

Е.А. Васильева¹, О.Н. Николаева², Л.К. Трубина³

ОПЫТ ПОДЕРЕВНОЙ ИНВЕНТАРИЗАЦИИ И КАРТОГРАФИРОВАНИЯ ГОРОДСКИХ ЗЕЛЕННЫХ НАСАЖДЕНИЙ ОБЩЕГО ПОЛЬЗОВАНИЯ

АННОТАЦИЯ

В статье излагаются результаты исследований в области экологической оценки и картографирования состояния высокоствольной городской растительности. Городские зеленые насаждения подвергаются постоянному и интенсивному антропогенному воздействию, что обуславливает необходимость оперативного и тщательного мониторинга и контроля их состояния. Однако действующая методика инвентаризации городских зеленых насаждений давно устарела методологически и не учитывает современные возможности дистанционного зондирования Земли и ГИС-технологий в области получения сведений о природных объектах. В статье обосновывается новый подход, заключающийся в использовании свободно распространяемых материалов зондирования Земли для получения сведений о местоположении и основных экологических характеристиках деревьев, являющихся частью городского озеленения. Представлена принципиальная схема инвентаризации городских зеленых насаждений с применением материалов дистанционного зондирования Земли. Сформулированы требования к системе условных обозначений, используемых на цифровых картах городских зеленых насаждений. Приведены условные обозначения, разработанные с учетом существующей системы условных обозначений для крупномасштабных топографических карт. Отмечены достоинства и недостатки разработанной системы, и внесенные в нее коррективы. Представлены фрагменты созданных цифровых карт городских зеленых насаждений. Первоначально объектом картографирования являлось озеленение одной из магистралей города Новосибирска, затем озеленение улиц центральной части г. Якутска, и наконец, один из скверов г. Новосибирска. В ходе исследований для высокоствольных зеленых насаждений были определены их пространственное положение и основные виды нарушения их состояния (наличие многоствольности, сухостоев, поврежденных крон и пр.). Результаты показали состоятельность предложенного подхода для оперативной экологической оценки и картографирования линейных зеленых насаждений. При изучении и картографировании площадных городских насаждений целесообразно предусматривать дополнительное обследование в виде съемки территории с помощью беспилотных летательных аппаратов в местах загущенной высокоствольной растительности. Таким образом, предлагаемый подход сводит к минимуму полевые обследования территории, чем значительно экономит время и затраты на инвентаризацию городских зеленых насаждений.

¹ Сибирский государственный университет геосистем и технологий, ул. Плахотного, д. 10, 630108, Новосибирск, Россия; *e-mail*: biomars217@gmail.com

² Российский государственный аграрный университет – МСХА им. К.А. Тимирязева, Институт мелиорации, водного хозяйства и строительства имени А. Н. Костякова, ул. Прянишникова, д. 19, 127550, Москва, Россия, Сибирский государственный университет геосистем и технологий, ул. Плахотного, д. 10, 630108, Новосибирск, Россия; *e-mail*: onixx76@mail.ru

³ Сибирский государственный университет геосистем и технологий, ул. Плахотного, д. 10, 630108, Новосибирск, Россия; *e-mail*: trubinalk@rambler.ru

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: городские зеленые насаждения, городское озеленение, инвентаризация, экологическая оценка объектов озеленения, картографирование, цифровые карты, карты зеленых насаждений, условные обозначения, данные дистанционного зондирования, ГИС, геоинформационное картографирование.

