

Геоинформатика. 2023. № 4. С. 29–38.
Geoinformatika. 2023;(4):29–38.

Моделирование геообъектов и геопроцессов

Научная статья

УДК 004.94

<https://doi.org/10.47148/1609-364X-2023-4-29-38>

Геоинформационное моделирование городских газонов

© 2023 г. — Марсель Равильевич Вагизов^{a)}, Татьяна Владимировна Двадцатова^{b)}, Ирина Альбертовна Мельничук^{c)}

ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С. М. Кирова»; Россия, Санкт-Петербург

^{a)}bars-tatarin@yandex.ru, ^{b)}tv@20va.ru, ^{c)}melnichuk.irina.2022@yandex.ru

Аннотация: В статье описывается возможность применения технологии геоинформационного моделирования для создания трёхмерной модели участка газона на основе формирования точной, детализированной компонентной геоинформационной микромодели. Описывается значение газона как индикатора устойчивой городской среды. Поэтапно раскрывается процесс моделирования с использованием полученного массива данных средствами беспилотного летательного аппарата и среды трёхмерного моделирования Blender. Указываются возможности развития технологии геоинформационного моделирования газонов с описанием конкретных рекомендаций по совершенствованию предлагаемой авторами методики.

Ключевые слова: *геоинформационное моделирование, городские газоны, технологии трёхмерного моделирования городской среды, геоинформатика*

Для цитирования: Вагизов М.Р., Двадцатова Т.В., Мельничук И.А. Геоинформационное моделирование городских газонов // Геоинформатика. — 2023. — № 4. — С. 29–38. <https://doi.org/10.47148/1609-364X-2023-4-29-38>.

Modeling of geological objects and geoprocesses

Original article

Geoinformation modeling of city lawns

© 2023 — Marsel R. Vagizov^{a)}, Tatiana V. Dvatsatova^{b)}, Irina A. Melnichuk^{c)}

St. Petersburg State Forest Technical University named after S. M. Kirov; St. Petersburg, Russia

^{a)}bars-tatarin@yandex.ru, ^{b)}tv@20va.ru, ^{c)}melnichuk.irina.2022@yandex.ru

Abstract: The article describes the possibility of using geoinformation modeling technology to create a three-dimensional model of a lawn area based on the formation of an accurate, detailed component geoinformation micro-model. The importance of lawn as an indicator of sustainable urban environment is described. The process of modeling on the basis of the obtained data set with the use of unmanned aerial vehicle and three-dimensional modeling environment Blender is revealed step by step. The possibilities of development of the technology of geoinformation modelling of lawns are pointed out, with a description of specific recommendations for improving the methodology proposed by the authors.

Key words: *geoinformation modeling, urban lawns, urban environment modeling technologies, geoinformatics*

For citation: Vagizov M.R., Dvatsatova T.V., Melnichuk I.A. Geoinformation modeling of city lawns. *Geoinformatika*. 2023;(4):29–38. <https://doi.org/10.47148/1609-364X-2023-4-29-38>. In Russ.

Введение

Технологии геоинформационного моделирования широко применяются для решения различных задач, требующих организации и моделирования компонентов окружающей среды [9, 11, 17]. Зачастую в качестве объектов моделирования выступают геопроцессы или геообъекты естественного происхождения. К таким геообъектам могут быть отнесены древесные растения, а к процессам может быть причислено моделирование их произрастания на определённой географической территории. Однако стоит отметить, что технологии геоинформационного моделирования можно при-

менять и в более мелких масштабах: так, например, одним из объектов геоинформационного моделирования может являться газон как один из важнейших компонентов городской среды.

Газон (французское *gazon* означает «дерн») — это определённый участок однородной территории с искусственным дерновым покровом, который создается путем посева и выращивания дернообразующих трав (преимущественно многолетних злаков) для декоративных, спортивных, почвозащитных и других целей [5, 12]. Независимо от природной зоны, значительную часть растительного покрова городов (до 40% открытых площадей) со-

ставляют газонные покрытия [3]. Газон в городе выполняет следующие функции:

- экологическую: регулирует температуру воздуха над поверхностью газона; поглощает углекислый газ и очищает воздух; закрепляет почву, защищает её от эрозии; обладает фитонцидным действием, очищает окружающий воздух от частиц пыли и газов, от выхлопов транспортных средств; повышает биоразнообразие (в особенности разнотравные газоны) [18, 15, 4];
- архитектурно-художественную: газоны являются весьма существенным композиционным и декоративным элементом в системе благоустройства населенных мест [5];
- культурную: создание специально обустроенных территорий для комфортного отдыха и проведения досуга [18].

В зависимости от цели использования газоны подразделяются на декоративные, спортивные и специального назначения, каждый из которых может быть смоделирован в среде геоинформационного моделирования. Декоративные газоны создаются в парках, садах, скверах, лесопарках, в системе насаждений жилых районов и других озеленяемых объектах населенных мест. Обыкновенные садово-парковые газоны занимают большую часть травяного дернового покрова на территории парков, скверов, бульваров, микрорайонных и внутриквартальных насаждений [12]. В зависимости от условий произрастания в составе газона может присутствовать доля сорно-рудеральных растений, что может быть также отражено при их геоинформационном моделировании.

