

ДИСТАНЦИОННЫЕ МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ ЗЕМЛИ

REMOTE SENSING METHODS IN RESEARCH OF THE EARTH

УДК: 528.88

DOI: 10.24057/2414-9179-2018-2-24-5-17

Погорелов А.В.¹, Брусило В.А.², Граник Н.В.¹

МОДЕЛИРОВАНИЕ ОБЪЕКТОВ ОЗЕЛЕНЕНИЯ ГОРОДА ПО ДАННЫМ МОБИЛЬНОГО ЛАЗЕРНОГО СКАНИРОВАНИЯ

АННОТАЦИЯ

Рассматриваются современные технологии инвентаризации зеленых насаждений в городе на основе дистанционного зондирования и мобильного лазерного сканирования. Городской зеленый фонд – это сложное хозяйство, требующее новых подходов, методов управления и технологий инвентаризации в современных условиях. В Краснодаре (площадь более 850 км²) на фоне беспрецедентно высоких темпов урбанизации происходит заметное изменение структуры и состава зеленых насаждений. Необходимым условием содержания, охраны и воспроизводства зеленых насаждений города является обеспеченность информацией о зеленом фонде. На практике требуются данные об объектах озеленения с точностью до отдельного дерева в составе парка, сквера и т. п.

Решается задача создания информационной системы зеленых насаждений муниципального образования на основе современных высокоточных технологий. Разработана технология мобильного лазерного сканирования городских объектов озеленения – парков, скверов, садов, газонов и т. п. Точность съемки 3–5 см, дальность сканирования до 190 м. Впервые в г. Краснодаре выполнена съемка зеленых насаждений мобильным лазерным сканером. Данные мобильного лазерного сканирования представлены облаками точек лазерного отражения по каждому объекту озеленения. Основным результатом работы – база геоданных, включающая высокоточные векторные модели муниципальных объектов озеленения (с разрешением до отдельного дерева), их атрибутивное описание, необходимое для городских служб озеленения. Векторные данные состоят из следующих слоев: границы объекта озеленения, газон, деревья, лунки старых деревьев, лунки молодых деревьев, кустарники, лунки кустарников, цветники, мобильные объекты, прочие объекты, декоративные

¹ Кубанский государственный университет, ул. Ставропольская, д. 149, 350040, Краснодар, Россия, *e-mail*: pogorelov_av@bk.ru

² Компания «Аэрогеоматика», ул. Фрунзе, 22/1, 350063, Краснодар, Россия, *e-mail*: brusilo.va@aerogeomatica.ru

материалы. Полученные атрибутивные сведения позволяют оценить затраты на содержание каждого объекта и соответствующие регламентные работы. Создана информационная основа для количественных оценок влияния зеленых насаждений на городской климат.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: город, зеленые насаждения, инвентаризация, мобильное лазерное сканирование, база геоданных.

Anatoly V. Pogorelov¹, Vladimir A. Brusilo², Nikolai V. Granik³

MODELING OF URBAN GREEN SPACES BASED ON MOBILE LASER SCANNING DATA

ABSTRACT

Modern technologies of inventory of green plantations in the city on the basis of remote sensing and mobile laser scanning are considered. The city green fund is the complex economy demanding new approaches, methods of management and technologies of inventory in modern conditions. In the city of Krasnodar (an area of more than 850 km²), amid an unprecedentedly high rate of urbanization, there is a marked change in the structure and composition of green spaces. A necessary condition for the content, protection and reproduction of urban green spaces is to provide information about the green fund. In practice, data are required about the objects of gardening with an accuracy of an individual tree in the park, square, etc.

We solve the problem of creation of information system of green spaces of the municipality on the basis of modern high technology. The technology of mobile laser scanning of urban landscaping objects – parks, squares, gardens, lawns, etc. has been developed. The accuracy of the survey is 3–5 cm, the scanning range is up to 190 m. For the first time in Krasnodar the mobile scanning of green plantations has been done. Mobile laser scanning data are represented by clouds of laser reflection points for each landscaping object. The main result of the work is a geodatabase, including high-precision vector models of municipal landscaping objects (with permission to an individual tree), their attributive description necessary for urban landscaping services. Vector data consist of the following layers: boundaries of the planting site, lawn, trees, old tree wells, young tree wells, shrubs, shrubbery wells, flower beds, mobile objects, other objects, decorative stuff. The received attributive information allows to estimate the costs for the maintenance of each object and the routine works. An information basis for quantitative assessments of the influence of green plantations on the urban climate has been created.

KEYWORDS: urban green spaces, inventory, mobile laser scanning, geodatabase.

ВВЕДЕНИЕ

Объекты озеленения представлены зелеными насаждениями – совокупностью древесных, кустарниковых и травянистых растений (городские парки, сады, скверы, газоны и т. п.). Ключевое предназначение зеленых насаждений в городах – рекреационное и климатообразующее. Парки, сады, скверы удовлетворяют рекреационные и эстетические потребности горожан. Древесные и травянистые растения обладают хорошей пылеулавливающей способностью, поглощают аэрозоли и загрязняющие вещества, способствуют очищению воздуха от химического загрязнения и восстановлению благоприятных кон-

¹ Kuban State University, Stavropolskaya str., 149, 350040, Krasnodar, Russia, *e-mail*: pogorelov_av@bk.ru

² Company "Aerogeomatica", Frunze str., 350063, Krasnodar, Russia, *e-mail*: brusilo.va@aerogeomatica.ru

центраций CO_2 , O_2 , пыли и др. В среднем они осаждают из воздуха до 50 % пыли летом и до 37 % зимой [Груздев и др., 1990]. Многообразные воздействия зеленых насаждений на городской климат заключаются в смягчении колебаний температуры деятельной поверхности, регулировании влажностные характеристики воздуха и приземной циркуляции. Отметим и их физическое влияние на снижение уровня шума. Озеленение вокруг жилых домов снижает уровень стресса, депрессивных реакций; растительное окружение способствует увеличению физической активности людей.