Ekaterina A. Vasilieva¹, Olga N. Nikolaeva², Lyudmila K. Trubina³

A CASE-STUDY OF TREE INVENTORY AND MAPPING OF PUBLIC GREEN SPACES

ABSTRACT

The article presents the results of research in the field of mapping the ecological state of city trees. Public green spaces are subject to constant and intense anthropogenic impact, which necessitates prompt and thorough monitoring and control of their state. However, the current methodology for the inventory of public green spaces is methodologically outdated long ago and does not take into account the modern techniques of remote sensing and GIS technologies in the field of obtaining information about natural objects. The article substantiates a new approach, which consists in using freely distributed remote sensing data to obtain information about the location and main ecological characteristics of trees that are part of urban public greening. A schematic diagram of the inventory of public green spaces using Earth remote sensing materials is presented. Requirements for map symbols used on digital maps of public green spaces are formulated. The symbols developed taking into account the existing system of symbols for large-scale topographic maps are given. The advantages and disadvantages of the developed system, and the corrections made to it, are noted. Fragments of created digital maps of public green spaces are presented. The landscaping of streets and highways in Novosibirsk and Yakutsk and a park in Novosibirsk were assessed and mapped. The spatial position of city trees and the main types of disturbance in their condition (the presence of multi-stems, dead stems and branches, damaged crowns, etc.) were determined. The results showed the consistency of the proposed approach for operational environmental assessment and mapping of linear green spaces. When studying and mapping areal urban plantings, it is advisable to provide for an additional survey with the help of unmanned aerial vehicles to control thickened tall vegetation. Thus, the proposed approach minimizes field surveys of the territory, which significantly saves time and costs for an inventory of public green spaces.

KEYWORDS: public green spaces, greening, inventory, assessment of tree condition, mapping, digital maps, green spaces maps, map symbols, remote sensing data, GIS, geospatial mapping.

¹ Siberian State University of Geosystems and Technologies, Department of Ecology and Natural Resources Management, 10, Plakhotnogo St., Novosibirsk, 630108, Russia, *e-mail*: biomars217@gmail.com

² Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy, Institute of Amelioration, water management and construction named after A.N. Kostyakov, Department of Environmental Safety and Natural Resources Management, 19, Pryanishnikova St., Moscow, 127550, Russia;

Siberian State University of Geosystems and Technologies, Department of Ecology and Natural Resources Management, 10, Plakhotnogo St., Novosibirsk, 630108, Russia, *e-mail*: onixx76@mail.ru

³ Siberian State University of Geosystems and Technologies, Department of Ecology and Natural Resources Management, 10, Plakhotnogo St., Novosibirsk, 630108, Russia, *e-mail* trubinalk@rambler.ru

ВВЕДЕНИЕ

Городские зеленые насаждения (ГЗН) являются неотъемлемой частью урбоценоза и выполняют обширный ряд экологических функций, от снижения уровня загрязнения атмосферы и до повышения эстетичности городской среды. При этом они подвергаются значительному антропогенному прессингу, обусловленному хозяйственной и рекреационной активностью городского населения [Николаева, 2019]. Для компенсации экологического ущерба, причиняемого ГЗН, необходимо регулярное планирование и проведения мероприятий по уходу и восстановлению, что требует обеспечения соответствующих органов управления городским хозяйством оперативной, регулярно собираемой и обновляемой информацией о современном состоянии ГЗН с детальностью вплоть до отдельного дерева. Однако действующая методика инвентаризации ГЗН характеризуется крайней методологической и технической отсталостью и предусматривает обследование ГЗН 1 раз в 5 лет; подеревная же инвентаризация предусмотрена только для городских парков и скверов¹. Всё это, в сочетании с неблагоприятными экономическими факторами (недостаточное финансирование, недоукомплектованность кадрами) приводит к тому, что основные усилия по поддержанию городского озеленения в оптимальном состоянии концентрируются на ГЗН, официально выделенных в генплане как городские сады, парки, скверы и бульвары, а также на уличном озеленении (с акцентом на магистральные улицы). Но в условиях постоянно уплотняющейся городской застройки важное экологическое значение приобретает любой участок местности, занятый высокоствольной растительностью, включая внутриквартальное озеленение, состоянию которого уделяется особенно малое внимание, и уходovo-восстановительные мероприятия для них проводятся в основном по заявкам местных жителей или жилищно-эксплуатационных организаций.

Таким образом, складывается ситуация, в которой городские органы зеленого хозяйства не владеют целостным представлением о состоянии ГЗН всех категорий. Недобеспеченность информацией делает невозможным системное решение проблем городского озеленения и ограничивает управляющую деятельность в этой сфере проведением точечных мероприятий, направленных на ликвидацию конкретных (зачастую – произвольно выбранных) локальных проблем.