В Санкт-Петербурге по данным Комитета по благоустройству площадь газонов на территориях зеленых насаждений общего пользования (по категориям) в 2022 году составляет 5409,1 га. В настоящее время газоны Санкт-Петербурга и пригородов вместе с водной поверхностью занимают около 40% городской территории, что выделяет их как элемент адаптации к климатическим изменениям [14, 9]. Обыкновенный газон — наиболее распространенный тип газона, созданный из 3-5 видов злаковых трав с разнообразными типами кущения куста: корневищные, рыхлокустовые и корневищно-рыхлокустовые. Обыкновенный газон должен обладать устойчивостью к механическим повреждениям, долговечностью, декоративностью и теневыносливостью травостоя, следовательно, требуется проведение периодического мониторинга его состояния.

В соответствии с действующим в Санкт-Петербурге «Технологическим регламентом производства работ по содержанию территорий зеленых насаждений и ремонту расположенных на них объектов зеленых насаждений» (раздел 1.9) состояние газонов определяется по следующим критериям:

Хорошее — травянистый покров из злаковых видов трав с густым сомкнутым травостоем без «проплешин», регулярно скашиваемый, без наличия сорных широколиственных сорняков;

Удовлетворительное — травянистый покров из злаковых видов трав, имеющий участки с редким травостоем (до 40%), участки с небольшим (до 15%) наличием сорной широколиственной растительности;

Неудовлетворительное — травянистый покров сильно деградирован, засорен широколиственными растениями, в наличии массовые «проплешины» и протоптанные дорожки [12].

Повышенная рекреационная нагрузка на объекты озеленения, в частности на газоны, предопределяет использование современных средств мониторинга для сбора информации об их состоянии, а также технологий прогнозирования его изменения во временной динамике, что может быть отражено в среде геоинформационного моделирования. Данный мониторинг и прогнозирование могут быть осуществлены не только полевыми методами наблюдений за газоном и оценки специалистом его состояния; возможно и применение технологий мониторинга при помощи беспилотных летательных аппаратов в ручном и автоматизированном режиме, которые активно используются в других отраслях [13].

В научной работе [2] даётся определение понятию «геоинформационная микромодель лесных экосистем». Расширяя данное понятие в задаче моделирования городских газонов, можно отметить, что данный процесс также требует трёхмерного моделирования отдельных его компонентов, которые по своему масштабу являются небольшими, в пределах одного метра в направлениях x , y , z , поэтому для такого процесса моделирования логично употребление термина «микромодель». В сочетании с процессом геоинформационного моделирования можно указать общее обозначение — «геоинформационная микромодель городского газона». Геоинформационная микромодель городского газона — это трёхмерная геопространственная цифровая копия участка газона с возможностью проработки его изменения во временной динамике с учётом развития жизненного цикла каждого травянистого растения в его составе.

Цель исследования заключается в формировании методики геоинформационного моделирования городских газонов при помощи современных геоинформационных технологий, а также технологии трёхмерного моделирования.

Методика

Технологию проектирования газона в среде геоинформационного моделирования можно разбить на определённые этапы с учётом анализа характеристик исследуемой территории. Стоит от-

метить, что при разработке геоинформационной микромоделли газона необходимо выделить основные подходы, критерии и условия для создания основы отображения, а на втором этапе приступить к процессу геоинформационного моделирования газона в программной среде. Предположим, что существует необходимость формирования газона с определённым качественным составом на определённой территории, где можно получить цифровые данные. В составе комплексной модели можно выделить организационные уровни проектирования отдельных компонентов моделей геообъектов:

- первый уровень — это проектирование общей и окружающей части прилегающих к газону территорий, а также объектов на моделируемом газоне, от чего могут зависеть его внешние качества;

- второй уровень — это проектирование отдельных компонентов травянистых и злаковых растений в качестве элементов моделирования и интеграции их в общую модель, которые будут располагаться на конкретных местах по требованию заказчика;

- третий уровень — это микромоделирование всей территории с учётом основных и вспомогательных элементов. Особенность геоинформационного моделирования городских газонов состоит в том, что на основе разработки алгоритмов роста травянистых растений, возможно визуализировать модель роста газона с течением времени, а также с отображением его изменяемых свойств в прошлых и будущих состояниях.

При разработке методики геоинформационного моделирования городских газонов можно выделить пять этапов.

Этап 1. До момента формирования в среде геоинформационного моделирования отдельных моделей необходимо определить ряд критериев, под которые будет формироваться газон. Для выбора участка необходима привязка к микроклиматическим условиям моделируемой территории. Рассмотрим некоторые экологические компоненты, которые могут быть предварительно заданы в среде геоинформационного моделирования:

- свет (освещенный участок, затененный участок). Настройки освещения задаются при помощи инструментов освещения в составе технологии трёхмерного моделирования. Можно отметить как стационарное, то есть постоянное, освещение газона так и освещение с заданными временными характеристиками, которые могут изменяться с течением времени. Такое изменение в 3D-моделировании принято называть динамическим изменением сцены.

