

УПРАВЛЕНИЕ ЛЕСАМИ, ЛЕСОУСТРОЙСТВО И ИНФОРМАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ В ЛЕСНОМ ХОЗЯЙСТВЕ

УДК 630*524.4

А. А. Пушкин, Н. Я. Сидельник, С. В. Ковалевский
Белорусский государственный технологический университет

ОЦЕНКА ВОЗМОЖНОСТЕЙ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ СПЕКТРАЛЬНОГО ВЕГЕТАЦИОННОГО ИНДЕКСА EVI ДЛЯ ДЕШИФРИРОВАНИЯ ЛЕСНЫХ НАСАЖДЕНИЙ ПО МАТЕРИАЛАМ КОСМИЧЕСКОЙ СЪЕМКИ

В статье рассматривается динамика значений спектрального вегетационного индекса EVI с целью его использования для дешифрирования лесоводственно-таксационных показателей лесных насаждений по материалам космической съемки. Экспериментальные расчеты выполнялись на основе разновременных материалов космической съемки Landsat 8 на территорию ГЛХУ «Воложинский лесхоз». Исследовались зависимости значений спектрального индекса EVI от преобладающей породы, класса возраста и полноты. Осуществлен подбор разновременных космических снимков, полученных весной, летом и осенью, на территорию объекта исследований и их предварительная обработка. В качестве наземных эталонных данных использовалась информация базового лесоустройства ГЛХУ «Воложинский лесхоз». Обработка материалов космической съемки, данных лесоустройства и анализ полученных результатов выполнялись на основе геоинформационной системы Quantum GIS. Расчет значений спектрального вегетационного индекса EVI проведен в соответствии с принятыми методиками для каждого таксационного выдела с определением стандартной ошибки. Оценка полученных расчетных значений индекса EVI выполнялась с использованием программных функций пространственного геоинформационного анализа данных.

В результате проведенных работ рассчитаны и проанализированы значения спектрального вегетационного индекса EVI по преобладающим породам, классам возраста и группам полнот по материалам весенней, летней и осенней космической съемки Landsat 8.

Ключевые слова: космическая съемка, Landsat 8, вегетационный индекс, лесное насаждение, лесоводственно-таксационные показатели, геоинформационная система.

A. A. Pushkin, N. Ya. Sidelnik, S. V. Kovalevskiy
Belarusian State Technological University

ESTIMATION OF POSSIBILITIES OF USING THE EVI SPECTRAL VEGETATION INDEX FOR DECIPHERING FOREST STANDS BY SATELLITE IMAGERY

The article discusses the dynamics of the values of the spectral vegetation index EVI with the aim of using it to deciphering stand characteristics based on satellite imagery. Experimental calculations were performed on the basis of Landsat 8 space imagery materials at different times on the territory of the Volozhinsky Forestry. The dependences of the values of the spectral index EVI on the predominant species, age class and stand density were studied. A selection of different-time satellite images taken in the spring, summer, and fall was performed on the territory of the object of research and their preliminary processing. As the ground reference data, the information from the forest inventory of the Volozhinsky Forestry was used. Processing of satellite imagery materials, forest inventory data and analysis of the results obtained was carried out on the basis of the Quantum GIS geographic information system. The calculation of the values of the spectral vegetation index EVI was performed in accordance with the accepted methods for each compartment with the definition of the standard error. Evaluation of the calculated values of the EVI index was carried out using the software functions of spatial geographic information analysis of the data. As a result of the work, the values of the EVI

spectral vegetation index were calculated and analyzed for the predominant species, age class and stand density based on the Landsat 8 spring, summer and autumn satellite imagery.

Key words: satellite imagery, Landsat 8, vegetation index, forest stand, stand characteristics, geographic information system.

Введение. Современные системы космического дистанционного зондирования Земли позволяют решать достаточно обширный круг задач по оценке лесных ресурсов и лесохозяйственной деятельности [1]. Решение данных задач предусматривает прежде всего проведение тематической обработки материалов космической съемки. Большинство используемых подходов к тематической классификации основано на применении коэффициентов спектральной яркости (КСЯ). КСЯ представляют собой дискретные безразмерные цифровые значения пикселей изображения, полученные путем регистрации отраженного от объектов местности солнечного излучения посредством дистанционных датчиков спутника.

