7. Loktionov A. P. Princip postroenija sistemy upravlenija issledovanijami i ispytanijami mehanicheskih konstrukcij na osnove redukcii preobrazovanij // Pribory i sistemy. Upravlenie, kontrol', diagnostika. – 2010. – № 6. – S. 57 - 61.

8. Loktionov A. P. Reshenie informacionno-izmeritel'noj sistemoj obratnoj nachal'noj zadachi s lagranzhevoj approksimaciej // Izvestija Jugo-Zapadnogo gosudarstvennogo universiteta. – 2016. – № 1 (64). – S. 20-26.

9. Zelenkova M. V., Skripka V. L. Perspektivy sovershenstvovanija sposobov kalibrovki pri ispol'zovanii apparata redukcii izmerenij // Izmeritel'naja tehnika. – 2015. – № 5. – S. 14–17.

10. Liew S. S., Choo E. L. Bending Moment Interpretation Of Structural Ele-ment With Measured Deflection Profile. Gue & Partners Sdn Bhd. Kuala Lumpur. 2004. Malaysia. – URL: http: //www.gnpgeo.com.my/ download/publication/2004_05.pdf (data obrashhenija 05.11.2016).

11. Loktionov A. P. Regularization of the lattice time function of the signal in the communication channel // Telecommunications and Radio Eng. – 2013. – V. 72. N 2. – P. 161-171.

12. Loktionov A.P. Jeksperimental'no-raschetnyj metod opredelenija opornogo momenta konsol'noj balki // Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitel'stvo. – 2014. – № 2. – S. 15–19.

13. Loktionov A. P. Peremeshhenija pri izgibe sterzhnej / Kursk. politehn. in-t. – Kursk, 1981. – 16 s. – Dep. V VINITI 29.04.81. № 1944-81 Dep.

14. Loktionov A. P., Maksimov Ju.A., Titov V. S. O chislennom differencirovanii v obratnoj zadache Koshi // Svarka i rodstvennye tehnologii v mashinostroenii i jelektronike: regional'nyj sb. nauch. tr. – Vyp. 4. – Kursk, 2002. – S. 263-268.

УДК 528.72

И.И. Шуклин, вед. научный сотрудник, ФГУП «18 ЦНИИ» МО РФ (Курск)
(e-mail: shuklin@nm.ru)

С.А. Мосин, аспирант, ФГБОУ ВО «Юго-Западный государственный университет» (Курск)
(e-mail: 22mosin@gmail.com)

С.Ю. Мирошниченко, канд. техн. наук, доцент, ФГБОУ ВО «Юго-Западный государственный университет» (Курск) (e-mail: oldguy7@rambler.ru)

ВЛИЯНИЕ СВОЙСТВ ДАННЫХ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ЗЕМЛИ И ПАРАМЕТРОВ ИХ ТРАНСФОРМИРОВАНИЯ НА ВРЕМЯ ПОСТРОЕНИЯ РЕЗУЛЬТИРУЮЩЕГО ИЗОБРАЖЕНИЯ МЕСТНОСТИ

В данной статье приведены и описаны экспериментальные исследования влияния свойств данных дистанционного зондирования Земли и параметров их трансформирования на время построения результирующего изображения. Проведение подобного рода исследований обусловлено необходимостью повышения производительности цифровых фотограмметрических станций в области трансформирования космических изображений местности. Из множества свойств исходных данных дистанционного зондирования выделены такие свойства, как формат хранения исходных растровых данных и их внутренняя структура. Аналогично для соответствующих трансформированных изображений местности также выделены их формат и внутренняя структура растровых данных. Среди множества используемых методов и параметров трансформирования изображений местности выделены типы полиномов трансформации и алгоритмов сглаживания. Рассмотрены такие параметры аппаратной платформы, как тип дискового массива и размер кластера файловой системы. Авторами введены *ограничения на аппаратную платформу, методы трансформирования изображений, размеры пикселов входного и выходного изображений, системы координат. Показано влияние степени сжатия файлов на скорость выполнения трансформирования, рассмотрены изменения в скорости при смене формата (формат выходного изображения отличается от формата входного изображения). По результатам исследований были вынесены рекомендации по заданию параметров трансформирования космических изображений местности и настройке цифровых фотограмметрических станций для повышения производительности, без потери точности и визуальных свойств результирующих изображений.*

***Ключевые слова:** геоинформатика, дистанционное зондирование земли, космические изображения местности, фотограмметрическая обработка.*

***

В настоящее время наблюдается постоянный рост использования данных дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) при решении прикладных задач в различных сферах: в сельском хозяйстве [1,2], образовании, муниципальном и административном управлении [3], что, в свою очередь, требует разработки методов и средств фотограмметрической обработки данных ДЗЗ для удовлетворения потребностей в оперативности и объёмах получения этих данных [4, 5].

