

УДК 630*566

DOI: 10.17238/issn0536-1036.2016.1.74

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МАТЕРИАЛОВ ДЕТАЛЬНОЙ СПУТНИКОВОЙ СЪЕМКИ ДЛЯ ТАКСАЦИИ ЛИСТВЕННИЦЫ СИБИРСКОЙ В АРХАНГЕЛЬСКОЙ ОБЛАСТИ*

© *А.П. Богданов, канд. с.-х. наук*

Р.А. Алешко, канд. техн. наук, доц.

К.В. Шошина, ст. преп.

С.А. Демиденко, ст. преп.

Северный (Арктический) федеральный университет имени М.В. Ломоносова, наб. Северной Двины, 17, г. Архангельск, Россия, 163002; e-mail: aleksandr_bogd@mail.ru

Сохранение и восстановление лиственницы является важной задачей лесопромышленного комплекса Архангельской области в виду особых качеств древесины. Учитывая сложность таксации и высокую стоимость полевых исследований, в статье проанализирован опыт исследовательской работы по определению лиственницы с использованием данных детальной спутниковой съемки на базе алгоритма бинарной классификации. Для этого в геоинформационной среде QuantumGIS с помощью информации, собранной в полевых условиях, были выделены кроны деревьев, относящихся к лиственнице сибирской. В качестве исходных данных использовали снимки сверхвысокого разрешения GeoEye-1 (пространственное разрешение – до 0,5 м на пиксель; спектральное разрешение – 3 видимых диапазона, ближний – инфракрасный). На снимке было выделено несколько крон деревьев, отмеченных в полевых условиях с использованием приборов глобального позиционирования. На основе выделенных эталонов крон был применен алгоритм бинарной классификации. Несомненным достоинством работы является классификация дешифровочных признаков лиственницы: крона лиственницы окрашена в светло-фиолетовый цвет при комбинации каналов ближний инфракрасный спектр–красный–зеленый; в сомкнутых насаждениях отраженный солнечный свет несет информацию не только о разреженной кроне лиственницы, но и о нижних ярусах растительности, зачастую меняя тон в зависимости от его состава и структуры напочвенного покрова. Результат работы алгоритма – сетка растра, ячейками которого является вероятность принадлежности пикселя к искомому классу. Далее проводилась экспериментальная оценка порогового значения в целях отсека пикселей, для которых мала вероятность принадлежности к классу «лиственница», при этом достаточный порог достоверности – 0,5. Установлено, что эталонные значения контуров лиственницы в большинстве своем совпадают с полученными классифицированными пикселями изображения. Отмечается высокая достоверность полученных данных при сравнении с полевыми исследованиями. Полученная методика автоматизированного дешифрирования лиственницы может быть применена для других пород при инвентаризации лесного фонда Архангельской области.

Ключевые слова: лиственница сибирская (*Larix sibirica*), методика тематического дешифрирования, спутниковые снимки, бинарная классификация.

* Исследование поддержано в рамках внутреннего конкурса САФУ «Выполнение научно-исследовательских и инновационных работ студентами и молодыми учеными по приоритетным направлениям развития университета» 2013 г.

Лиственница сибирская (*Larix sibirica*) является самой распространенной породой в России, но на территории Архангельской области она относится к исчезающей породе, доля участия которой от покрытой лесом площади составляет лишь 0,25 %. Динамику изменения доли от лесопокрытой площади можно проследить по табл. 1 [7].

Таблица 1

Наличие лиственницы в лесах Архангельской области (1906–1998 гг.)