Различия коэффициентов спектральной яркости растений и их частей обуславливаются составом и состоянием пигментов растительных и покровных тканей, морфологией растения в целом, возрастом, экологическими условиями [2, 3]. В этой связи разработка сканерных систем дистанционного зондирования Земли осуществляется с учетом возможности регистрации специфических различий отражаемой от разных объектов солнечной энергии. Выделение большего числа спектральных диапазонов съемки повышает вероятности идентификации объектов и определение их характеристик на космическом снимке.

Однако значения коэффициентов спектральной яркости подвержены существенным вариациям в зависимости от состояния атмосферы, времени съемки, высоты солнцестояния и других параметров. В связи с этим дешифрирование лесных насаждений и оценка их лесоводственно-таксационных показателей по материалам космической съемки может выполняться с использованием спектральных вегетационных индексов.

Вегетационные индексы представляют собой арифметические комбинации значений коэффициентов спектральной яркости в отдельных спектральных каналах аэрокосмического изображения. Данные выражения выводятся на основе эмпирических наблюдений и имеют целью увеличение информативности сигнала в отдельных каналах для исследований растительности при одновременном снижении влияния побочных факторов: влияние атмосферы, яркости почвы, эффекта насыщения, зависимости от геометрии наблюдений и т. п. [2, 3].

В настоящее время известно порядка 160 вегетационных индексов, группируемых в катего-

рии по свойству растительности, которое они характеризуют [2, 4]:

- индексы «зеленности», отражающие общее количество растительности и используемые для оценки ее состояния;
- индексы, учитывающие соотношение между различными типами пигментов для оценки общей эффективности использования света;
- индексы содержания и концентрации азота в растительном покрове;
- индексы, учитывающие содержание «сухого» углерода в виде лигнина и целлюлозы;
- индексы содержания пигментов каротиноидов и антоционина;
- индексы оценки содержания влаги в растениях и оценки сухости.

Расчет большей части вегетационных индексов базируется на двух наиболее стабильных участках кривой спектральной отражательной способности растений. На красную зону спектра приходится максимум поглощения солнечной радиации хлорофиллом, а на ближнюю инфракрасную – максимальное отражение энергии клеточной структурой листа. Отношение двух данных показателей друг к другу позволяет отделять растительность от других природных объектов [3].

Основная часть. Цель проводимых исследований – оценка сезонной динамики спектрального вегетационного индекса EVI в зависимости от основных лесоводственно-таксационных показателей лесных насаждений для ее последующего использования при тематической обработке материалов космической съемки.

Для анализа состояния лесной растительности по данным мультиспектрального дистанционного зондирования весьма популярным является нормализованный дифференциальный вегетационный индекс NDVI (Normalized Difference Vegetation Index), рассчитываемый по значениям отражения в красной и ближней инфракрасной областях спектра [4]:

$$NDVI = \frac{B_{NIR} - B_{RED}}{B_{NIR} + B_{RED}}, \quad (1)$$

где B_{NIR} , B_{RED} – значения спектральных яркостей аэрокосмического изображения соответственно в ближней инфракрасной и красной областях спектра.

Однако, как отмечается в работах многих авторов, NDVI чувствителен к фоновому отражению, а также склонен к насыщению в лиственных

насаждениях, что ограничивает использование данного индекса для определения составов лесных насаждений [3, 4].