Первичная обработка данных ДЗЗ учитывает конструктивные особенности специальной бортовой аппаратуры и может носить уникальный характер для материалов, получаемых от различных космических аппаратов [4]. Данный вид обработки осуществляется, как правило, в наземных центрах приёма информации. Методы и способы сокращения времени её выполнения подробно изложены в [4]. Одной из ключевых операций при фотограмметрической обработке данных ДЗЗ является трансформирование космического изображения местности [4, 6]. Данная операция присутствует в тракте стандартной обработки всех космических изображений [7] второго уровня и выше, осуществляется по типовым моделям [6] и представляет интерес в части сокращения времени её выполнения [8].

На время формирования результирующего изображения местности при трансформировании данных ДЗЗ наиболее существенное влияние оказывают:

– свойства данных ДЗЗ (формат и внутренняя структура исходных растровых данных);

– свойства трансформированных изображений местности (формат и внутренняя структура результирующих растровых данных);

– используемые методы и параметры трансформирования изображения местности (типы полиномов трансформации и алгоритмов сглаживания);

– параметры аппаратной платформы (тип дискового массива и размер кластера файловой системы).

В настоящей статье рассмотрены результаты оценки влияния указанных факторов на время трансформирования космических изображений местности. Сформированы рекомендации по заданию параметров для выполнения данной операции.

Поскольку на время трансформирования космического изображения, кроме указанных, действуют и другие факторы, на которые не может влиять оператор. Для обеспечения адекватности получаемых оценок времени трансформирования изображений введём следующие ограничения:

1) исследования проводятся на цифровой фотограмметрической станции (ЦФС) на следующей платформе: процессор IntelXeon E5-2650, 2.00 ГГц; оперативная память DDR3-1600 DDR3 SDRAM (65484 Мб); дисковый массив SSD 222ГБ (RAID 1 и RAID 0); операционная система Microsoft Windows 7;

2) трансформирование изображений местности осуществляется аппроксимационными (полиномиальными) методами, хотя полученные результаты могут быть распространены и на другие методы [8];

3) размер пиксела исходного изображения местности равен размеру пиксела результирующего изображения;

4) трансформирование изображений осуществляется в одну и ту же систему координат (WGS-84);

5) при трансформировании применяется параллельный алгоритм трансформирования изображений (рис. 1).

Рассмотрим влияние указанных факторов на время трансформирования космических изображений, которое будем оценивать через производительность ЦФС в соответствующих условиях. Исходя из размера изображения местности (в Гбайт) и производительность ЦФС (в Гбайт/мин), рассчитываем время его трансформирования (мин).