Вместе с тем городской зеленый фонд – это сложное хозяйство, требующее новых подходов и методов управления в современных условиях. В систему озелененных территорий общего пользования г. Краснодара входят парки (площадь варьирует от 6,2 до 36,5 га), ботанические сады (от 16 до 48 га), скверы, бульвары, мемориальные парки, городские лесопарки. Кроме того, к зеленым насаждениям общего пользования относятся насаждения улиц и автодорог, цветники (клумбы), газоны и вазоны, а также внутриворовые посадки деревьев и кустарников.

Краснодар по показателям численности населения, принятым в России, фактически относится к категории крупнейших городов (более 1 млн человек). Фоновые климатические и ландшафтные условия г. Краснодара отнюдь не благоприятны для формирования и поддержки в функциональном состоянии массовых древесных и кустарниковых насаждений. Местный климат относится к семиаридному (полузасушливому) с коэффициентом увлажнения менее 1, чему соответствуют естественные ландшафты степей с преобладанием травянистых растений. Указанные обстоятельства и объяснимый фактический дефицит лесных массивов в окрестностях Краснодара предъявляют особые требования к формированию «зеленого каркаса» города, в том числе обеспечения ландшафтного и биологического разнообразия городских территорий. К городу примыкает р. Кубань с редкими сохранившимися фрагментами пойменных лесов.

На фоне высоких темпов роста Краснодара, сопровождающихся уплотнительной городской застройкой и расширением сети наземных коммуникаций, происходит изменение существующей системы зеленых насаждений. Происходящие буквально на глазах многонаправленные изменения краснодарской агломерации нельзя назвать всесторонне обдуманскими; это относится и к преобразованиям зеленого фонда. Необходимым условием содержания, охраны и воспроизводства зеленых насаждений города является обеспеченность информацией о зеленом фонде. В связи с этим большое значение приобретают актуальные и точные (включая пространственный аспект) сведения о состоянии зеленых насаждений и структуре озелененных площадей города. Разные аспекты исследования городских зеленых насаждений с применением современных технологий отражены в ряде публикаций [Морозова, 2009; Морозова и др., 2011; Кулакова, 2012; Martin Mwirigi M'Ikiugu et al., 2012; Mohd Hisyam Rasidia et al., 2012; Алешин и др., 2014; Mougiakou, Photis, 2014; Крючков, 2015 и др.].

Поставлена цель – создать информационную систему зеленых насаждений муниципального образования г. Краснодар на основе современных высокоточных технологий – мобильного лазерного сканирования. Достижение цели предполагает: 1) разработку технологий инвентаризации зеленых насаждений и объектов инфраструктуры зеленого фонда города (цветники, газоны, аллеи, парки, скверы и т. п.) средствами мобильного лазерного сканирования; 2) проведение мобильного лазерного сканирования муниципальных объектов озеленения МО г. Краснодар; 3) разработку методики обработки данных мобильного лазерного сканирования зеленых и обработку результатов съемки; 4) создание рабочей ГИС систему зеленых насаждений МО г. Краснодар, предназначенную для учета и мониторинга объектов озеленения. ГИС учтенных зеленых насаждений предположительно должна быть интегрирована в муниципальную ГИС г. Краснодара.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Спутниковый мониторинг. Для планирования и оптимизации зеленого каркаса необходимо иметь детальное представление о фактическом распределении растительности, включая ее типы, видовой состав, биомассу и т. д. В крупных городах кадастры зеленых насаждений, как правило, являются неполными, нечасто обновляются. Как правило, контроль за функциональным состоянием городской растительности и ее факторами (состояние почв, болезни, поражение насекомыми, устойчивость растений к городскому загрязнению и т. д.) оставляет желать лучшего. Известно, что разные породы имеют неодинаковую устойчивость к загрязнению воздуха и окружающей среды. В этом случае данные дистанционного мониторинга могут оказаться очень полезными для ведения городского кадастра зеленых насаждений, создания автоматизированных систем их обновления, а также для контроля растительности. Это особенно важно для крупных городов и агломераций, на территории которых произрастают сотни тысяч деревьев [Кавайяс и др., 2011]. В последнее время возможности дистанционного мониторинга земной поверхности расширяются за счет малых беспилотных летательных аппаратов (МБПЛА).

Наземный контроль состояния зеленого фонда г. Краснодара с учетом значительной площади города – трудоемкая процедура. Поэтому для фоновых оценок целесообразно воспользоваться данными дистанционного зондирования – мультиспектральными спутниковыми снимками. Чаще всего в этом случае прибегают к простому и информативному показателю – вегетационному индексу (Normalized Differenced Vegetation Index – NDVI) [Lillesand et al., 2004; Jwan Al-doski et al., 2013; Meera Gandhi et al., 2015; Баймаганбетова, Голубева, 2016; Погорелов, Липилин, 2017; Погорелов и др., 2017 и др.]. Сведения об использованных спутниковых снимках даны в табл. 1.

