной кровле должно быть не более 7% от общей массы согласно ГОСТ [16].

Таблица 2 - Состав субстратов для озеленения

Компоненты [Components]	Субстрат № 1 (экстенсивный), % [Substrate No. 1 (extensive), %]	Субстрат № 2 (интенсивный), % [Substrate No. 2 (intensive), %]
Песок сеянный? 2-3 мм [Sifted sand, 2-3 mm]	25	25
Пеностеклольный щебень Grow Plant, 5-10 мм [Foam glass crushed stone Grow Plant, 5-10 mm]	20	25
Органо-минеральная смесь на основе осадка сточных вод [Organo-mineral mixture based on sewage sludge]	10	25
Кокосовое волокно [Coconut fiber]	45	25

Данные компоненты также подходят для выращивания декоративных видов растений по агрофизическим и агрохимическим свойствам согласно предоставленным лабораторным анализам [17].

В подготовленные конструкции были установлены датчики температуры и влажности почвы, подключенные к сети электропитания.

Результаты исследования и обсуждение

В августе 2022 года для проведения исследования было создано 4 макета конструкций зеленых кровель (рис. 2).



Рис. 2. Макеты зеленых кровель
[Fig. 2. Green roof installations]

В каждом макете была уложена стандартная последовательность материалов для озеленения кровли (рис.1), однако они отличаются между собой по высоте засыпки субстратов, их составу, растительности и виду дренажно-накопительных мембран (табл.3).

Таблица 3 - Параметры макетов «зеленых» кровель

Параметры [Parameters]	OL1 Экстенсивная [Extensive]	OL2 «Зональная» ["Local"]	OL3 Полу-интенсивная [Semi-intensive]	OL4 Экстенсивная [Extensive]
Высота засыпки субстрата, см [Substrate filling height, cm]	8	15	15	8
Вид субстрата [Substrate type]	Субстрат №1 [Substrate No. 1]	Субстрат №2 [Substrate No. 2]	Субстрат №2 [Substrate No. 1]	Субстрат №2 [Substrate No. 2]
Вид растительности [Vegetation type]	Sedum spp.	Местная растительность [Local vegetation]	Sedum spp.	Sedum spp.
Вид дренажной мембраны [Type of drainage membrane]	«GRPro Drain 25»	«FKD 40»	«FKD 40»	«GRPro Drain 25»

Для создания влагоудерживающего и дренажного слоя в макетах зеленых кровель использованы пластиковые дренажные и влагонакопительные мембраны GRPro Drain 25 (объем удерживающей воды ок.10 л/м² и высота 25 мм) и FKD 40 (объем удерживающей воды ок.16 л/м² и высота 40 мм).



Для озеленения макетов экстенсивной кровли (OL1, OL3, OL4) было выбрано четыре вида очитков [18]: Очиток ложный Пурпурный ковер (*Sedum spurium* 'Purple Carpet'), Очиток ложный Розеум (*Sedum spurium* 'Roseum'), Очиток скальный Ангелина (*Sedum rupestre* 'Angelina'), Очиток скальный Сильвер (*Sedum rupestre* 'Silver').

Растительность в макетах с природной кровлей (OL2) представлена многолетними и однолетними видами растений. Толщина субстрата позволяет высадить злаковые растения, эндемики для Москвы и Московской области. В ассортимент для природной кровли вошли: Тысячелистник обыкновенный (*Achillea millefolium*), Вейник остроцветковый (*Calamagrostis acutiflora*), Ромашка аптечная (*Matricaria chamomilla*), Желтушник левкойный (*Erysimum cheiranthoides*).

Благодаря открытой лаборатории в Москве мы сможем сравнить: 1) свойства субстрата №2 при разной мощности конструкции и типе мембран, что впоследствии будет использовано для моделирования водно-воздушных потоков в программе HYDRUS. 2) Свойства 2-х субстратов, а именно экстенсивный субстрат, отличающийся легким весом, высокой влагоемкостью и малым количеством органическим компонентов, и интенсивный субстрат с большим содержанием органики. 3) Влияние растительности на функционирование почвенных конструкций при одинаковом составе субстрата, мембранах и климатических условиях.