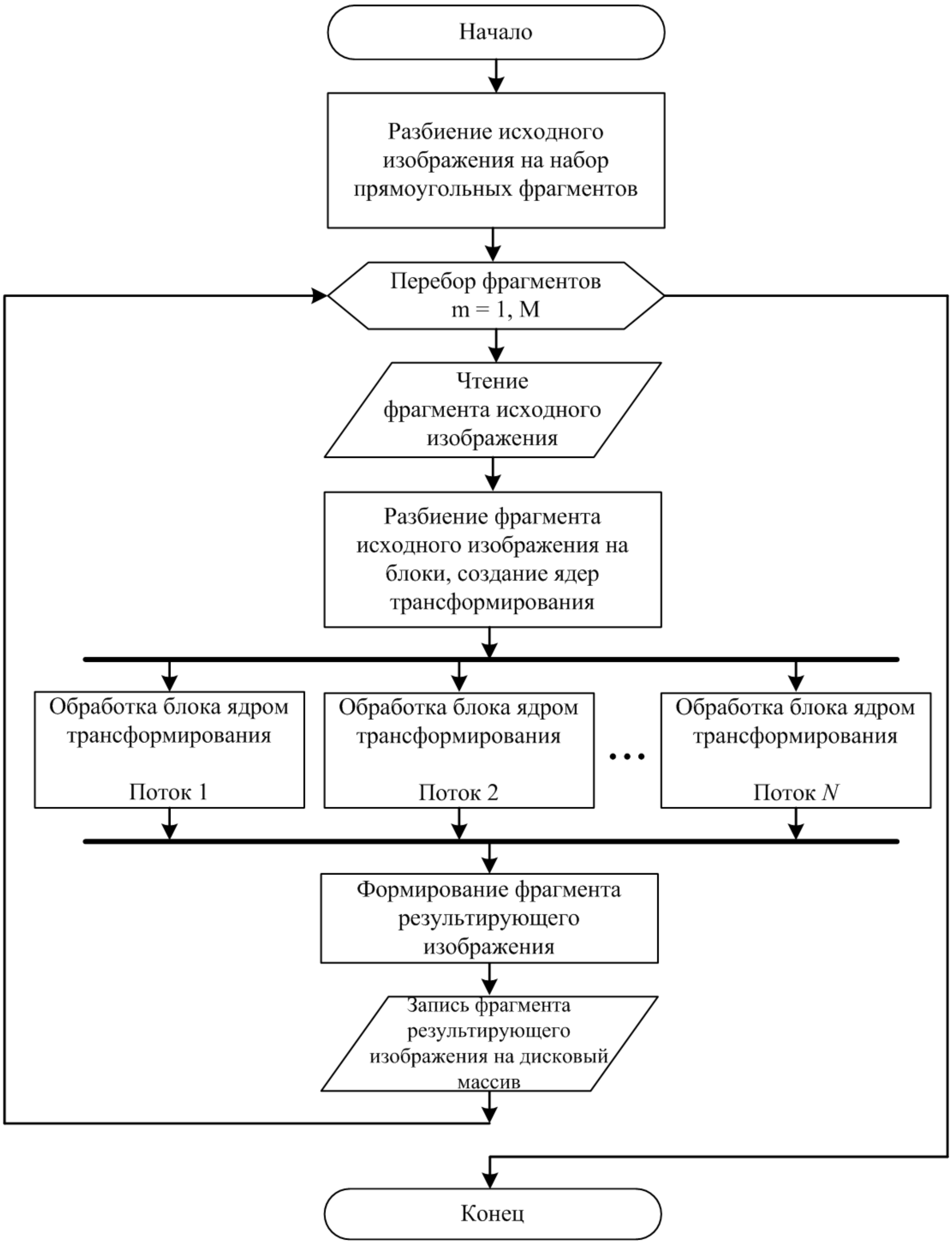

Рис. 1. Блок-схема алгоритма трансформирования изображений

1. Влияние свойств данных ДЗЗ и трансформированных изображений местности на производительность ЦФС

Космические изображения местности (как исходные, так и полученные в результате трансформирования) обладают различными свойствами [9], основными из которых являются: размеры изображения, размер пиксела, формат файла изображения, организационная структура файла (размер блоков изображения), степень и применяемый алгоритм сжатия изображения.

Характер зависимости времени трансформирования изображения от его размеров очевиден и поэтому в рамках настоящей статьи не рассматривается.

Рассмотрим влияние сжатия изображения на производительность ЦФС при прочих равных условиях. Для этого используем в качестве исходных изображение без компрессии в формате GeoTIFF и изображения, обработанные различными алгоритмами сжатия, в форматах JPEG2000, ECW, JPEG. Зависимости производительности ЦФС от размера результирующего изображения приведены на рисунке 2.