Между тем, современные технологии дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) и геоинформационного картографирования предлагают обширные возможности по получению и визуализации детальных характеристик любого объекта на земной поверхности, в том числе и высокоствольной растительности. Далее в статье будет описан опыт подеревной инвентаризации, экологической оценки и картографирования состояния ГЗН.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Основной проблемой при проведении подеревной инвентаризации ГЗН традиционным способом полевых обследований, который предлагается в действующей Методике⁷, являются высокие затраты труда и времени. Поэтому было решено использовать в качестве исходного источника свободно распространяемые материалы дистанционного зондирования Земли. Проведенные исследования показали [Муллаярова, 2018; Николаева, 2019], что их пространственное разрешение и периодичность обновления достаточны, чтобы получить сведения о ряде характеристик каждого дерева (положение на местности, высота, вид растительности – хвойная или лиственная). Для

¹ Методика инвентаризации городских зеленых насаждений. МинСтрой РФ. М., 1997 г. Электронный ресурс: <http://www.opengost.ru/iso/3087-metodika-inventarizacii-gorodskih-zelenyh-nasazhdeniy.html> (дата обращения 10.03.2019)

уточнения сведений о состоянии дерева (кривизна ствола, сухостойность) использовались материалы панорамной уличной фотосъемки. При обследовании ряда внутриквартальных территорий с плотно сомкнутой высокоствольной растительностью проводилось полевое обследование, однако его объемы и сроки были значительно сокращены по сравнению с традиционным подходом к подеревной инвентаризации ГЗН. При наличии технической и финансовой возможностей полевое обследование может быть заменено воздушным лазерным сканированием, выполненным с борта беспилотного летательного аппарата [Хлебникова, 2018]. Принципиальная схема подеревной инвентаризации ГЗН с применением материалов ДЗЗ представлена на рисунке 1 [Николаева, 2019].



Рис. 1. Принципиальная схема инвентаризации городских зеленых насаждений с применением материалов дистанционного зондирования Земли

Fig. 1. Schematic diagram of the inventory of urban green spaces using remote sensing data

В инвентаризации и оценке состояния ГЗН важное место занимает картографическая визуализация. Цифровые карты используются как для отображения промежуточных результатов дешифрирования, так и для показа результатов оценки состояния ГЗН. В последнем случае карты выступают как рабочий документ для специалистов в области управления городским земельным хозяйством, что ставит вопрос

о наглядности оформления и удобстве их использования людьми, не имеющими специальной картографической подготовки. Была предпринята попытка разработать систему условных обозначений, которая опиралась бы на официально принятый перечень условных знаков, используемых для показа растительности на крупномасштабных топографических картах и планах. Это позволило бы обеспечить преемственность цифровых карт городского озеленения и других топографических материалов, создаваемых на территорию населенных пунктов.

К проектируемой системе условных обозначений предъявлялись следующие дополнительные требования:

- необходимость указать на карте конкретную породу древесной растительности. Для этого условные обозначения были сопровождаемы буквенными индексами, указывавшими сокращенное название породы в соответствии с действующими нормативными документами лесного хозяйства¹;
- необходимость особо выделить на карте деревья, относящиеся к породам, не рекомендованным к использованию в городском озеленении из-за аллергенности или короткого срока жизни (тополь душистый, береза бородавчатая, клен американский [ясенелистный]). Для выполнения этого требования использовались цветовые различия условных знаков.

На рисунке 2 представлены условные обозначения, которые были разработаны для ряда древесных пород, наиболее часто встречающихся на улицах г. Новосибирска.

Береза бородавчатая		Б(б)
Береза повислая		Б(пов)
Вяз гладкий		В
Клен американский		К(а)
Рябина		Р
Тополь бальзамический		Т(душ)
Яблоня		Яб
Ясень		Я

Рис. 2. Условные обозначения пород древесной растительности на цифровых картах озеленения

Fig.2. Symbols of tree species on digital green spaces maps

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Первоначальная апробация разработанных теоретических и методических положений выполнялась на примере ГЗН, расположенных вдоль ул. Титова, которая является одной из основных транспортных магистралей г. Новосибирска и имеет протяженность в

¹ Инструкция о порядке создания и размножения лесных карт. Электронный ресурс: http://www.libussr.ru/doc_ussr/usr_13663.htm (дата обращения 10.03.2021)

4,5 км. Исследуемые ГЗН в соответствии с действующим ГОСТ относятся к категории озелененных территорий специального назначения, и представляют собой линейную обсадку городской улицы высокоствольной растительностью, которая постоянно подвергается отрицательному антропогенному воздействию, обусловленному влиянием автомобильного транспорта и местного населения.