Показатель	1906	1927	1961	1966	1978	1983	1988	1993	1998
Лесопокрытая площадь, тыс. га	–	–	–	81,2	61,1	54,6	54,7	54,0	52,6
Доля участия лиственницы в лесопокрытой площади, %	≈5,0	≈2,0	≈0,80	0,42	0,32	0,29	0,29	0,27	0,25

Сохранение и восстановление лиственницы – актуальная задача лесопромышленного комплекса Архангельской области, что подтверждает правовой акт [3] и исследования экологов [4]. Особенностью и достоинствами данной породы являются быстрый рост, высокие показатели физико-механических свойств древесины, высокая устойчивость к антропогенным нагрузкам [6]. Сложность таксации древостоев сопряжена с достаточной протяженностью Архангельской области, высокой стоимостью лесоучетных работ, что служит предпосылками для развития дистанционных методов в целях рационального использования лесных ресурсов. Перед нами стояла задача разработать методику выделения участков лиственницы с использованием детальной спутниковой съемки для их дальнейшего изучения и сохранения.

Цель исследования – создание алгоритма автоматизированного выделения лиственницы на снимках сверхвысокого разрешения территории Емцовского учебно-опытного лесхоза САФУ.

В настоящее время традиционным способом определения лиственницы является визуальное (или аналитическое) дешифрирование, которое основано на глазомерном анализе дешифровщиком особенностей этой породы. Изображение обрабатывается невооруженным глазом путем опознания прямых (тон (цвет), форма, размер, размещение, тени, рисунок (структура) [5]) и косвенных дешифровочных признаков. Лиственница имеет узкую «рыхлую» разреженную крону, хвоя светло-зеленого цвета, верхушечная часть у старых деревьев, как правило, наклонена. На рис. 1 приведен фрагмент спутникового снимка вырубki с оставленными семенниками лиственницы при следующей комбинации каналов: ближний инфракрасный спектр (Nir)–красный (Red)–зеленый (Green).

На рис. 1 можно четко рассмотреть отдельно стоящие деревья семенников. Форма проекции крон в центре космического снимка звездчатая, несимметричная, неправильно округлая. При данной комбинации спектральных каналов крона лиственницы окрашена в светло-фиолетовый цвет.

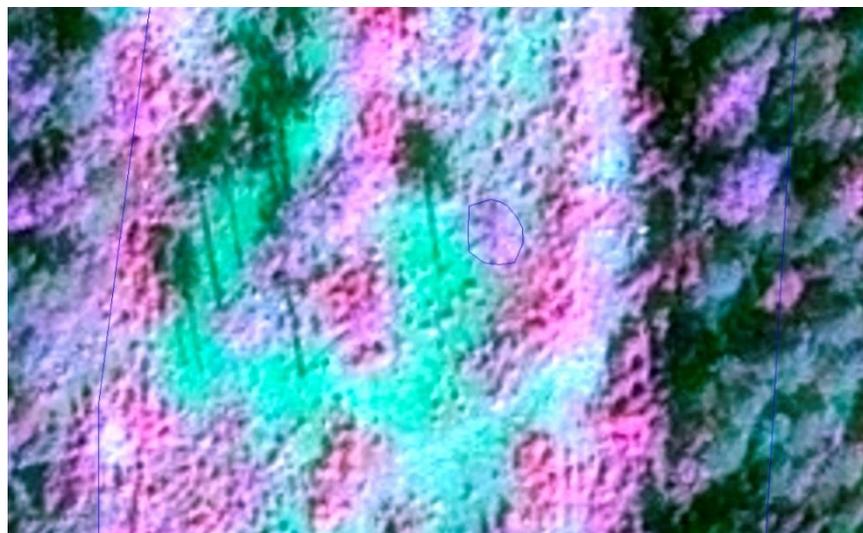


Рис. 1. Спектральный снимок с комбинацией каналов Nir/Red/Green

При распознавании лиственницы в сомкнутых насаждениях (рис. 2) следует обращать внимание на то, что отраженный солнечный свет несет информацию не только о разреженности кроны лиственницы, но и о нижних ярусах растительности, зачастую меняя тон в зависимости от состава и структуры почвенного покрова.