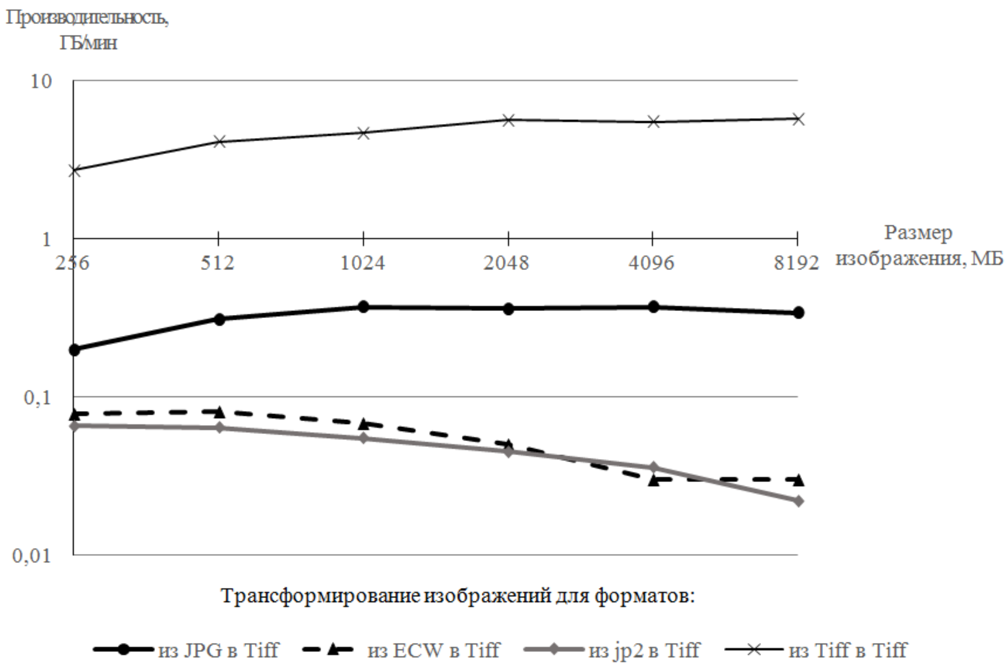

Рис. 2. Зависимость производительности ЦФС от размера результирующего изображения при различных методах сжатия

Сжатые космические изображения занимают меньший объём дискового массива, чем не сжатые, однако при их трансформировании требуется выполнение операции декомпрессии, что на порядок увеличивает время на их обработку (рис. 2).

Рассмотрим влияние организационной структуры файла изображения различных форматов на производительность ЦФС, обусловленное хранением растровых данных в файле в виде блоков, которое определяется размерами этих блоков. Одним из распространённых форматов, в котором данные ДЗЗ поступают на трансформирование, является GeoTIFF со «строчным» блоком (размеры блока равны одной строке изображения). Другим форматом является IMG, блок которого является квадратом с размерами стороны от 64 до 2048 пикселов. Изображения в формате GeoTIFF могут иметь такую же блочную структуру, если заданы соответствующие параметры при их формировании. Далее на рисунках 3 – 6 приводятся зависимости производительности ЦФС от размера входного изображения при различных вариациях размеров блоков двух указанных форматов.

