

ДИСТАНЦИОННОЕ ЗОНДИРОВАНИЕ ЗЕМЛИ, ФОТОГРАММЕТРИЯ

УДК 528.8:(712.4:625.77)

DOI 10.33764/2411-1759-2025-30-5-24-32

Опыт использования материалов дистанционного зондирования Земли для оценки обеспеченности городской территории зелеными насаждениями

Т. А. Хлебникова^{1✉}, Л. К. Трубина¹

¹ Сибирский государственный университет геосистем и технологий,
г. Новосибирск, Российская Федерация

e-mail: t.a.hlebnikova51@gmail.com

Аннотация. В настоящее время повышается интенсивность процессов урбанизации территорий. Проблема обеспеченности городских территорий зелеными насаждениями становится чрезвычайно важной, так как они способствуют снижению уровня загрязнения атмосферного воздуха, повышению уровня комфортности проживания. Использование материалов дистанционного зондирования Земли обеспечивает получение актуальной пространственно распределенной информации об объектах зеленых насаждений на городской территории и возможность инвентаризации городских зеленых насаждений. В статье рассмотрены результаты исследований отдельных этапов комплекса работ по оценке зеленых насаждений городской территории на примере анализа территории Октябрьского района г. Новосибирска. Исследования выполнялись с использованием материалов дистанционного зондирования Земли – разновременных космических снимков со спутников съемочной системы WorldView-4 средствами отечественного «Комплекса программ автоматизированного дешифрирования и векторизации» (ГИС Панорама). Результаты экспериментальных исследований показали возможность реализации такого подхода для мониторинга городских зеленых насаждений.

Ключевые слова: город, зеленые насаждения, материалы дистанционного зондирования, автоматизированное дешифрирование, геоинформационные системы

Для цитирования:

Хлебникова Т. А., Трубина Л. К. Опыт использования материалов дистанционного зондирования Земли для оценки обеспеченности городской территории зелеными насаждениями // Вестник СГУГиТ. – 2025. – Т. 30, № 5. – С. 24–32. – DOI 10.33764/2411-1759-2025-30-5-24-32

Введение

В современных условиях с усилением интенсивности процессов урбанизации территорий проблема обеспеченности городских территорий зелеными насаждениями становится чрезвычайно важной, поскольку они реализуют ряд экологических функций, включая снижение уровня загрязнения атмосферного воздуха. Инвентаризация городских зеленых

насаждений (ГЗН) может осуществляться разными методами. На сегодняшний день по оперативности и эффективности на первый план выходят методы, основанные на использовании материалов дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ).

Анализ материалов ДЗЗ средствами геоинформационных технологий позволяет получать пространственную информацию о распределении зеленых насаждений на городской

территории, создавать тематические карты обеспеченности зелеными насаждениями конкретной структурной единицы города, например, района, оценивать соответствие нормативным требованиям, доступность их населению и решать другие задачи [1].

ГЗН классифицируют по их назначению. Территории, предназначенные для отдыха населения, согласно классификации, относят к территориям общего пользования. Они характеризуются значительными размерами и обилием древесной растительности. В отличие от них жилые кварталы, а также территории лечебных, детских учреждений являются категориями ограниченного пользования и отличаются меньшими по сравнению с вышеуказанной категорией размерами и составом насаждений. Территории промышленных предприятий, включая санитарно-защитные зоны, выделяют в категорию специального назначения. Все указанные зеленые зоны подвержены негативному воздействию различных антропогенных факторов. Учитывая особенности каждой категории для их оценки, формируется индивидуальный набор характеристик, которые могут определяться разными методами, в том числе с использованием материалов дистанционного зондирования Земли [2].

Поскольку материалы ДЗЗ отличаются большим разнообразием, то для исследования той или иной категории зеленых насаждений могут быть выбраны оптимальные с точки зрения разрешения и других параметров снимки. Методы их обработки также могут варьироваться.