В качестве альтернативы NDVI используется усовершенствованный вегетационный индекс EVI: он менее чувствителен к ограничениям, но требует наличия синего диапазона волн. EVI позволяет выделить больше градаций на территориях с большим количеством зеленой биомассы, при этом влияние почвы и атмосферы в значениях данного индекса минимизированы [3, 4]. Расчет спектрального вегетационного индекса EVI выполняется в соответствии с приведенным уравнением:

$$EVI = 2,5 \cdot \frac{B_{NIR} - B_{RED}}{B_{NIR} + 6 \cdot B_{RED} - 7,5 \cdot B_{BLUE} + 1}, \quad (2)$$

где B_{NIR} – значения спектральных яркостей аэрокосмического изображения в ближней инфракрасной области спектра; B_{RED} – значения спектральных яркостей аэрокосмического изображения в красной области спектра; B_{BLUE} – значения спектральных яркостей аэрокосмического изображения в синей области спектра.

В связи с вышепредставленными преимуществами в проводимых исследованиях применялся спектральный вегетационный индекс EVI.

В качестве объекта исследований выбрана территория Воложинского лесхоза Минского ГПЛХО. На названную территорию получены данные лесоустройства, включающие векторный картографический слой таксационных выделов и выдельную базу данных по материалам базового лесоустройства с актуализацией. После проведения ряда операций по преобразованию исходных данных на базе программного обеспечения Quantum GIS создан проект геоинформационной системы Воложинского лесхоза. При этом каждому таксационному выделу на цифровой карте подключалась соответствующая запись атрибутивной таблицы данных. Таблица включает основные характеристики земель лесного фонда и лесных насаждений: площадь выдела, категория земель, преобладающая порода, класс возраста, полнота, класс бонитета, запас и др. [5]

Расчет спектральных вегетационных индексов выполнялся на основе материалов космической съемки Landsat 8. Данная система космического дистанционного зондирования Земли является последней и наиболее усовершенствованной из семейства космических аппаратов серии Landsat [6]. Информация распространяется свободно и доступна потребителям по сети интернет. Характеристика материалов космической съемки представлена в табл. 1.

Таблица 1

Характеристика используемых материалов космической съемки Landsat 8

Режим съемки	VNIR	SWIR	PAN	TIR
Спектральный диапазон, мкм	0,43–0,45 (фиолетовый)	1,36– 1,39 (облачность)	0,50– 0,68	10,6– 11,19 (TIRS1)
	0,45–0,52 (синий)	1,56– 1,66 (SWIR1)		
	0,53–0,60 (зеленый)	2,10– 2,30 (SWIR2)		
	0,63–0,68 (красный)			
	0,85–0,89 (ближний инфракрасный)			
	Пространственное разрешение, м	30	30	15

Примечание. VNIR – спектральные каналы оптического диапазона; SWIR – спектральные каналы коротковолнового диапазона; PAN – спектральные каналы панхроматического диапазона; TIR – спектральные каналы теплового диапазона.

Таким образом, для вычисления спектрального вегетационного индекса EVI в соответствии с уравнением (2) необходимы три спектральных канала оптического диапазона VNIR: синий, красный и ближний инфракрасный (табл. 1).

С целью учета сезонной динамики на территорию Воложинского лесхоза подготовлены и использовались материалы космической съемки на три даты 05.06.2017, 18.03.2017, 24.10.2017, представляющие три сезона года: весна, лето и осень.

Перед расчетом значений спектрального вегетационного индекса выполняется предварительная обработка растровых изображений, применяемых в расчете спектральных диапазонов. Важнейшей составляющей предварительной обработки является проведение атмосферной и радиометрической коррекции. В противном случае полученные расчетные данные спектральных вегетационных индексов будут некорректны. Атмосферная коррекция проводится с целью устранения разнообразных дефектов изображения, а также для улучшения качества снимков с целью получения наибольшего объема информации об интересующем объекте. Радиометрическая коррекция снимков земной поверхности, полученных с помощью космической съемки, предусматривает устранение искажений яркости исходного изображения [7].

В настоящее время процедуры проведения атмосферной и радиометрической коррекции

автоматизированы и реализованы во многих видах программного обеспечения геоинформационных систем и систем обработки данных дистанционного зондирования Земли. В исследовании такие преобразования выполнялись на основе дополнительного программного модуля Quantum GIS с применением в качестве входных данных метафайлов космических снимков, содержащих необходимые коэффициенты для проведения пересчетов значений спектральных яркостей пикселей [8].