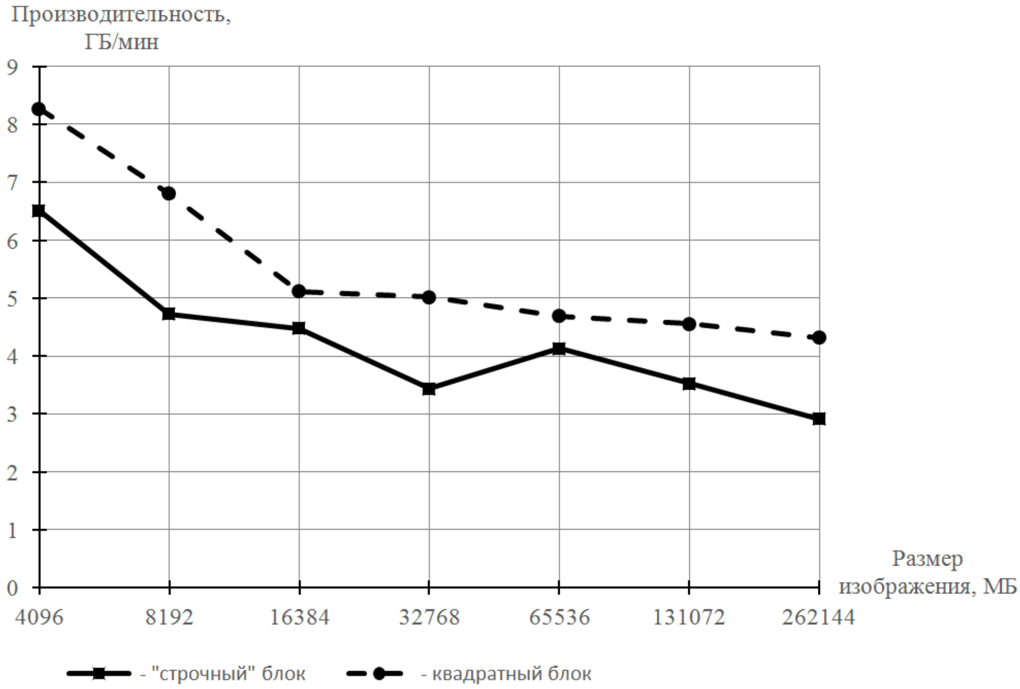

Рис. 3. Зависимость производительности ЦФС от размера входного изображения при трансформировании (формат исходного и выходного изображений - GeoTIFF, тип блока совпадает)

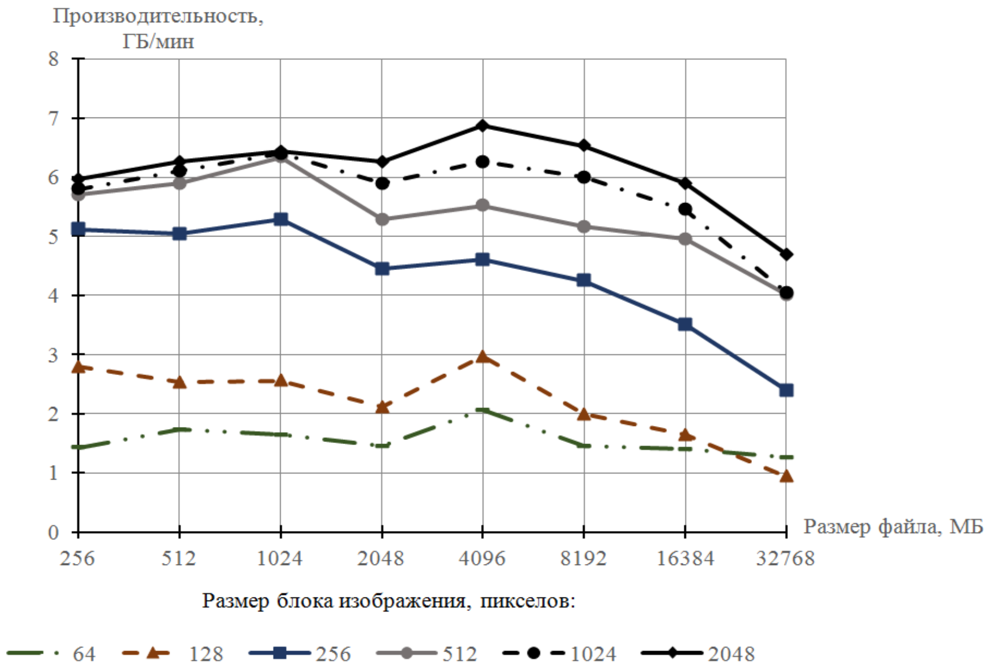

Рис. 4. Зависимость производительности ЦФС от размера входного изображения при трансформировании для различных размеров блока (формат исходного изображения GeoTIFF с квадратным блоком, выходного – IMG, размеры блока совпадают)

