

ВЫЯВЛЕНИЕ НИЗКОПОЛНОТНЫХ НАСАЖДЕНИЙ ПОСЛЕ САНИТАРНО-ОЗДОРОВИТЕЛЬНЫХ МЕРОПРИЯТИЙ ДИСТАНЦИОННЫМ ЗОНДИРОВАНИЕМ В БРЯНСКОМ ЛЕСНОМ МАССИВЕ

кандидат сельскохозяйственных наук **В. И. Шошин**¹

В. И. Дзубан¹

кандидат сельскохозяйственных наук **В. В. Вечеров**²

1 – ФГБОУ ВО «Брянский государственный инженерно-технологический университет»,
г. Брянск, Российская Федерация

2 – Филиал ФГБУ «Рослесинформ» «Заплеспроект», г. Брянск, Российская Федерация

Доля хвойных насаждений, имеющих низкую полноту (ниже 0.5) вследствие изреживаний древостоев в рамках проведения санитарно-оздоровительных мероприятий в период массового развития вредных организмов, постепенно увеличивается. Чрезмерное снижение полноты насаждений в течение длительного времени сказывается на их продуктивности, а восстановление природоохранных функций затягивается на десятилетия и зачастую не отвечает хозяйственному назначению. Особенно значимо это для лесов зеленой зоны, лесопарковой зоны, где к насаждениям предъявляются и особые эстетические требования. Особое значение в данных условиях приобретают современные и доступные методы оперативного контроля за состоянием лесного фонда. Дистанционное зондирование Земли имеет ряд преимуществ, среди которых на первое место выдвигается безконтактность с изучаемым объектом, возможность получения разносторонней информации по лесному участку. В работе представлены результаты исследований по оценке возможности выявления прогалин в низкополнотных насаждениях по мультिवременным композитным изображениям территории Брянского лесного массива. Мультिवременной композит представляет собой серию полученных в разное время аэрокосмических снимков определенной территории, включающую в себя спектральные каналы обоих снимков. В качестве контрольных данных использовались результаты натурного обследования с применением GPS-приемника. Выявлено, что метод визуального дешифрирования и ручной векторизации прогалин с использованием мультिवременного композита и свежей космосъемки позволяет определять площадь прогалин со средней точностью 2,4 %. Установлена высокая точность определения координат центров прогалин по снимку сверхвысокого разрешения. Средняя ошибка определения координат прогалин не превышает 5 м в натуре и в среднем равна около 3 м в плане.

Ключевые слова: дистанционное зондирование, низкополнотные насаждения, космосъемка, прогалины

IDENTIFYING UNDERSTOCKED PLANTATIONS AFTER HEALTH AND WELLNESS EVENTS BY REMOTE SENSING IN THE BRYANSK FOREST

PhD in Agriculture **V. I. Shoshin**¹

V. I. Dzuban¹

PhD in Agriculture **V. V. Vechevov**²

1 – Federal State Budget Education Institution of Higher Education «Bryansk State Technological University of Engineering», Bryansk, Russian Federation

2 – Branch of Federal State Budget Institution «Roslesinform» «Zaplesproekt», Bryansk, Russian Federation

Abstract

The share of conifer plantations that have low completeness (below 0.5) due to destruction of forest stands in the framework of sanitary and health measures in the period of mass development of pests is gradually increasing. Excessive reduction of the fullness of the plantings for a long time affects their productivity, and restoration of environmental functions has been delayed for decades and often do not meet commercial purposes. This is especially important for forests in the green zone, forest zone, where the plantings need particular aesthetic requirements. Particular importance in these conditions have modern and affordable methods of operative control over a state forest fund. Remote sensing has several advantages, among which, noncontact method with the object under study, the possibility of receiving di-

verse information on forest plot is nominated in the first place. The paper presents the results of studies to assess the ability to identify gaps in understocked stands for multi-temporal composite images of territory of the Bryansk forest. Multi-temporal composite is a series of space images of a certain territory taken at different time, which includes the spectral channels of both images. Results from field survey using GPS receiver were used as control data. It is revealed that the method of visual interpretation and manual digitization of the glades using multi-temporal composite and fresh imagery allows to determine the area of gaps with an average precision of 2.4 %. The high accuracy of determining coordinates of the centres of the gaps in the picture of very high resolution is defined. The average error of determining the coordinates of the gaps does not exceed 5 m in nature and averages about 3 m in scheme.