Расчет значений спектрального индекса EVI выполнялся на основе базовых программных функций геоинформационной системы Quantum GIS с использованием калькулятора растровых изображений (рисунок). В результате были сформированы индексные растровые изображения, содержащие в таблице атрибутивных данных расчетные значения спектрального вегетационного индекса EVI.

С использованием функций пространственного геоинформационного анализа данных для каждого таксационного выдела цифровой карты определялось среднее значение вегетационного индекса EVI каждого сезона съемки (весна, лето, осень).

Таким образом, с применением геоинформационных технологий сформирована атрибутивная таблица данных, включающая, помимо основных лесоводственно-таксационных показателей, рассчитанные значения спектрального вегетационного индекса EVI по сезонам съемки.

Дальнейшая оценка зависимостей спектрального индекса EVI от лесоводственно-

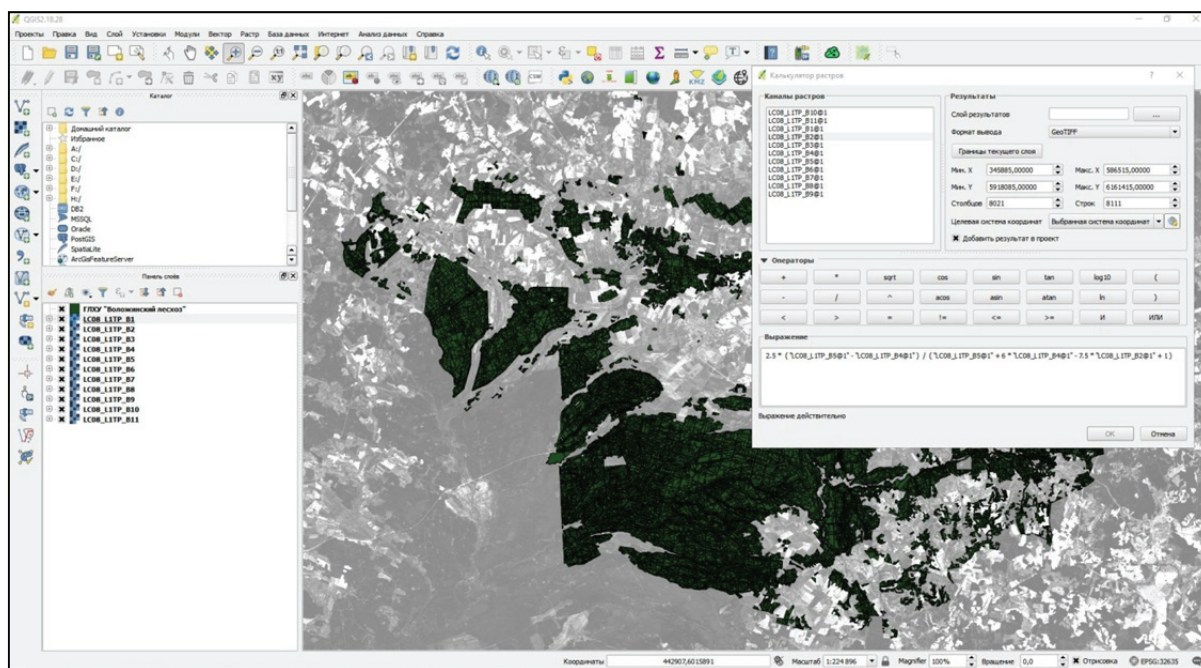
таксационных показателей проводилась с использованием программных функций построения запросов к атрибутивной таблице данных, а также определения стандартной ошибки на основе известных статистических методов.

Рассчитанные значения спектрального вегетационного индекса EVI в зависимости от преобладающей породы представлены в табл. 2.