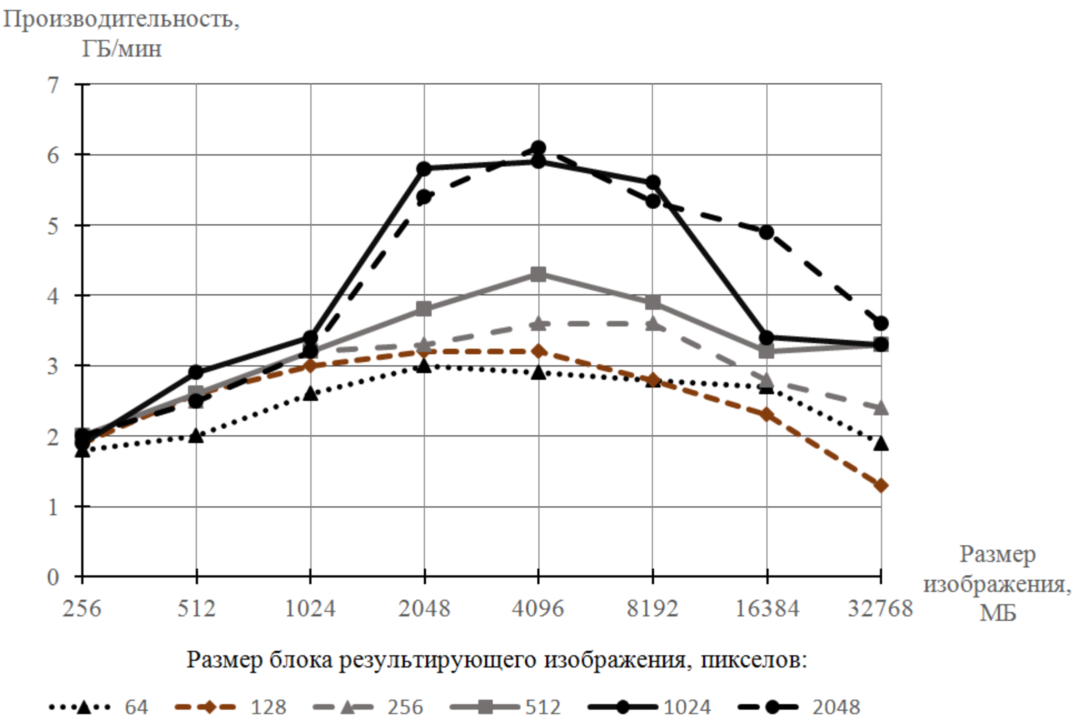

Рис. 5. Зависимость производительности ЦФС от размера обрабатываемого изображения при трансформировании для различных размеров блока результирующего изображения (формат исходного изображения GeoTIFF со «строчным» блоком, выходного – IMG)

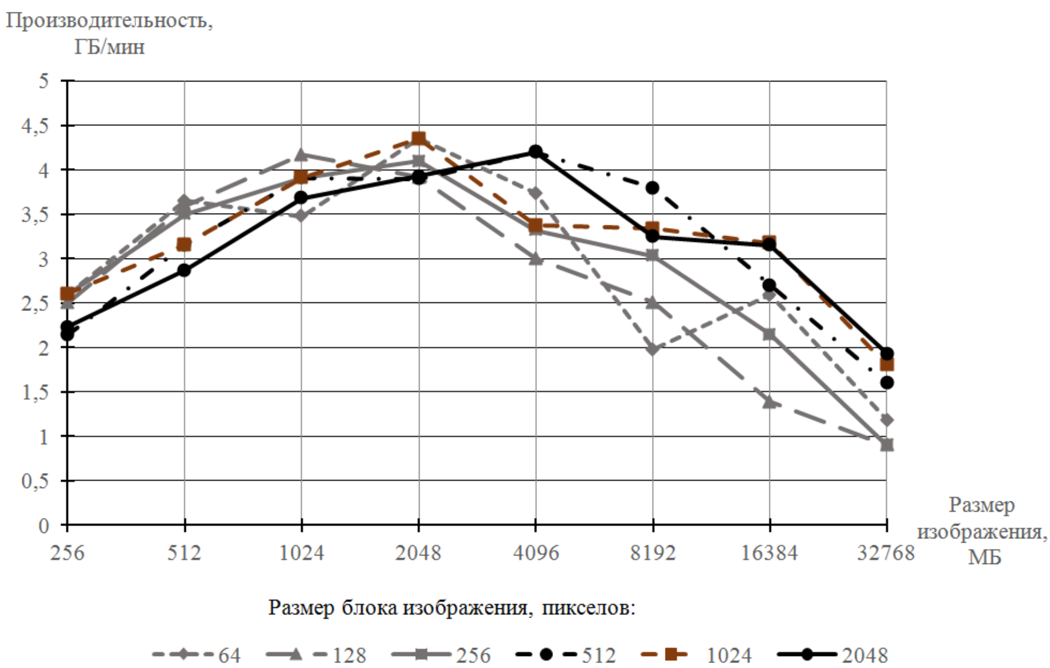

Рис. 6. Зависимость производительности ЦФС от размера обрабатываемого изображения при трансформировании для различных размеров блока (формат входного и выходного изображения – IMG, размеры блока совпадают)