- рельеф (ровная поверхность, склон). Процесс моделирования микромоделли конкретного участка может быть получен на основе данных лазерного сканирования или на основе процесса ручного моделирования территории.

- вода (сухой участок, участок с подтоплением). Отображение наличия водной поверхности необходимо для качественной визуализации. Такое отображение может быть полезно при оценке подтопляемости территории с определёнными условиями, а также при оценке полива территории, на которой посеян газон.

Этап 2. Сбор и подготовка данных для моделирования. Процесс сбора информации о состоянии городских газонов — один из составных этапов методики. Для данного процесса можно использовать специальные устройства, которые позволяют получить однородный по своему составу массив данных в легко воспринимаемой форме. Например, к такому массиву данных могут быть отнесены фотоизображения, полученные при помощи съёмки беспилотного летательного аппарата и зафиксированные на определённой высоте. Обозначим основные компоненты геоинформационного моделирования в виде структурно-логической схемы (рис. 1).

На схеме представлены основные компоненты процесса сбора информации о газонах и их место. Стоит отметить, что сбор информации может осуществляться не только при помощи средств БПЛА, но и при помощи дополнительных фотоматериалов и описаний, что позволит наполнить модель наиболее качественными данными о состоянии моделируемого газона. Фактическое объединение всех типов данных происходит в среде геоинформационного моделирования, полученный композит данных представляет собой неупорядоченные различные типы данных, которые должны принять определённый вид и форму в соответствии с естественным отображением.

В данном исследовании это две высоты: 3 и 5 метров, композит из двух типов данных, полученных в ходе полевых исследований в летний период 2022 и 2023 годов. Съёмка производилась преимущественно на территории зеленых насаждений общего пользования городского значения: парки, скверы, сады и бульвары Санкт-Петербурга. Пример изображения полученного в ходе съёмки при помощи аппарата *DjiAir 2s*, а также процесс получения фотоснимков были описаны авторами работы в научных публикациях [1, 8]. Данный этап позволяет получить не только большой объём информации о составе и структуре газона, но и сведения о его характеристиках в определённый период времени, которые в дальнейшем могут быть обработаны и интегрированы в состав отдельных трёхмерных объектов (рис. 2).

Этап 3. Проектирование отдельных компонентов состава газона. Для реализации полноценной модели газона необходимо спроектировать отдельные составляющие компоненты для включения их в состав. Определим входящие в видовой состав газона растения, модели которых можно ин-

тегрировать в общую модель подложки. В исследовании нами была использована среда трёхмерного моделирования Blender с подключённым модулем BlenderGIS (таблица 1).

Смоделированные компоненты геоинформационной модели представляют собой отдельные трёхмерные копии злаковых и травянистых растений на определённой стадии жизненного цикла. При необходимости трёхмерная база данных таких объектов может быть расширена дополнительными моделями, растениями в других жизненных стадиях и с учётом влияния на них внешних факторов.

В исследовании отображается первый тип, согласно общему расположению, поскольку отсутствовала задача по формированию конкретного типа газона. Для формирования трёхмерных объектов растений можно использовать несколько подходов. В частности, можно сформировать 3D изображения на базе общедоступных нейросетей для моделирования рассматриваемых травянистых растений (рис. 3). Процесс формирования трёхмерных изображений позволит определить самые мелкие детали строения и морфологии травянистых

