

**ЛЕСОВЕДЕНИЕ, ЛЕСОВОДСТВО, ЛЕСНЫЕ КУЛЬТУРЫ, АГРОЛЕСОМЕЛИОРАЦИЯ, ОЗЕЛЕНЕНИЕ,
ЛЕСНАЯ ПИРОЛОГИЯ И ТАКСАЦИЯ / FORESTRY, FORESTRY, FOREST CROPS, AGROFORESTRY,
LANDSCAPING, FOREST PYROLOGY AND TAXATION**

**ПРЕОБРАЗОВАНИЕ ЦИФРОВЫХ ДАННЫХ КОСМИЧЕСКОЙ СЪЕМКИ АЛГОРИТМОМ TASSELED CAP
ПРИ ОПРЕДЕЛЕНИИ СТРУКТУРЫ ЛЕСНЫХ НАСАЖДЕНИЙ**

Научная статья

Николаев А.А.^{1,*}, Николаева И.О.²

¹ ORCID : 0000-0003-1730-0870;

² ORCID : 0000-0001-5781-8063;

^{1,2} Уральский государственный лесотехнический университет, Екатеринбург, Российская Федерация

* Корреспондирующий автор (nikolaevaa[at]m.usfeu.ru)

Аннотация

Применение алгоритмов обработки цифровых космических снимков данных дистанционного зондирования Земли, направленных на обработку исходного изображения путем его трансформации методом Tasseled Cap, обеспечивает улучшение точности дешифрирования структуры лесных насаждений и природных объектов на космических снимках высокого пространственного разрешения. В статье рассмотрена процедура трансформации цифровых данных космической съемки, направленная на улучшение достоверности определения структуры лесных насаждений, границ участков природных объектов, различных по спектральной отражательной способности и текстуры изображения при использовании автоматизированных и визуальных (ручных) способов дешифрирования космических снимков.

Ключевые слова: дешифрирование ДДЗ, трансформации изображения, лесные насаждения, IKONOS, Tasseled Cap, структура древостоев.

**DIGITAL SPACE FOOTAGE DATA TRANSFORMATION BY TASSELED CAP ALGORITHM IN
DETERMINATION OF FOREST PLANTATION STRUCTURE**

Research article

Nikolaev A.A.^{1,*}, Nikolaeva I.O.²

¹ ORCID : 0000-0003-1730-0870;

² ORCID : 0000-0001-5781-8063;

^{1,2} Ural State Forest Engineering University, Ekaterinburg, Russian Federation

* Corresponding author (nikolaevaa[at]m.usfeu.ru)

Abstract

Application of algorithms for processing of digital space images of Earth remote sensing data, aimed at processing of the initial image by its transformation by Tasseled Cap method, provides improvement of accuracy of interpretation of the structure of forest vegetation and natural objects on space footage of high spatial resolution. The article considers the procedure of space imagery digital data transformation aimed at improving the reliability of determination of forest plantation structure, borders of areas of natural objects different in spectral reflectance and texture of the image using automated and visual (manual) methods of interpretation of space images.

Keywords: RSD decoding, image transformations, forest vegetation, IKONOS, Tasseled Cap, forest stratum structure.

Введение

Определение структуры лесных насаждений при проведении дешифрирования древесной растительности относится к основной задаче при оценке состояния лесного покрова и экологическом мониторинге покрытых лесом земель и лесоустройстве. Результатами оценки состояния и структуры древостоев по данным ДДЗ являются разработанные на их основе тематические карты и планы. Применение многоспектральных космических снимков и аэрофотоснимков высокого пространственного разрешения в большей степени используются при визуальном дешифрировании (дешифрирование оператором ЭВМ) исходя из личного опыта и представлений оператора о состоянии лесных экосистем по данным ДДЗ. При визуальном дешифрировании оператором используется только дешифровочные признаки тона и текстуры данных ДДЗ, по которым в ручном режиме разграничиваются различные участки растительного покрова (древостоя) различных по составу и типу растительного покрова (покрытые и непокрытые лесом земли).