Предварительно выполненное дешифрирование свободно распространяемых аэрокосмических материалов позволило определить точную локацию каждого отдельного дерева в пределах уличной обсадки и сформировать цифровую карту данной ГЗН. Ее фрагмент представлен на рис. 3.

Далее с использованием материалов панорамной уличной съемки, которые также являются свободно распространяемыми, были оценены основные показатели состояния деревьев (наличие многоствольности, сухих ветвей, деформированных крон и пр.) и по разработанной авторами формуле рассчитан индекс экологического состояния каждого дерева. Достоверность камерально определенных сведений была верифицирована посредством выборочных полевых обследований.



Рис. 3. Фрагмент цифровой карты зеленых насаждений специального назначения на участок улицы Титова

Fig. 3. Fragment of a digital green space map for a section of Titova Street

В ходе создания и оформления цифровой карты ГЗН было установлено, что использование ранее разработанных условных обозначений для отдельных деревьев требует внесения изменений в исходную конфигурацию используемой ГИС. Кроме того, специалистами Новосибирского Горзеленхоза были отмечены неудобства при зрительном восприятии условных знаков, обусловленные их сложной формой и различием в локализации (по центру условного знака либо у основания условного знака). Эти замечания были учтены при создании цифровой карты экологической оценки состояния объектов озеленения, где были применены условные знаки из стандартных библиотек и с точкой локализации в центре условного знака (см. рис. 4).



Рис. 4. Фрагмент цифровой карты состояния зеленых насаждений специального назначения (ул. Титова, Ленинский район г. Новосибирска)

Fig. 4. Fragment of a digital ecological map of urban green verges (Titova St., Leninsky district of Novosibirsk)

В целом по результатам первичной апробации был сделан вывод о пригодности используемого подхода для инвентаризации, экологической оценки и оперативного картографирования рядовых посадок ГЗН.

Для дальнейших экспериментов в качестве объекта исследования была выбрана центральная часть г. Якутска. Якутск находится в зоне резко континентального климата, характеризующегося крайне суровой зимой и коротким прохладным летом. Такие условия негативно сказываются на состоянии объектов городского озеленения. Обеспеченность населения Якутска зелеными насаждениями составляет лишь $0,4 \text{ м}^2/\text{чел}$ при норме в $12 \text{ м}^2/\text{чел}$ [Григорьева, 2019]. В таких условиях значительно повышается экологическая роль каждого участка ГЗН.

В ходе исследований был создан ряд цифровых слоев на центральную часть г. Якутска, ограниченную проспектом Ленина и улицами Орджоникидзе, Аммосова, Кирова и

Октябрьская. Далее были выполнены инвентаризация и экологическая оценка состояния деревьев уличной обсадки в соответствии с разработанной методикой. Используемая система условных обозначений и пояснительных подписей была доработана следующим образом:

- использованы простые, хорошо читаемые геометрические условные знаки с четкой локализацией;
- введена система буквенных индексов для указания породы дерева;
- учтена необходимость различия на карте саженцев и взрослых деревьев. Индекс саженца начинается со строчной буквы, индекс взрослого дерева – с заглавной.

Полученные результаты представлены на рисунке 5.

