

В 2013 г. планируется провести работы по расширению номенклатуры БПР за счет автоматизации процесса классификации методом Клода-Поттье (Н-а-α-классификация). В настоящее время это один из наиболее эффективных методов классификации природных и искусственных объектов, использующий поляриметрические данные. Также принято решение о доработке технологий создания БПР на основе данных итальянской системы Cosmo-SkyMed как ближайшего аналога перспективного российского комплекса радиолокационного наблюдения «Обзор-Р» [1–5].

Библиографические ссылки

1. Банк базовых продуктов наблюдения Земли – геоинформационный сервис для регионов России / Селин В.А. [и др.] // Инноватор : межрегиональный журн. 2012. № 3 (13). С. 24–25.
2. Урличич Ю., Селин В., Емельянов К. О приоритетах практической реализации развития космической системы дистанционного зондирования Земли // Аэро-космический курьер: информ.-аналит. журн. 2012. № 6 (78). С. 15–21.
3. Костюк Е. А., Веремчук Ю. А., Денисов П. В. Перспективные технологии обработки космической радиолокационной информации в НКПОР оператора КС ДЗЗ / Актуальные проблемы ракетно-космического приборостроения и информационных технологий : тр. IV Всерос. науч.-техн. конф. (15–17 июня 2011). 2012. С. 152–156.

4. Захаров А. И., Яковлев О. И., Смирнов В. М. Спутниковый мониторинг Земли: Радиолокационное зондирование поверхности. М.: КРАСАНД, 2012.

5. Кирбижекова И. И., Батуева Е. В., Дарижапов Д. Д. Н-А-α-классификация данных ALOS по дельте реки Селенга / Известия высших учебных заведений. Физика. 2010. № 9/2.

References

1. Selin V. A. [i dr.]. Jurnal «Innovator». Ulan-Ude, 2012, № 3 (13), pp. 24-25
2. Urlichich Yu., Selin V., Emelyanov K. Jurnal «Aerokosmichesky kuryer», Moscow, 2012, № 6 (78), pp. 15-21.
3. Kostyuk E. A., Veremchuk Yu. A., Denisov P. V. Trudy IV Vserossyskoy nauchno-tekhnicheskoj konferentsii “Aktualnye problemy raketno-kosmicheskogo priborostroyeniya i informatsionnykh tekhnology” (Proceedings of the 4th International Scientific Conference "Actual problems of missile-kosmieskogo instrumentation and information technology"). 15-17 July 2011. Moscow, 2012, pp. 152-156.
4. Zakharov A. I., Yakovlev O. I., Smirnov V. M. Sputnikovy monitoring Zemli: Radiolokatsionnoye zondirovaniye poverkhnosti (Satellite monitoring of the Earth: the radar sensing surface). Moscow, 2012, p. 248.
5. Kirbizhekova I. I., Batuyeva Ye. V., Darizhapov D. D. Jurnal “Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeny. Fizika” Tomsk, 2010.

© Гусев М. А., Денисов П. В., Кирбижекова И. И., Дмитриев А. В., 2013

УДК 629.78; 630.52:587/588

ЗОНДИРОВАНИЕ ЛЕСНОГО ПОКРОВА ВЫСОКОЧАСТОТНЫМИ ИМПУЛЬСНЫМИ ЛАЗЕРАМИ И ЦИФРОВЫМИ АЭРО- И КОСМИЧЕСКИМИ ФОТОАППАРАТАМИ СВЕРХВЫСОКОГО РАЗРЕШЕНИЯ: ОПЫТ ПРИМЕНЕНИЯ В СИБИРИ

А. И. Данилин¹, И. М. Данилин^{1,2}, Д. А. Свищев³

¹Институт леса имени В. Н. Сукачева Сибирского отделения Российской академии наук
Россия, 660036, Красноярск, ул. Академгородок, 50/28. E-mail: danil_kr@mail.ru

²Сибирский государственный аэрокосмический университет имени академика М. Ф. Решетнева
Россия, 660014, Красноярск, просп. им. газ. «Красноярский рабочий», 31. E-mail: danilin@ksc.krasn.ru

³Восточно-Сибирский филиал Федерального государственного
унитарного предприятия «Рослесинфорг» «Востсиблеспроект»
Россия, 660062, Красноярск, ул. Н. К. Крупской, 42. E-mail: lespres@post.kts.ru