Таблица 1. Сведения о спутниковых снимках
Table 1. Space images

| Спутник | ID снимка | Дата съемки |
|-----------|-----------------------|-------------|
| Landsat 4 | LT41740291989191XXX02 | 10.07.1989 |
| Landsat 8 | LC81740292015159LGN00 | 08.06.2015 |

Мобильное лазерное сканирование. Съемка зеленых насаждений выполняется мобильным лазерным сканером (лидаром) – съемочной системой, измеряющей со скоростью от нескольких тысяч до миллиона точек в секунду расстояния до поверхности объекта с регистрацией вертикальных и горизонтальных углов и последующим формированием трехмерного изображения в виде облака точек. Используемый сканер АГМ – МС7 состоит из трех модулей: сканирующей системы PENTAX S2100, панорамной камеры Point Grey LadyBug 5, GNSS-антенны. Дополнительный графический продукт съемки – сферические панорамы. Точность съемки 3–5 см, дальность сканирования до 190 м. Производительность работ характеризуется протяженностью выполняемой съемки за день работ, которая для городских и пригородных территорий составляет 50–80 и 150–350 км соответственно. Съемка производится в режиме мобильного сканирования (рис. 1), т. е. с крыши легкового автомобиля. Мобильные сканеры позволяют полностью автоматизировать сбор цифровой трехмерной информации, значительно сократив себестоимость работ в сравнении с традиционными технологиями съемки.

Мобильное лазерное сканирование выполнено в период с 25 ноября по 26 декабря 2017 г., в марте 2018 г. проведены дополнительные измерения. В результате съемки получены точки лазерного отражения по всем учтенным муниципальным объектам озеленения. Данные съемки (точки лазерного отражения, панорамная съемка) обработаны в среде ПО (Microstation CONNECT Edition, пакеты программ TerraSolid, ArcGIS, Autodesk AutoCAD Civil 3D) с последующим созданием трех- и двухмерных моделей объектов озеленения с заданной точностью.

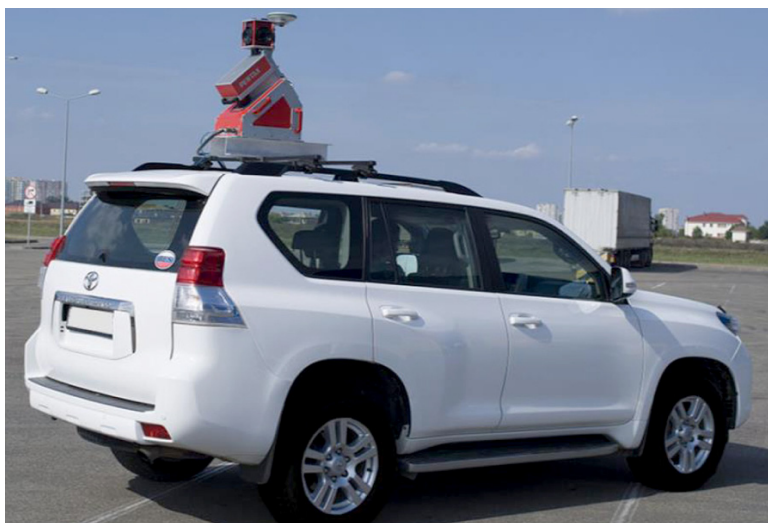


Рис. 1. Автомобиль, оснащенный лазерным сканером АГМ-МС7 для мобильного сканирования

Fig. 1. A car equipped with a laser scanner AGM-MS7 for mobile scanning

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Спутниковый мониторинг зеленых насаждений. Показатели NDVI при классификации разбиты нами на интервалы: 1) меньше 0,25 – «голые» бесплодные поверхности, 2) 0,25–0,5 – редкая растительность (преимущественно травы, кустарники), 3) 0,5–0,75 – умеренная растительность, 4) 0,75–0,9 – густая растительность, 5) более 0,9 – густая растительность с наибольшей продуктивностью (условный лес) [Погорелов, Липилин, 2017; Погорелов и др., 2017]. Как видим, по данным летних снимков 1989 и 2015 гг. (рис. 2), распределение относительной фитомассы в пределах городской территории чрезвычайно неоднородно. Наибольшие значения NDVI приурочены к участкам парков, включая мемориальные парки (кладбища) и сады: Чистяковская роща, Всесвятское кладбище, парк им. 30-летия Победы, Городской сад, Ботанический сад КубГАУ. На значительную часть территории города (участки производственной и жилой зон, транспортная инфраструктура и т. п.) показатели индекса соответствуют «голым» поверхностям.

В целом в Краснодаре в анализируемых границах площади потерь и увеличения относительной фитомассы за 1989–2015 гг. оказались сопоставимы (табл. 2). В рекреационной зоне суммарные площади увеличения фитомассы (16,29 км²) заметно превышают интегральные площади ее потерь (8,53 км²). Таким образом, по данным показателей можно констатировать улучшение степени озеленения в рекреационной зоне Краснодара в целом, прежде всего, за счет парков. Однако, как и следовало ожидать, в жилой зоне в целом степень озеленения радикально ухудшилась.