Данный сравнительный анализ приведет к получению следующих результатов:

1) созданию сети открытых лабораторий по изучению экстенсивных кровель в регионах России. В нескольких городах России будет установлена базовая конструкция OL1, для сравнения с Московским регионом, а также разработаны варианты отличных конструкций с региональными видами растений и субстратом, составленным из местных доступных компонентов, что поспособствует определению оптимального решения для регионов России и планомерному развитию данного типа городского озеленения

2) Верификации данных ГОСТ 58875-2020 по влагоудержанию осадков для применения кровельного озеленения в целях снижения рисков подтопления и оптимизации ливневой канализации зданий

3) Оценке теплового режима субстратов зеленых кровель и их роли в сокращении эффекта городского «острова» тепла.

Заключение

Благодаря созданию сети открытых лабораторий мы сможем изучить действие разных типов мембран на одну и ту же растительность и субстрат. Это поможет выявить какая конструкция будет наиболее эффективной и в то же время экономически выгодной для обширного озеленения кровли. Сравнение свойств субстратов для различных толщин конструкции и типов мембран поможет выявить оптимальные для моделирования водно-воздушных потоков в программе HYDRUS, а также для использования в Московском регионе. Будет также выявлено влияние растительности на изменения структуры субстрата и



функционирования «зелёной» кровли при одинаковых климатических условиях и разных типах мембран.

Таким образом, открытая лаборатория Open Lab способствует детальному изучению функционирования зеленых кровель в городских условий и получению уникальных для России данных, позволяющих подтвердить положительные эффекты применения зеленых кровель для повышения качества городских пространств.

Благодарности

Источник финансирования: Работа выполнена при поддержке РФФИ №24-17-00134 «Оценка и моделирование потоков углерода, воды и тепла в экосистеме зеленых крыш: сравнение трех климатических зон».

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Pérez G., Perini K. (ed.). Nature based strategies for urban and building sustainability. Butterworth–Heinemann, 2018.
- [2] Korniyenko, S. V. Advantages, limitations and current trends in green roofs development. A review / S. V. Korniyenko // AlfaBuild. 2021. No. 5(20). P. 2002.
- [3] Hörschemeyer, B., Uhl, M. Modeling Long-Term Water Balances of Green Infrastructures using SWMM Extended with the Evapotranspiration Model SWMM–UrbanEVA. 2022.
- [4] Mobilia M., Longobardi A. Smart stormwater management in urban areas by roofs greening // Computational Science and Its Applications–ICCSA 2017: 17th International Conference, Trieste, Italy, July 3–6, 2017, Proceedings, Part III 17. Springer International Publishing, 2017. С. 455–463.
- [5] D’Ambrosio, R., Longobardi, A.; Mobilia, M. Evaluation of Green Roofs Evolution Impact on Substrate Soil Water Content by FDR Sensors Calibration // Environ. Sci. Proc. 2021. V. 7, P. 4.
- [6] Шеин Е.В., Рыжова И.М. Математическое моделирование в почвоведении М: «ИП Маракушев А.Б.» 2016. 377 с.
- [7] Вайгель А.Э. Агрофизические свойства почвенных конструкций разного строения и их трансформация в первые годы функционирования в условиях города Москвы. М: [б.н.]. 2017.
- [8] Кoryтина М.А, Фаустова Е.В., Гончаров В.М. Физические свойства субстратов для кровельного озеленения // Проблемы агрохимии и экологии. 2023. № 3. С. 30–36. doi: 10.26178/AE.2023.16.64.010
- [9] van der Kolk H.J., van den Berg P., van Veen T., Bezemer M. Substrate composition impacts long-term vegetation development on blue–green roofs: Insights from an experimental roof and greenhouse study // Ecological Engineering. 2023. V. 186, P. 106847.
- [10] Liu H., Kong F., Yin H., Cook L.M., Huang J., Lensky I.M., Tan T. Substrate microorganisms can be an ideal tool for improving green roof sustainability // Urban Forestry Urban Greening. 2024. V. 91, P. 128179.
- [11] Fei Y., Fu D., Xu C., Singh R.P. Component design optimization of green roof substrate layer based on the assessment of multifunctional performance // Environmental Research. 2023. V. 238, Part 2. P. 117190.



[12] Farrell C., Mitchell R.E., Szota C., Rayner J.P., Williams N.S.G., 2012. Green roofs for hot and dry climates: Interacting effects of plant water use, succulence and substrate // *Ecological Engineering*, 2012. V. 49, P. 270–276.

[13] Lee L.S.H., Jim C.Y. Thermal–irradiance behaviours of subtropical intensive green roof in winter and landscape—soil design implications // *Energy and Buildings*. 2020. V. 209, P. 109692.