Обсуждаются результаты исследований по использованию данных высокочастотной импульсной лазерной локации и цифровой аэро- и космической съемки сверхвысокого разрешения для целей таксации и мониторинга лесов в Красноярском крае в 2012 г. По данным воздушного лазерного сканирования, аэро- и космической съемки сверхвысокого разрешения и наземных измерений на пробных площадях, составлен цифровой план лесных насаждений опытного полигона. Разработаны и переданы в ФГУП «Рослесинфорг» для расширенной производственной апробации методические рекомендации по использованию воздушной лазерной и цифровой аэро- и космической съемки для целей таксации и мониторинга лесов в лесном фонде Российской Федерации. Обоснована необходимость продолжения исследований в части изучения возможностей интегрирования данных оптических сенсоров с радарными с синтезированной апертурой, разработки программных модулей автоматизированной обработки мультисенсорных данных дистанционного зондирования леса.

Ключевые слова: высокочастотная импульсная лазерная локация, цифровая аэро- и космическая съемка сверхвысокого разрешения, таксация и мониторинг лесов, Красноярский край.

REMOTE SENSING OF FOREST COVER BY HIGH-FREQUENCY PULSE LASERS AND DIGITAL ULTRA-HIGH RESOLUTION AERIAL- AND SPACE CAMERAS: EXPERIENCE OF APPLICATION IN SIBERIA

A. I. Danilin, I. M. Danilin, D. A. Svishev

¹V. N. Sukachev Institute of Forest, Russian Academy of Sciences, Siberian Branch
50/28 Academgorodok, 660036, Russia. E-mail: danil_kr@mail.ru

²The Siberian State Aerospace University named after academician M. F. Reshetnev
31prospekt "Krasnoyarskii Rabochii", Krasnoyarsk, 660014, Russia. E-mail: danilin@ksc.krasn.ru

³The East-Siberian Branch of the State Forest Inventory Federal State
Unitary Enterprise "Roslesinform" "Vostsiblesproekt"
42 N. K. Krupskaya st., Krasnoyarsk, 660062, Russia. E-mail: lespres@post.kts.ru

The results of studies on the use of high-frequency pulse laser location and digital ultra-high resolution aerial- and space photography data applied to forest inventory and monitoring at Krasnoyarsk territory in 2012 are discussed. Based on airborne laser scanning, extra high resolution aerial and satellite imagery and surface measurements on sample plots a digital forest map has been made for the testing grounds. The methodical guidelines on the use of aerial laser scanning and high resolution digital aerial and satellite imagery for inventory and monitoring in the forests of the Russian Federation are developed and transferred to the Federal State Unitary Enterprise «Roslesinform» for the expanded practical testing. The necessity to continue research in the study of integrating optical sensors' data with synthetic aperture radar, the development of software modules for automatic processing of multisensor remote sensing data of forests is proved.

Keywords: high-frequency pulse laser location, digital ultra-high resolution aerial- and space photography, forest inventory and monitoring, Krasnoyarsk territory.

Зондирование лесного покрова высокочастотными импульсными лазерами и цифровыми аэро- и космическими фотоаппаратами сверхвысокого разрешения представляется перспективным направлением дистанционного мониторинга лесов при комплексировании данных радаров с синтезированной апертурой (РСА) с данными оптического диапазона [1–11].

В 2012 г., в продолжение и развитие ранее выполненных работ [2–6], в Красноярском крае были выполнены исследования по использованию данных высокочастотной импульсной лазерной локации и цифровой аэро- и космической съемки сверхвысокого разрешения для целей таксации и мониторинга лесов. Исследования проводились на общей площади 110 км², на опытном полигоне Погорельского лесного стационара Института леса СО РАН. Примерные географические координаты центра опытного полигона – 56°22' с. ш., 92°55' в. д.

Основными целями исследований явилось совершенствование алгоритмов дешифрирования таксационных показателей лесных насаждений на основе данных лазерной и цифровой аэро- и космической съемки, а также разработка и адаптация программного обеспечения, позволяющего обрабатывать данные съемки и получать таксационные характеристики насаждений в автоматизированном режиме.

Аэросъемочные работы выполнялись с борта самолета АН-2, воздушным лазерным сканером RIEGL Q560, совместно с цифровым аэросъемочным комплексом IGI DigiCAM, включающим цифровую камеру Hasselblad H39/mp и фазовый GPS-приемник Novatel OEM 4/5.