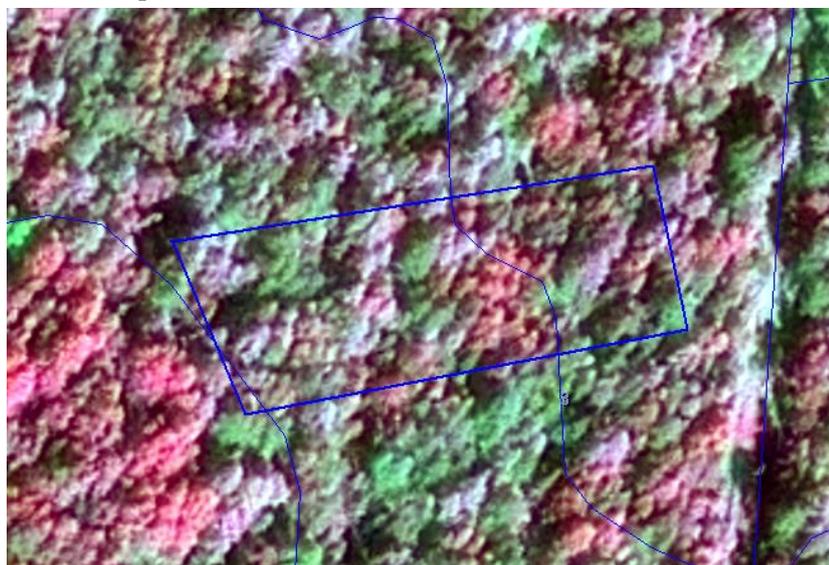


Рис. 2. Фрагмент космического изображения лесного участка на спектральном снимке с нанесенными границами выделов и границами постоянной пробной площади № 13 в квартале 106

При сборе и обработке полевого материала с помощью современного лесотаксационного оборудования была составлена схема расположения крон лиственницы на пробных площадях (ПП). Сбор и обработка полевого материала на ПП осуществлялась согласно общепринятой методике в соответствии с ОСТ 56-69–83 и рекомендациями Н.Н. Соколова от 1978 г. (табл. 2). Обследованные объекты: постоянные ПП, постоянный лесосеменной участок, вырубки различных лет давности с оставленными семенниками лиственницы.

Таблица 2

**Таксационная характеристика насаждений на постоянных ПП
в Обозерском лесничестве Архангельской области**

Номер пробы (площадь)	Год обследования	Бонитет	Состав	Порода	Средние			Сумма площадей сечений, м ² /га	Полнота	Запас, м ³ /га	
					возраст, лет	высота, м	диаметр, см			растущего	сухого
ПП 12 (0,80 га)	2013	II	5Лц4Е1С ед. Б	Лц	180	30,3	44,9	15,6	0,36	200	10
				Е		18,3	22,9	15,3	0,46	149	6
				С		22,2	37,5	4,1	0,11	42	41
				Б		20,0	26,1	0,9	0,03	5	2
<i>Итого</i>								35,9	0,96	396	59
ПП 13 (0,30 га)	2013	III	3Лц3С3Б1 Е+Ос	Лц	68	18,8	19,8	7,7	0,22	78	–
				С	61	16,9	18,3	9,6	0,30	84	5
				Б		14,4	11,2	4,7	0,19	60	1
				Е		12,1	12,6	6,4	0,27	34	–
				Ос		19,1	20,5	0,9	0,03	8	–
<i>Итого</i>								29,3	1,01	264	6
ПП 16 (0,13 га)	2013	III	5С4Лц1Е ед. Б	Лц	58	15,4	15,2	11,9	0,37	107	–
				С	60	15,4	14,9	18,1	0,59	142	7
				Е		10,6	10,8	3,0	0,14	16	–
				Б		13,5	9,8	1,3	0,07	3	–
<i>Итого</i>								34,3	1,17	268	7

Данные, представленные в табл. 2, указывают на то, что все насаждения с преобладанием лиственницы имеют высокую полноту и продуктивность и являются смешанными.