Для анализа растительности успешно используются значения вегетационных индексов, вычисляемых на основе сравнения изображений, полученных в разных спектральных диапазонах. В частности, такой подход применяется для оценки ряда характеристик древесных насаждений, занимающих достаточно большую площадь, например, городских лесов или крупных парков, которые изучают по космическим снимкам на основе спектральных индексов [3–5].

Другим решением для исследования таких территорий может быть анализ зеленых насаждений на основе автоматизированного дешифрирования космических изображений,

что позволяет выявить разные типы растительности, в частности, деревья, отделив их от антропогенных объектов. Сочетание результатов обработки данных ДЗЗ с наземными наблюдениями позволит получать дополнительную информацию о видовом составе и состоянии деревьев [6].

Анализ научной литературы показал, что для исследований зеленых насаждений используется преимущественно зарубежное программное обеспечение [7–12]. Поэтому целью данных исследований ставилась задача разработки методики автоматизированного дешифрирования городских территорий, занятых зелеными насаждениями, средствами отечественного программного обеспечения «Комплекса программ автоматизированного дешифрирования и векторизации», который является дополнительным модулем к профессиональной ГИС Панорама [13].

В качестве тестового объекта анализировалась территория Октябрьского района города Новосибирска, на которой определялись границы зеленых насаждений в условиях городской застройки. Для этой цели использовались материалы дистанционного зондирования Земли – разновременные космические снимки со спутников съемочной системы системы WorldView-4 [14].

Методы и материалы

Для исследований в качестве исходных данных использованы фрагменты архивных снимков (далее – снимки) с площадью покрытия порядка 15 км² оптико-электронной многоспектральной съемки спутника WorldView-4 (рис. 1, 2). В номерах фрагментов снимков указаны месяц и год съемки.

Технические характеристики аппаратуры спутника WorldView-1 [WV-1][WV-60], 2[WV-2] [WV-110], 3[WV-3][WV-110], 4[WV-4] [GeoEye] позволяют получать изображения местности в следующих каналах: PAN+RGB+NIR в панхроматическом режиме с разрешением от 0,3 до 0,5 м и в мультиспектральном (4 канала: синий, зеленый, красный и ближний ИК) с разрешением от 1,2 до 1,8 м [14].



а)

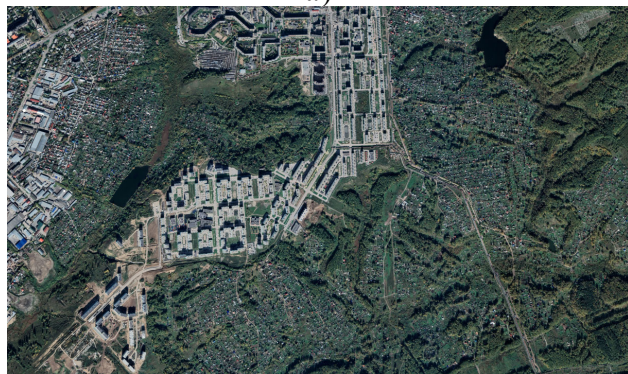


б)

Рис. 1. Фрагменты снимков:
а) 09-2006; б) 06-2010



а)



б)

Рис. 2. Фрагменты снимков:
а) 09-2005; б) 09-2020

В СГУГиТ для формирования у обучающихся профессиональных компетенций в области обработки пространственных данных более пятнадцати лет используется ГИС Панорама [13]. Выполнен ряд исследований средствами данной ГИС, которые опубликованы в научных статьях, например, в [15–20].

Комплекс автоматизированного дешифрирования и векторизации по данным ДЗЗ представляет собой дополнительный модуль профессиональной ГИС Панорама.

Методика выполнения работ включала следующие этапы:

- подготовительные работы;
- ориентирование фрагментов снимков с использованием координат и высот опорных точек;
- выполнение автоматизированного дешифрирования и векторизации снимка;
- экспорт векторного плана в ГИС Панорама;
- интерпретация результатов автоматизированного дешифрирования, векторизация (пропущенных) границ контуров лесной растительности в ручном режиме;
- анализ полученных результатов (степень озелененности исследуемой городской территории или анализ изменений площадей зеленых насаждений при наличии разновременных снимков).