Основой для планирования и трассирования маршрутов аэрофотосъемки и контурного дешифрирования лесных участков служили космические циф-

ровые снимки ближнего инфракрасного диапазона, геометрическим разрешением 50 см на пиксель, выполненные в системе World View-2 в июне 2012 г. (рис. 1).

Дешифрирование аэро- и космических снимков производилось в интерактивном режиме с использованием компьютерной программы ArcGis и функции пространственного анализа «Spatial Analyst» [12], с доработанными лесотаксационными модулями. На аэро- и космических снимках и лазерных сканах выполнялось наложение и совмещение границ таксационно-дешифровочных пробных площадей, с опознаванием и контролем на местности (рис. 2).

Дешифровочные данные сопоставлялись с наземными инструментальными измерениями на таксационно-дешифровочных пробных площадях, заложенных в границах опытного полигона.

В результате выполненной работы были выявлены взаимосвязи таксационно-дешифровочных признаков лесных насаждений, по которым в автоматическом режиме актуализировались средние высоты, средние диаметры, суммы площадей поперечных сечений стволов, средние возрасты, полноты и запасы составляющих древесных пород. Построены гистограммы распределений по таксационным признакам древостоев. При расчете уравнений взаимосвязей и статистических показателей использовался программный комплекс StatSoft [13] (рис. 3).

Сопоставление результатов дешифровочных и наземных измерений характеризуется достаточно высокими индексами детерминации ($R^2 = 0.8999-0.9195$). Наибольшая случайная ошибка определения средней высоты древостоя по данным лазерной съемки не превысила 7,0 %. Случайная ошибка для всех наблюдений находится в пределах 59,4 см или 2,1 %.

