

УДК 528.71:630

DOI: 10.33764/2411-1759-2020-25-4-68-76

АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ ИДЕНТИФИКАЦИЯ И ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОРОДНОГО СОСТАВА ДРЕВЕСНЫХ РАСТЕНИЙ ПО МАТЕРИАЛАМ ЦИФРОВОЙ МНОГОЗОНАЛЬНОЙ АЭРОСЪЕМКИ ЛЕСНЫХ МАССИВОВ

Станислав Андреевич Арбузов

Сибирский государственный университет геосистем и технологий, 630108, Россия, г. Новосибирск, ул. Плеханова, 10, кандидат технических наук, доцент кафедры фотограмметрии и дистанционного зондирования, тел. (383)361-08-66, e-mail: s.a.arbuzov@sgugit.ru

Елена Павловна Хлебникова

Сибирский государственный университет геосистем и технологий, 630108, Россия, г. Новосибирск, ул. Плеханова, 10, кандидат технических наук, доцент кафедры фотограмметрии и дистанционного зондирования, тел. (383)361-08-66, e-mail: e.p.hlebnikova@sgugit.ru

Вячеслав Николаевич Никитин

Сибирский государственный университет геосистем и технологий, 630108, Россия, г. Новосибирск, ул. Плеханова, 10, кандидат технических наук, доцент кафедры фотограмметрии и дистанционного зондирования, тел. (913)712-37-50, e-mail: v.n.nikitin@sgugit.ru

В настоящее время актуальной задачей является автоматизация определения характеристик лесных массивов по данным дистанционного зондирования Земли. При этом существует большое количество алгоритмов автоматизированного дешифрирования, которые активно применяются и обеспечивают приемлемый результат при дешифрировании многозональных снимков среднего и низкого пространственного разрешения. При обработке данных высокого и сверхвысокого пространственного разрешения возникают как новые возможности по определению таксационных характеристик, так и определенные сложности, связанные со снижением эффективности работы алгоритмов, использующих яркостные признаки. Целью исследования является проверка эффективности методики автоматизированной идентификации деревьев и определения их породной принадлежности по снимкам, полученным цифровой аэросъемочной камерой ADS40. В основу предлагаемой методики положено комплексное использование методов управляемой классификации и идентификации объектов на изображении по площадным образам. Результат проделанной работы показал, по мнению авторов, значительную эффективность использования рассмотренной методики на тестовых данных и перспективность ее дальнейшего развития.

Ключевые слова: автоматизированное дешифрирование, данные дистанционного зондирования, лесная таксация, распознавание образов, площадной эталон, ADS40

Введение

Учет лесных ресурсов, рациональная эксплуатация, охрана и восстановление лесов, сохранение полезных свойств леса – основные задачи лесного хозяйства. Для решения этих задач необходимо получать полную и актуальную информацию о состоянии лесных массивов.

В настоящее время, как в нашей стране, так и за рубежом, в практике лесного хозяйства широко применяются различные виды дистанционной таксации лесов аэро- и космическими средствами, при этом все активнее

применяются методы автоматизации дешифрирования данных дистанционного зондирования (ДДЗ) [1–4].

При таксационных измерениях получают информацию о занимаемой площади лесных массивов, их качестве и ходе роста, отдельных древостоях, имеющихся в них древесных запасах.

Разработано большое количество алгоритмов автоматизированного дешифрирования, активно применяющихся при работе со снимками лесных массивов [1–3, 5–7]. Выбор метода дешифрирования в значительной мере зависит от пространственного разрешения ДДЗ

[8–10]. При обработке снимков низкого или среднего разрешения используются преимущественно методы, основанные на анализе яркостных особенностей объектов. При обработке снимков высокого и сверхвысокого разрешения для определения характеристик древесной растительности становится возможным использовать методы распознавания текстуры или даже отдельных деревьев.

Известно достаточно много способов идентификации деревьев – это и сегментация по яркости, и применение цифровых моделей поверхности, построенных по результатам обработки материалов аэрофотосъемок, и распознавание по площадным образам [8, 9, 11–20]. Подобный подход был реализован специалистами кафедры ФидЗ при выполнении НИР «Определение характеристик лесных массивов по материалам съемок ADS40 и воздушного лазерного сканирования (ВЛС)», в результате был разработан программный продукт (ПП) TreeDetection, позволяющий идентифицировать деревья на аэроснимках по площадному образу.

Целью исследования является проверка эффективности методики автоматизированной идентификации деревьев и определения их породной принадлежности.