[14] Técher D., Aran D., De Silva M., Claverie R., Erbrech M., Bojic C., Goncalves V., Maunoury—Danger F. Field evaluation of the cotton–strip assay for quantifying decomposition rates in extensive green roof substrates // *Urban Forestry & Urban Greening*. 2024. V. 94, P. 128292.

[15] Kader, Shuraik, Sreenivasulu Chadalavada, Lizny Jaufer, Velibor Spalevic, и Branislav Dudic. «Green roof substrates—A literature review» // *Frontiers in Built Environment*. 2022. V. 8.

[16] ГОСТ Р 58875–2020 «Озеленяемые и эксплуатируемые крыши зданий и сооружений. Технические и экологические требования». 2020.

[17] Вадюнина А.Ф., Корчагина З.А. Методы исследования физических свойств почв. М: Агропромиздат, 1986. 416 с.

[18] Dover J. W. Green infrastructure: incorporating plants and enhancing biodiversity in buildings and urban environments. Routledge, 2015.

REFERENCES

[1] Pérez G., Perini K. (ed.). Nature based strategies for urban and building sustainability. Butterworth–Heinemann, 2018.

[2] Korniyenko, S. V. Advantages, limitations and current trends in green roofs development. A review / S. V. Korniyenko // *AlfaBuild*. 2021. No. 5(20). P. 2002.

[3] Hörschemeyer, B., Uhl, M. Modeling Lon–Term Water Balances of Green Infrastructures using SWMM Extended with the Evapotranspiration Model SWMM–UrbanEVA. 2022.

[4] Mobilia M., Longobardi A. Smart stormwater management in urban areas by roofs greening // *Computational Science and Its Applications–ICCSA 2017: 17th International Conference, Trieste, Italy, July 3–6, 2017, Proceedings, Part III* 17. Springer International Publishing, 2017. C. 455–463.

[5] D’Ambrosio, R., Longobardi, A.; Mobilia, M. Evaluation of Green Roofs Evolution Impact on Substrate Soil Water Content by FDR Sensors Calibration // *Environ. Sci. Proc.* 2021. V. 7, P. 4.

[6] Shein E.V., Ryzhova I.M. Matematicheskoye modelirovaniye v pochvovedenii. M: «IP Marakushev A.B.», 2016. 377 s. [Shein E.V., Ryzhova I.M. Mathematical modeling in soil science. Moscow: "IP Marakushev A.B.", 2016. 377 p.].

[7] Vaygel' A.E. Agrofizicheskiye svoystva pochvennykh konstruktsiy raznogo stroyeniya i ikh transformatsiya v pervyye gody funktsionirovaniya v usloviyakh goroda Moskvy. M: [b.n.], 2017. [Vaygel' A.E. Agrophysical properties of soil structures of different composition and their transformation in the first years of functioning in the conditions of Moscow city. Moscow: [no publ.], 2017.].

[8] Koritina M.A., Faustova E.V., Goncharov V.M. Fizicheskiye svoystva substratov dlya krov'el'nogo ozeleneniya // *Problemy agrokhimii i ekologii*. 2023. № 3.



S. 30–36. doi: 10.26178/AE.2023.16.64.010 [Koritina M.A., Faustova E.V., Goncharov V.M. Physical properties of substrates for green roofing // Problems of agrochemistry and ecology. 2023. No. 3. pp. 30–36. doi: 10.26178/AE.2023.16.64.010].

[9] van der Kolk H.J., van den Berg P., van Veen T., Bezemer M. Substrate composition impacts long-term vegetation development on blue-green roofs: Insights from an experimental roof and greenhouse study // Ecological Engineering. 2023. V. 186, P. 106847.

[10] Liu H., Kong F., Yin H., Cook L.M., Huang J., Lensky I.M., Tan T. Substrate microorganisms can be an ideal tool for improving green roof sustainability // Urban Forestry Urban Greening. 2024. V. 91, P. 128179.

[11] Fei Y., Fu D., Xu C., Singh R.P. Component design optimization of green roof substrate layer based on the assessment of multifunctional performance // Environmental Research. 2023. V. 238, Part 2. P. 117190.

[12] Farrell C., Mitchell R.E., Szota C., Rayner J.P., Williams N.S.G. Green roofs for hot and dry climates: Interacting effects of plant water use, succulence and substrate // Ecological Engineering, 2012. V. 49, P. 270–276.

[13] Lee L.S.H., Jim C.Y. Thermal-irradiance behaviours of subtropical intensive green roof in winter and landscape-soil design implications // Energy and Buildings. 2020. V. 209, P. 109692.