Таблица 2. Площади с измененной относительной фитомассой, км². Период 1989–2015 гг.
Table 2. Areas with a changed relative phytomass, km². The period 1989–2015

| Территория | Изменения относительной фитомассы | | | |
|------------------------------|-----------------------------------|----------|---------|-----------|
| | менее –0,5 | –0,5...0 | 0...0,5 | более 0,5 |
| Краснодар в границах 2007 г. | 5,21 | 95,02 | 97,17 | 3,73 |
| Жилая зона | 1,70 | 39,95 | 27,02 | 0,60 |
| Общественно-деловая зона | 0,58 | 10,63 | 13,46 | 0,18 |
| Рекреационная зона | 0,58 | 7,95 | 15,13 | 1,16 |
| Промышленная зона | 0,46 | 5,45 | 8,19 | 0,30 |



Рис. 2. Распределение вегетационного индекса NDVI в центральной части Краснодара 08.06.2015
 Fig. 2. Distribution of vegetative index NDVI in the central part of Krasnodar 08.06.2015

Разность величин NDVI по данным 2015 г. и 1989 г. дает представление об изменениях фитомассы внутри города за 26-летний период. Красно-желтые участки свидетельствуют об уменьшении относительной фитомассы с 1989 г. по 2015 г., зеленые – об увеличении (рис. 3).

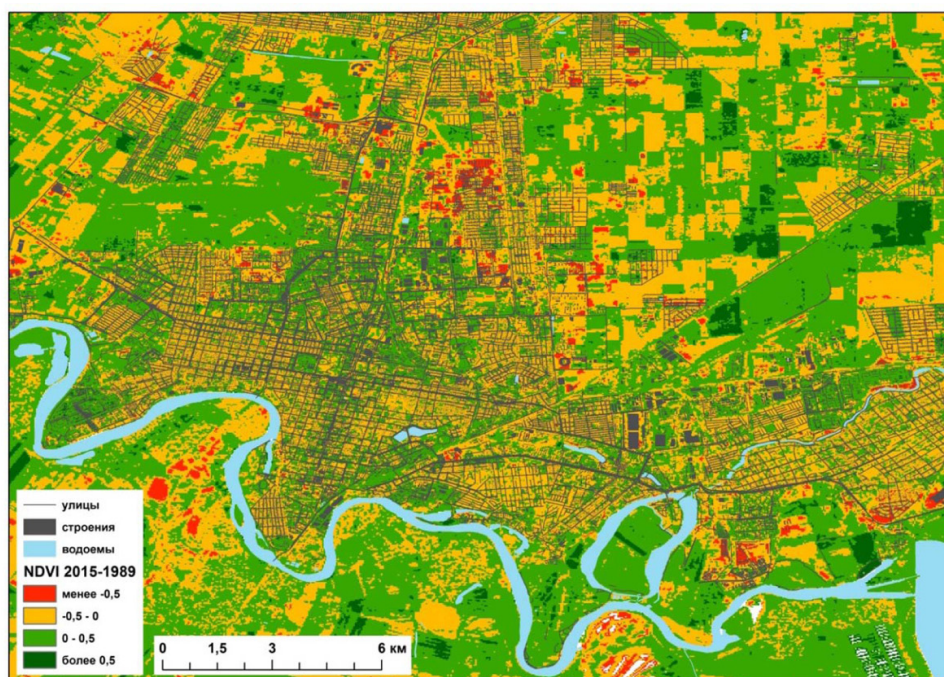


Рис. 3. Разность NDVI по данным 2015 и 1989 гг.
 Fig. 3. Difference NDVI according to data of 2015 and 1989

Мобильное лазерное сканирование. Инвентаризация зеленых насаждений с использованием традиционной геодезии (тахеометрическая съемка) – весьма затратный процесс, имея в виду площадь Краснодара (более 850 км²) и количество объектов. Данные спутниковых снимков позволяют получить фоновые сведения о состоянии зеленых насаждений по оценкам удельной фитомассы. Для озеленительной деятельности на практике требуются данные об объектах озеленения с точностью до отдельного дерева в составе соответствующего объекта (парка, сквера и т. п.). В настоящее время перечень только муниципальных объектов озеленения Краснодара представлен 153 объектами (табл. 3). При этом объекты озеленения зачастую имеют сложную внутреннюю структуру и неоднородный состав (рис. 4), что дополнительно усложняет их описание.

Таблица 3. Перечень муниципальных объектов озеленения Краснодара (фрагмент)
Table 3. List of municipal landscaping objects of Krasnodar (fragment)

| № п/п | Объект озеленения | Предварительная общая площадь объекта озеленения, м ² |
|-------|---|--|
| 1 | Территория, прилегающая к монументу «Зенитчикам» по ул. Ставропольской, 151, а | 1027,91 |
| 2 | Территория, прилегающая к зданию Советского районного суда по ул. Ставропольской, 207 | 1071,0 |
| 3 | Территория, прилегающая к Стелле у оз. Старая Кубань по ул. Ставропольской | 959,0 |
| 4 | Территория, прилегающая к жилым домам по ул. Ставропольской, 215, 217, 221, 221/1, 221/2 | 2535,5 |
| 5 | Территория разделительной полосы по ул. Ставропольской от ул. Вишняковой до ул. Мачуги (вдоль трамвайных путей) | 19956,0 |
| 6 | Зеленые зоны и декоративные кустарники по ул. Ставропольской и ул. Трамвайной (от ул. Суворова до ул. Мачуги) | 18385,69 |
| 7 | Территория разделительной полосы по ул. Мачуги и круга в районе ТЭЦ | 1230,21 |
| ... | ... | ... |
| 152 | Зеленые зоны перед зданием УФНС по Краснодарскому краю по ул. Гоголя, 90 | 110,7 |
| 153 | Территория бульвара «Тюляевский» (от ул. Уральской до ул. Сормовской) | 6490,91 |

На подготовительном этапе в соответствии с перечнем объектов озеленения в ГИС QGIS Desktop построена схема для проведения съемочных работ. Данные мобильного лазерного сканирования представлены облаками точек лазерного отражения по каждому объекту озеленения. Исходные данные в виде облака точек иллюстрирует объект озеленения № 7 – участок разделительной полосы на ул. Мачуги в районе Краснодарской ТЭЦ (рис. 5, 6).