Keywords: remote sensing, understocked stands, space survey, clearings

Санитарно-оздоровительные мероприятия (СОМ) связанные и изреживанием насаждений в период массового развития короледа-типографа проводятся на больших площадях [7, 8]. Чрезмерное изреживание насаждений длительное время сказывается на их продуктивности, а восстановление природоохранных функций затягивается на десятилетия и зачастую не отвечает хозяйственному назначению. Особенно значимо это для лесов зеленой зоны, лесопарковой зоны где к насаждениям предъявляются и особые эстетические требования. Сложившаяся в РФ система лесопользования построена на первоочередном учете изымаемого из леса ресурса, вопросы организации качественного управления лесопользованием с учетом целевого назначения должны быть решены позднее [5].

В ближайшие годы особую значимость приобретут современные и доступные методы оперативного контроля за состоянием лесного фонда. Дистанционное зондирование земли (ДЗЗ) имеет ряд преимуществ, среди которых на первое место выдвигается безконтактность с изучаемым объектом, возможность получения разносторонней информации по лесному участку [2, 12].

При современном дистанционном зондировании используют сканирующие системы, которые работают в очень узком диапазоне электромагнитного спектра и регистрируют информацию об определенных свойствах объекта в цифровом виде.

Набор полученных в разное время аэрокосмических снимков определенной территории чаще всего называют разновременными снимками. Такой набор может быть составлен из снимков, различающихся по масштабу и типу съемки, а сроки съемки обычно носят случайный характер, т. к. она выполняется для решения разных задач. Серию таких снимков можно представить как многовременной снимок (мультивремен-

ной композит) [2, 10].

Мультивременной композит представляет собой растровое изображение на область перекрытия двух разновременных снимков, включающее в себя спектральные каналы обоих снимков. При выборе каналов для синтеза придерживаются следующего правила: каналы позднего (нового) снимка занимают первую (Red) и третью (Blue) компоненты, канал раннего (старого) снимка занимает вторую (Green) компоненту.

На изображении, синтезированном указанным образом, измененные участки отображаются яркими цветами. В розовый цвет окрашиваются пиксели, в которых произошло увеличение яркости. Такой цвет будут иметь вырубки, вскрытые грунты, появившиеся на новом снимке. В зеленый цвет окрашиваются пиксели, в которых произошло уменьшение яркости пикселей. Например, такой цвет будут иметь тени от облаков [1, 3].

В работе по оценке полноты насаждений по снимкам QuickBird с пространственным разрешением 0,6 м для боров Северного Казахстана [6] отмечалось, что ключевым дешифровочным признаком разделения площадей по полноте является морфология и текстура светотеней. Последняя зависит от архитектуры кроны и различий в высоте между доминирующими деревьями и фоновым окружением.

Для Брянского лесного массива характерно высокая пестрота почвенного покрова и неоднородность лесоводственно-таксационных показателей произрастающих насаждений [7]. Это осложняет применение здесь ДЗЗ для выявления изреженных насаждений в результате проведения СОМ.

В качестве натуральных объектов для апробации ДЗЗ было отобрано 6 участков лесного фонда в Брянском Учебно-опытном лесничестве (Опытный отдел интродукции и лесоведения Учебно-опытного лесхоза

Брянского государственного инженерно-технологического университета) отличающихся видовым составом, возрастом и интенсивностью изреживания (табл. 1). Лесоводственно-таксационные характеристики насаждений до рубки устанавливались глазомерным способом, выбираемая часть – на основании фактических данных по отпускаемой древесине с участка рубки. Деревья в санитарную рубку назначались с учетом их состояния. Как правило, на ель приходилось от 67 до 91 % от общей выборки.

Работа по выявлению и учету участков лесного фонда с низкополнотными насаждениями выполнялась в программных комплексах ScanexImageProcessor v.4.2.14 и QGIS v.2.16 с применением съемки сверхвысокого разрешения (менее 1 м/пкс) с отечественных космических аппаратов (КА) Ресурс-П 2015 («старый» снимок) и 2016 («новый» снимок) годов съемки.

Выявление изменений в лесном покрове и определение среди них низкополнотных (относ. полнота 0,3-0,5) насаждений на созданном мультивременном композите выполняли вручную, т. к. автоматизированные методы требуют кропотливой подготовки исходных разновременных снимков [1, 2, 3].