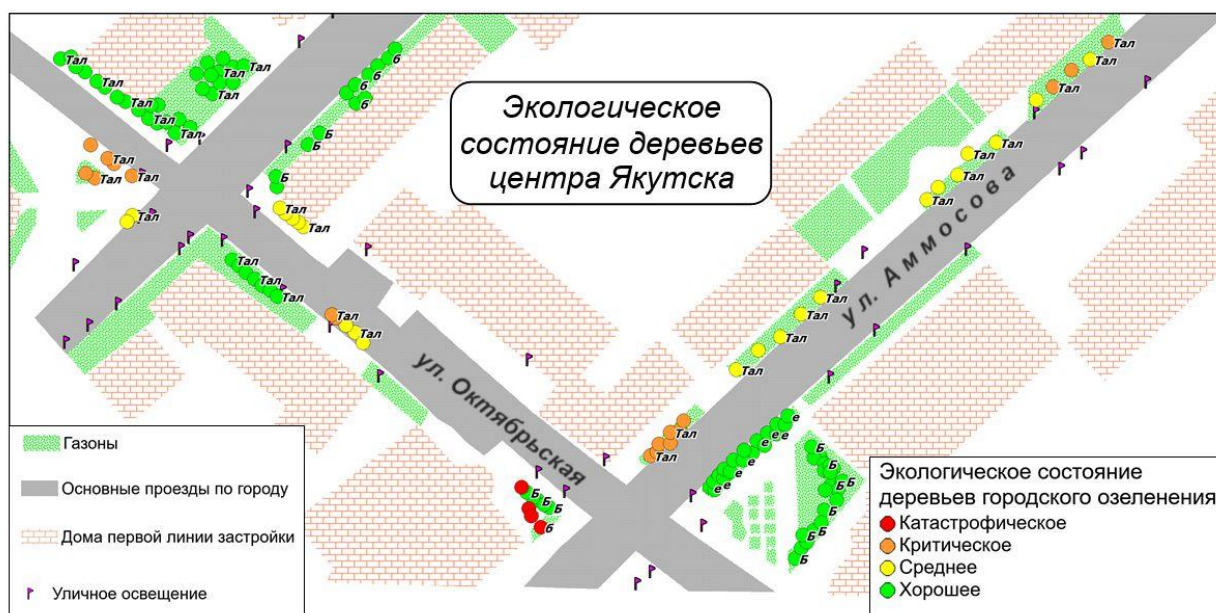


Рис. 5. Фрагмент цифровой карты состояния зеленых насаждений специального назначения (центральная часть г. Якутска)

Fig. 5. Fragment of a digital ecological map of urban green verges (center of Yakutsk)

Созданная карта позволила выявить участки городских улиц, деревья вдоль которых нуждаются в проведении уходовых мероприятий. Также карта выносит на передний план основные проблемы уличного озеленения Якутска: обилие ивы (тальника), используемой как объект озеленения, хотя она постоянно требует уходовых мероприятий из-за быстрого разрастания, а ее пыльца является источником аллергенов; большое количество погибших или погибающих саженцев; скудность породного состава городского озеленения (в основном это ива, береза и ель). Трудозатраты на создание карты составили порядка 60 часов, а затраты на проведение работ исключили такую важную статью расходов, как приобретение материалов дистанционного зондирования и проведение полномасштабных полевых работ. Использование же свободно распространяемого ГИС-обеспечения (например, QGIS), позволит избежать затрат на приобретение программного обеспечения. Таким образом, основные расходы сводятся к оплате труда квалифицированного персонала, владеющего навыками работы в ГИС и имеющего специальную профессиональную подготовку в области экологии.

Новейшая стадия экспериментальных работ состоит в доработке и апробации разработанной методики применительно к оценке ГЗН, имеющих не линейную, а площадную конфигурацию.

В качестве района работ выбран участок сквер вдоль аллеи Молодежная на ул. Вертовской, Новосибирск, для которого характерно сочетание рядовой и групповой форм посадки деревьев (см. рис. 6; границы сквера показаны красным цветом).