Задачи исследования:

- выполнить автоматизированную идентификацию деревьев с определенным размером кроны по эталонному площадному образу при помощи коррелятора ПП TreeDetection [21];
- выполнить автоматизированное распознавание породного состава древесной растительности при помощи контролируемой классификации;
- сопоставить результаты классификации с результатами работы коррелятора.

Методы и материалы

В качестве исходных данных были использованы снимки, полученные цифровой аэросъемочной камерой ADS40 (рис. 1) на территорию залесенных окрестностей аэропорта Шереметьево (г. Москва) в четырех спектральных диапазонах с пространственным разрешением 30 см. Для обработки использовалась полоса шириной, равной половине межмаршрутного расстояния в обе стороны от осевой линии снимка.

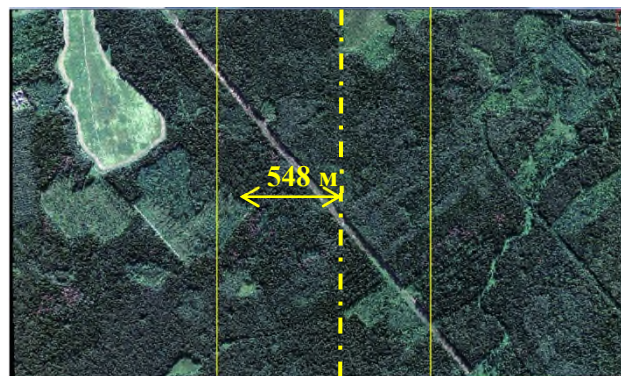


Рис. 1. Снимок ADS40

Для проведения экспериментальных работ использовались ПП TreeDetection и ENVI.

Результаты

Для выполнения исследований на снимке было выбрано пять занятых лесом типовых участков размером 125 x 125 м, отличающихся друг от друга породным и возрастным составами, плотностью произрастания деревьев и, как следствие, – условиями освещенности крон (рис. 2, 3).

На первом этапе работы при помощи программы TreeDetection (рис. 4) на тестовых участках производился поиск деревьев с определенным размером (2 и 4 м) кроны в целях формирования эталонного площадного образа. Для выбора эталона оператор при помощи соответствующего инструмента программы выделяет на снимке прямоугольную область с кроной дерева необходимого размера.