Определение контуров низкополнотных насаждений заключалось в выявлении участков с наличием как групп ярких пикселей, так и просматриваемого древесного полога (рис. 1).

Для принятия решений по реконструкции изреженных насаждений после СОМ большое значение имеет равномерность выборки деревьев по территории. Зачастую из-за группового размещения поврежденной ели в смешанном насаждении возникают прогалы после санитарной рубки. Размер и форма этих прогалов учитывается при разработке технологий восстановления продуктивности низкополнотных древостоев. Нами в границах выявленных изменений лесного фонда на новом снимке проводилась ручная векторизация визуально различных прогалов.

После векторизации всех выявленных прогалов проводился подсчет площадей прогалов и вычисление координат центров путем автоматизированного заполнения полей атрибутов (рис. 2).

Камеральная оценка точности выявления изменений в лесном покрове ДЗ заключалась в сопоставлении с данными лесоустройства и материалами отводов выборочных рубок. Для этого производилась привязка выявленных прогалов к квартальной-повыделной базе путем загрузки полученного векторного слоя, а также векторной повыделной базы (или привязанных лесоустроительных планшетов) в QGIS.

Проверка точности границ прогалов заключалась в натурной (полевой) фиксации границ прогалов с использованием GPS-приемника (GarminOregon 450). Полученные GPS-треки натурального отвода (расширение

Таблица 1

Лесоводственно-таксационная характеристика насаждений и проведенных СОМ

Квартал Выдел	Состав	Возраст, лет	ТЛ ТЛУ	Полнота	Класс бонитета	Выбираемая часть по породам, шт./м ³					
						Сосна	Ель	Береза	Осина	Дуб и др.	Всего
7	4Ол1Б3Е2С+Ос	85	<u>БП</u> Д ₄	0,8	I	<u>12</u> 16,5	<u>110</u> 96,2	<u>7</u> 6,3	<u>4</u> 3,9	-	<u>133</u> 122,9
23	3Д2Е3Ос2Олч	80	<u>ЛЩКП</u> Д ₃	0,6	I	-	<u>21</u> 14,9	<u>2</u> 2,0	<u>2</u> 2,1	-	<u>25</u> 19,0
35	4Е1Д5Ос+Б	75	<u>ЛиП</u> С ₂	0,7	I	-	<u>62</u> 60,7	<u>2</u> 2,3	<u>26</u> 27,1	<u>3</u> 2,7	<u>93</u> 92,8
49	6С4Е+Д+Б	90	<u>ЛЩКП</u> Д ₃	0,5	I	<u>5</u> 6,7	<u>52</u> 42,9	-	-	-	<u>57</u> 49,6
60	7С2Е1Б+Д	110	<u>ЛиП</u> С ₂	0,7	I ^a	<u>4</u> 6,1	<u>87</u> 79,5	-	-	<u>5</u> 2,0	<u>96</u> 87,6
85	7С2Е1Б	150	<u>ЛиП</u> С ₂	0,6	I	<u>9</u> 18	<u>21</u> 10,7	-	-	<u>1</u> 0,3	<u>30</u> 29,0

Сокращения: ТЛ – тип леса; ТЛУ – тип лесорастительных условий; Д₃, Д₄ – дубрава мокрая, сырая; С₂ – суборь влажная; БП – болотно-папоротниковый, ЛЩКП – лещиново-копытневый; ЛиП – липняковый; Ол – ольха; Б – береза; Е – ель; Ос – осина; Б – береза; С – сосна; Д – дуб