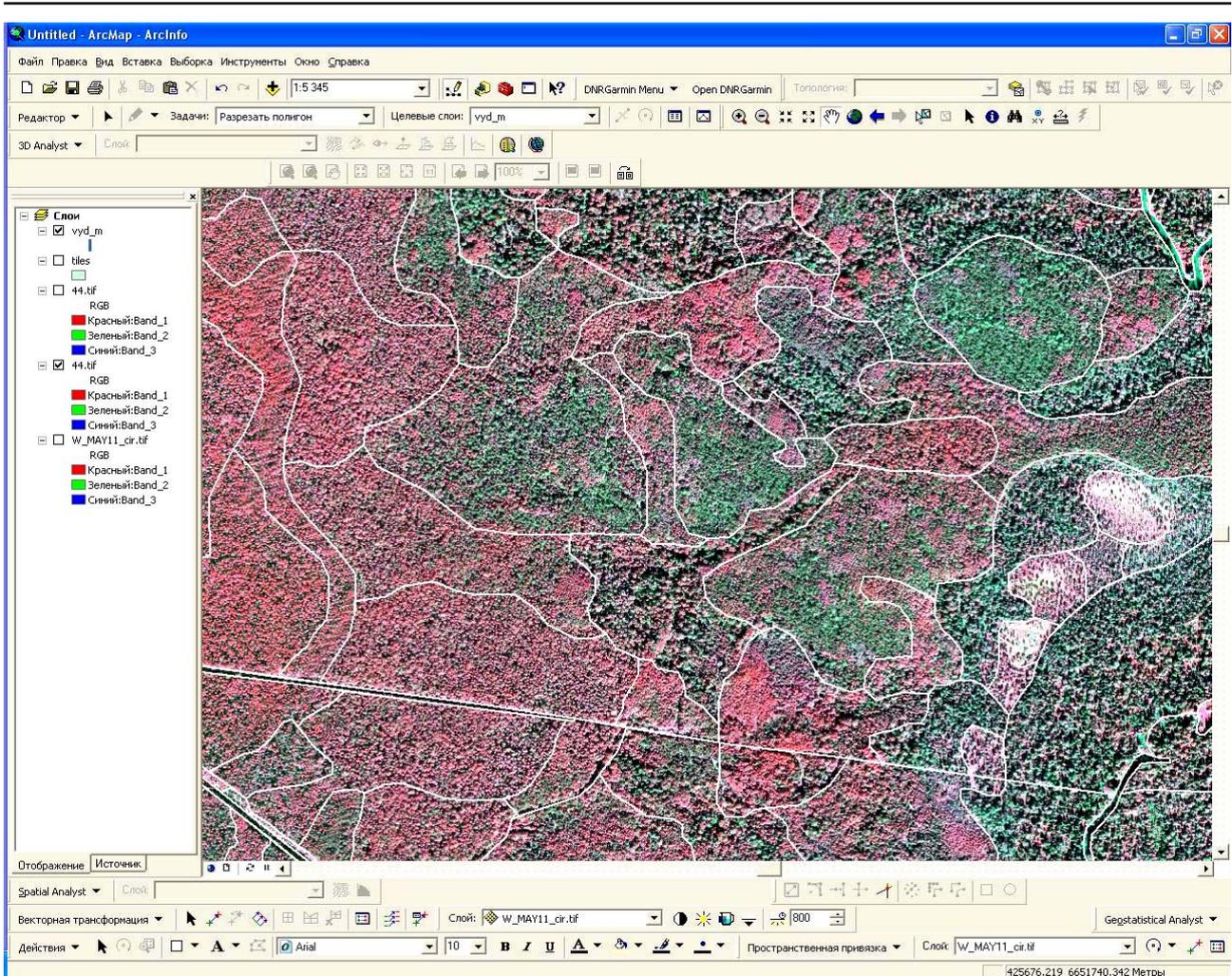


Рис. 1. Контурное дешифрирование таксационных выделов, выполненное специалистом таксатором по цифровому космическому снимку сверхвысокого разрешения WorldView-2 (NIR, ближний инфракрасный диапазон, геометрическое разрешение 50 см на пиксель)

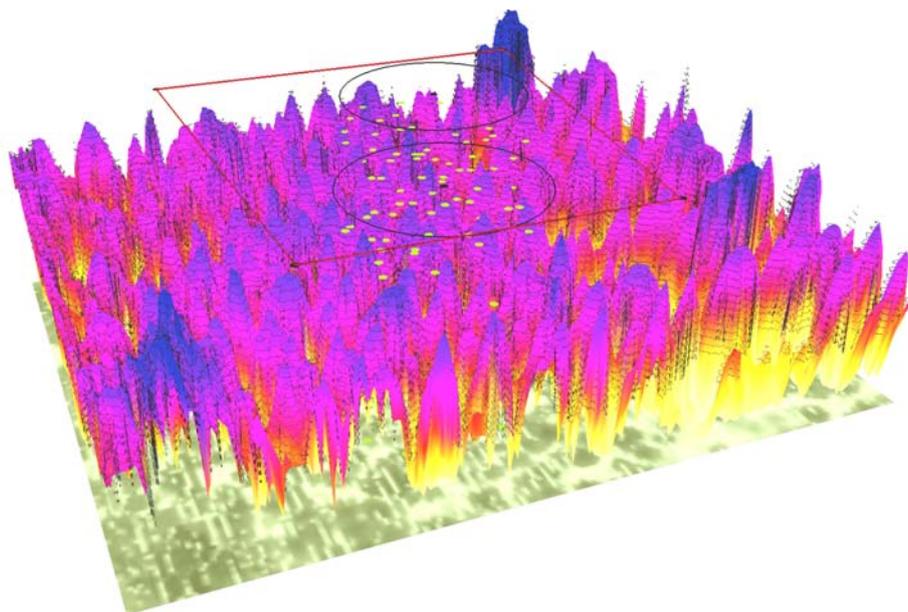


Рис. 2. Трехмерное лазерно-локационное отображение древостоя с наложением границ таксационно-дешифровочной пробной площади и инвентаризационных кругов постоянного радиуса системы наземной таксации FieldMap