Предварительная обработка космических изображений проводилась с использованием стандартных функций соответствующего программного обеспечения (IMAGINE OrthoBase, фирма ERDAS, Inc., США).

«Программный комплекс автоматизированного дешифрирования и векторизации (далее – «Комплекс Дешифрирования») предназначен для автоматической векторизации линейных и площадных объектов по панхроматическим, цветным и мультиспектральным изображениям земной поверхности» [21]. В документации комплекса указано, что «векторизация площадных объектов наиболее эффективна при распознавании площадных объектов гидрографии и растительности» [21].

Последовательность выполнения работ средствами программы «Комплекс Дешифрирования» площадных объектов леса включает [21]:

- создание рабочего проекта для каждого снимка (в проекте хранятся значения параметров распознавания, список выполненных этапов. Эти данные позволяют продолжать или начинать работу с любого этапа обработки);
 - анализ границ и поиск областей теней;
 - разработка классификации, векторизация площадей шаблонов для созданных классов;
 - настройка и ввод значений параметров и классификация;
 - удаление областей по заданному минимальному значению;
 - удаление участков теней;
 - эрозия малоконтрастных областей растрового изображения;
 - наращивание малоконтрастных областей растрового изображения;
 - сглаживание границ векторизованных объектов леса;
 - преобразование растрового изображения с результатами классификации в векторный план (карту);
 - сглаживание, фильтрация, удаление площадных объектов леса по заданному минимальному значению;
 - экспорт в форматы ГИС Панорама, SHP.
- Пример главного окна «Комплекса Дешифрирования» показан на рис. 3 с результатами выделения древесных насаждений (леса).

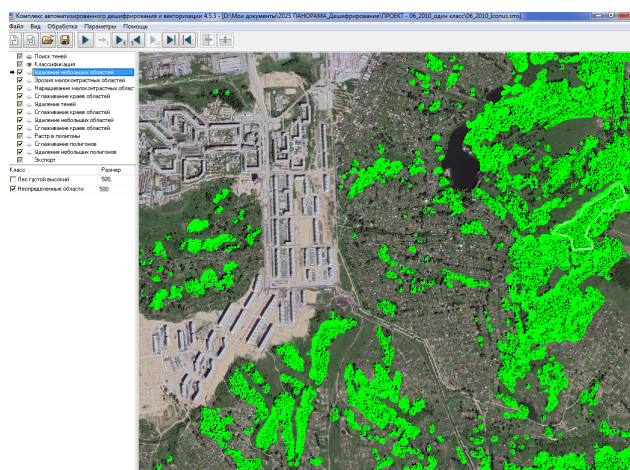


Рис. 3. Изображение главного окна программы и фрагмента снимка 09-2010 с результатами классификации участков леса (один класс леса)

Если выполняется обработка мультиспектрального снимка, то есть возможность

настройки каналов, по которым отображается снимок в правой части главного окна программы. Значения настроенных каналов необходимы при вычислении яркости пикселя (как среднее из красной, синей и зеленой составляющих цвета пикселя) на этапе поиска областей теней при распознавании объектов лесных насаждений.

Для выполнения автоматической векторизации лесных участков создаются классы (рис. 4), затем шаблоны – типичные области на снимке, принадлежащие распознаваемым объектам, в данных исследованиях – участкам леса. Пример шаблона приведен на рис. 5.

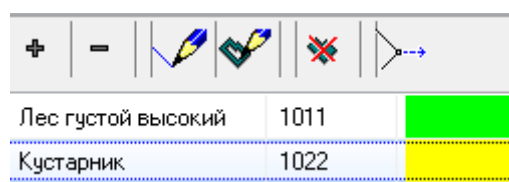


Рис. 4. Панель для векторизации шаблонов и пример таблицы классов



Рис. 5. Пример векторизации шаблонов (лес низкорослый)

Настройка параметров классификации (размер окна, уровень обобщения классификатора, допустимый процент темных пикселей окна, выбор дешифровочных признаков) выполняется с учетом рекомендаций технической документации «Комплекса Дешифрирования», а также эмпирическим путем.