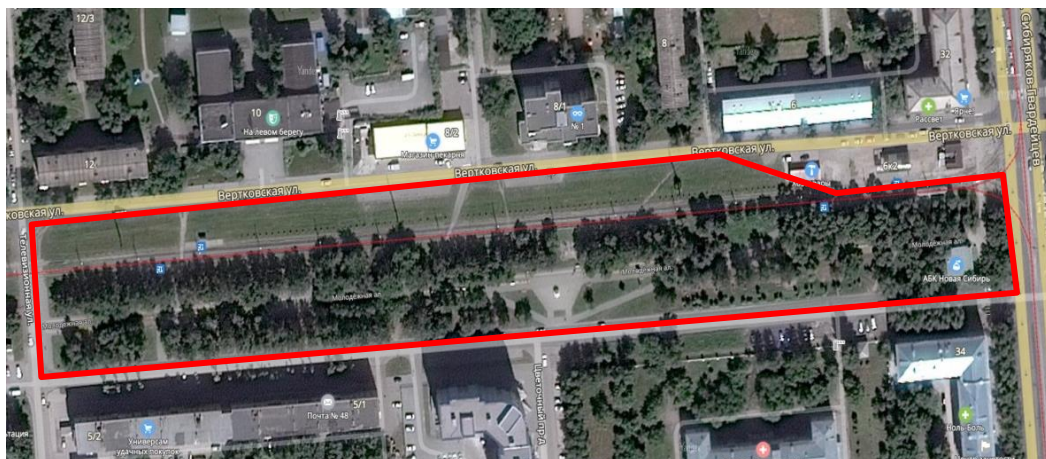


Рис. 6. Сквер вдоль аллеи Молодежная, ул. Вертовского, г. Новосибирск (свободно распространяемые материалы дистанционного зондирования Яндекс.Космоснимки)

Fig. 6. Square along the Molodezhnaya alley, st. Vertkovsky, Novosibirsk (freely distributed remote sensing data, Yandex.Kosmosnimki)

Использование разработанной методики позволило объективно и оперативно нанести на карту значительную часть (порядка 75 %) деревьев, произрастающих на территории сквера. Однако при дешифрировании плотно сомкнутых и удаленных от дорог групп растительности возникли закономерные затруднения, которые были устранены в ходе полевых обследований. Следует отметить, что объем этих обследований был сокращен практически в 4 раза относительно традиционной методики инвентаризации ГЗН, предусматривающей сплошное полевое обследование местности. Результаты выполненных исследований представлены на рисунке 7.

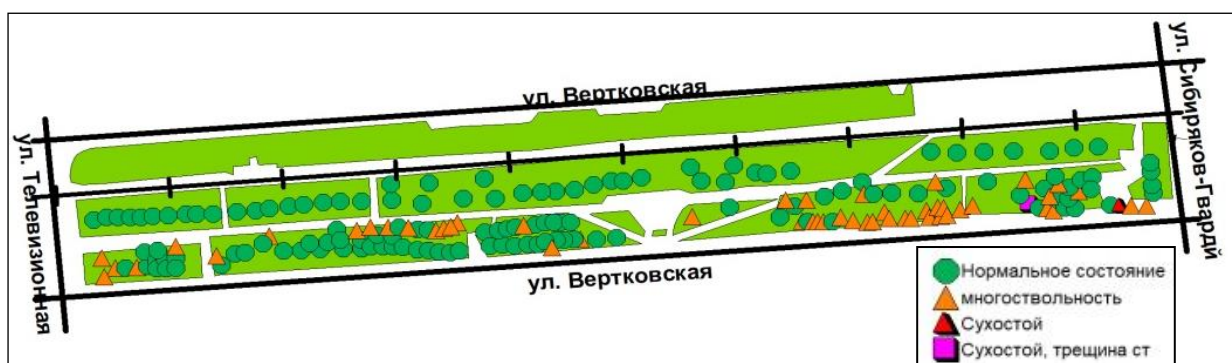


Рис. 7. Фрагмент цифровой карты состояния зеленых насаждений сквера Молодежной аллеи, г. Новосибирск

Fig. 7. Fragment of a digital ecological map of the Molodezhnaya Alley public garden, Novosibirsk

Система условных обозначений была вновь откорректирована с тем, чтобы особо выделить деревья, характеризующиеся нарушениями (многоствольностью, наличием сухостоя, растрескиванием ствола).