Современное развитие геоинформационных систем насчитывают большое количество применяемых алгоритмов по полуавтоматическому или автоматическому дешифрированию данных ДДЗ по определению структуры лесного покрова [1] при анализе различий в спектральной отражательной способности природных объектов. Классификация данных ДДЗ в полуавтоматическом или автоматическом режиме сводится к принципу соотношения характеристик отраженного спектра пиксела к определённому классу объекта на местности [2].

Цель, объекты и методика исследований

Целью исследования являлось определение значимости применения алгоритмов трансформации изображения цифровых космических снимков при дешифрировании структуры лесных насаждений и их границ.

Объектом исследований являются лесные насаждения, расположенные на территории Уральского учебно-опытного лесхоза Уральского государственного лесотехнического университета.

Коэффициент трансформации изображения Tasseled Cap представляет собой изменение мультиспектральных данных ДДЗ путем линейного преобразования отраженного спектра космических снимков, что обеспечивает улучшение дешифрирования данных ДДЗ. Линейное преобразование изображения Tasseled Cap первоначально описано R.J. Kauth, G.S. Thomas в 1976 году по использованию данных ДДЗ (Landsat MSS) при мониторинге сельскохозяйственных культур и определении их состояния. При этом необходимо отметить, что коэффициент трансформации изображения Tasseled Cap относится к методу главных компонент преобразования спектрально-зональных космических снимков. Использование метода главных компонент при обработке спектрально-зональных космических снимков обеспечивает сокращение количества классификационных признаков, необходимых для дешифрирования объектов на спектрально-зональном снимке, что приводит к упрощению распознавания классифицируемых объектов [3].

Улучшение классификации объектов на космическом снимке обеспечивается благодаря переходу взаимосвязанных между собой классификационных признаков в систему координат, в которой указанные признаки не коррелируются между собой. Классификационными признаками в данном случае выступают векторы яркостей и их компоненты. Изменение спектральных значений вектора «х» в преобразованные вектора признаков «u» осуществляется при решении уравнения [4], [5], [6]:

$$U = W_{tc} * x + r \quad (1)$$

где W_{tc} - матрица преобразования изображения ортогональная;

r – вектор смещения.

При использовании метода главных компонент при улучшении классификационных свойств данных ДДЗ имеется один главный недостаток, выражающийся в преобразовании свойств одного мультиспектрального космического снимка [7] т.е. при применении алгоритма главных компонент для разновременных снимков одной местности итоговые значения отраженного спектра будут рассчитаны по разным коэффициентам трансформации снимка. В данном случае применение коэффициента преобразования изображения Tasseled Cap обеспечивает применение указанного алгоритма для фиксации дешифровочных признаков как разновременных данных ДДЗ одной местности [8], так и разных областей исследования, так как ортогональная матрица преобразования спектральных данных установлена для конкретного съёмочного аппарата и не зависит от параметров данных ДДЗ.

Результаты и обсуждение

Исследования возможности дешифрирования различных объектов лесной растительности (таксационных выделов) с определением точности распознавания границ лесных насаждений, определяемых визуальным способом по данным ДДЗ, подвергнутым алгоритмам трансформации изображения Tasseled Cap и исходных ортотрансформированных снимков, а также анализ точности при автоматической классификации лесной растительности. Исследование возможностей применения коэффициента преобразования изображения Tasseled Cap было осуществлено по космическим снимкам высокого пространственного разрешения IKONOS (разрешение 1 метр) на территории Уральского учебно-опытного лесхоза ФГБОУ ВО «Уральский государственный лесотехнический университет». Дешифрирование лесных насаждений на космическом снимке и преобразование исходных данных ДДЗ осуществлялось в программном комплексе QGIS (qgis.org). При осуществлении визуального дешифрирования определены границы между хвойными и лиственными насаждениями, а также непокрытыми лесом землями (поля, сенокосы и пр.).