Рис. 1. Компоненты и инструменты геоинформационного моделирования газонов

Fig. 1. Components and tools of geographic information modeling of lawns

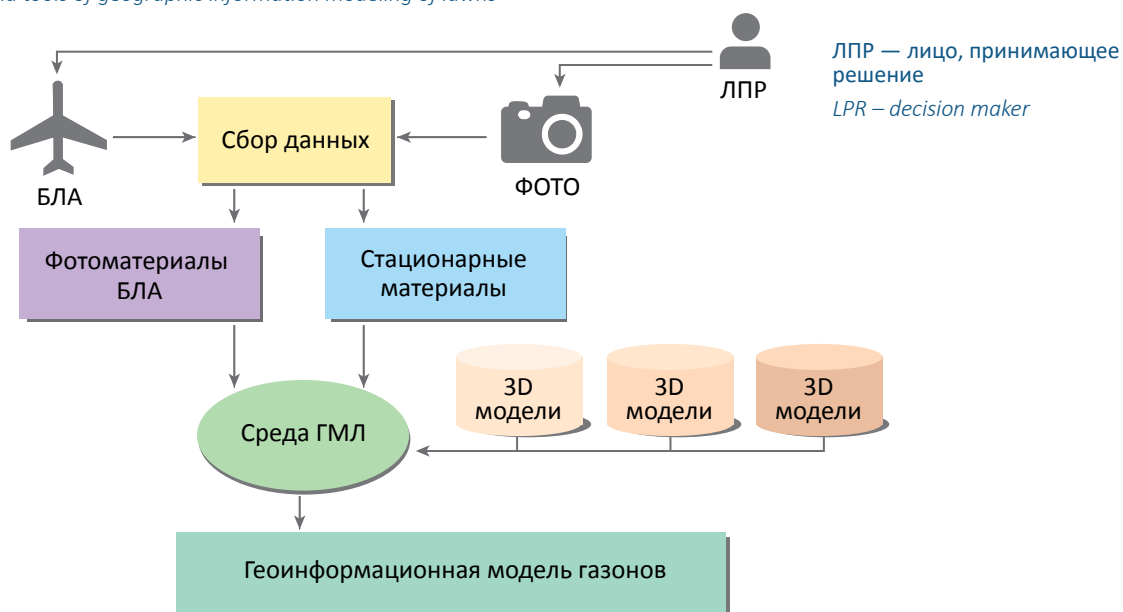


Рис. 2. Обыкновенный газон в Полюстровском парке (дата съемки 27.07.2023 г.). Высота 5 м

Fig. 2. Common lawn in Polyustrovsky Park (date of survey 27.07.2023). Height 5 m



Табл. 1. Некоторые моделируемые растения

Tab. 1. Some modeled plants

№	Русское наименование	Латинское наименование	Характеристики модели
1	Мятлик луговой	<i>Poa pratensis</i> L.	Стебли 20-100 см высотой, округлые. Листовые пластинки у вегетирующих листьев 1,5–3 мм шириной [6]
2	Райграс многолетний	<i>Lolium perenne</i> L.	Стебли 16–65 см высотой, гладкие. Листовые пластинки до 4 мм шириной, голые и гладкие, снизу блестящие, светло-зеленые, сверху тусклые, сизовато-зеленые [6]
3	Овсяница красная	<i>Festuca rubra</i> L.	Корневище образует рыхлые дерновины, стебли 30-80 см высотой, в основании с красновато-бурыми влагалищами, листья вегетативных побегов 0,6–1,2 мм шириной [6]
4	Клевер белый	<i>Trifolium repens</i> L.	Стебель ползучий, стелющийся, ветвистый, голый. Листья трёхраздельные, их листочки широкояйцевидные, на верхушке выемчатые. Черешки восходящие, до 30 см длиной [7]
5	Манжетка обыкновенная	<i>Alchemilla vulgaris</i> L.	Стебель разветвлённый высотой 30–40 см, приподнимающийся или прямостоячий. Листья пальчатополопастные или пальчато-рассечённые, округлые, опушённые, с 9–11 вогнутыми лопастями, имеют радиальное жилкование. Край листа волнистый [7]

Рис. 3. Некоторые смоделированные растения на базе нейросети Midjourney

Fig. 3. Some plants modeled using Midjourney neural network



растений, что позволяет взять их за основу моделирования в среде Blender.

Стоит отметить, что возможен и другой путь разработки трёхмерных моделей на базе самостоятельного анализа разработчиком доступных фотографий рассматриваемых растений в режиме интерактивного моделирования. Ещё один способ — это использование уже готовых платных библиотек трёхмерных растений. Однако в процессе нашего исследования отмечено, что данный тип трёхмерных моделей не изобилует большим количеством готовых 3D моделей травянистых растений. После подготовки нескольких типов трёхмерных моделей можно переходить к этапу геопространственного проектирования газона. Уже на данном этапе появляется некоторая вариативность размещения сформированных трёхмерных моделей в конечной геоинформационной модели газона.

Этап 4. Геопространственное проектирование. Проектирование в среде геоинформационного моделирования состава газона, его внешнего вида и положения на конкретном участке достижимо с использованием последовательного выполнения алгоритма, включающего в себя ряд технологических приёмов, и использования специализированного программного обеспечения, включая не только ГИС-инструменты, но и технологии трёхмерного геоинформационного моделирования. Для формирования трёхмерной подложки с учётом сгенерированных моделей травянистых растений они могут быть объединены:

1) согласно случайному расположению растений, если данный показатель не имеет принципиального значения при его отображении.