Таблица 2
Значения вегетационного индекса EVI по преобладающим породам (Landsat 8)

Преобладающая порода	Весна (18.03)	Лето (05.06)	Осень (24.10)
Сосна	0,3567 ± 0,0007	0,5376 ± 0,0013	0,4025 ± 0,0008
Ель	0,3100 ± 0,0016	0,6661 ± 0,0041	0,3507 ± 0,0019
Дуб	0,2948 ± 0,0099	0,7613 ± 0,0326	0,3486 ± 0,0102
Береза	0,2961 ± 0,0018	0,6900 ± 0,0033	0,3393 ± 0,0021
Ольха черная	0,2778 ± 0,0035	0,7438 ± 0,0073	0,3274 ± 0,0037
Осина	0,2809 ± 0,0090	0,7795 ± 0,0195	0,3208 ± 0,0100

Анализ полученных результатов расчетов (табл. 2) показывает, что стандартная ошибка определения значений спектрального индекса EVI небольшая, что указывает на достаточно высокую точность определения средних значений.



Расчет спектральных вегетационных индексов по материалам космической съемки средствами геоинформационной системы Quantum GIS

Наибольшие различия в значениях индекса характерны в летний период при наличии листвы на деревьях. Самое высокое значение индекса летом имеют осиновые древостои (0,7795), а самое низкое – сосновые (0,5376). Различия в значениях индекса лиственных лесобразующих пород небольшие, что затрудняет определение конкретной лиственной породы по снимку. При этом достаточно хорошо отделяются насаждения хвойных пород от лиственных. В весенний и осенний периоды различия в значениях индекса хвойных и лиственных пород незначительны. Таким образом, для дешифрирования по космическому снимку преобладающих пород наиболее подходящими следуют признать космические снимки, получаемые в летний период.

Поскольку спектральный вегетационный индекс EVI характеризует наличие зеленой биомассы, интерес представляет сопоставление его расчетных значений с классами возраста лесных насаждений и их полнотами.

Значения спектрального вегетационного индекса EVI, определенного по материалам космической съемки Landsat 8, в разрезе классов возраста хвойных и лиственных лесобразующих пород представлены в табл. 3.

Для хвойных насаждений характерна незначительная динамика вегетационного индекса как по сезонам съемки, так и по классам возраста.

На космическом снимке, полученном весной, значения спектрального вегетационного индекса EVI хвойных насаждений находятся в пределах 0,3346–0,3594. При съемке осенью значения варьируют от 0,3746 до 0,4083, а летом – от 0,5226 до 0,5789.

Таблица 3

Значения вегетационного индекса EVI по классам возраста (Landsat 8)

Класс возраста	Весна (18.03)	Лето (05.06)	Осень (24.10)
Хвойные насаждения			
1	0,3541 ± 0,0077	0,5789 ± 0,0147	0,4083 ± 0,0089
2	0,3562 ± 0,0030	0,5543 ± 0,0052	0,4072 ± 0,0040
3	0,3573 ± 0,0011	0,5316 ± 0,0022	0,4043 ± 0,0013
4	0,3593 ± 0,0011	0,5226 ± 0,0021	0,4012 ± 0,0014
5	0,3594 ± 0,0016	0,5245 ± 0,0029	0,4025 ± 0,0020
6	0,3476 ± 0,0049	0,5376 ± 0,0100	0,3855 ± 0,0058
7	0,3346 ± 0,0302	0,5628 ± 0,0146	0,3746 ± 0,0301

Окончание табл. 3

Класс возраста	Весна (18.03)	Лето (05.06)	Осень (24.10)
Лиственные насаждения			
1	0,3190 ± 0,0052	0,6438 ± 0,0103	0,3691 ± 0,0056
2	0,2982 ± 0,0038	0,6290 ± 0,0072	0,3443 ± 0,0043
3	0,2985 ± 0,0036	0,6355 ± 0,0060	0,3411 ± 0,0041
4	0,2895 ± 0,0045	0,6530 ± 0,0085	0,3279 ± 0,0055
5	0,3016 ± 0,0049	0,6908 ± 0,0098	0,3463 ± 0,0054
6	0,2735 ± 0,0062	0,6735 ± 0,0107	0,3108 ± 0,0066
7	0,2528 ± 0,0065	0,6922 ± 0,0107	0,2897 ± 0,0075
8	0,2883 ± 0,0085	0,7168 ± 0,0241	0,3310 ± 0,0083

Таким образом, в летний период съемки значения вегетационного индекса EVI хвойных лесов несколько выше весенних и осенних. Данный факт, по всей видимости, обуславливается облиствением подроста и подлеска, что влияет на спектральные характеристики отображения хвойных насаждений на космическом снимке. Динамика значений спектрального индекса по классам возраста в пределах одного снимка весьма незначительна.