Дешифровочные признаки в «Комплексе Дешифрирования» – статистические и текстурные характеристики, которые вычисляются по цвету пикселей спектрального канала, попадающих в границы окна сканирования при обработке изображения.

К статистическим характеристикам относятся следующие:

$$- \text{средний цвет } \mu = \frac{\sum I}{N}; \quad (1)$$

$$- \text{среднее квадратическое отклонение} \\ \sigma = \sqrt{\frac{\sum (I - \mu)^2}{N}}. \quad (2)$$

В формулах (1)–(2) использованы следующие обозначения:

I – цвет пикселя выбранного спектрального канала;

N – число пикселей в окне сканирования;

$\mu_{i,j}$ – среднее значение из элементов матрицы смежности, вычисленное по строкам и столбцам;

$\sigma_{i,j}$ – среднее квадратическое отклонение от среднего $\mu_{i,j}$, вычисленное по строкам и столбцам.

К текстурным характеристикам относятся: текстурная энергия, текстурная энтропия, текстурный контраст, текстурная неоднородность, текстурная однородность. Формулы определения текстурных характеристик приведены в [21].

Обсуждение и результаты

Достоверные результаты классификации с первого раза обработки получить практически невозможно, поэтому классы и шаблоны редактируются и добавляются итерационно. Организация проекта обработки в этом отношении удобна.

Интерфейс программы позволяет выполнять редактирование, добавление и удаление дешифровочных признаков по каналам. После завершения процесса классификации классифицированные объекты закрашиваются цветом созданных классов, например желтым – лес густой высокий, зеленым – лес низкорослый (рис. 6). Интерфейс программы позволяет ввести большое количество дешифровочных признаков. В этом случае увеличивается объем памяти для хранения многомерного массива распределения признаков.

Перед выполнением этапа удаления небольших областей указываются удаляемые классы и значение максимального размера в пикселях.

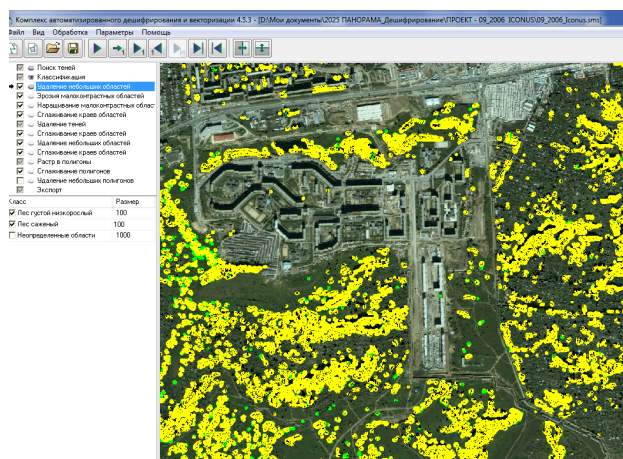


Рис. 6. Изображение фрагмента снимка 09-2006 с результатами классификации участков леса (два класса леса)

Выполнение опции «Эрозия и наращивание малококонтрастных областей» позволяет точнее определять границы между контрастными (лес) и малококонтрастными (луговая растительность) классами. Итерация «эрозия» осуществляет удаление крайних пикселей на границах областей малококонтрастных классов. Для выполнения этапа наращивания малококонтрастных областей для каждого малококонтрастного класса устанавливаются необходимые параметры, которые зависят от исходного изображения.

После сглаживания областей классифицированных объектов леса они преобразуются в векторные полигоны. Распознанные объекты леса сохраняются в форматах SIT, SXF, SHP. При включении соответствующего режима векторный план будет открыт в ГИС Панорама. Это позволяет определять как площади выбранных лесных участков, так и суммарную площадь всех участков на заданной территории.