Далее в программном комплексе QGIS произведено преобразование исходного ортотрансформированного снимка с использованием алгоритма Tasseled Cap. На рисунке представлен результат обработки цифрового космического снимка и результат классификации. При анализе полученного преобразованного снимка и наложением ранее дешифрированных границ установлено, что на преобразованном снимке границы объектов различных типов лесной растительности (хвойные, лиственные) различаются более существенно, чем на не преобразованных снимках алгоритмом Tasseled Cap, что так же указывает на высокую степень изменчивости особей в древостоях, оказывающих непосредственное влияние на формирование структуры лесных насаждений [9], [10], выражающееся в том числе взаимозависимостью между условиями произрастания и лесоводственно-таксационными характеристиками лесных насаждений [11], что, в свою очередь, оказывает влияние на текстуру космического снимка.

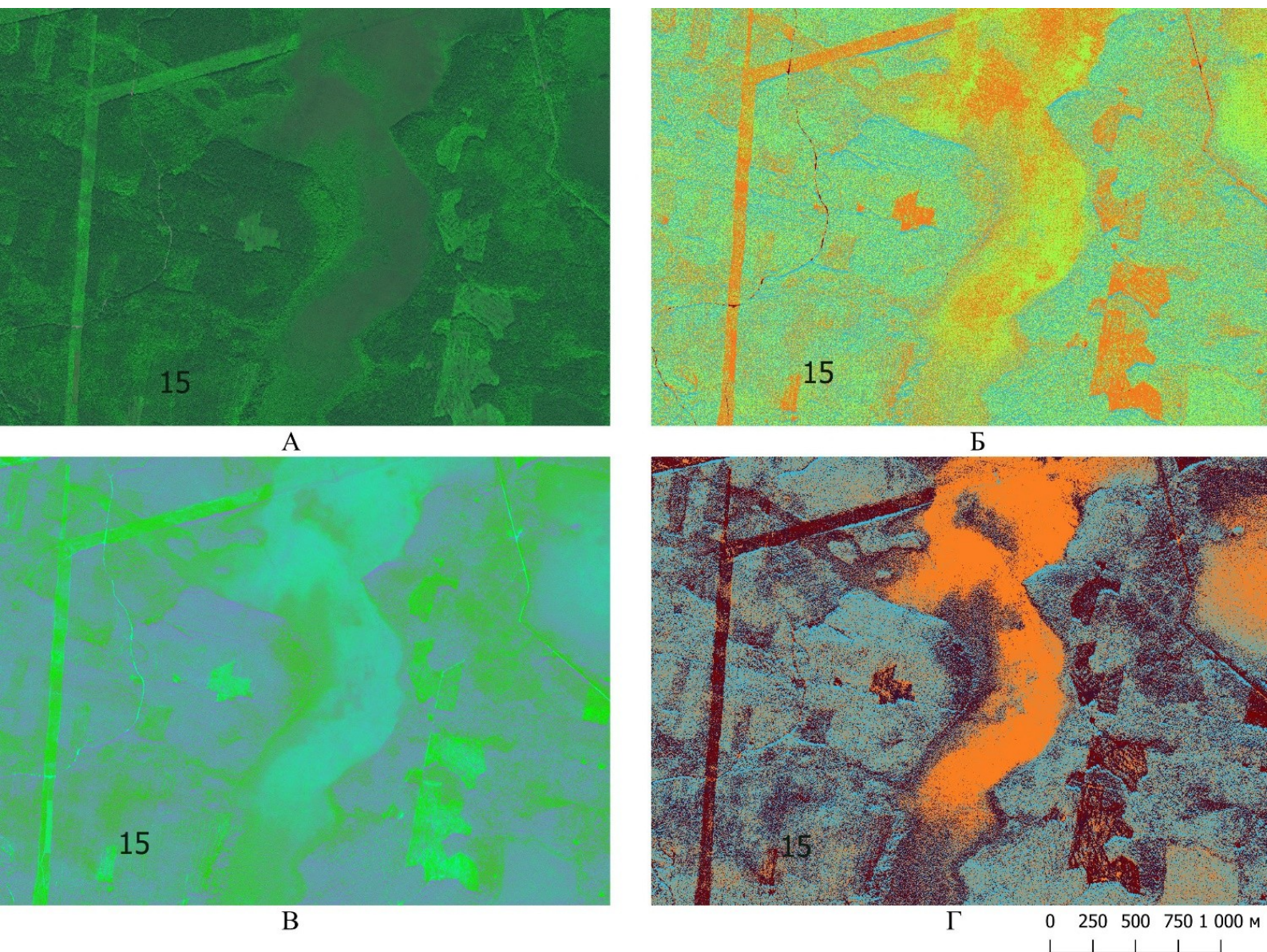


Рисунок 1 - Результаты обработки (классификации) исходных цифровых космических снимков и материалов обработанных алгоритмом Tasseled Cap:

А – исходный космоснимок; Б – классифицированное изображение по исходному космоснимку; В – космоснимок после обработки алгоритмом Tasseled Cap; Г – классифицированное изображение после обработки алгоритмом Tasseled Cap

При анализе площадей объектов, дешифрированных визуальным способом по космическим снимкам, и оценке точности установлено, что границы хвойных лесных насаждений, дешифрированных по исходному снимку, немного не совпадают с действительной границей указанного объекта. Оценка точности определения границ приведена в таблице.

Таблица 1 - Анализ точности определения границ при дешифрировании

№ уч.	$S_{\text{исх.}}, \text{M}^2$	$S_{\text{кт.}}, \text{M}^2$	$\sigma_s, \%$	$P_s, \%$
1	77 920	75 620	2,95	97,05
2	145 250	128 550	11,50	88,50
3	59 450	57 640	3,05	96,96

Определение границы участка 2 по космическому снимку без обработки алгоритмом Tasseled Cap имеет наименьшую точность дешифрирования, что свидетельствует о повышении точности дешифрирования при использовании преобразованных данных ДДЗ алгоритмом трансформации изображения, что достигается увеличением контрастности различных по отражательной способности объектов.

Дальнейшие исследования были направлены на изучение возможностей автоматизированного дешифрирования объектов с использованием эталонов по космическим снимкам разной степени обработки. По результатам

проведенной классификации лесной растительности установлено, что дешифрирование объектов на необработанном снимке характеризуется присутствием пикселей, ошибочно отнесенных к другому объекту, само изображение характеризуется зернистой структурой. Дешифрирование по снимку, обработанному алгоритмом трансформации изображения Tasseled Cap имеет более информативный вид [12]. Так, на указанном снимке практически отсутствует зернистость и тень от стены леса относится к соответствующему классу (хвойный, лиственный лес).

Заключение

Применяемый алгоритм преобразования данных ДДЗ Tasseled Cap для космических снимков высокого пространственного разрешения IKONOS обеспечивает более высокую точность дешифрирования структуры лесных насаждений, определения границ различных объектов, имеющих различия в отражающем спектре, что в свою очередь повышает точность распознавания границ сложных природных объектов различных по таксационным характеристикам. Преобразование цифровых данных космической съемки при использовании подхода, предложенного Каутом и Томасом позволяет произвести расчет коэффициентов матрицы преобразования изображения для различных сенсоров, при дальнейшем изучении возможно получить коэффициенты преобразования цифровых космических снимков для конкретных природно-климатических условий. Применение алгоритма преобразования изображения Tasseled Cap при обработке данных космической съемки позволяет повысить точность дешифрировки природных объектов.

Конфликт интересов

Не указан.

Рецензия

Все статьи проходят рецензирование. Но рецензент или автор статьи предпочли не публиковать рецензию к этой статье в открытом доступе. Рецензия может быть предоставлена компетентным органам по запросу.

Conflict of Interest

None declared.

Review

All articles are peer-reviewed. But the reviewer or the author of the article chose not to publish a review of this article in the public domain. The review can be provided to the competent authorities upon request.