Рис. 2. Схема расположения тестовых участков

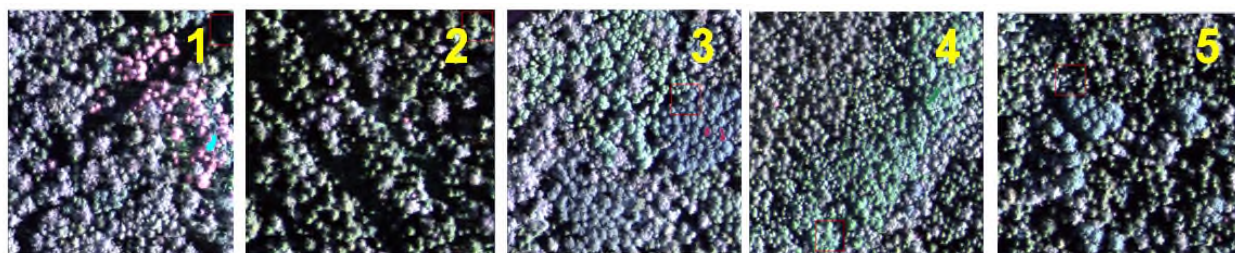


Рис. 3. Тестовые участки

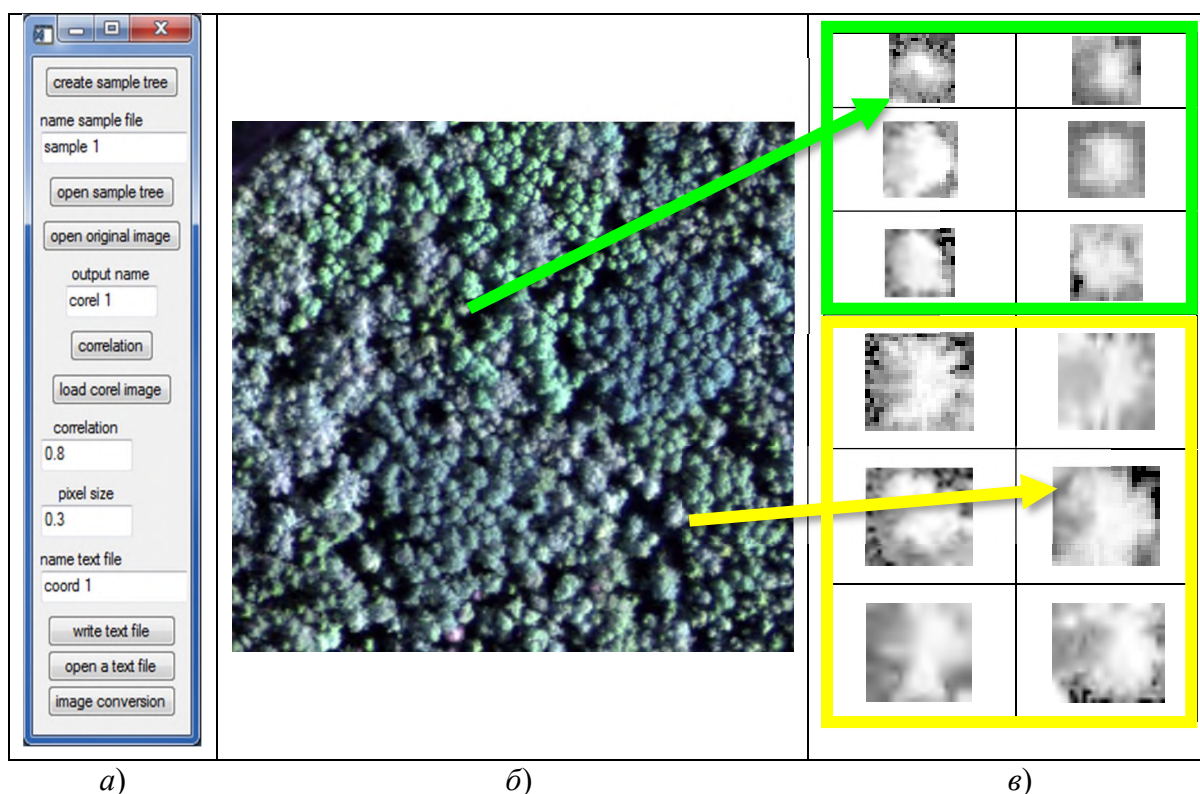


Рис. 4. Работа в программе TreeDetection:
 а) интерфейс; б) тестовый участок; в) площадные образы крон деревьев

На следующем этапе программой рассчитываются коэффициенты корреляции между эталоном и множеством образов на изображении (образы берутся с шагом в один пиксель) и формируется матрица коэффициентов корреляции (рис. 5), по которой в дальнейшем с заданным порогом вычисляются локальные максимумы.

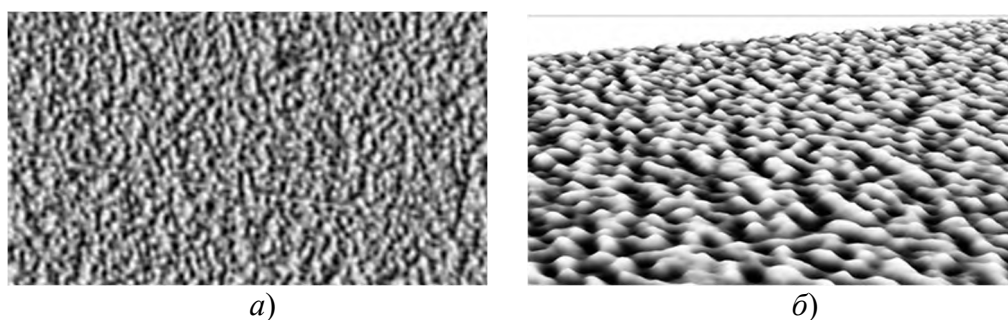


Рис. 5. Визуальное отображение матрицы коэффициентов корреляции:
 а) в двухмерном; б) трехмерном виде

Эксперименты показали, что наилучший результат достигается при использовании порога корреляции от 0,6 до 0,8. При этом, если предварительно выполнять сглаживание изображения фильтром Гаусса, тем самым нивелируя локальные яркостные особенности деревьев и уменьшая различия образов, можно значительно увеличить количество распознаваемых деревьев.

Результатом работы программы является файл в формате MIF/MID, в который записываются координаты деревьев и диаметр кроны, соответствующий размеру площадного образа, используемого для поиска.

На рис. 6 показан результат работы программы TreeDetection, полученный по двум площадным эталонам, представляющим кроны деревьев радиусов 2 и 4 м.