Наиболее трудоемкий и технологически сложный этап работы – обработка материалов лазерного сканирования, в том числе – оцифровка объектов с требуемой точностью. Слои и атрибуты для каждого объекта, согласованные с Центром озеленения и экологии г. Краснодара, представлены в табл. 4. Атрибутивные сведения необходимы, прежде всего, для оценки финансовых затрат в соответствии с регламентом работ на конкретном объекте озеленения, зависящих от типа объекта и обслуживаемой площади.

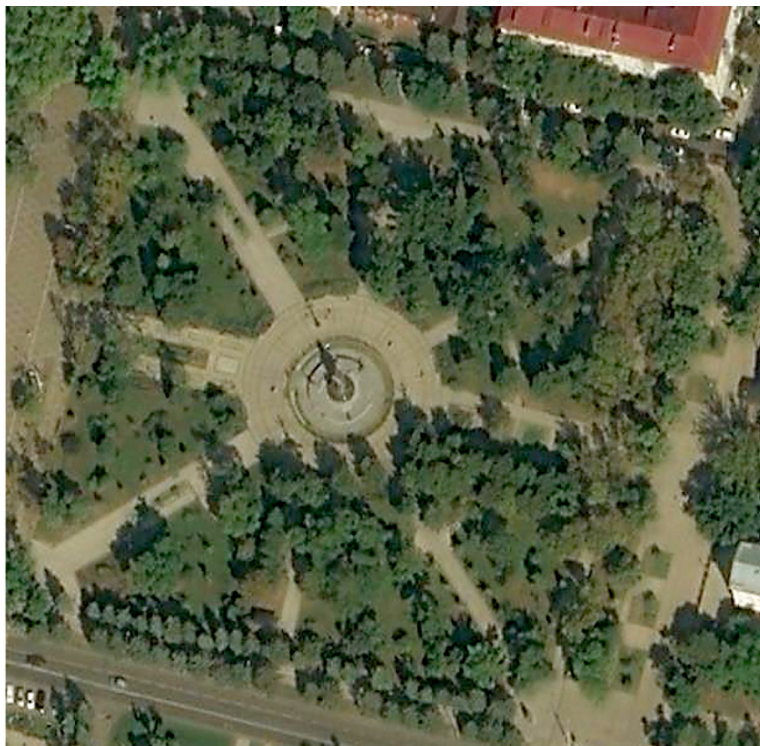


Рис. 4. Екатеринбургский сквер.

Пример объекта озеленения со сложными структурой и составом

Fig. 4. Ekatherininsky Square.

Example of a landscaping object with a complex structure and composition

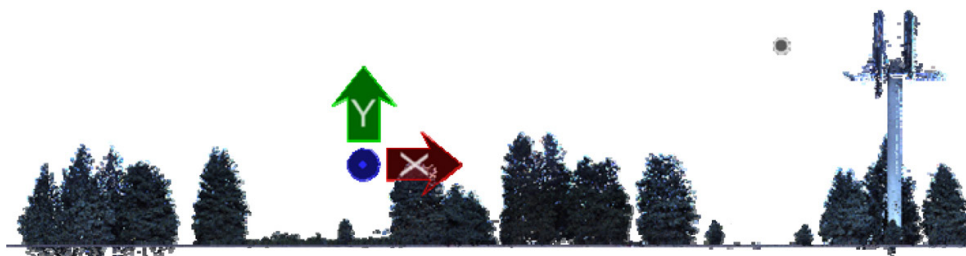


Рис. 5. Облако точек лазерного отражения, используемое для моделирования объекта озеленения. Объект озеленения № 7

Fig. 5. A cloud of laser reflection points used to model a landscaping object. Object No 7

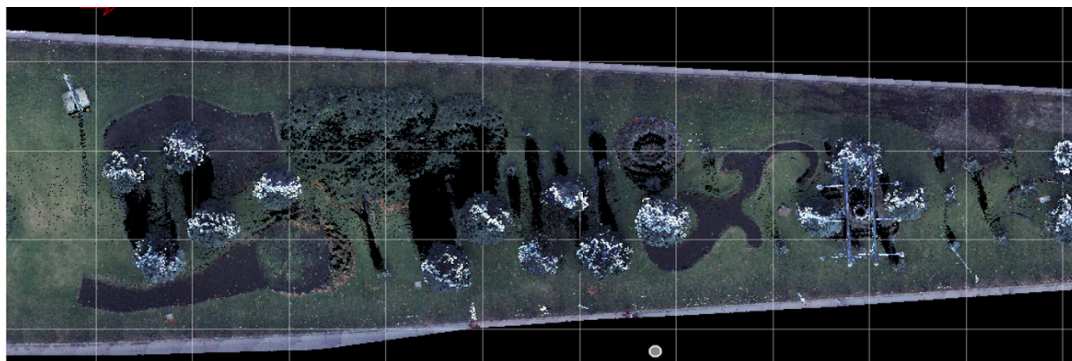


Рис. 6. Увеличенный фрагмент объекта озеленения № 7 с точками лазерного отражения