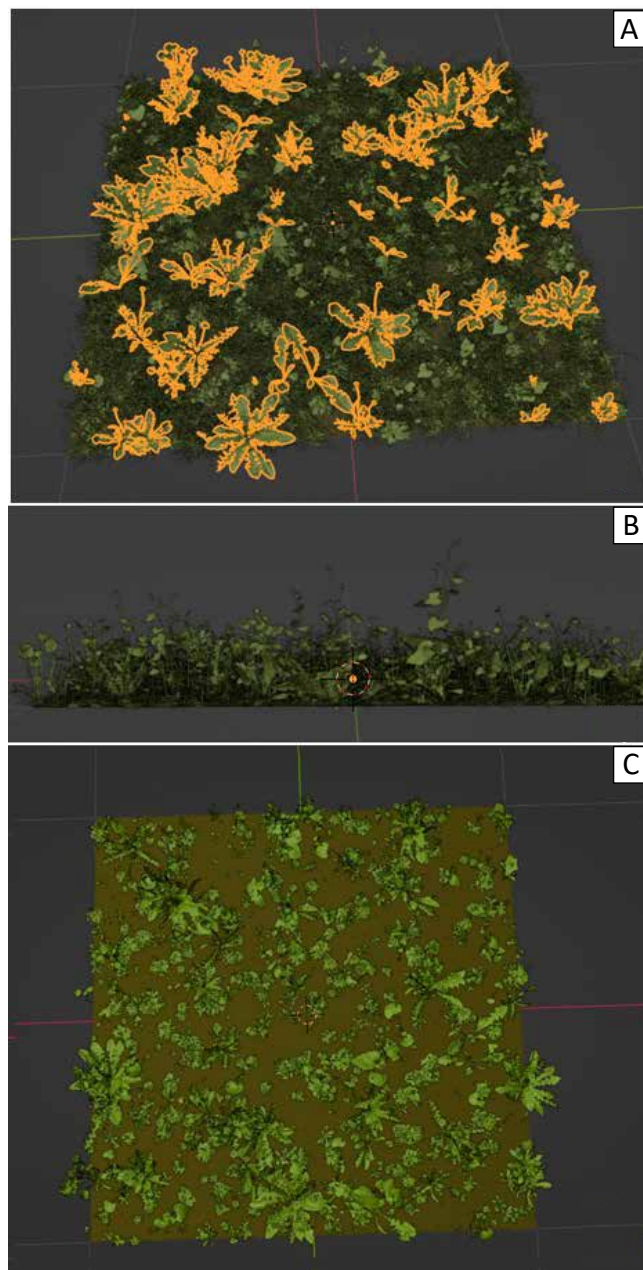
2) согласно заданному расположению растений, где требуется отображение конкретных видов и постановка задачи формирования модели с отображением определённых видов растений в определённых частях газона с учётом скорости роста растений.

Для формирования геоинформационной модели газона взят произвольный участок плоскости в пределах 10 м², на который переносятся подготовленные на третьем этапе трёхмерные модели травянистых и злаковых моделей растений. После этого на моделируемую поверхность накладываются дополнительные трёхмерные объекты, например, сорные растения, которые также встречались при оценке фотоснимков с БПЛА. Используя инструмент «система частиц» в Blender, растения можно наносить небольшими группами, а не по одному, что ускоряет нанесение большого количества разных типов подготовленных трёхмерных моделей всего состава газона в моделируемой среде. На следующем этапе производится визуальное сравнение размещения моделируемых материалов и материалов, полученных с БПЛА. Оценивается их пространственное расположение, плотность раз-

мещения отдельных видов растений уточняется в интерактивном режиме оператором. Не исключена и автоматизация построения модели газонов на основе фотоснимков, которая, возможно, будет рассмотрена и описана авторами статьи в более поздних публикациях. Импорт модели на территорию покрытия газона выглядит следующим образом (рис. 4 А, В, С).

Рис. 4. Смоделированная часть покрытия газона в среде Blender GIS

Fig. 4. Modeled part of the lawn cover in Blender GIS environment



А — вид с отображением выделенных компонентов, сорных растений; В — вид в горизонтальной проекции; С — вид сверху
A — view showing selected components, weeds; B — view in horizontal projection; C — top view

Можно не только просматривать готовую модель в детализированном отображении, но и менять необходимые свойства объектов, подбирать наиболее оптимальный состав газона, на основе подготовленных моделей злаковых растений изменять пространственную структуру и размещение отдельных участков в заданных интересах. Степень детализации и проектирование отдельных моделей и компонентов зависит от назначения модели и способа её использования (управление, изучение, прогнозирование, оценка состояния, предварительное моделирование с целью рассмотрения эстетических качеств). Варианты использования данного типа моделей, многообразны, при этом необходимо отметить высокие требования к производительности компьютерных систем, используемых как для моделирования данного процесса, так и для эксплуатации модели.

После создания определённой части геоинформационной микромоделли газона производится интеграция сформированного покрытия на моделируемую территорию в пределах рассматриваемой территории. С помощью инструментов наложения и размещения UV-развертки можно импортировать слой спутниковой основы газона городского парка, после чего произвести импорт сформированной геоинформационной модели в пределах территории, требующей наложения поверхности. На рисунке 5 изображена часть территории, на которую требуется экспортировать сформированную геоинформационную модель газона как отдельный слой. Аналогичным образом можно экспортиро-

вать другие типы моделей газонов, с другим качественным и видовым составом, на другие части в рассматриваемом Муринском парке в целях управления и анализа различных параметров.

Этап 5. Эксплуатация модели. Сформированная модель может быть занесена в базу данных типов моделей, которые могут быть сформированы под конкретную территорию. Такие модели могут быть использованы как садово-парковыми хозяйствами в рамках управления территорией, так и в качестве проектной деятельности, представляющей собой наиболее точное и полное сочетание интегративных данных в виде цифровой копии участка. В ходе применения данной технологии возможна и коммерциализация геоинформационных моделей газонов для рынка частного сектора, где проектировать и просматривать модель можно под заказ, исходя из запросов частных и юридических лиц, что позволит увидеть конечный результат — визуализацию газона с его составом — до момента высевания его в натуре. Кроме того, эксплуатировать модель можно и для оценки влияния на газон различных климатических факторов — например, длительная жара или продолжительные осадки — с целью формирования его устойчивости; в таком случае требуется моделирование не только отдельных компонентов модели газона, но и параметров окружающей среды.