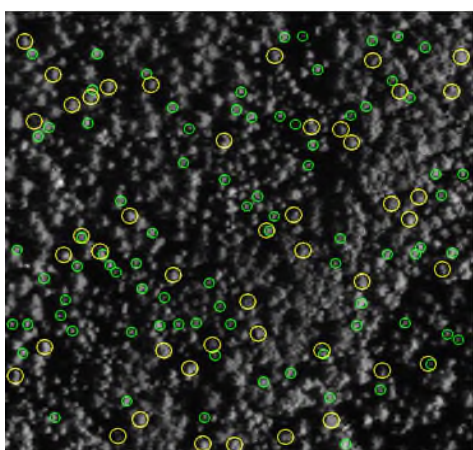


Рис. 6. Результат работы программы TreeDetection по двум площадным эталонам:
 – диаметр кроны 2 м; – диаметр кроны 4 м

На втором этапе выполнялась контролируемая классификация многозонального снимка. Сложность классификации снимков сверхвысокого разрешения, получаемых на залесенную местность, заключается в том, что из-за изменений яркости, связанных с освещенностью/затененностью, фактически крона дерева может состоять из нескольких классов, например, на снимках среднего пространственного разрешения лиственный и хвойный лес хорошо делимы, а на снимках высокого разрешения эти классы пересекаются в тенях. На снимках сверхвысокого

разрешения уверенно распознается по яркостным признакам наиболее освещенная часть кроны.

Для создания эталонов в программном комплексе ENVI на изображении были выбраны однозначно визуально распознаваемые шесть классов объектов: хвойные деревья, кустарники, сухостои, тени и два вида лиственных деревьев. Обучающая выборка собиралась по отдельным деревьям по освещенной части кроны (рис. 7).



Рис. 7. Получение эталона для дешифрирования породного состава

На следующем этапе с использованием обучающей выборки производилась классификация. Экспериментально установлено, что наилучшие результаты показывает метод «Расстояние Махаланобиса».

Далее выполнялась постклассификационная обработка с помощью инструмента Clump Classes. Этот инструмент при помощи дилатации «наращивает» классифицированные области, поглощая другие классы. Результат представлен на рис. 8.

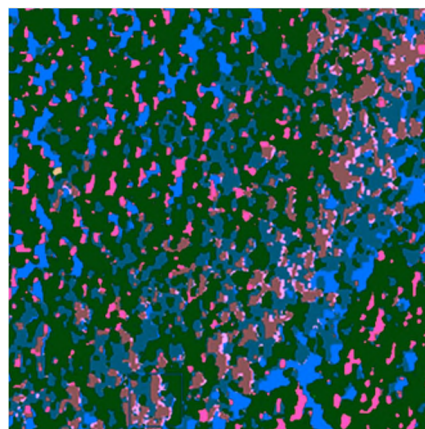


Рис. 8. Результат классификации:
 – класс 1; – класс 2; – класс 3;
 – класс 4; – класс 5; – класс 6

Далее выполнялась проверка достоверности классификации по пяти различным участкам снимка. Сверялся результат визуального дешифрирования с автоматизированным распознаванием по наиболее освещенной верхней части кроны. Средний процент ошибочно классифицированных деревьев по пяти участкам составил 4 %.

На первом участке визуально можно распознать около 217 деревьев, из которых неправильно классифицированы 7. На втором участке ошибочно классифицированы 5 деревьев из 215. На третьем – 27 из 376 деревьев, на четвертом – 23 из 518, а на пятом – 14 из 308.

На последнем этапе работы совмещались результаты классификации методом Махаланобиса с результатами поиска деревьев при помощи коррелятора (рис. 9). Совмещение слоев и атрибутов выполнялось в QGIS.

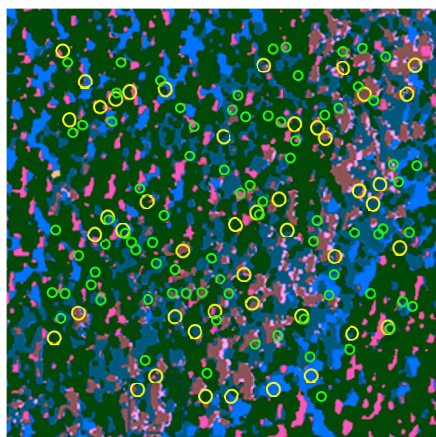


Рис. 9. Совмещение результатов классификации и TreeDetection

По полученному изображению каждое найденное дерево, в зависимости от классификации, можно отнести к определенному типу (породе дерева). Если в окружность попадет два или несколько разных классов, то его относят к тому классу, который преобладает над

другими по величине площади в этой области. По результатам оценки достоверности, количество неправильно классифицированных деревьев оказалось невелико – менее 5 %.