Выполнение этапов эрозии и наращивания малококонтрастных областей (при различных параметрах) не привело к более достоверному распознаванию областей лесных участков.

Оптимальное число параметров классификации для задачи определения площадей лесных участков для выбранной тестовой территории города Новосибирска – не более двух.

Полученные результаты указывают на принципиальную возможность использования «Комплекса программ автоматизирован-

ного дешифрирования и векторизации» для определения границ зеленых зон на городской территории.

Заключение

Результаты экспериментальных исследований по применению «Комплекса программ автоматизированного дешифрирования и векторизации» для определения границ зеленых насаждений на территории города Новосибирска показали возможность реализации такого подхода для мониторинга ГЗН. Внедрение представленной методики, реализуемой на отечественном программном обеспечении, позволит повысить эффективность управле-

ния зелеными насаждениями за счет их учета дистанционным методом вместо наземного, что сокращает сроки проведения работ и уменьшает их объем. Дальнейшие исследования на эту тему будут посвящены оценке изменения (динамике) площадей зеленых насаждений за период 2006–2010 и 2020 гг. на выбранной территории города Новосибирска.

Благодарности

Авторы выражают благодарность доценту кафедры инженерной геодезии и маркшейдерского дела М. А. Алтынцеву за консультацию при подготовке данных ДЗЗ при выполнении исследований.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Васильева Е. А., Николаева О. Н., Трубина Л. К. Опыт подеревной инвентаризации и картографирования городских зеленых насаждений общего пользования // ИнтерКарто. Интер ГИС. – 2021. – Т. 27. – С. 274 – 284. – DOI 10.35595/2414-9179-2021-3-27-274-284.
2. Трубина Л. К., Лисакова О. А., Соколов Д. А. Комплексный мониторинг зеленых насаждений городских территорий // Интерэкспо ГЕО-Сибирь. XIX Международный научный конгресс, 17–19 мая 2023 г., Новосибирск : сборник материалов в 8 т. Т. 4 : Междунар. науч. конф. «Дистанционные методы зондирования Земли и фотограмметрия, мониторинг окружающей среды, геоэкология». – Новосибирск : СГУГиТ, 2023. – № 2. – С. 152–157.
3. Китаева А. А., Алексеев Д. К. Динамика зеленых насаждений города Кудрово (по данным дистанционного зондирования) // Экология. Экономика. Информатика. Сер. Геоинформационные технологии и космический мониторинг. – 2022. – Т. 2, № 7. – С. 43–46. – DOI 10.23885/2500-123X-2022-2-7-43-46.
4. Алексеев Д. К., Бабин А. В., Саргаева В. Ю. Динамика зеленых насаждений Санкт-Петербурга по данным дистанционного зондирования // Экология. Экономика. Информатика. Сер. Геоинформационные технологии и космический мониторинг, 2021. – Т. 2, № 6. – С. 38–41. – DOI 10.23885/2500-123X-2021-2-6-38-41.
5. Ковязин В. Ф., Пасько О. А., Борисова А. О., Нгуен Ч. А. Совершенствование метода инвентаризации земель рекреационных зон на примере парка Сосновка города Санкт-Петербург // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. – 2025. – Т. 336, № 4. – С. 169–178.
6. Трубина Л. К., Лисакова О. А., Хлебникова Т. А. Зеленая инфраструктура как инструмент устойчивого развития урбанизированных территорий // Вестник СГУГиТ. – Т. 28, № 5. – 2023. – С. 140–150. – DOI 10.33764/2411-1759-2023-28-5-140-150.
7. Cavayas, F., Ramos, Y., Boye A. Inventory of urban green spaces and their monitoring using WorldView-2 // Geomatics. – 2011. – No. 3. – P. 67–73.
8. Гук А. П., Евстратова Л. Г., Хлебникова Е. П., Арбузов С. А., Алтынцев М. А., Гордиенко А. С., Гук А. А., Симонов Д. П. Дешифровочные признаки изображений объектов на многоспектральных космических снимках. Разработка методик автоматизированного дешифрирования аэрокосмических снимков // Геодезия и картография. – 2013. – № 7. – С. 31–40.
9. Алтынцев М. А., Шляхова М. М. Исследование статистических свойств спектральных характеристик растительности. Непараметрический подход // Вестник СГУГиТ. – 2019. – Т. 24, № 4. – С. 58–69. – DOI 10.33764/2411-1759-2019-24-4-58-69.