Рекомендации: геоинформационная микро-модель газона является основой для разработки ряда принципиально новых моделей-альтернатив

Рис. 5. Участок для экспорта сформированной геоинформационной модели газона в Муринском парке Санкт-Петербурга
Fig. 5. Site for exporting the generated geoinformation model of the lawn in Murinsky Park, St. Petersburg



существующим травянистым покрытиям в Санкт-Петербурге, для разработки которых требуется продумать основные методологические подходы:

- определить ряд критериев для разработки микроклиматических условий;
- разработать устойчивый ассортимент декоративных травянистых растений, который будет привязан к конкретным микроклиматическим условиям, но при этом будет повышать декоративность территории и биоразнообразие и снижать требования по уходу;
- определить функциональное назначение территории с учетом рекреационной нагрузки;

– разработать матрицу возможных условий для геоинформационного моделирования участка на вегетационный период или несколько лет.

Выводы

В результате исследования создана авторская методика формирования геоинформационной модели газона на основе данных, полученных с БПЛА, и разработана трёхмерная геоинформационная модель газона.

Исследование выполнено в рамках проекта «Газон как индикатор состояния устойчивой городской среды и адаптации к изменениям климата», поддержанного Российским научным фондом.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 22-26-20120, <https://rscf.ru/project/22-26-20120/> и гранта Санкт-Петербургского научного фонда в соответствии с соглашением от «14» апреля 2022 г. № 31/2022.

Список источников

1. Бубнова А.Б., Вагизов М.Р., Двадцатова Т.В., Крюковский А.С., Мельничук И.А. Применение беспилотных летательных аппаратов и наземных методов исследований для изучения изменения видового состава газонов в различных экологических условиях при воздействии рекреационной нагрузки (на примере Обуховского сквера, Санкт-Петербург) // Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии. – 2022. – № 240. – С. 64–83. – DOI: 10.21266/2079-4304.2022.240.64-83.
2. Вагизов М.Р., Истомин Е.П. Разработка технологии геоинформационного моделирования лесных экосистем (часть 2) // Геоинформатика. – 2022. – № 1. – С. 40–46. – DOI: 10.47148/1609-364X-2022-1-40-46.
3. Визирская М.М., Епихина А.С., Васенев В.И., Мазиров И.М., Эльвира А.И., Гусев Д., Тихонова М.В., Васенев И.И. Экологическая оценка роли городских газонов в формировании потоков парниковых газов // Вестник РУДН. Серия: Агрономия и животноводство. – 2013. – № 5. – С. 38–48.
4. Волкова Л.Б., Соболев Н.А. Разнотравный газон в современной концепции озеленения городов (на примере Москвы) // Вестник Московского государственного университета леса – Лесной вестник. – 2015. – Т. 19. – № 5. – С. 145–152.
5. Головач А.Г. Газоны, их устройство и содержание. М. ; Л. : Издательство Академии наук СССР, 1955. – 338 с.
6. Губанов И.А., Киселева К.В., Новиков В.С., Тихомиров В.Н. Иллюстрированный определитель растений Средней России. – Т. 1. Папоротники, хвощи, плауны, голосеменные, покрытосеменные (однодольные). – М. : Товарищество научных изданий КМК, Ин-т технологических исследований, 2002. – 526 с.
7. Губанов И.А., Киселева К.В., Новиков В.С., Тихомиров В.Н. Иллюстрированный определитель растений Средней России. Том 3. Покрытосеменные (двудольные: раздельнолепестные). – М. : Товарищество научных изданий КМК, Ин-т технологических исследований, 2003. – 666 с.
8. Двадцатова Т.В., Вагизов М.Р., Подлужная А.А. Применение беспилотных летательных аппаратов для исследования газонов в различных экологических условиях // Сборник научных трудов совета молодых ученых СПбГЛТУ. – Вып. 2. – СПб. : СПбГЛТУ, 2022. – С. 19–24.
9. Доклад об экологической ситуации в Санкт-Петербурге в 2014 году / под ред. И.А. Серебрицкого. – СПб. : Дитон, 2015. – 180 с.
10. Жалнин В.С., Вагизов М.Р. Геоинформационное моделирование изменений классов возраста берёзы обыкновенной // Актуальные вопросы лесного хозяйства: материалы VI международной молодежной научно-практической конференции (Санкт-Петербург, 10–11 ноября 2022 г.). – СПб. : Реноме, 2022. – С. 216–219.
11. Иванов Е.Н., Силаев А.В. Геоинформационное моделирование основных этапов развития мерзлотных и ледниковых геосистем юга Восточной Сибири // Региональные геосистемы. – 2020. – Т. 44. – № 2. – С. 198–209. – DOI: 10.18413/2712-7443-2020-44-2-198-209.
12. Лаптев А.А. Газоны. – Киев : Наукова думка, 1955. – 176 с.
13. Мартынюк С.Н., Косовский В.Б. Использование беспилотных летательных аппаратов в обеспечении безопасности дорожного движения // Теория и практика общественного развития. – 2021. – № 2 (156). – С. 50–53. DOI: 10.24158/tipor.2021.2.7.
14. Об утверждении Перечня территорий зеленых насаждений общего пользования городского значения... : постановление Правительства Санкт-Петербурга от 29.06.2020 № 472 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://docs.cntd.ru/document/565229802> (дата обращения: 20.11.2023 г.).
15. Об утверждении Технологического регламента производства работ по содержанию территорий зеленых насаждений и ремонту расположенных на них объектов зеленых насаждений : распоряжение Комитета по благоустройству Санкт-Петербурга от 12.08.2019 № 179-р [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://docs.cntd.ru/document/573420582> (дата обращения: 20.11.2023 г.).