Fig. 6. An enlarged fragment of the object No 7 with laser reflection points

Таблица 4. Векторные слои и атрибуты объектов озеленения
 Table 4. Vector layers and attributes of landscaping objects

| № | Векторные слои | Геометрия | Атрибуты слоя |
|----|------------------------|-----------|-------------------------|
| 1 | Граница объекта | Полигон | Площадь, м ² |
| 2 | Газон | Полигон | Площадь, м ² |
| 3 | Деревья | Точка | Высота, тип |
| 4 | Лунки старых деревьев | Полигон | Площадь, тип |
| 5 | Лунки молодых деревьев | Полигон | Площадь, тип |
| 6 | Кустарники | Полигон | Площадь, тип |
| 7 | Лунки кустарников | Полигон | Площадь, тип |
| 8 | Цветники | Полигон | Площадь, тип |
| 9 | Мобильные объекты | Полигон | Площадь, тип |
| 10 | Прочие объекты | Полигон | Площадь, тип |
| 11 | Декоративные материалы | Полигон | Площадь, тип |

Обработка материалов включала основные операции: оцифровку, конвертацию, атрибутивное описание, нормативный контроль. Некоторые операции в последовательности их выполнения и результаты работы отражают рисунки (рис. 6–9). Облако точек лазерного отражения обрабатывалось программе в Microstation CONNECT Edition при помощи пакетов TerraScan и TerraSolid. Для получения дополнительной информации об объекте по данным панорамной съемки использовался модуль TerraPhoto, входящий в состав пакета TerraSolid (рис. 7).

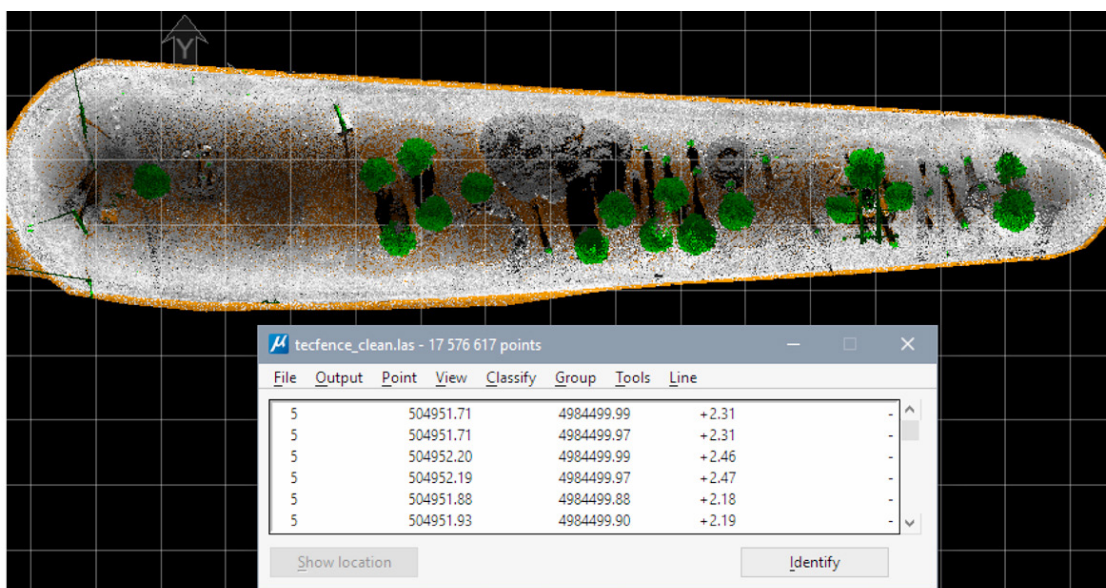


Рис. 7. Облако точек в интерфейсе программы TerraScan
 Fig. 7. Point cloud in the TerraScan interface

Границы объекта озеленения определялись с использованием данных лазерного сканирования и растровых схем, предоставленных городским Центром озеленения и экологии. Оцифровка объекта выполнялась с помощью инструментов программы Microstation CONNECT Edition. Результат оцифровки – наборы векторных данных (полилинии, точки) в соответствии с заданными слоями (см. табл. 4). Пример объекта представлен на рис. 8.



Рис. 8. Панорама объекта озеленения в интерфейсе программы TerraPhoto
 Fig. 8. Panorama of the landscaping object in the TerraPhoto interface

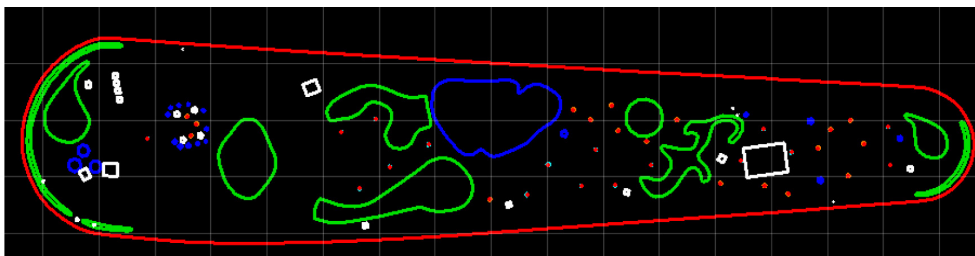


Рис. 9. Пример векторной модели объекта № 7
 Fig. 9. Example of a vector model of object No 7

Готовые данные (рис. 10), включающие соответствующие файлы в формате .dwg и .shp, предназначены для практической деятельности МКУ МО г. Краснодар «Центр озеленения и экологии», нацеленной на инвентаризацию объектов озеленения и выполнение регламентных работ.