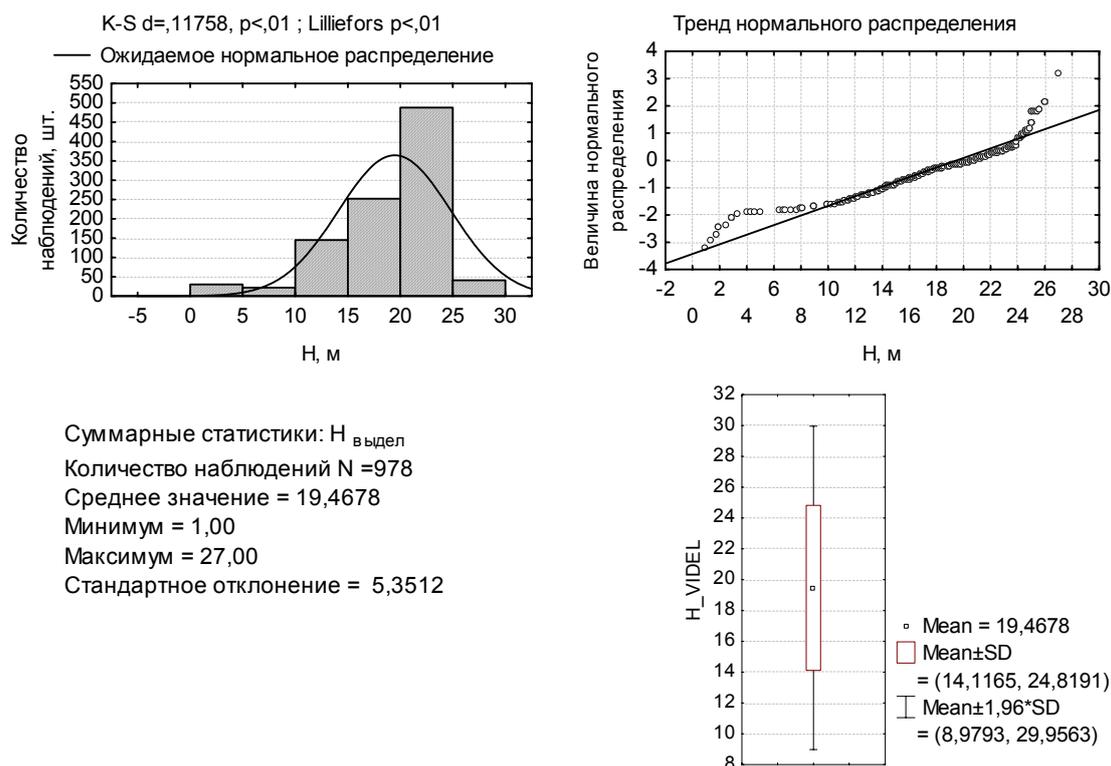


Рис. 3. Гистограмма и основные статистики распределения высот деревьев, определенных при таксации на опытном полигоне

По данным дистанционного зондирования и наземных измерений составлен цифровой план лесонасаждений опытного полигона. Разработаны и переданы в ФГУП «Рослесинфорг» для расширенной производственной апробации методические рекомендации по использованию воздушной лазерной и цифровой аэро- и космической съемки для целей таксации и мониторинга лесов в лесном фонде РФ.

Обоснована необходимость продолжения исследований в части изучения возможностей интегрирования данных оптических сенсоров с РСА, разработки программных модулей автоматизированной обработки мультисенсорных данных дистанционного зондирования леса.

Библиографические ссылки

1. Бондур В. Г., Чимитдоржиев Т. Н. Дистанционное зондирование растительности с использованием космических радиолокационных и многоспектральных оптических изображений // Известия вузов. Геодезия и аэрофотосъемка. 2008. № 6. С. 112–121.
2. Данилин И. М., Данилин А. И., Свищев Д. А. Лазерная локация и цифровая аэросъемка – подспутниковый компонент в системе информационного обеспечения инвентаризации, мониторинга и кадастра лесных земель // Вестник СибГАУ. 2010. № 3 (29). С. 55–59.
3. Данилин И. М., Медведев Е. М. Некоторые результаты международного проекта по исследованию возможностей лазерной, радарной и цифровой аэросъемки лесов // Известия вузов. Лесной журнал. 2008. № 1. С. 15–23.

4. Данилин И. М., Медведев Е. М. Технология мониторинга и инвентаризации лесных ресурсов на основе лазерной локации, цифровой аэрофотосъемки и спутникового геопозиционирования // Журнал Сибирского федерального университета. Серия «Техника и технологии». 2011. Т. 4, № 3. С. 326–336.

5. Данилин И. М., Фаворская М. Н. Описание программных модулей использования данных лазерной локации и цифровой аэрофотосъемки лесных территорий // Исследование Земли из космоса. 2013. № 2. С. 62–73.

6. Медведев Е. М., Данилин И. М., Мельников С. Р. Лазерная локация земли и леса: учеб. пособие. 2-е изд., перераб. и доп. М. : Геокосмос ; Красноярск : ИЛ СО РАН, 2007.