16. СЕРЕКЕЕВА Г.А., ЖУМАБАЕВА Г.Р., СУЛТАНБАЕВА Ж.А. Роль газона в улучшении экологических условий городской среды // Теория и практика современной науки. – 2019. – № 6 (48). – С. 446–448.

17. ЮФЕРЕВ В.Г., ТКАЧЕНКО Н.А. Геоинформационное моделирование и геостатистический анализ рельефа территории Республики Калмыкия // Научно-агрономический журнал. – 2021. – № 2 (113). – С. 51–57. – DOI: 10.34736/FNC.2021.113.2.008.

18. Ignatieva M., Haase D., Dushkova D., Haase A. Lawns in cities: from a globalised urban green space phenomenon to sustainable nature-based solutions // Land. – 2020. – Vol. 9. – Iss. 3. – 73. DOI:10.3390/land9030073.

References

1. Bubnova A.B., Vagizov M.R., Dvadsatova T.V., Kryukovsky A.S., Melnichuk I.A. Application of unmanned aerial vehicles and ground-based research methods to study changes in the species composition of lawns in different ecological conditions under the influence of recreational load (by the example of Obukhovskysquare, St. Petersburg). *Izvestia Sankt-Peterburgskoj lesotekhniceskoj akademii*. 2022;240:64-83. DOI: 10.21266/2079-4304.2022.240.64-83.

2. Vagizov M.R., Istomin E.P. Development of a technology for geoinformation modelling of forest ecosystems (part 2) // *Geoinformatika*. 2022;1:40–46. DOI: 10.47148/1609-364X-2022-1-40-46.

3. Vizirskaya M.M., Epikhina A.S., Vasenev V.I., Mazirov I.M., Elvira A.I., Gusev D., Tihonova M.V., Vasenev I.I. Environmental assessment of the role in the formation of urban lawns GHG // *RUDN journal of agronomy and animal industries*. 2013;(5):38–48.

4. Volkova L.B., Sobolev N.A. Meadow lawn in the modern concept of city landscaping (the example of Moscow) // *Forestry Bulletin*. 2015;19(5):145–152.

5. Golovach A.G. Gazony, ikh ustroystvo i sodержание [Lawns, their arrangement and maintenance]. Moscow; Leningrad: Izdatel'stvo Akademii nauk SSSR; 1955. 338 p.

6. Gubanov I.A., Kiseleva K.V., Novikov V.S., Tikhomirov V.N. Illyustrirovannyi opredelitel' rastenii Srednei Rossii. Vol. 1. Paportniki, khvoshchi, plauny, golosemennye, pokrytosemennye (odnodol'nye). [Illustrated identifier of plants of Central Russia. Vol. 1. Ferns, horsetails, plaunas, holo-seeds, cover-seeds (monocotyledons)]. Moscow: Tovarišchestvo nauchnykh izdaniy KMK, In-t tekhnologicheskikh issledovaniy; 2002. 526 p.

7. Gubanov I.A., Kiseleva K.V., Novikov V.S., Tikhomirov V.N. Illyustrirovannyi opredelitel' rastenii Srednei Rossii. Vol. 3. Pokrytosemennye (dvudol'nye: razdel'nolepnyye) [Illustrated identifier of plants of Central Russia. Vol. 3. Cover-seeds (dicotyledons: split-leaved)]. Moscow: Tovarišchestvo nauchnykh izdaniy KMK, In-t tekhnologicheskikh issledovaniy; 2003. 666 p.

8. Dvadsatova T.V., Vagizov M.R., Podluzhnaya A.A. The use of unmanned aerial vehicles for the study of lawns in various environmental conditions. In: *Sbornik nauchnykh trudov soveta molodykh uchenykh SPBGLTU*. Iss. 2. Saint Petersburg: SPBGLTU; 2022. pp. 19–24.

9. Serebriksii I.A. (ed.) Doklad ob ehkologicheskoi situatsii v Sankt-Peterburge v 2014 godu [Report on the environmental situation in St. Petersburg in 2014]. Saint Petersburg: Diton; 2015. 180 p.

10. Zhalnin V.S., Vagizov M.R. Geoinformation modeling of changes in the age classes of common birch. In: *The actual issues in forestry: International youth scientific-practical conference (Saint Petersburg, 10–11 November 2022)*. Saint Petersburg : Renome; 2022. pp. 216–219.