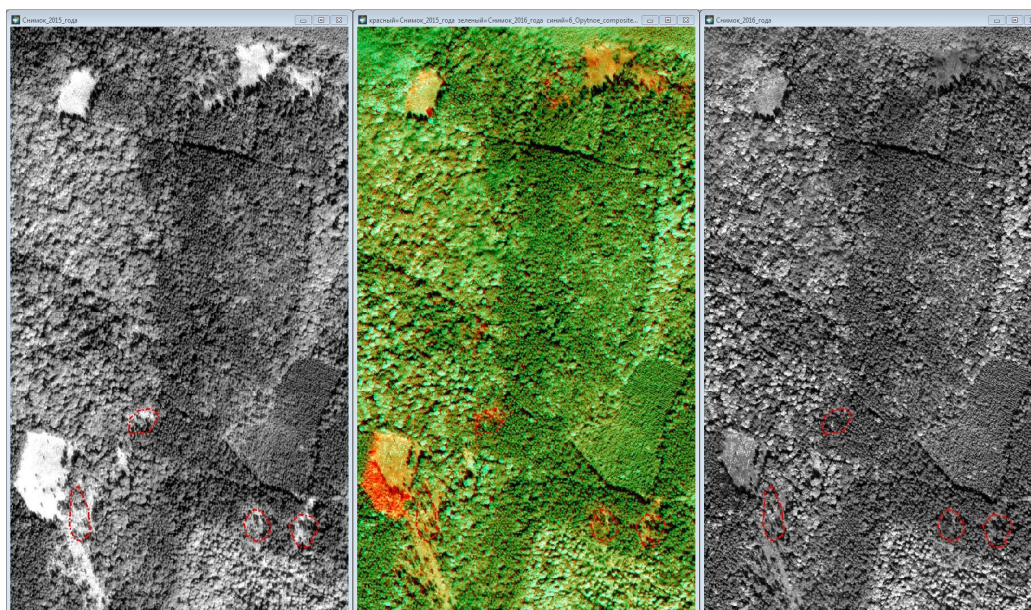


Рис. 1. Пример разновременных снимков и созданного мультивременного композитного изображения: слева – сцена «нового» снимка (2016 г.), справа – сцена «старого» снимка (2015 г.), центр – композитное изображение, красный пунктир – границы выявленных изменений лесного покрова

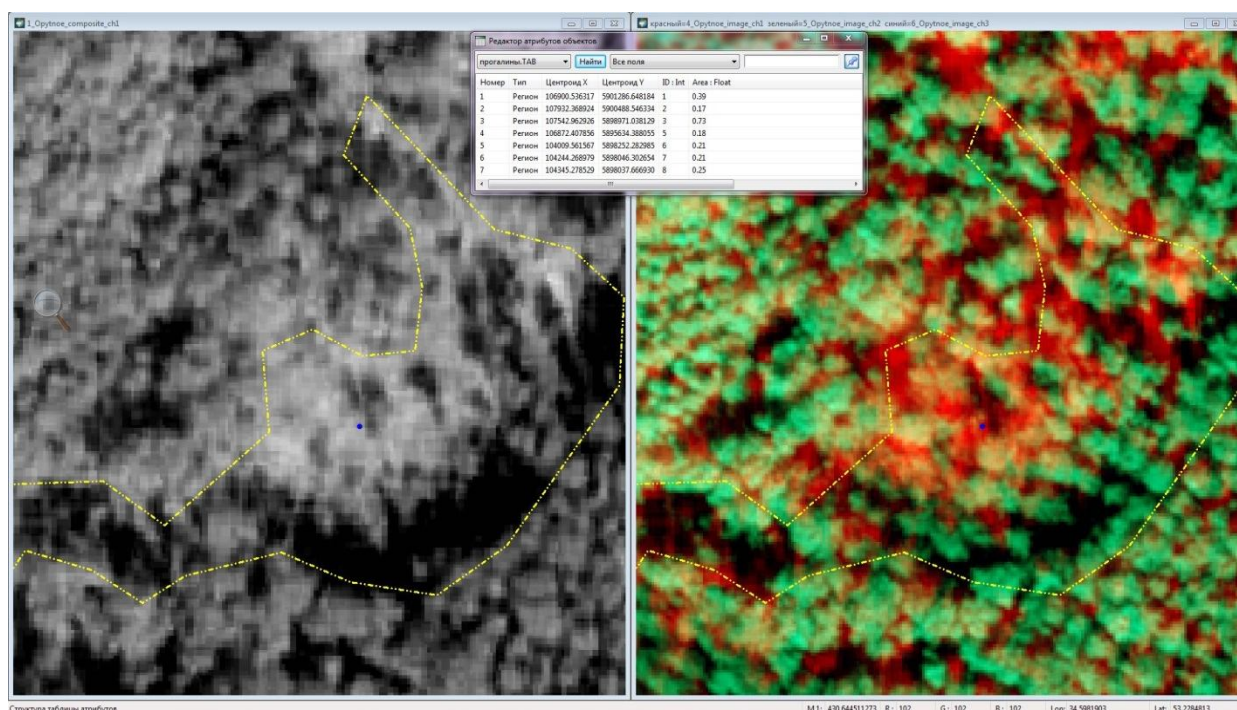


Рис. 2. Пример заполненной атрибутивной информации векторного слоя «прогалины.tab»: жёлтый контур – граница прогалины, синяя точка – центр прогалины

«.grx») использовались для последующей камеральной обработки данных с применением ГИС-технологий и статистической оценки точности.