Стоит заметить, что на качество распознавания деревьев могут влиять различные факторы, например, разнообразие породного состава и, следовательно, форм кроны деревьев, густота древостоя, возрастной состав и т. д. В пользу этого говорят, в том числе, различия в эффективности распознавания деревьев и их породного состава по пяти тестовым участкам.

Заключение

Проведенные эксперименты показали, что задача исследования лесных территорий благодаря появлению аэрофотоснимков высокого разрешения вышла на новый качественный уровень: появилась возможность поштучного учета не только отдельстоящих деревьев, но и деревьев в древостоях с высокой полнотой. Таким образом, появляется возможность определения таксационных характеристик древостоев с необходимой точностью и высокой степенью автоматизации.

Предложенная методика определения качественных (породный состав) и количественных (диаметры кроны) характеристик древостоя состоит из двух отдельных этапов: идентификации кроны деревьев методом площадной корреляции по набору эталонов кроны деревьев заданного радиуса и формы, а также определение породы деревьев по освещенной части кроны методом классификации с обучением.

Полученные результаты комплексного использования методов автоматизированного дешифрирования могут говорить о значительной эффективности предлагаемого подхода при работе со снимками лесных массивов, полученных камерой ADS40.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Гордиенко А. С., Алтынцев М. А., Арбузов С. А. Разработка методики многоступенчатого дешифрирования космических снимков // Изв. вузов. Геодезия и аэрофотосъемка. – 2011. – № 2. – С. 29–32.
2. Oduori S. M., Vargas R. R., Osman A., Rembold F. Detection of tree cutting in the rangelands of North Eastern Somalia using remote sensing [Electronic resource] / Technical Project Report L-15. – FAO-SWALIM, Nairobi, Kenya, 2009. – Mode of access: <http://www.faoswalim.org> (дата обращения: 15.05.2019).