В геоинформационной среде QuantumGIS на основе информации, собранной в полевых условиях, были выделены кроны деревьев, относящихся к лиственнице сибирской.

В качестве исходных данных были взяты спутниковые снимки сверхвысокого разрешения GeoEye-1 (пространственное разрешение – до 0,5 м на пиксель, спектральное разрешение – 3 видимых диапазона, ближний инфракрасный).

На снимке было выделено несколько крон деревьев, отмеченных (найденных) в полевых условиях с использованием приборов глобального позиционирования (GPS). На основе 27 шт. выделенных эталонов крон был применен алгоритм бинарной классификации. Данный алгоритм хорошо себя зарекомендовал при решении задачи поискового дешифрирования [1, 2].

Классический алгоритм бинарной классификации позволяет выполнить разделение всех входных данных (в данном случае – значений яркости пикселей снимка) всего на 2 класса (0 – не относится к классу; 1 – относится к классу). Как показывает практика, большинство задач классификации может быть сведено к бинарным, при использовании которых удастся упростить модель и снять некоторые ограничения, связанные с большим числом возможных состояний выходных значений. Кроме того, бинарные модели являются более понятными и интерпретируемыми.

На первый взгляд, результаты работы алгоритма сильно ограничены и велика вероятность потери части данных (ввиду неоднородности лесной среды). Но при выполнении бинарной классификации есть возможность расчета вероятности отнесения каждого классифицируемого объекта (пикселя) к целевому классу (рис. 3).

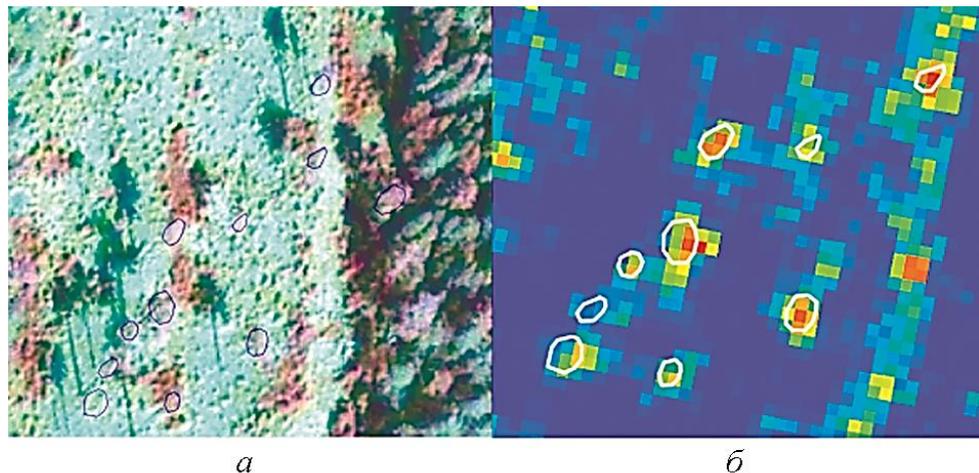


Рис. 3. Исходный снимок (а) и результат бинарной классификации (б)

Результат работы алгоритма – сетка раstra, значениями ячеек которого является вероятность принадлежности пикселя к искомому классу. На следующем этапе выполнялась экспериментальная оценка порогового значения в целях отсека пикселей, для которых мала вероятность принадлежности к классу «лиственница». Данная оценка проводилась вновь с использованием данных, собранных в полевых условиях. Было установлено, что достаточный порог достоверности – 0,5.

Приведенные данные позволяют прогнозировать количество деревьев лиственницы, ранее произраставших на месте сплошной рубки, и соблюдение экологических требований при лесопользовании в местах произрастания редких видов. Данная методика вполне эффективна при использовании спектрональных снимков высокого разрешения при наличии данных о тоне изображения породы на снимке.

На рис. 4 видно, что эталонные значения (контуры с черной границей) в большинстве своем совпадают с полученными классифицированными пикселями изображения (желтые области).