Обработка полученных данных в программах ScanexImageProcessor, QGISи MSExcel позволила ус-

тановить достаточно высокую точность определения границ прогалин площадей (табл. 2).

Согласно данным табл. 2, средняя площадь выявленных прогалин как по снимку, так и по GPS-приёмнику составляет около 0,3 га. Средняя ошибка

Сравнительные данные площадей прогалин «по снимку» и «по GPS»

Квартал	Площадь, га		Ошибка определения площади	
	«прогалины»	«отводыGPS»	га	%
7	0,39	0,43	-0,04	-9,3
23	0,17	0,15	0,02	13,3
35	0,73	0,65	0,08	12,3
85	0,18	0,17	0,01	5,9
49	0,21	0,21	-	-
60	0,21	0,24	-0,03	-12,5
60	0,25	0,24	0,01	4,2
Ср.	0,31	0,30	0,01	2,4

определения площади составила 0,01 га (2,4 %). Наибольшая точность определения отмечена для прогалин образованных в хвойных насаждениях, имеющих площадь около 0,2 га.

Таким образом, по космической съемке сверхвысокого разрешения (менее 1 м/пкс) с допустимой точностью (до 3 %) выявляются прогалины площадью около 0,2-0,3 га.

Статистическое сравнение расположения центров выявленных прогалин позволяют судить не только о величине площадей, но и о точности их местоположения. Числовые характеристики точности определения центров прогалин вычислялись по расхождениям измеренных на снимках координат центров и координат полученных с применением GPS-приёмника, которые принимались за геодезические, т. е. опорные.

В качестве основных показателей точности были выбраны следующие широко распространённые в отечественной и международной практике ошибки [4, 11, 13, 14]:

- 1) систематический сдвиг (систематическая ошибка) – d;
- 2) среднеквадратическая ошибка – RMSE_r;
- 3) средняя радиальная ошибка – MRE;
- 4) круговая вероятная 90 % ошибка – CE90;
- 5) максимальное радиальное отклонение

в выборке – R_{max}.

В табл. 3 приведены показатели точности определения координат центров прогалин.

На основании анализа данных табл. 3 можно сделать вывод о достаточно высокой точности определения координат центров прогалин по снимку сверхвысокого разрешения, а следовательно, и о высокой точности определения не только площадей, но и их местоположения в лесном фонде. Средняя ошибка определения координат не превышает 5 м в натуре и в среднем равна около 3 м в плане.

Выводы

1. Применение одновременных снимков сверхвысокого разрешения позволяет в ручном режиме создавать мультитимежные композитные изображения территории лесного фонда по выявлению низкополнотных насаждений после СОМ.

2. Метод визуального дешифрирования и ручной векторизации прогалин с использованием мультитимежного композита и свежей космосъемки позволяет определять площадь прогалин со средней точностью 2,4 %.

3. Установлена высокая точность определения координат центров прогалин по снимку сверхвысокого разрешения. Средняя ошибка определения координат прогалин не превышает 5 м в натуре и в среднем равна около 3 м в плане.

Таблица 3

Показатели точности определения координат центров прогалин

Параметр	Значение параметра
Число контрольных точек	7
Сдвиг по X, м	-1,27
Сдвиг по Y, м	0,82
Систематический сдвиг d, м	1,52
Средняя квадратическая ошибка RMSE _r , м	3,21
Средняя радиальная ошибка MRE, м	2,75
Круговая вероятная 90 % ошибка CE90, м	4,87
Максимальное радиальное отклонение Δr _{max} , м	5,31