3. Хамедов В. А., Мазуров Б. Т. Оценка точности определения площадей лесных рубок с использованием снимков с российского космического аппарата «Ресурс-П» № 1 // Вестник СГУГиТ. – 2015. – Вып. 4 (32). – С. 42–50.
4. Chakravarty S., Ghosh S., Suresh C., Dey A., Shukla G. Deforestation: Causes, Effects and Control Strategies // *Global Perspectives on Sustainable Forest Management*. Edited by Dr. Clement A. Okia, 2012. doi: 10.5772/33342.
5. Хлебникова Е. П., Симонов Д. П. Использование методов статистического анализа при дешифрировании многозональных космических снимков // Интерэкспо ГЕО-Сибирь-2014. X Междунар. науч. конгр. : Междунар. науч. конф. «Дистанционные методы зондирования Земли и фотограмметрия, мониторинг окружающей среды, геоэкология» : сб. материалов в 2 т. (Новосибирск, 8–18 апреля 2014 г.). – Новосибирск : СГГА, 2014. Т. 1. – С. 19–23.
6. Хлебникова Е. П., Симонов Д. П. Исследование возможности использования цифровых снимков высокого разрешения для определения отражательных характеристик растительности // Интерэкспо ГЕО-Сибирь-2013. IX Междунар. науч. конгр. : Междунар. науч. конф. «Дистанционные методы зондирования Земли и фотограмметрия, мониторинг окружающей среды, геоэкология» : сб. материалов в 2 т. (Новосибирск, 15–26 апреля 2013 г.). – Новосибирск : СГГА, 2013. Т. 1. – С. 64–69.
7. Алтынцев М. А., Шляхова М. М. Исследование статистических свойств спектральных характеристик растительности. Непараметрический подход // Вестник СГУГиТ. – 2019. – Т. 24, № 4. – С. 58–65.
8. Nduji Nwannebuike Nixon. Super Resolution Mapping Of Trees From Satellite Images At Different Scales. – Enschede, The Netherlands, 2017. doi: 10.13140/RG.2.2.12004.37766.
9. Mustafa Y. T., Habeeb H. N., Stein A., Sulaiman F. Y. Identification and mapping of tree species in urban areas using worldview-2 imagery // *Annals of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*. – 2015. – Vol. II-2/W2. – P. 175–181. doi: 10.5194/isprsannals-II-2-W2-175-2015.
10. San-Miguel-Ayanz J., McInerney D., Sedano F., Strobl P., Kempeneers P., Pekkarinen A., Seebach (Reithmaier) L. Use of Wall-to-Wall Moderate and High-Resolution Satellite Imagery to Monitor Forest Cover Across Europe // *Global Forest Monitoring from Earth Observation*. – CRC Press, 2012. – P. 195–210.
11. Lin Yang Xiaqing Wu, Emil Praun, Xiaoxu Ma. Tree detection from aerial imagery [Electronic resource]. – Mode of access: http://www.cis.uab.edu/kddm/seminar_home/Lin_Sept25_tree-camera-ready.pdf (дата обращения: 22.09.2018).
12. Daliakopoulos I. N., Grillakis E. G., Koutroulis A. G., Tsanis I. K. Tree Crown Detection on Multi-spectral VHR Satellite Imagery // *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*. – 2009. – Vol. 75(10). – P. 1201–1211. doi: 10.14358/PERS.75.10.1201.
13. Арбузов С. А. Автоматизированное определение координат деревьев по материалам аэро-космических съемок // Интерэкспо ГЕО-Сибирь-2013. IX Междунар. науч. конгр. : Междунар. науч. конф. «Дистанционные методы зондирования Земли и фотограмметрия, мониторинг окружающей среды, геоэкология» : сб. материалов в 2 т. (Новосибирск, 15–26 апреля 2013 г.). – Новосибирск : СГГА, 2013. Т. 1. – С. 43–47.
14. Гук А. П., Арбузов С. А. Распознавание отдельных деревьев по многоспектральным аэрокосмическим снимкам леса // Региональные проблемы дистанционного зондирования Земли : материалы V Междунар. науч. конф., Красноярск, 11–14 сентября 2018 г. / науч. ред. Е. А. Ваганов ; отв. ред. Г. М. Цибульский. – Красноярск : Сиб. федер. ун-т, 2018. – С. 101–104.
15. Гук А. П., Алтынцев М. А. Автоматическая идентификация соответственных точек на аэро-снимках лесных массивов // Вестник СГУГиТ. – 2017. – Т. 22, № 4. – С. 68–77.
16. Ok A. O., Ozdarici-Ok A. Detection of citrus trees from UAV DSMS // *ISPRS Annals of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*. – 2017. – Vol. IV-1/W1; *ISPRS Hannover Workshop: HRIGI 17. – CMRT 17. – ISA 17. – EuroCOW 17*, 6–9 June 2017, Hannover, Germany.
17. DEM Generation based on UAV Photogrammetry Data in Critical Areas Giulia Sammartano and Antonia Spanò *GISTAM 2016 // 2nd International Conference on Geographical Information Systems Theory, Applications and Management (26-27 April, 2016)*. – Rome, Italy.
18. Determining stand parameters from UAS-based point clouds. *The International Archives of the Photogrammetry // XXIII ISPRS Congress. Remote Sensing and Spatial Information Sciences (12–19 July 2016)*. – Prague, Czech Republic, 2016. Vol. XLI-B1.
19. Kattenborn T., Sperlich M., Bataua K., Koch B. Automatic Single Palm Tree Detection in Plantations using UAV-based Photogrammetric Point Clouds // *International Archives of the Photogrammetry,*

Remote Sensing and Spatial Information Sciences. – 2014. – Vol. XL-3. – P. 139–144. doi: 10.5194/isprs-archives-XL-3-139-2014.

20. Yilmaz V., Serifoglu C., Gungor O. Determining Stand Parameters From UAS-Based Point Clouds // International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences. – 2016. – Vol. XLI-B1. – P. 413–416. doi: 10.5194/isprs-archives-XLI-B1-413-2016.

21. Арбузов С. А. TREE DETECTION. Свидетельство о регистрации программы для ЭВМ RUS 2015612844 30.12.2014.