Список литературы / References

1. Фомин В.В. Оценка лесных ресурсов с использованием космических снимков высокого пространственного разрешения / В.В. Фомин, А.А. Николаев // Экологическое равновесие: Антропогенные изменения географической оболочки Земли, охрана природы: сборник статей конференции – Санкт-Петербург : ЛГУ им. Пушкина, 2013. – С. 113-116.
2. Виноградова Н.С. Выделение растительности и объектов гидрографии по снимкам городских территорий сверхвысокого разрешения / Н.С. Виноградова, Е.А. Кобзева // Пространственные данные. – 2009. – № 4. – С. 42-46.
3. Liu Q. Monitoring desertification processes in Mongolian plateau using MODIS tasseled cap transformation and TGSi time series / Q. Liu, G. Liu, C. Huang // Journal of Arid Land. – 2018. – Vol. 10. – № 1. – P. 12-26. – DOI: 10.1007/s40333-017-0109-0.
4. Кашкин В.Б. Дистанционное зондирование Земли из космоса. Цифровая обработка изображений / В.Б. Кашкин, А.И. Сухинин. – М. : Логос, 2001. – 264 с.
5. Шовенгердт Р.А. Дистанционное зондирование. Модель и методы обработки изображений / Р.А. Шовенгердт. – М. : Техносфера, 2010. – 560 с.
6. Kauth R.J. The Tasseled Cap – a graphical description of the spectral-temporal development of agricultural crops as seen by Landsat / R.J. Kauth, G.S. Thomas // Proceedings of the Symposium on Machine Processing of Remotely Sensed Data. – 1976. – P. 4B41-4B51.
7. Бондарева Д.В. Исследование возможностей метода Tasseled cap в рамках мониторинга наводнений в Амурской области / Д.В. Бондарева // Современное состояние земельно-имущественного комплекса: проблемы и перспективы развития : материалы Всероссийской студенческой научно-практической конференции. – Красноярск : Красноярский государственный аграрный университет, 2021. – С. 16-21.
8. Незамов В.И. Проблемы методов дистанционного зондирования в элементах ландшафтов / В.И. Незамов, А.О. Келлер // Проблемы современной аграрной науки : материалы международной научной конференции. – Красноярск : Красноярский государственный аграрный университет, 2018. – С. 50-51.
9. Николаева И.О. Классификация особей в хвойных насаждениях естественного происхождения для оценки их изменчивости / И.О. Николаева, В.М. Соловьев // Успехи современного естествознания. – 2019. – № 12. – С. 14-19.
10. Еранкина И.О. Особенности естественного возобновления под пологом сосновых древостоев различных типов леса / И.О. Еранкина, М.В. Соловьев // Землеустройство, кадастр и мониторинг земель. – 2012. – № 2 (86). – С. 60-64.
11. Николаева И.О. Системный способ оценки структуры хвойных молодняков для образования высокопроизводительных насаждений на примере среднего Урала / И.О. Николаева, В.М. Соловьев // Вестник Бурятской государственной сельскохозяйственной академии им. В.Р. Филиппова. – 2019. – № 4 (57). – С. 80-87.
12. Казяк Е.В. Спектральные преобразования космических снимков Landsat 8 для картографирования растительности агроэкосистем / Е.В. Казяк, А.В. Лещенко // Интерэкспо Гео-Сибирь. – 2015. – Т. 4. – № 1. – С. 79-83.

Список литературы на английском языке / References in English

1. Fomin V.V. Ocenka lesnyh resursov s ispol'zovaniem kosmicheskikh snimkov vysokogo prostranstvennogo razresheniya [Estimation of forest resources using high spatial resolution satellite imagery] / V.V. Fomin, A.A. Nikolaev // Jekologicheskoe

ravnovesie: Antropogennye izmenenija geograficheskoy obolochki Zemli, ohrana prirody [Ecological balance: Anthropogenic changes in the geographic envelope of the Earth, nature conservation] : a collection of conference articles – St. Petersburg : Leningrad State University named after Pushkin, 2013. – P. 113-116. [in Russian]

2. Vinogradova N.S. Vydelenie rastitel'nosti i obektov gidrografii po snimkam gorodskih territorij sverhvyssokogo razreshenija [Identification of vegetation and hydrographic objects from ultra-high resolution images of urban areas] / N.S. Vinogradova, E.A. Kobzeva // Prostranstvennyye dannye [Spatial Data]. – 2009. – № 4. – P. 42-46. [in Russian]

3. Liu Q. Monitoring desertification processes in Mongolian plateau using MODIS tasseled cap transformation and TGSI time series / Q. Liu, G. Liu, C. Huang // Journal of Arid Land. – 2018. – Vol. 10. – № 1. – P. 12-26. – DOI: 10.1007/s40333-017-0109-0.