10. Гордиенко А. С., Кулик Е. Н. Данные дистанционного зондирования Земли при оценке экологоэкономического ущерба от загрязнений окружающей среды нефтью // Вестник СГУГиТ. – 2021. – Т. 26, № 2. – С. 37–46. – DOI 10.33764/2411-1759-2021-26-2-37-46.
11. Гулиев А. Ш., Хлебникова Т. А. Исследование возможностей обработки радиолокационных и многозональных космических изображений подстилающей поверхности // Вестник СГУГиТ. – 2022. – Т. 27, № 2. – С. 102–114. – DOI 10.33764/2411-1759-2022-27-2-102-114.
12. Арбузов С. А., Хлебникова Е. П., Никитин В. Н. Автоматизированная идентификация и определение породного состава древесных растений по материалам цифровой многозональной аэросъемки лесных массивов // Вестник СГУГиТ. – 2020 – Т. 25, № 4. – С. 68–76. – DOI 10.33764/2411-1759-2020-25-4-68-76.
13. ГИС Панорама. Картография. Фотограмметрия. [Электронный ресурс]. – URL: https://gisinfo.ru/products/products_cartography.htm (дата обращения: 15.03.2025).
14. Техническая информация данных компании DigitalGlobe [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.digitalglobe.com/resources/technical-information> (дата обращения: 11.03.2025).
15. Журкин И. Г., Хлебникова Т. А. Результаты экспериментальных исследований технологии получения измерительной трехмерной видеосцены по материалам аэрокосмических съемок // Геодезия и картография. – 2010. – № 7. – С. 27–31.
16. Khlebnikova T. A. Research and technology development for construction of 3-D videoscenes // *Isprs Annals of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, Volume III-6, 2016 XXIII ISPRS Congress, 12–19 July 2016, Prague, Czech Republic.*
17. Хлебникова Т. А., Кулик Е. Н. Результаты экспериментальных исследований технологии получения измерительной трехмерной видеосцены по материалам аэрокосмических съемок // Вестник СГГА. – 2010. – Вып. 1 (12). – С. 74–82.
18. Журкин И. Г., Хлебникова Т. А. Цифровое моделирование измерительных трехмерных видеосцен : монография. – Новосибирск : СГГА, 2012. – 246 с.
19. Хлебникова Т. А., Трубина Л. К. Возможности использования трехмерных видеосцен в экологической оценке состояния городских территорий // Известия вузов. Геодезия и аэрофотосъемка. – 2015. – № 5/С. – С. 170–174.
20. Трубина Л. К., Хлебникова Т. А., Николаева О. Н. Методические подходы к созданию 3d-моделей для исследования экологического состояния городских территорий // География и природные ресурсы. – 2017. – № 2. – С. 199–205.
21. Комплекс автоматизированного дешифрирования и векторизации данных ДЗЗ [Электронный ресурс]. – URL: <https://gistoolkit.com/download/doc/automapdoc.pdf>.

Об авторах

Татьяна Александровна Хлебникова – доктор технических наук, профессор кафедры инженерной геодезии и маркшейдерского дела.

Людмила Константиновна Трубина – доктор технических наук, профессор кафедры экологии и природопользования.