7. Сухих В. И. Аэрокосмические методы в лесном хозяйстве и ландшафтном строительстве: учеб. для вузов. Йошкар-Ола : Изд-во МарГТУ, 2005.

8. Чимитдоржиев Т. Н. Оптико-микроволновые методы дистанционного контроля лесных ресурсов : автореф. дис. ... д-ра техн. наук. Красноярск : СФУ, 2008.

9. Using airborne laser scanner data and CIR orthophotos to estimate the stem volume of forest stands / С. Straub, M. Dees, H. Weinacker, B. Koch // Photogrammetrie, Fernerkundung und Geoinformation. 2009. № 3. P. 277–287.

10. Suvanto A., Maltamo M. Using mixed estimation for combining airborne laser scanning data in two different forest areas // Silva Fennica. 2010. Vol. 44, № 1. P. 91–107.

11. Integrating profiling LiDAR with Landsat data for regional boreal forest canopy attribute estimation and change characterization // Remote Sensing of Environment. 2007. Vol. 110. P. 123–137.

12. ArcGis [Электронный ресурс]. URL: <http://www.esri.com/software/arcgis>.

13. StatSoft. Statistica 8.0 [Электронный ресурс]. URL: <http://www.statsoft.com/#>.

References

1. Bondur V. G., Chimitdorziev T. N. *Izvestiya vuzov. Geodeziya i aerofotos'emka*, 2008, no. 6, pp. 112–121.

2. Danilin A. I., Danilin I. M., Svishev D. A. *Vestnik SibGAU*. 2010, no. 3 (29), pp. 55–59.

3. Danilin I. M., Medvedev E. M. *Izvestiya vuzov. Lesnoi zurnal*, 2008, no. 1, pp. 15–23.

4. Danilin I. M., Medvedev E. M. *Zurnal Sibirskogo federal'nogo universiteta. Seriya «Tekhnika i tekhnologii» (Journal of Siberian Federal University. Engineering & Technologies)*, 2011, Vol. 4, no. 3, pp. 326–336.

5. Danilin I. M., Favoskaya M. N. *Issledovanie Zemli iz kosmosa*, 2013, no. 2, pp. 62–73.

6. Medvedev E. M., Danilin I. M., Mel'nikov S. R. *Lazernaya lokatsiya zemli i lesa: uchebnoe posobie, 2-e izdanie, pererabotannoe i dopolnennoe (Laser location of earth and forest: textbook, 2-nd edition, revised and enlarged)*. Moscow, Geocosmos; Krasnoyarsk, V. N. Sukachev Institute of Forest, Russian Academy of Sciences, Siberian Branch, 2007. 229 p.

7. Sukhikh V. I. *Aerokosmicheskie metody v lesnom khozyaistve: uchebnik dlya vuzov (Aerospace methods in*

forest management and landscape building) / M. Wulder, T. Han, C. White et al.. Ioshkar-Ola : Mari State Technical University Publ., 2005.

8. Chimitdorziev T. N. *Optiko-mikrovolnovye metody distantsionnogo kontrolya lesnykh resursov: avtoreferat dissertatsii ... doktora technicheskikh nauk: 05.11.13 (Optical-microwave methods for remote control of forest resources): thesis of doctor of technical sciences dissertation*. Krasnoyarsk, Siberian Federal University, 2008. 29 p.

9. Straub C., Dees M., Weinacker H., Koch B. Using airborne laser scanner data and CIR orthophotos to estimate the stem volume of forest stands. *Photogrammetrie, Fernerkundung und Geoinformation*, 2009, no. 3, pp. 277–287.

10. Suvanto A., Maltamo M. Using mixed estimation for combining airborne laser scanning data in two different forest areas. *Silva Fennica*, 2010, Vol. 44, no. 1, pp. 91–107.

11. Wulder M., Han T., White C., Sweda T., Tsuzuki H. Integrating profiling LiDAR with Landsat data for regional boreal forest canopy attribute estimation and change characterization. *Remote Sensing of Environment*, 2007, Vol. 110, pp. 123–137.

12. ArcGis (2013), Available at: <http://www.esri.com/software/arcgis> (accessed 5 February 2013).

13. StatSoft. Statistica 8.0 (2013), Available at: <http://www.statsoft.com/#> (accessed 5 February 2013).

© Данилин А. И., Данилин И. М., Свищев Д. А., 2013