4. Kashkin V.B. Distancionnoe zondirovanie Zemli iz kosmosa. Cifrovaja obrabotka izobrazhenij [Remote sensing of the Earth from space. Digital Imaging] / V.B. Kashkin, A.I. Suhinin. – M. : Logos, 2001. – 264 p. [in Russian]

5. Shovengerdt R.A. Remote sensing. Model and methods of image processing / R.A. Shovengerdt. – M. : Tehnosfera, 2010. – 560 p.

6. Kauth R.J. The Tasseled Cap – a graphical description of the spectral-temporal development of agricultural crops as seen by Landsat / R.J. Kauth, G.S. Thomas // Proceedings of the Symposium on Machine Processing of Remotely Sensed Data. – 1976. – P. 4B41-4B51.

7. Bondareva D.V. Issledovanie vozmozhnostej metoda Tasseled cap v ramkah monitoringa navodnenij v Amurskoj oblasti [Study of the possibilities of the Tasseled cap method in the framework of flood monitoring in the Amur Region] / D.V. Bondareva // Sovremennoe sostojanie zemel'no-imushhestvennogo kompleksa: problemy i perspektivy razvitiya [The current state of the land and property complex: problems and development prospects] : Proceedings of the All-Russian Student Scientific and Practical Conference. – Krasnoyarsk : Krasnoyarsk State Agrarian University, 2021. – P. 16-21. [in Russian]

8. Nezamov V.I. Problemy metodov distancionnogo zondirovaniya v jelementah landshaftov [Problems of remote sensing methods in landscape elements] / V.I. Nezamov, A.O. Keller // Problemy sovremennoj agrarnoj nauki: [Problems of modern agricultural science]: Proceedings of the international scientific conference. – Krasnoyarsk : Krasnoyarsk State Agrarian University, 2018. – P. 50-51. [in Russian]

9. Nikolaeva I.O. Klassifikacija osobej v hvojnnyh nasazhdenijah estestvennogo proishozhdenija dlja ocenki ih izmenchivosti [Classification of individuals in coniferous stands of natural origin to assess their variability] / I.O. Nikolaeva, V.M. Solov'ev // Uspehi sovremennoego estestvoznaniya [Successes of modern natural science]. – 2019. – № 12. – P. 14-19. [in Russian]

10. Erankina I.O., Solov'ev M.V. Osobennosti estestvennogo vozobnovlenija pod pologom sosnovykh drevostoev razlichnykh tipov lesa [Peculiarities of natural regeneration under the canopy of pine stands of various forest types] / I.O. Erankina, M.V. Solov'ev // Zemleustrojstvo, kadastr i monitoring zemel' [Land management, cadastre and land monitoring]. – 2012. – № 2 (86). – P. 60-64. [in Russian]

11. Nikolaeva I.O. Sistemnyj sposob ocenki struktury hvojnnyh molodnjakov dlja obrazovaniya vysokoproizvoditel'nykh nasazhdenij na primere srednego Urala [A systematic method for assessing the structure of young coniferous stands for the formation of high-performance plantations on the example of the Middle Urals] / I.O. Nikolaeva, V.M. Solov'ev // Vestnik Burjatskoj gosudarstvennoj sel'skohozjajstvennoj akademii im. V.R. Filippova [Bulletin of the Buryat State Agricultural Academy. V.R. Filippova]. – 2019. – № 4 (57). – P. 80-87. [in Russian]

12. Kazjak E.V. Spektral'nye preobrazovaniya kosmicheskikh snimkov Landsat 8 dlja kartografirovaniya rastitel'nosti agrojekosistem [Spectral transformations of Landsat 8 space images for mapping vegetation of agroecosystems] / E.V. Kazjak, A.V. Leshhenko // Interjekspos Geo-Sibir' [Interexpo Geo-Siberia]. – 2015. – Vol. 4. – № 1. – P. 79-83. [in Russian]