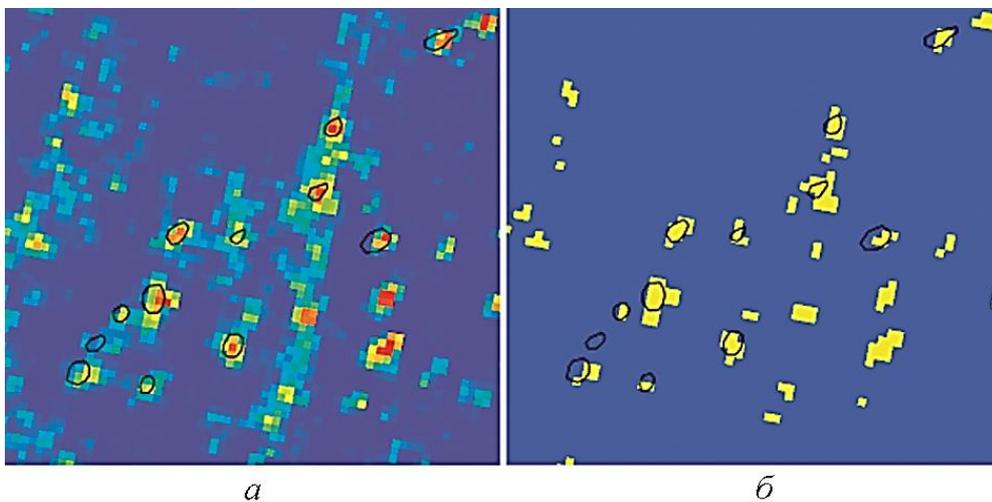


Рис. 4. Результаты бинарной классификации (а) и применения отсечения (б)

Завершающим этапом выполнения алгоритма является векторизация.

На рис. 5 изображены результаты поискового дешифрирования, полученные при разработке методики. На изображении синие контуры – данные покрывной таксации, полученные с применением данных полевых исследований; красные – полученные по разработанной методике. Отмечается высокая достоверность полученных данных по сравнению с результатами полевых исследований.

На основании разработанной методики при проведении дешифрирования данных спутниковой съемки GeoEye-1 территории Емцовского учебно-опытного участкового лесничества была получена карта лиственничных насаждений на исследуемой территории.

Предлагаемые методы исследования могут быть использованы для дешифрирования данных съемки других территорий таежного региона.