Получено 05.06.2025

© Т. А. Хлебникова, Л. К. Трубина, 2025

Leveraging remote sensing data for assessing urban green space availability: methodology and case study

T. A. Khlebnikova¹✉, L. K. Trubina¹

¹Siberian State University of Geosystems and Technologies, Novosibirsk, Russian Federation

e-mail: t.a.hlebnikova51@gmail.com

Abstract. The rapid intensification of urbanization processes has heightened the importance of ensuring adequate green space within urban environments, given their critical role in reducing air pol-

lution and improving residential comfort. Using remote sensing data provides timely, spatially detailed information on urban vegetation, facilitating comprehensive inventories of green spaces. The findings from a multi-stage evaluation of urban green spaces, exemplified by an analysis of the Oktyabrsky District in Novosibirsk are presented in the study. The research employed multi-temporal satellite imagery from the WorldView-4 system, processed using the domestic Automated Decoding and Vectorization Software Suite (GIS Panorama). Experimental results confirm the effectiveness of the remote sensing-based approach for ongoing monitoring and assessment of urban green plantations, demonstrating its potential as a valuable tool for urban environmental management.

Keywords: city, green spaces, remote sensing data, automated decoding, geographic information systems (GIS)

REFERENCES

1. Vasilieva E. A., Nikolaeva O. N., Trubina L. K. (2021) A case-study of tree inventory and mapping of public green spaces. *InterCarto. InterGIS [InterCarto. InterGIS]* V. 27. Part 3. P. 274–284. DOI: 10.35595/2414-9179-2021-3-27-274-284 [in Russian].
2. Trubina, L. K., Lisakova, O. A., & Sokolov D. A. (2023) Comprehensive monitoring of urban green spaces. In *Sbornik materialov Interekspo GEO-Sibir'-2023: Mezhdunarodnyj nauchnyj congress: T.4. Distancionnye metody zondirovaniya Zemli i fotogrammetriya, monitoring okruzhayushchej sredy, geoekologiya [International Scientific Congress GEO-Sibir'-2023: Vol. 4 Remote sensing methods and photogrammetry, environmental monitoring, geoecology]* (pp. 152–157) [in Russian].
3. Kitaeva, A. A., & Alexeev, D. K. (2022) Dynamics of urban green space for the city of Kudrovo using remote sensing *Ekologiya. Ekonomika. Informatika. Seriya: Geoinformatsionnyye tekhnologii i kosmiche-skiy monitoring [Ecology.Economics Science Series:Geoinformation Technologies and Space Monitoring]*. V. 2, 6. Pp. 38–41.
4. Alexeev, D. K., Babin, A. V., & Sargaeva, V. Yu. (2021) Dynamic of green space in Petersburg according to remote sensing data *Ekologiya. Ekonomika. Informatika. Seriya: Geoinformatsionnyye tekhnologii i kosmiche-skiy monitoring [Ecology.Economics Science Series:Geoinformation Technologies and Space Monitoring]*. V/2, 6. Pp. 38–41.
5. Kovyazin V. F., Olga A. Pasko, Arina O. Borisova, An T. Nguyen (2025) Improving the method of inventory of lands of recreational zones on the example of Sosnovka Park in Bulletin of the Tomsk Polytechnic University *Izvestiya Tomskogo politekhnicheskogo universiteta. Inzhiniring georesursov [News of Tomsk Polytechnic University. Georesources Engineering]*. V. 336. 4. Pp. 169–178 [in Russian].
6. Trubina, L. K., Lisakova, O. A., Khlebnikova, T. A. (2023). Green infrastructure as a tool for sustainable development of urbanized territories *Vestnik SGUGiT [Vestnik SSUGT]*, 5(31), pp.140–150. DOI 10.33764/2411-1759-2023-28-5-140-150 [in Russian].
7. F. Cavailles, J. Ramos, A. Boyer (2011) Inventory of urban green spaces and their monitoring using WorldView-2 data. *Geomatics [Geomatics]*. No. 3. Pp. 67–73.
8. Guk, A. P., Evstratova L. G., Hlebnikova, E. P., Arbuzov, S. A., Altynzev, M. A. Gordienko, A. S., Guk, A. A. (2013). Development of methods for automated interpretation of satellite images. Interpretation signs of images of objects on multispectral satellite data. *Geodezija i kartografija [Geodesy and Cartography]*, 7, pp. 31–40 [in Russian].
9. Altyntsev M. A., Shlyahova M. M. (2019) Investigation of statistical properties of spectral characteristics of vegetation. Non-parametric approach *Vestnik SGUGiT [Vestnik SSUGT]*. 24(4), pp. 58–69. DOI 10.33764/2411-1759-2019-24-4-58-69 [in Russian].
10. Gordienko, A. S., & Kulik E. N. (2021). Data of remote sensing of the earth in assessing environmental and economic damage from oil pollution. *Vestnik SGUGiT [Vestnik SSUGT]*, 26(2), pp.37–46. DOI 10.33764/2411-1759-2021-26-2-37-46 [in Russian].