Получено 21.01.2020

© С. А. Арбузов, Е. П. Хлебникова, В. Н. Никитин, 2020

AUTOMATED IDENTIFICATION AND DETERMINATION OF THE BREED COMPOSITION OF WOOD BY MATERIALS OF DIGITAL MULTISPECTRAL AERIAL SURVEY OF FORESTS

Stanislav A. Arbuzov

Siberian State University of Geosystems and Technologies, 10, Plakhotnogo St., Novosibirsk, 630108, Russia, Ph. D., Associate Professor, Department of Photogrammetry and Remote Sensing, phone: (383)361-08-66, e-mail: s.a.arbuzov@sgugit.ru

Elena P. Khlebnikova

Siberian State University of Geosystems and Technologies, 10, Plakhotnogo St., Novosibirsk, 630108, Russia, Ph. D., Associate Professor, Department of Photogrammetry and Remote Sensing, phone: (383)361-08-66, e-mail: e.p.khlebnikova@sgugit.ru

Vyacheslav N. Nikitin

Siberian State University of Geosystems and Technologies, 10, Plakhotnogo St., Novosibirsk, 630108, Russia, Ph. D., Associate Professor, Department of Photogrammetry and Remote Sensing, phone: (913)712-37-50, e-mail: vslav.nikitin@gmail.com.

Presently, the current task is to automate the determination of the characteristics of forest areas according to remote sensing data. At the same time there is a large number of automated decryption algorithms that are actively used and provide an acceptable result in photointerpretation of medium and low spatial resolution multi-zone images. In processing of high and ultra-high resolution data, both new possibilities for determination of tax characteristics and certain difficulties related to efficiency reduction of algorithms using luminance characteristics arise. The aim of the study is to check the efficiency of the trees automated identification method and to determine their breed affiliation from the images ADS40 of the digital aerial camera. Proposed technique is based on a complex use of methods for controlled classification and identification of objects in the image by areal images. The result of the work done has shown, in the opinion of the authors, a significant efficiency of using the considered methodology on test data and the prospects for its further development.

Keywords: automated decryption, remote sensing data, forest taxation, pattern recognition, area reference, ADS40

REFERENCES

1. Gordienko, A. S., Altyntsev, M. A., & Arbuzov, S. A. (2011). Development of a method for multi-stage decoding of satellite images. *Izvestiya Vuzov. Geodeziya i aerofotos"yemka [Izvestiya Vuzov. Geodesy and Aerophotography]*, 2, 29–32 [in Russian].

2. Oduori, S. M., Vargas, R. R., Osman, A., & Rembold, F. (2009). Detection of tree cutting in the rangelands of North Eastern Somalia using remote sensing. Technical Project Report L-15. FAO-SWALIM, Nairobi, Kenya. Retrieved from <http://www.faoswalim.org> (accessed data 15.05.2019).