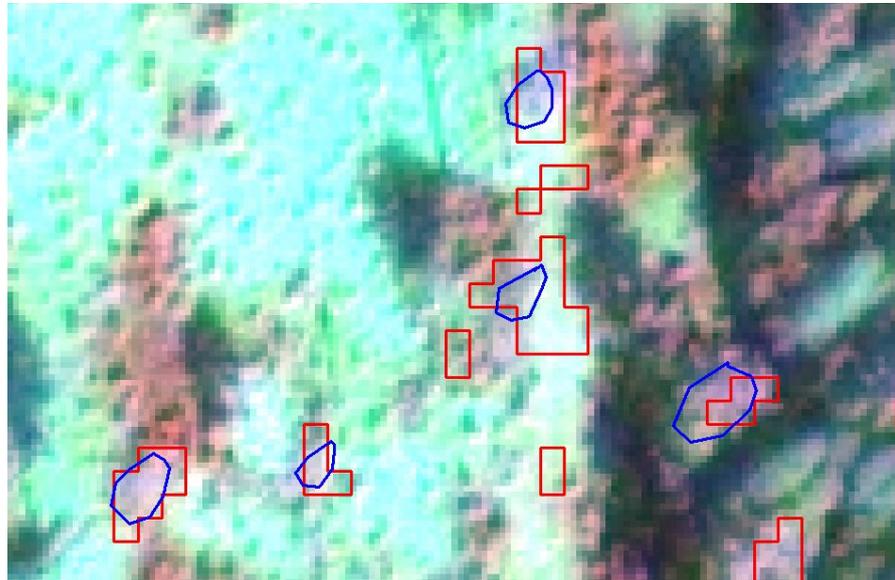


Рис. 5. Результаты поискового дешифрирования

Развитие автоматических методов обработки пространственных данных по спутниковым снимкам позволит сократить затраты на проведение лесоучетных работ. Алгоритм бинарной классификации для дешифрирования лиственницы можно использовать при инвентаризации лиственничных насаждений в Архангельской области для дальнейшего ее выделения и сохранения. Автоматизированный характер методики будет способствовать оперативному обновлению информации о лесных ресурсах, а также может служить основой для создания алгоритмов дешифрирования спутниковых снимков сверхвысокого разрешения применительно к другим древесным породам.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Алешко Р.А., Гурьев А.Т. Методика тематического дешифрирования спутниковых снимков лесных территорий на основе структурных моделей // Приборостроение. 2013. Т. 56, № 7. С. 76–77. (Изв. высш. учеб. заведений).
2. Алешко Р.А., Гурьев А.Т. Структурное моделирование взаимосвязей дешифровочных признаков спутниковых снимков и таксационных параметров лесных насаждений // Тр. СПИИРАН. 2013. № 29. С. 180–189.
3. Приказ Рослесхоза № 516 от 12 декабря 2011 г. «Об утверждении лесоустроительной инструкции».
4. Рай Е.А., Бурова Н.В., Рыкова С.Ю., Сластников С.И., Торхов С.В., Рыков А.М., Пучина Л.В., Чуракова Е.Ю., Корепанов В.И. Методические рекомендации по сохранению биоразнообразия при заготовке древесины в Архангельской области//Всемирный фонд дикой природы (WWF). Архангельск, 2013. С. 63.

5. Сухих В.И. Аэрокосмические методы в лесном хозяйстве и ландшафтном строительстве. Йошкар-Ола: Изд-во МарГТУ, 2005. С. 392.

6. Торхов С.В., Трубин Д.В. Лиственница в лесах Архангельской области: состояние, динамика, использование // Лиственничные леса Архангельской области, их использование и воспроизводство: материалы рабочего совещания. Архангельск: Изд-во АГТУ, 2002. С. 5–22.

7. Третьяков С.В. Рост лиственницы в смешанных древостоях средней подзоны тайги Европейского Севера // Лиственничные леса Архангельской области, их использование и воспроизводство: материалы рабочего совещания. Архангельск: Изд-во АГТУ, 2002. С. 107–110.

Поступила 25.03.15

UDC 630*566

DOI: 10.17238/ISSN0536-1036.2016.1.74

Use of the Materials of Close Mapping Satellite Acquisition for the Siberian Larch Assessment in the Arkhangelsk Region

A.P. Bogdanov, Candidate of Agricultural Sciences

R.A. Aleshko, Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor

K.V. Shoshina, Senior Lecturer

S.A. Demidenko, Senior Lecturer

Northern (Arctic) Federal University named after M.V. Lomonosov, Naberezhnaya

Severnoy Dviny, 17, Arkhangelsk, 163002, Russian Federation;