11. Guliyev, A. Sh., & Khlebnikova, T. A. (2022). Investigation of the possibilities of processing radar and multi-zone space images of the underlying surface. *Vestnik SGUGiT [Vestnik SSUGT]*, 27(2), 102–114. DOI 10.33764/2411-1759-2022-27-2-102-114 [in Russian].
12. Arbuzov, S.A., Khlebnikova, E.P. Nikitin, V.N. (2020) Automated identification and determination of the breed composition of wood by materials of digital multispectral aerial survey of forests. *Vestnik SGUGiT [Vestnik SSUGT]*, 25(4), pp. 68–76. DOI 10.33764/2411-1759-2020-25-4-68-76 [in Russian].
13. GIS Panorama. Cartography. Photogrammetry. Retrieved from https://gisinfo.ru/products/products_cartography.htm (access March 15, 2025).
14. Technical information from DigitalGlobe. Retrieved from <https://www.digital-globe.com/resources/technical-information> (access March 11, 2025).
15. Zhurkin I. G., Khlebnikova T. A. (2010) Experimental studies results of measuring technology of three-dimensional videoscene based on aerospace photography. *Geodezija i kartografija [Geodesy and Cartography]*, 7, pp. 27–31 [in Russian].
16. Khlebnikova T. A. (2016) RESEARCH AND TECHNOLOGY DEVELOPMENT FOR CONSTRUCTION OF 3 D VIDEOSCENES. *ISPRS Annals of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, Volume III-6, 2016 XXIII ISPRS Congress, 12–19 July 2016, Prague, Czech Republic*.
17. Khlebnikova, T. A., Kulik, Ye. N. (2010). The results of experimental investigations of 3-dimensional standardised video stage technology obtaining based on aerospace surveying data. *Vestnik SGUGiT [Vestnik SSUGT]*, 1, pp. 74–82 [in Russian].
18. Zhurkin, I. G., & Khlebnikova, T. A. (2012). *Tsifrovoye modelirovaniye izmeritelnykh tryokhmernykh video stage [Digital standart of 3D video scenes for measuring purposes]*. Novosibirsk: SSGA Publ., 246 p. [in Russian].
19. Khlebnikova, T. A., & Trubina, L. K. (2015). The possibility of using three-dimensional video scenes in the environmental assessment of urban areas. *Izvestia Vuzov. Geodezija i ajerofotosemka [Geodesy and Aerophotography]*, S/5, pp. 170–174 [in Russian].
20. Trubina, L. K., Khlebnikova, T. A. & Nikolaeva, O. N. (2017). Methodological approaches to developing 3D models for investigating the ecological status of urban territories. *Geografija and Natural resources [Geografija and Natural resources]*, V2, pp. 199–205 [in Russian].
21. Complex for automated decoding and vectorization of remote sensing data Retrieved from <https://gistoolkit.com/download/doc/automapdoc.pdf>.

Author details

Tatyana A. Khlebnikova – D. Sc., Professor of the Department of Engineering Geodesy and Mine Surveying.

Lyudmila K. Trubina – D. Sc., Professor of the Department of Ecology and Nature Management.

Received 04.06.2025

© T. A. Khlebnikova, L. K. Trubina, 2025