Библиографический список

1. Курбанов, Э. А. Решение вопросов космического мониторинга лесных гарей в комплексных пакетах ENVI и ArcGIS [Текст] / Э. А. Курбанов // Геоматика. – 2012. – № 4. – С. 82-92.
2. Лабутина, И. А. Дешифрирование аэрокосмических снимков [Текст] / И. А. Лабутина. – М. : Аспект Пресс, 2004. – С. 184.
3. Маркс, А. Лесопатологический космический мониторинг: возможности группировки RapidEye [Текст] / А. Маркс, Р. Грисбах // Геоматика. – 2012. – № 4. – С. 46-51.
4. Оньков, И. В. Анализ точности ортоснимков WorldView-2 в зависимости от метода геометрической коррекции по опорным точкам [Текст] / И. В. Оньков // Геоматика. – 2013. – № 1. – С. 24-31.
5. Основы государственной политики в области использования, охраны, защиты и воспроизводства лесов в Российской Федерации на период до 2030 года [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://government.ru/media/files/41d4926bf69a218ee79f.pdf>.
6. Терехов, А. Г. Автоматический алгоритм классификации снимков QuickBird в задаче оценки полноты леса [Текст] / А. Г. Терехов, Н. Г. Макаренко, И. Т. Пак // Компьютерная оптика. – 2014. – Т. 38. – № 3. – С. 580-583.
7. Шелухо, В. П. Динамика санитарного состояния ельников в период кульминации размножения типографа и эффективность лесозащитных мероприятий [Текст] / В. П. Шелухо, В. И. Шошин, В. С. Клюев // Лесной журнал. – 2014. – № 2. – С. 30-37.
8. Шошин, В. И. Оптимизация продуктивности насаждений на почвенно-геологической основе Брянского опытного лесничества. 100-летие Брянского опытного лесничества БГИТА [Текст] / В. И. Шошин, В. А. Егорушкин. – Брянск : Клинцовская городская типография, 2006. – С. 190.
9. Чандра, А. М. Дистанционное зондирование и географические информационные системы [Текст] / А. М. Чандра, С. К. Гош. – М. : Техносфера, 2008. – С. 312.
10. Ялдыгина, Н. Б. Использование программного комплекса ENVI для решения задач лесного хозяйства [Текст] / Н. Б. Ялдыгина // Геоматика. – 2011. – № 3. – С. 34-39.
11. Bettinger, P. Influence of the juxtaposition of trees on consumer-grade GPS position quality [Text] / P. Bettinger, L. M. Krista // Math. Comput. For. Nat.-Res. Sci. – Vol. 4. – Issue 2. – P. 81-91.
12. Characterising forest structure using combinations of airborne laser scanning data, RapidEye satellite imagery and environmental variables [Text] / J. P. Dash [et al.] // Forestry. – London, 2016. – Vol. 89. – Issue 2. – P. 159-169.
13. Edson, C. Tree location measurement accuracy with a mapping-grade GPS receiver under forest canopy [Text] / C. Edson, M. G. Wing // For. Sci. – No. 58. – P. 567-576.
14. Frank, J. Balancing horizontal accuracy and data collection efficiency with mapping-grade GPS receivers [Text] / J. Frank, M. G. Wing // Forestry. – London, 2014. – Vol. 87. – Issue 3. – P. 389-397.

References

1. Kurbanov E.A. *Reshenie voprosov kosmicheskogo monitoring lesnyh garej v kompleksnyh paketah ENVI i ArcGIS* [Solving the problems of space monitoring of forest fires in integrated packages ENVI and ArcGIS]. *Geomatika* [Geomatics], 2012, no 4, pp. 82-92. (In Russian).
2. Labutina I.A. *Deshifrirovaniye ajerokosmicheskikh snimkov* [Deciphering of aerospace images]. Moscow, 2004, p. 184. (In Russian).
3. Marx A., Griesbach R. *Lesopatologicheskij kosmicheskij monitoring: vozmozhnosti gruppirovki RapidEye* [Forest pathology monitoring from space: the possibility of grouping RapidEye]. *Geomatika* [Geomatics], 2012, no 4, pp. 46-51. (In Russian).
4. Onkov I.V. *Analiz tochnosti ortosnimkov WorldView-2 v zavisimosti ot metoda geometricheskoy korrekcii po opornym tochkam* [Analysis of the accuracy of orthographic WorldView-2 depending on the method of geometric correction by reference points]. *Geomatika* [Geomatics], 2013, no1, pp. 24-31. (In Russian).