Значения спектрального вегетационного индекса EVI весенней и осенней съемок лиственных насаждений схожи со значениями, полученными для хвойных лесов. По весеннему космическому снимку значения индекса лиственных насаждений находятся в пределах 0,2528–0,3190, а по осеннему – 0,3108–0,3691. В летний период съемки значения индекса минимум в два раза выше, что обуславливается распусканьем листьев на деревьях. Достоверная динамика индекса по классам возраста не прослеживается.

Расчетные значения спектрального индекса EVI по группам полнот представлены в табл. 4.

Таблица 4

Значения вегетационного индекса EVI по группам полнот (Landsat 8)

Группа полноты	Весна (18.03)	Лето (05.06)	Осень (24.10)
Хвойные насаждения			
0,1–0,3	0,3431 ± 0,0109	0,5042 ± 0,0294	0,3909 ± 0,0120
0,4–0,5	0,3582 ± 0,0027	0,5104 ± 0,0059	0,4104 ± 0,0035
0,6–0,7	0,3650 ± 0,0009	0,5020 ± 0,0019	0,4124 ± 0,0012
0,8–1,0	0,3722 ± 0,0010	0,4998 ± 0,0021	0,4211 ± 0,0013

Окончание табл. 4

Группа полноты	Весна (18.03)	Лето (05.06)	Осень (24.10)
Лиственные насаждения			
0,1–0,3	0,2561 ± ± 0,0073	0,6683 ± ± 0,0222	0,2831 ± ± 0,0172
0,4–0,5	0,2914 ± ± 0,0046	0,6767 ± ± 0,0086	0,3449 ± ± 0,0049

В целом общие тенденции в распределении значений спектрального вегетационного индекса EVI по группам полнот схожи с распределением данного индекса по классам возраста. Прослеживается динамика по сезонам проведения космической съемки: значения EVI в летний период выше весенних и осенних. Существенных раз-

личий в значениях спектрального индекса по группам полнот в пределах одного космического снимка не наблюдается.

Заключение. Результаты анализа значений спектрального вегетационного индекса EVI показывают, что прослеживается сезонная динамика его значений – летние значения выше весенних и осенних. Наибольшие различия по преобладающим породам характерны для летних снимков. Динамика по классам возраста и группам полнот не прослеживается, что требует проведения дополнительных исследований по уточнению объектов расчета – их дифференциации не только по преобладающим породам, но и другим лесоводственно-таксационным показателям (типам условий местопрорастания, составам насаждений).

Литература

1. Тебера А., Севрук П. В., Минкевич С. И. Лесное хозяйство и лесоустройство в Литовской Республике // Труды БГТУ. 2015. № 1: Лесное хоз-во. С. 46–49.
2. Черепанов А. С., Дружинина Е. Г. Спектральные свойства растительности и вегетационные индексы // Геоматика. 2009. № 3. С. 28–32.
3. Барталев С. А., Егоров В. А., Жарко В. О. Спутниковое картографирование растительного покрова России. М.: ИКИ РАН, 2016. 208 с.
4. Разнообразие и динамика лесных экосистем России: в 2 кн. / А. С. Исаев (ред.). Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Центр по проблемам экологии и продуктивности лесов РАН. М.: Товарищество научных изданий КМК, 2012. Кн. 1. 461 с.
5. Коцан В. В. Разработка электронной модели и базы данных дендрологического парка // Труды БГТУ. 2013. № 1: Лесное хоз-во. С. 26–28.
6. Дворкин Б. А., Дудкин С. А. Новейшие и перспективные спутники дистанционного зондирования Земли // Геоматика. 2013. № 2. С. 16–36.
7. Пушкин А. А., Сидельник Н. Я., Ковалевский С. В. Использование материалов космической съемки для оценки пожарной опасности в лесах // Труды БГТУ. 2015. № 1: Лесное хоз-во. С. 36–40.
8. Зенкевич Ю. Э., Глушков И. В., Антонова Т. А. Мониторинг лесохозяйственной деятельности: опыт применения данных космической съемки высокого и сверхвысокого разрешения // Земля из космоса. 2009. № 1. С. 17–21.