11. Ivanov E.N., Silaev A.V. The GIS modelling of the basic stages of development of the Eastern Siberia's south permafrost and glaciers geosystems. *Regional geosystems*. 2020; 44(2):198-209. DOI: 10.18413/2712-7443-2020-44-2-198-209.

12. Laptev A.A. Gazony [Lawns]. Kyiv: Naukova dumka; 1955. 176 p.

13. Martyniuk S.N., Kosovsky V.B. Use of unmanned aerial vehicles in road safety. *Theory and practice of social development*. 2021;156:50-53. DOI: 10.24158/tpor.2021.2.7.

14. Ob utverzhdenii Perechnya territorii zelenykh nasazhdenii obshchego pol'zovaniya gorodskogo znacheniya... [On the approval of the List of territories of green spaces of general use of urban significance...]: Decree of the Government of St. Petersburg dated 29.06.2020 No. 472. Available at: <https://docs.cntd.ru/document/565229802> (accessed 20.11.2023).

15. Ob utverzhdenii Tekhnologicheskogo reglamenta proizvodstva rabot po sodержaniyu territorii zelenykh nasazhdenii i remontu raspolozhennykh na nikh ob"ektov zelenykh nasazhdenii [On approval of the Technological regulations of works on maintenance of green areas and repair of green areas objects located on them]: order of the Committee for the Improvement of St. Petersburg dated 12.08.2019 No. 179-r . Available at: <https://docs.cntd.ru/document/573420582> (accessed 20.11.2023).

16. Serekeeva G.A., Zhumabayeva G.R., Sultanbaeva Zh.A. The role of gason in improving environmental conditions urban environment. *Teoriya i praktika sovremennoi nauki*. 2019;48:446–448.

17. Yuferev V.G., Tkachenko N.A. Geoinformation analysis and digital modeling of the relief of the Republic of Kalmykia. *Scientific Agronomy Journal*. 2021;113:51-57. DOI: 10.34736/FNC.2021.113.2.008.

18. Ignatieva M., Haase D., Dushkova D., Haase A. Lawns in cities: from a globalised urban green space phenomenon to sustainable nature-based solutions. *Land*. 2020;9(3):73. DOI:10.3390/land9030073.

Статья поступила в редакцию 20.10.2023, одобрена после рецензирования 20.11.2023, принята к публикации 25.11.2023.

The article was submitted 20.10.2023; approved after reviewing 20.11.2023; accepted for publication 25.11.2023.

Информация об авторах

Вагизов Марсель Равильевич

Кандидат технических наук

Доцент, заведующий кафедрой информационных систем и технологий

ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова»
194021 Санкт-Петербург, Институтский переулок, д. 5
e-mail: bars-tatarin@yandex.ru

ORCID 0000-0003-4848-1619

SCOPUS ID 57194441570

ResearcherID I-7074-2016

SPIN-код 4811-8943

Двадцатова Татьяна Владимировна

Старший преподаватель кафедры Декоративного растениеводства

ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова»
194021 Санкт-Петербург, Институтский переулок, д. 5
e-mail: tv@20va.ru

ORCID 0000-0001-6621-6080

SCOPUS ID 57219987243

ResearcherID ABX-4468-2022

SPIN-код 4328-6337

Мельничук Ирина Альбертовна

Кандидат сельскохозяйственных наук

Ректор Санкт-Петербургского государственного лесотехнического университета имени С. М. Кирова, доцент кафедры Ландшафтной архитектуры

ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова»
194021 Санкт-Петербург, Институтский переулок, д. 5
e-mail: melnichuk.irina.2022@yandex.ru

ORCID 0000-0001-7772-8874

SCOPUS ID 57044877800

ResearcherID AAE-2585-2020

SPIN-код 7478-0151

Information about authors

Marsel R. Vagizov

Candidate of Technical Sciences, Associate Professor

Head of the Department of Information Systems and Technologies of Institute of Forestry and Nature Management

St. Petersburg State Forestry University named after S.M. Kirov
5, Institutsky lane, St. Petersburg, 194021, Russia
e-mail: bars-tatarin@yandex.ru

ORCID 0000-0003-4848-1619

SCOPUS ID 57194441570

ResearcherID I-7074-2016

SPIN-code 4811-8943

Tatiana V. Dvadtsatova

Senior Lecturer of the Department of Ornamental Plant Production

St. Petersburg State Forestry University named after S.M. Kirov
5, Institutsky lane, St. Petersburg, 194021, Russia
e-mail: tv@20va.ru

ORCID 0000-0001-6621-6080

SCOPUS ID 57219987243

ResearcherID ABX-4468-2022

SPIN-code 4328-6337

Irina Albertovna Melnichuk

Candidate of Agricultural Sciences

Rector of Saint-Petersburg State Forest Technical University, Associate Professor of the Department of Landscape Architecture
St. Petersburg State Forestry University named after S.M. Kirov

5, Institutsky lane, St. Petersburg, 194021, Russia
e-mail: melnichuk.irina.2022@yandex.ru

ORCID 0000-0001-7772-8874

SCOPUS ID 57044877800

ResearcherID AAE-2585-2020

SPIN-code 7478-0151