e-mail: aleksandr_bogd@mail.ru

Conservation and restoration of larch is an important task of timber industry complex of the Arkhangelsk region because of the special qualities of wood. Taking into consideration the complexity of taxation and the high cost of field research, the paper analyzes the experience of research work on the definition of larch with the use of data of close mapping satellite acquisition based on binary classification algorithm. The crowns of the trees of the Siberian larch were allocated in the geoinformation environment QuantumGIS using the information collected in the field. As the initial data the very fine images GeoEye-1 were used (the spatial resolution – 0.5 m per pixel; the spectral resolution – 3 visible ranges, the nearest is infrared). Several crowns of trees were selected at the image. They were marked in the field with the use of global positioning devices. On the basis of the selected standards of crowns the binary classification algorithm was applied. The apparent advantage of the paper is the classification of decoding signs of larch: a larch crown is of light purple color at a combination of channels the nearest infrared spectrum – red – green; reflected sunlight in the dense stands gives the information not only about a sparse larch crown, but the second tier, often changing the tone in dependence on its composition and the structure of the soil cover. The result of the algorithm is the raster grid. Its cells are the probability of belonging of a pixel to the required class. The experimental estimation of the threshold value was conducted for the cut-off purpose of the pixels for which the probability of belonging to the class of “larch” was low. A sufficient threshold of reliability was 0.5. The reference value of the larch outlines mostly coincides with the obtained classified pixels of the image. There is a high reliability of the obtained data in comparison with the field studies. The resulting technique of automated decoding of larch can be applied for the other species at the forest inventory of the Arkhangelsk region.

Keywords: Siberian larch (*Larix sibirica*), technique of thematic decoding, satellite images, binary classification.

REFERENCES

1. Aleshko R.A., Gur'ev A.T. Metodika tematicheskogo deshifirovaniya sputnikovyykh snimkov lesnykh territoriy na osnove strukturnykh modeley [Technique of Thematic Decoding of Satellite Imagery of Forest Areas Based on the Structural Models]. *Priborostroenie* [Journal of Instrument Engineering], 2013, vol. 56, no. 7, pp. 76–77.
2. Aleshko R.A., Gur'ev A.T. Strukturnoe modelirovanie vzaimosvyazey deshifirovochnykh priznakov sputnikovyykh snimkov i taksatsionnykh parametrov lesnykh nasazhdeniy [Structural Modeling of Interconnections of Deciphering Features of Satellite Images and Taxational Parameters of Forest Stands]. *Tr. SPIIRAN* [SPIIRAS Proceedings], 2013, no. 29, pp. 180–189.
3. *Prikaz Rosleskhoza № 516 ot 12 dekabrya 2011 g. "Ob utverzhdenii lesoustroitel'noy instruktsii"* [The Order of the Federal Forestry Agency of December 12, 2011 No. 516 "On Approval of Forest Management Instructions"].
4. Ray E.A., Burova N.V., Rykova S.Yu., Slastnikov S.I., Torkhov S.V., Rykov A.M., Puchina L.V., Churakov E.U., Korepanov V.I. Metodicheskie rekomendatsii po sokhraneniyu bioraznoobraziya pri zagotovke drevesiny v Arkhangel'skoy oblasti [Guidelines for the Conservation of Biodiversity in the Wood Procurement in Arkhangelsk Region]. *Vsemirnyy fond dikoy prirody* (WWF) [World Wildlife Fund (WWF)]. Arkhangelsk, 2013, p. 63.
5. Sukhikh V.I. *Aerokosmicheskie metody v lesnom khozyaystve i landshaftnom stroitel'stve* [Aerospace Methods in Forestry and Landscape Construction]. Yoshkar-Ola, 2005, p. 392.
6. Torkhov S.V., Trubin D.V. Listvennitsa v lesakh Arkhangel'skoy oblasti: sostoyanie, dinamika, ispol'zovanie. *Listvennichnye lesa Arkhangel'skoy oblasti, ikh ispol'zovanie i vosproizvodstvo: materialy rabocheho soveshchaniya* [Larch Forests of Arkhangelsk Region, Their Use and Reproduction: Proc. of the Workshop], 2002, pp. 5–22.
7. Tret'yakov S.V. Rost listvennitsy v smeshannykh drevostoyakh sredney podzony taygi Evropeyskogo Severa [The Growth of Larch in Mixed Stands of the Middle Taiga Subzone of the European North]. *Listvennichnye lesa Arkhangel'skoy oblasti, ikh ispol'zovanie i vosproizvodstvo: materialy rabocheho soveshchaniya* [Larch Forests of Arkhangelsk Region, Their Use and Reproduction: Proc. of the Workshop], 2002, pp. 107–110.

Received on March 25, 2015