3. Khamedov, V. A., & Mazurov, B. T. (2015). Evaluation of the accuracy of determining the area of forest arms using images from the Russian spacecraft Resurs-P № 1. *Vestnik SGUGiT [Vestnik SSUGT]*, (4)32, 42–50 [in Russian].
4. Chakravarty, S., Ghosh, S., Suresh, C., Dey, A., & Shukla G. (2012). Deforestation: Causes, Effects and Control Strategies. *Global Perspectives on Sustainable Forest Managemen*. Dr. Clement A. Okia (Ed.). doi: 10.5772/33342.
5. Lin Yang Xiaqing Wu, Emil Praun, & Xiaoxu Ma. (n. d.). Tree detection from aerial imagery. Retrieved from http://www.cis.uab.edu/kddm/seminar_home/Lin_Sept25_tree-camera-ready.pdf.
6. Khlebnikova, E. P., & Simonov, D. P. (2014). Use of statistical analysis methods for decoding multi-zone satellite images. In *Sbornik materialov Interexpo Geo-Sibir'-2014: Mezhdunarodnoy nauchnoy konferentsii: T. 1. Distantionnyye metody zondirovaniya zemli i fotogrammetriya, monitoring okruzhayushchey sredy, geokologiya [Proceedings of Interexpo GEO-Siberia 2014: International Scientific Conference: Vol. 1. Earth Remote Sensing and Photogrammetry, Environmental Monitoring and Geoenvironmental Ecology]* (pp. 19–23). Novosibirsk: SSGA Publ. [in Russian].
7. Altyntsev, M. A., & Shlahova, M. M. (2019). Investigation of the statistical properties of the spectral characteristics of vegetation. Nonparametric Approach. *Vestnik SGUGiT [Vestnik SSUGT]*, 24(4), 58–65 [in Russian].
8. Nwannebuike Nixon, Nduji. (2017). *Super Resolution Mapping Of Trees From Satellite Images At Different Scales*. Enschede, The Netherlands. doi: 10.13140/RG.2.2.12004.37766.
9. Mustafa, Y. T., Habeeb, H. N., Stein, A., & Sulaiman, F. Y. (2015). Identification and mapping of tree species in urban areas using worldview-2 imagery. *Annals of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, II-2/W2*, 175–181. doi: 10.5194/isprsannals-II-2-W2-175-2015.
10. San-Miguel-Ayanz, J., McInerney, D., Sedano, F., Strobl, P., Kempeneers, P., Pekkarinen, A., & Seebach (Reithmaier), L. (2012). Use of Wall-to-Wall Moderate and High-Resolution Satellite Imagery to Monitor Forest Cover Across Europe. *Global Forest Monitoring from Earth Observation* (pp. 195–210). CRC Press.
11. Khlebnikova, E. P., & Simonov, D. P. (2013). Study of the possibility of using high-resolution digital images to determine the reflective characteristics of vegetation. In *Sbornik materialov Interexpo Geo-Sibir'-2013: Mezhdunarodnoy nauchnoy konferentsii: T. 1. Distantionnyye metody zondirovaniya zemli i fotogrammetriya, monitoring okruzhayushchey sredy, geokologiya [Proceedings of Interexpo GEO-Siberia 2013: International Scientific Conference: Vol. 1. Earth Remote Sensing and Photogrammetry, Environmental Monitoring and Geoenvironmental Ecology]* (pp. 64–69). Novosibirsk: SSGA Publ. [in Russian].
12. Daliakopoulos, I. N., Grillakis, E. G., Koutroulis, A. G., & Tsanis, I. K. (2009). Tree Crown Detection on Multispectral VHR Satellite Imagery. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 75(10), 1201-1211. doi: 10.14358/PERS.75.10.1201.
13. Arbuzov, S. A. (2013). Automated determination of tree coordinates from the materials of aerial and space surveys. In *Sbornik materialov Interexpo Geo-Sibir'-2013: Mezhdunarodnoy nauchnoy konferentsii: T. 1. Distantionnyye metody zondirovaniya zemli i fotogrammetriya, monitoring okruzhayushchey sredy, geokologiya [Proceedings of Interexpo GEO-Siberia 2013: International Scientific Conference: Vol. 1. Earth Remote Sensing and Photogrammetry, Environmental Monitoring and Geoenvironmental Ecology]* (pp. 43–47). Novosibirsk: SSGA Publ. [in Russian].
14. Guk, A. P., & Arbuzov, S. A. (2018). Recognition of individual trees from multispectral aerospace images of the forest. In *Sbornik materialov V Mezhdunarodnoy nauchnoy konferentsii Regional'nyye problemy distantionnogo zondirovaniya Zemli [Proceedings of the V International Scientific Conference: Regional Problems of Remote Sensing of the Earth]* (pp. 43–47). Krasnoyarsk: SFU Publ. [in Russian].
15. Guk, A. P., & Altyntsev, M. A. (2017). Automatic identification of the corresponding points on aerial photographs of forests. *Vestnik SGUGiT [Vestnik SSUGT]*, 22(4), 68–77 [in Russian].
16. Ok, A. O., & Ozdarici-Ok, A. (2017). Detection of citrus trees from UAV DSMS. *Annals of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, IV-1/W1*; ISPRS Hannover Workshop: HRIGI 17. – CMRT 17. – ISA 17. – EuroCOW 17. Hannover, Germany.
17. DEM Generation based on UAV Photogrammetry Data in Critical Areas Giulia Sammartano and Antonia Spanò GISTAM. (2016). *2nd International Conference on Geographical Information Systems Theory, Applications and Management*. Rome, Italy.

18. Determining stand parameters from UAS-based point clouds. The International Archives of the Photogrammetry (2016). *XXIII ISPRS Congress. Remote Sensing and Spatial Information Sciences, XLI(B1)*. Prague, Czech Republic.

19. Kattenborn, T., Sperlich, M., Bataua, K., & Koch B. (2014). Automatic Single Palm Tree Detection in Plantations using UAV-based Photogrammetric Point Clouds. *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, XL-3*, 139–144. doi: 10.5194/isprs-archives-XL-3-139-2014.

20. Yilmaz, V., Serifoglu, C., & Gungor, O. (2016). Determining Stand Parameters From UAS-Based Point Clouds // *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, XLI-B1*, 413–416. doi: 10.5194/isprs-archives-XLI-B1-413-2016.

21. Arbuzov, S. A. (2014). TREE DETECTION. Certificate of registration of the computer program RUS 2015612844 December 30, 2014 [in Russian].

Received 21.01.2020

© S. A. Arbuzov, E. P. Khlebnikova, V. N. Nikitin, 2020