References

1. Tebera A., Sevruk P. V., Minkevich S. I. Forestry and forest inventory in the Republic of Lithuania. *Trudy BGTU* [Proceedings of BSTU], 2015, no. 1: Forestry, pp. 46–49 (In Russian).
2. Cherepanov A. S., Druzhinina E. G. Spectral properties of vegetation and vegetative indices. *Geomatika* [Geomatics], 2009, no. 3, pp. 28–32 (In Russian).
3. Bartalev S. A., Egorov V. A., Zharko V. O. *Sputnikovoye kartografirovaniye rastitel'nogo pokrova Rossii* [Satellite mapping of the vegetation cover of Russia]. Moscow, IKI RAN Publ., 2016. 208 p.
4. A. S. Isayev (eds.). *Raznoobraziye i dinamika lesnykh ekosistem Rossii* [The diversity and dynamics of forest ecosystems in Russia]. Moscow, Tovarishchestvo nauchnyh izdaniy KMK Publ., 2012. Book 1. 461 p.
5. Kotsan V. V. Development of an electronic model and database of the dendrological park. *Trudy BGTU* [Proceedings of BSTU], 2013, no. 1: Forestry, pp. 26–28 (In Russian).
6. Dvorkin B. A., Dudkin S. A. The newest and most promising satellites of Earth remote sensing. *Geomatika* [Geomatics], 2013, no. 2, pp. 16–36 (In Russian).
7. Pushkin A. A., Sidelnik N. Ya., Kovalevskiy S. V. Use of space survey materials to assess fire danger in forests. *Trudy BGTU* [Proceedings of BSTU], 2015, no. 1: Forestry, pp. 36–40 (In Russian).
8. Zenkevich Yu. E., Glushkov I. V., Antonova T. A. Monitoring of forestry activities: experience in the application of high-resolution and high-resolution space imagery data. *Zemlya iz kosmosa* [Earth from space], 2009, no. 1, pp. 17–21 (In Russian).

Информация об авторах

Пушкин Андрей Александрович – кандидат сельскохозяйственных наук, доцент, доцент кафедры лесоустройства. Белорусский государственный технологический университет (220006, г. Минск, ул. Свердлова, 13а, Республика Беларусь). E-mail: pushkin@belstu.by

Сидельник Николай Ярославович – кандидат сельскохозяйственных наук, старший преподаватель кафедры лесоустройства. Белорусский государственный технологический университет (220006, г. Минск, ул. Свердлова, 13а, Республика Беларусь). E-mail: sidelnik@belstu.by

Ковалевский Сергей Владимирович – кандидат сельскохозяйственных наук, доцент, доцент кафедры лесоустройства. Белорусский государственный технологический университет (220006, г. Минск, ул. Свердлова, 13а, Республика Беларусь). E-mail: kovalevsky@belstu.by

Information about the authors

Pushkin Andrey Aleksandrovich – PhD (Agriculture), Associate Professor, Assistant Professor, the Department of Forest Inventory. Belarusian State Technological University (13a, Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: pushkin@belstu.by

Sidelnik Nikolai Yaroslavovich – PhD (Agriculture), Senior Lecturer, the Department of Forest Inventory. Belarusian State Technological University (13a, Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: sidelnik@belstu.by

Kovalevskiy Sergey Vladimirovich – PhD (Agriculture), Associate Professor, Assistant Professor, the Department of Forest Inventory. Belarusian State Technological University (13a, Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: kovalevsky@belstu.by

Поступила 31.10.2019