[14] Técher D., Aran D., De Silva M., Claverie R., Erbrech M., Bojic C., Goncalves V., Maunoury-Danger F. Field evaluation of the cotton-strip assay for quantifying decomposition rates in extensive green roof substrates // Urban Forestry & Urban Greening. 2024. V. 94, P. 128292.

[15] Kader, Shuraik, Sreenivasulu Chadalavada, Lizny Jaufer, Velibor Spalevic, Branislav Dudic. Green roof substrates—A literature review // Frontiers in Built Environment. 2022. V. 8.

[16] GOST R 58875–2020 «Ozelenyayemye i ekspluatiruyemye krovli zdaniy i sooruzheniy. Tekhnicheskiye i ekologicheskiye trebovaniya». 2020. [GOST R 58875–2020 "Greened and operated roofs of buildings and structures. Technical and environmental requirements". 2020.].

[17] Vadyunina A.F., Korchagina Z.A. Metody issledovaniya fizicheskikh svoystv pochv. M: Agropromizdat, 1986. 416 s. [Vadyunina A.F., Korchagina Z.A. Methods for studying the physical properties of soils. Moscow: Agropromizdat, 1986. 416 p.].

[18] Dover J. W. Green infrastructure: incorporating plants and enhancing biodiversity in buildings and urban environments. Routledge, 2015.

Мария Корытина, Анна Гунина, Алексей Саянов, Вячеслав Васенев
ЖАСЫЛ ШАТЫРЛАРДЫ ЗЕРТТЕУГЕ АРНАЛҒАН АШЫҚ
ЗЕРТХАНАНЫ ҚҰРУ ӘДІСТЕМЕСІ

Аңдатпа. Ресей қалаларында тұрақты дамуды қамтамасыз ету үшін жасыл шатырларды енгізу климаттың өзгеруінің салдарын жеңілдету тұрғысынан олардың тиімділігін ғылыми тұрғыдан дәлелдеуді қажет етеді. Жасыл шатырларды кешенді зерттеу мақсатында оңтүстік тайга, аралас ормандар және дала аймағында ашық зертханалар желісін құру жоспарлануда, бұл жасыл



шатырлардың қала климатына әсерін қадағалауға мүмкіндік береді. Осы зертханалар желісінің іске қосылуының нәтижесінде жасыл шатырлардың экстенсивті түрін қолданудың қалалық кеңістіктің сапасын арттыру және климаттық тәуекелдерді төмендету үшін оң әсерлерін растайтын деректер алынады. Бұл зерттеу: 1) Мәскеу қаласында құрылған алғашқы зертхана мысалында жасыл шатырды құрудың тұжырымдамалық моделін, 2) белгілі бір климаттық аймақтағы материалдардың қолжетімділігін ескере отырып, субстраттарды таңдауды талдауды және 3) жасыл шатырлар экожүйесіндегі су, жылу ағындары мен CO₂ шығарындыларын бағалау әдістемесін ұсынады. Зертханалар желісін құру ресейлік өндірістегі материалдарды пайдалануды және интернет желісі арқылы мониторинг деректерін қашықтан алуды қарастырады.

Кілт сөздер: Жасыл шатырлар; жаңбыр суын басқару; климаттық жағдайларды мониторингтеу.

Maria Korytina, Anna Gunina, Alexey Sayanov, Vyacheslav Vasenev
METHODOLOGY FOR SETTING UP AN OPEN LABORATORY FOR
GREEN ROOF RESEARCH

Summary. The introduction of green roofs and ensurance of their sustainable development require scientific research to confirm their effectiveness in the context of climate change mitigation. For a comprehensive study of green roofs, a network of open laboratories will be initiated in the southern taiga, mixed forest and steppe zones to monitor the impact of green roofs on urban climate. Network of laboratories will allow collecting the data to confirm the positive effects of extensive green roofs to improve the quality of urban spaces and reduce climate risks. This paper presents 1) a conceptual model of green roof establishment on the example of the first laboratory created in Moscow, 2) an analysis of substrate selection, taking into account the availability of materials, and 3) a methodology for estimating water and heat fluxes and CO₂ emissions in the green roof ecosystem. The establishment of the laboratory network implies the use of materials produced in Russia and the possibility to obtain monitoring data remotely using the Internet.

The article contains 2 Figures, 3 Tables, 18 References.

Keywords: Green roofs; stormwater management; climate monitoring.