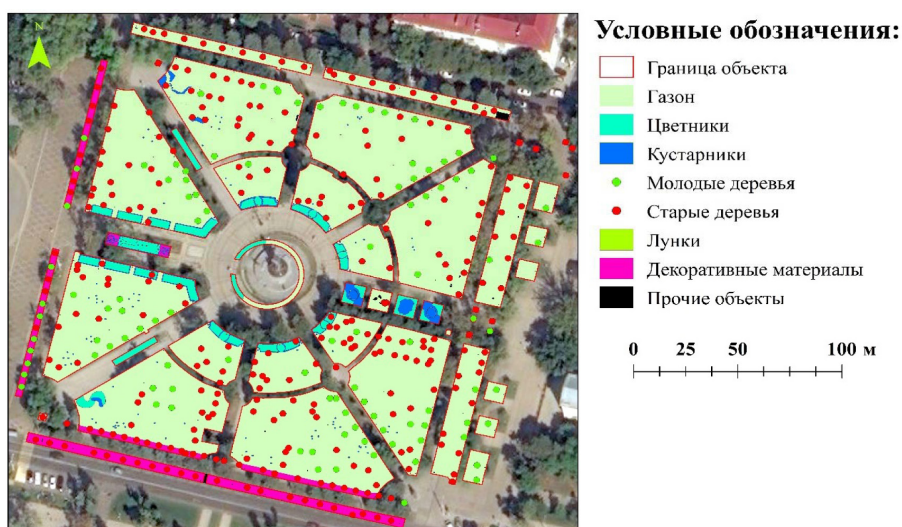


Рис. 10. Модель Екатерининского сквера
 в базе геоданных зеленых насаждений МО г. Краснодар
 Fig. 10. Model of the Ekatherininsky Square
 in the geodatabase of green plantings in the city of Krasnodar

ВЫВОДЫ

Таким образом, впервые выполнен учет зеленых насаждений города на основе современных высокоточных технологий – мобильного лазерного сканирования.

1. Разработана и реализована методика мобильного лазерного сканирования городских объектов озеленения (МО г. Краснодар) (см. рис. 10). Методика включает сканирование, обработку точек лазерного отражения, построение сферических панорам, построение трехмерных моделей объектов, создание базы геоданных зеленых насаждений.

2. Разработана технологическая цепочка обработки данных мобильного лазерного сканирования с использованием комплекса прикладных программ и ГИС; построены векторные модели и выполнено атрибутивное описание муниципальных объектов озеленения МО г. Краснодар.

3. Построены цифровые модели муниципальных объектов озеленения (парки, сады, скверы и др.) МО г. Краснодар с точностью до отдельного дерева и куста. По данным лазерного сканирования и сферической панорамной съемки созданы файлы в формате .dwg и .shp, предназначенные для службы озеленения.

4. Предлагаемая методика выводит на новый технический уровень возможности мониторинга и инвентаризации зеленых насаждений крупного города. При этом сроки выполнения работ и их стоимость в сравнении с традиционными технологиями уменьшены более чем в 3 раза.

5. Создана информационная основа для количественных оценок влияния зеленых насаждений на местный климат.

БЛАГОДАРНОСТИ

Авторы благодарят компанию ООО «Аэрогеоматика» за техническое содействие.

ACKNOWLEDGEMENTS

The authors thank the company "Aerogeomatica" for technical support.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Алёшин Р., Спивак И., Давыденко Е., Куликов В. Разработка и внедрение ГИС учтенных зеленых насаждений // САПР и графика. 2014. № 3. С. 18–20.
2. Баймаганбетова Г.А., Голубева Е.И. Космические снимки для картографирования и мониторинга состояния зеленого каркаса г. Астаны // ИнтерКарто/ИнтерГИС 22. Геоинформационное обеспечение устойчивого развития территорий в условиях глобальных изменений климата: материалы Междунар. науч. конф. Т. 1. М.: Изд. дом «Научная библиотека», 2016. С. 370–379. DOI: 10.24057/2414-9179-2016-1-22-370-380.
3. Груздев Г.С., Дорожкина Л.А., Петриченко С.А. Защита зеленых насаждений в городах: справочник. М., 1990. 544 с.
4. Кавайяс Ф., Рамос Ю., Бойе А. Инвентаризация городских зеленых насаждений и их мониторинг с использованием данных WorldView-2 // Геоматика. 2011. № 3. С. 67–73.
5. Крючков А.Н. Мониторинг состояния городских зеленых насаждений как часть эффективного управления зеленым хозяйством Г. О. Тольятти // Известия Самарского научного центра РАН. 2015. Т. 11 (27), № 1(6). С. 1170–1173.
6. Кулакова С.А. Оценка состояния зеленых насаждений города // Географический вестник. 2012. № 4(23). С. 59–66.
7. Морозова Г.Ю. Мониторинг урбанизированной среды: структура популяций растений // Известия Самарского научного центра РАН. 2009. Т. 11 (27), № 1(6). С. 1170–1173.