5. *Osnovy gosudarstvennoj politiki v oblasti ispol'zovaniya, ohrany, zashhity i vosproizvodstva lesov v Rossijskoj Federacii na period do 2030 goda* [Bases of the state policy in the field of use, protection, protection and reproduction of forests in the Russian Federation for the period up to 2030]. Access mode: <http://government.ru/media/files/41d4926bf69a218ee79f.pdf>. (In Russian).
6. Terekhov A.G., Makarenko N.G., Pak I.T. *Avtomatičeskij algoritm klassifikacii snimkov Quick Bird v zadache ocenki polnoty lesa* [Automatic algorithm for classification of QuickBird images in the task of evaluating the completeness of a forest]. *Komp'juternaja optika* [Computer optics], 2014, no. 3, pp. 580-583. (In Russian).
7. Shelukho V.P., Shoshin V.I., Klyuev V.S. *Dinamika sanitarnogo sostojanija el'nikov v period kul'minacii razmnozhenij atipografajj effektivnost' lesozashhitnyh meroprij atij* [Dynamics of sanitary conditions of spruce forests during the culmination of reproduction of the printer and the effectiveness of forest protective measures]. *Lesnoj zhurnal* [The Forest Journal], 2014, no. 2, pp. 30-37. (In Russian).
8. Shoshin V.I., Yegorushkin V.A. *Optimizacija produktivnosti na sazhdenij na pochvenno-geologičeskoj osnově Brjanskogo opytnogo lesničestva. 100-letie Brjanskogo opytnogo lesničestva BGITA* [Optimization of productivity of plantations on the soil-geological basis of Bryansk experimental forestry. 100th anniversary of the Bryansk experimental forestry of BSAET]. Bryansk, 2006, p. 190. (In Russian).
9. Chandra A.M., Ghosh S.K. *Distancionnoe zondirovanie i geograficheskie informacionnye sistemy* [Remote sensing and geographic information systems]. Moscow, 2008, p. 312. (In Russian).
10. Yaldygina N.B. *Ispol'zovanie programmnogo kompleksa ENVI dlja reshenija zadach lesnogo hozjajstva* [Use of the ENVI software for solving forestry problems]. *Geomatika* [Geomatics], 2011, no 3, pp. 34-39. (In Russian).
11. Bettinger P., Krista L.M. Influence of the juxtaposition of trees on consumer-grade GPS position quality. *Math. Comput. For. Nat.-Res. Sci.*, 2012, Vol. 4, Issue 2, pp. 81-91.
12. Dash J. P., Watt M.S., Bhandari S., Watt P. Characterising forest structure using combinations of airborne laser scanning data, RapidEye satellite imagery and environmental variables. *Forestry*, 2016, Vol. 89, Issue 2, pp. 159-169.
13. Edson C., Wing M.G. Tree location measurement accuracy with a mapping-grade GPS receiver under forest canopy. *For. Sci.*, 2011, no. 58, pp. 567-576.
14. Frank J., Wing M. G. Balancing horizontal accuracy and data collection efficiency with mapping-grade GPS receivers. *Forestry*, 2014, Vol. 87, Issue 3, pp. 389-397.

Сведения об авторах

Шошин Владимир Иванович – доцент кафедры лесного дела ФГБОУ ВО «Брянский государственный инженерно-технологический университет», кандидат сельскохозяйственных наук, доцент, г. Брянск, Российская Федерация; e-mail: VISHoshin44@gmail.com.

Дзубан Владимир Иванович – магистрант кафедры лесного дела ФГБОУ ВО «Брянский государственный инженерно-технологический университет», г. Брянск, Российская Федерация; e-mail: dzu-vladimir@mail.ru.

Вечеров Владислав Вадимович – инженер отдела обработки данных дистанционного зондирования Земли Филиала ФГБУ «Рослесинфорг» «Заплеспроект», г. Брянск, Российская Федерация; e-mail: phros@mail.ru.

Information about authors

Shoshin Vladimir Ivanovich – Associate Professor of Forest business department, Federal State Budget Education Institution of Higher Education «Bryansk State University of Engineering and Technologies», Ph.D. in Agriculture, Associate Professor, Bryansk, Russian Federation; e-mail: VISHoshin44@gmail.com

Dzuban Vladimir Ivanovich – Magister of Forest business department, Federal State Budget Education Institution of Higher Education «Bryansk State University of Engineering and Technologies», Bryansk, Russian Federation; e-mail: dzu-vladimir@mail.ru.

Večerov Vladislav Vadimovich – Engineer of remote sensing department, Branch office of Federal State Budget Institution «Roslesinforг» «Zaplesproekt», Ph.D. in Agriculture, Bryansk, Russian Federation; e-mail: phros@mail.ru.