Выполненные исследования позволили наметить следующие направления перспективных исследований:

- повышение информативности исходных данных о ГЗН путем интеграции в рабочий процесс дополнительно получаемых материалов воздушного лазерного сканирования для участков с плотно сомкнутой высокоствольной растительностью;
- совершенствование системы условных обозначений с целью возможно более полного отображения на карте ботанических и экологических характеристик объектов озеленения;
- разработка процедур и инструментария для оперативного выявления типичных нарушений в области управления ГЗН (конфликта объектов озеленения и объектов городской застройки и инфраструктуры, автоматизированное определение объемов и затрат на проведение мероприятий по уходу за ГЗН, и т. п.).

ВЫВОДЫ

Современные поставщики данных дистанционного зондирования предоставляют достаточно обширные объемы аэрокосмических снимков в свободное распространение на соответствующих сервисах в Интернете (из наиболее известных – Яндекс.Космоснимки и Google Maps). Данные материалы являются бесплатными при условии их некоммерческого использования, что позволяет рассматривать их как регулярно обновляемый источник данных о различных категориях объектов окружающей среды, в том числе – о городских зеленых насаждениях (ГЗН), пространственная конфигурация которых тяготеет к линейным. Оперативная обработка и анализ таких материалов в ГИС-среде в комплексе с использованием данных панорамной уличной съемки, которые также являются свободно распространяемыми, позволяет значительно снизить временные и ресурсные затраты на проведение подеревной инвентаризации ГЗН, упростить и ускорить процесс экологической оценки их состояния и, в конечном счете, повысить эффективность управления ГЗН. Для анализа и оценки состояния ГЗН, характеризующихся плотной сомкнутостью высокоствольной растительности на значительных площадях, целесообразно использовать при возможности материалы воздушного лазерного сканирования, а также специально получаемые на данную территорию аэрофотоснимки посредством беспилотных летательных аппаратов, являющихся наиболее экономичным и доступным видом аэрофотосъемки в городских условиях. Картографические материалы, получаемые в результате подеревной инвентаризации и экологической оценки состояния ГЗН, представляют интерес не только для специалистов в области управления городским озеленением, но и широкому кругу пользователей, неравнодушных к качеству их среды обитания, и могут быть обнародованы в Интернете для привлечения внимания и ресурсов общественности к решениям проблем городского озеленения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Григорьева С.А., Глухая С.Е. Применение современных методов озеленения на примере Якутского городского парка. Наука, техника и образование, 2019. № 5 (58). С. 106–109.
2. Муллаярова П.И. О модернизации существующей методики инвентаризации зеленых насаждений с учетом современных достижений аэрокосмических исследований и ГИС-технологий. Вестник СГУГиТ, 2018. Т. 23. № 1. С. 132–142.

3. Николаева О.Н., Трубина Л.К., Васильева Е.А. Геоинформационное моделирование озелененных территорий специального назначения. Сборник материалов международного научного конгресса «Интерэкспо Гео-Сибирь». 2019. Т. 4. № 2. С. 47–55. DOI: 10.33764/ 2618-981X-2019-4-2-47-55.
4. Хлебникова Т.А., Опритова О.А. Экспериментальные исследования точности построения плотной цифровой модели по материалам беспилотной авиационной системы. Вестник СГУГиТ, 2018. Т. 23. № 2. С. 119–129.

REFERENCES

1. Grigorieva S.A., Tlustaya S.E. Application of modern methods of gardening on the example of the Yakut city park. Science, technology and education, 2019. No 5 (58). P. 106–109 (in Russian).
 2. Mullayarova P.I. On the modernization of the existing methodology for the inventory of green spaces, taking into account the modern achievements of aerospace research and GIS technologies. Bulletin of SGUGiT, 2018. V. 23. No 1. P. 132–142 (in Russian).
 3. Nikolaeva O.N., Trubina L.K., Vasilyeva E.A. Geoinformation modeling of green areas for special purposes. Collection of materials of the international scientific congress «Interexpo Geo-Siberia», 2019. V. 4. No 2. P. 47–55. DOI: 10.33764 / 2618-981X-2019-4-2-47-55 (in Russian).
 4. Khlebnikova T.A., Opritova O.A. Experimental studies of the accuracy of constructing a dense digital model based on the materials of an unmanned aircraft system. Bulletin of SGUGiT, 2018. V. 23. No 2. P. 119–129 (in Russian).
-