8. Морозова Г.Ю., Глухов В.А., Бабурин А.А. Геоинформационная система «Зеленые насаждения города Хабаровска» // Известия Самарского научного центра РАН. 2011. Т. 13, №1(6). С. 1367–1370.
9. Погорелов А.В., Липилин Д.А. Зеленые насаждения города Краснодара. Оценка и многолетние изменения // Вестник ПНИПУ. Прикладная экология. Урбанистика. 2017. № 3 (27). С. 192–205. DOI: 10.15593/2409-5125/2017.03.15.
10. Погорелов А.В., Липилин Д.А., Лубенцова А.А. Оценка многолетних изменений зеленых насаждений города Краснодара по данным спутниковых снимков // Региональные географические исследования. Сборник научных трудов. Краснодар, 2017. Вып. 1(11). С. 119–137.
11. Jwan Al-doski, Shattri. B Mansor, Helmi Zulhaidi Mohd Shafri. NDVI differencing and post-classification to detect vegetation changes in Halabja city, Iraq // Journal of Applied Geology and Geophysics (IOSR-JAGG). 2013. V. 1, No 2. P. 1–10.
12. Lillesand T.M., Kiefer R.W., Chipman J.W. Remote Sensing and Image Interpretation. Fifth Edition. New Jersey: John Wiley and Sons, 2004. 804 p.
13. Martin Mwirigi M'Ikiugu, Isami Kinoshita, Yoritaka Tashiro. Urban Green Space Analysis and Identification of its Potential Expansion Areas // Procedia – Social and Behavioral Sciences. 2012. V. 35. P. 449–458.
14. Meera Gandhi G., Parthiban S., Nagaraj Thummalu, Christy A. NDVI: vegetation change detection using remote sensing and GIS – A case study of vellore district // Procedia Computer Science. 2015. V. 57. P. 1199–1210.
15. Mohd Hisyam Rasidia, Nurzuliza Jamirsahb, Ismail Saidc. Urban Green Space Design Affects Urban Residents' Social Interaction // Procedia – Social and Behavioral Sciences. 2012. V. 68. P. 464–480.
16. Mougiakou Eleni, Photis Yorgos N. Urban green space network evaluation and planning: optimizing accessibility based on connectivity and raster GIS analysis // European Journal of Geography. 2014. V. 5. November. P. 19–46.

REFERENCES

1. Alyoshin R., Spivak I., Davydenko E., Kulikov V. Development and introduction of GIS of registered green plantations. SAPR i grafika. 2014. No 3. P. 18–20 (in Russian).
2. Baymaganbetova G.A., Golubeva Ye.I. Satellite images for mapping and monitoring the state of the green framework in Astana city. InterCarto/InterGIS 22. Proceedings of the International conference "InterCarto/InterGIS". T. 1. M.: Izdatel'skiy dom "Nauchnaya biblioteka", 2016. P. 370–379. DOI: 10.24057/2414-9179-2016-1-22-370-380 (in Russian).
3. Gruzdev G.S., Dorozhkina L.A., Petrichenko S.A. Protection of green spaces in cities: a guide. M., 1990. 544 p. (in Russian).
4. Jwan Al-doski, Shattri. B Mansor, Helmi Zulhaidi Mohd Shafri. NDVI differencing and post-classification to detect vegetation changes in Halabja city, Iraq. Journal of Applied Geology and Geophysics (IOSR-JAGG). 2013. V. 1, No 2. P. 1–10.
5. Kavajyas F., Ramos Yu., Boje A. Inventory of urban green spaces and their monitoring using WorldView-2 data. Geomatica. 2011. No 3. P. 67–73 (in Russian).
6. Kryuchkov A.N. Monitoring of the state of urban green spaces as part of effective management of green economy of Tolyatti city. Izvestiya Samarskogo nauchnogo centra RAN. 2015. T. 11 (27), No 1(6). P. 1170–1173 (in Russian).
7. Kulakova S.A. Assessment of the state of green spaces of the city. Vestnik PGU. 2012. No 4(23). P. 59–66 (in Russian).
8. Lillesand T.M., Kiefer R.W., Chipman, J.W. Remote Sensing and Image Interpretation. Fifth Edition. New Jersey: John Wiley and Sons, 2004. 804 p.

9. *Martin Mwirigi M'Ikiugu, Isami Kinoshita, Yoritaka Tashiro*. Urban Green Space Analysis and Identification of its Potential Expansion Areas. *Procedia – Social and Behavioral Sciences*. 2012. V. 35. P. 449–458.
10. *Meera Gandhi G., Parthiban S., Nagaraj Thummalu, Christy A.* NDVI: vegetation change detection using remote sensing and GIS – A case study of vellore district. *Procedia Computer Science*. 2015. V. 57. P. 1199–1210.
11. *Mohd Hisyam Rasidia, Nurzuliza Jamirsahb, Ismail Saide*. Urban Green Space Design Affects Urban Residents' Social Interaction. *Procedia – Social and Behavioral Sciences*. 2012. V. 68. P. 464–480.
12. *Morozova G.Yu.* Monitoring of urban environment: the structure of plant populations. *Izvestiya Samarskogo nauchnogo centra RAN*. 2009. T. 11 (27), No 1(6). P. 1170–1173 (in Russian).
13. *Morozova G.Yu., Gluhov V.A., Baburin A.A.* Geoinformation system «Green plantings of the city of Khabarovsk». *Izvestiya Samarskogo nauchnogo centra RAN*. 2011. V. 13, No 1(6). P. 1367–1370 (in Russian).
14. *Mougiakou Eleni, Photis Yorgos N.* Urban green space network evaluation and planning: optimizing accessibility based on connectivity and raster GIS analysis. *European Journal of Geography*. 2014. V. 5. November. P. 19–46.
15. *Pogorelov A.V., Lipilin D.A.* Green spaces of the city of Krasnodar. Assessment and long-term changes. *Vestnik PNIPU. Applied ecology. Urbanistics*. 2017. No 3 (27). P. 192–205. DOI: 10.15593/2409-5125/2017.03.15 (in Russian).
16. *Pogorelov A.V., Lipilin D.A., Lubencova A.A.* Assessment of long-term changes in the greenery of the city of Krasnodar according to satellite images. *Regional Geographical Research. Sbornik nauchnyh trudov. Krasnodar*. 2017. V. 1(11). P. 119–137 (in Russian).