По результатам проведенных исследований установлено, что для формата GeoTIFF со «строчным» блоком при увеличении ширины изображения производительность ЦФС уменьшается не менее, чем в два раза, поскольку процессор ЦФС чаще обращается к дисковому массиву в силу ограниченного объёма оперативной памяти и существенного количества (до нескольких тысяч) одновременно обрабатываемых и формируемых блоков изображения. В случае использования квадратного блока при увеличении размера изображения также наблюдается снижение производительности ЦФС, обусловленное необходимостью удаления кэшированных фрагментов изображений из оперативной памяти с записью измененных данных на дисковый массив.

Из анализа рисунков 3 - 6 видно, что максимальная производительность ЦФС при указанной выше конфигурации аппаратной платформы достигается при размере стороны блока выходного изображения от 1024 до 2048 пикселов и объёме изображения от 0,5 Гб до 8 ГБ.

2. Влияние используемых методов и параметров трансформирования изображений местности на производительность ЦФС

Для трансформирования изображений местности применялись аппроксимационные методы [6], в соответствии с которыми связь точек изображения с точками местности задаётся полиномами различной степени. В данной работе исследовались связи на основе полиномов 1, 2 и 3 степени, а также сплайнов. Чем выше порядок полинома при трансформировании изображения местности, тем более сложные искажения могут быть скорректированы и тем выше общая и локальная точность формируемого изображения. Трансформирование изображений на основе полиномов высокого порядка требует большего количества опорных точек и, следовательно, больше времени на обработку. Зависимость производительности ЦФС от размера обрабатываемого изображения при трансформировании для различных типов полиномов приведена на рисунке 7.

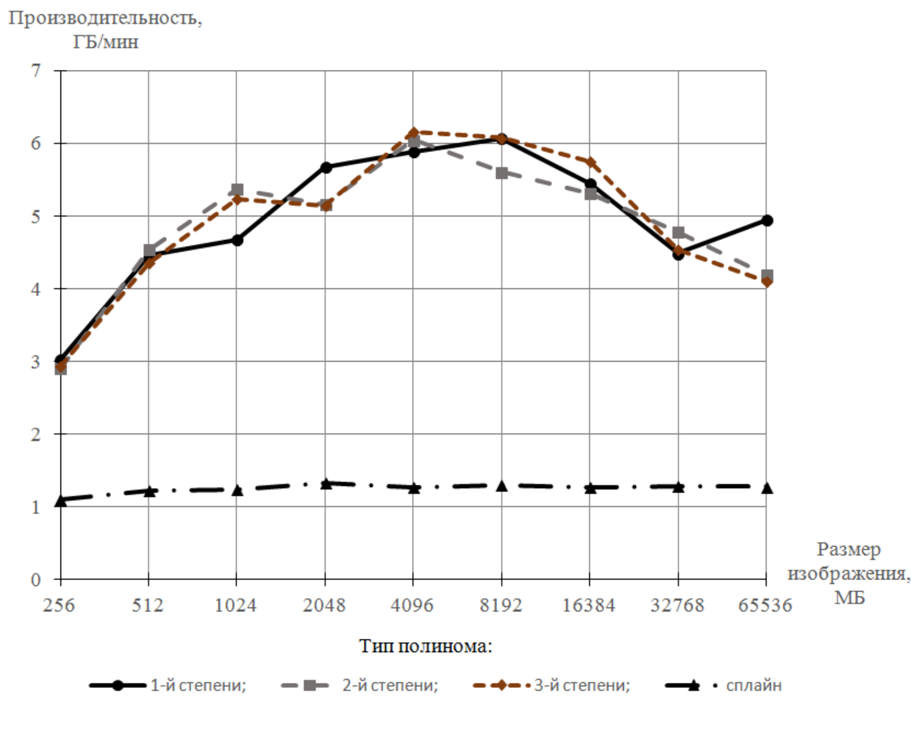

Рис. 7. Зависимость производительности ЦФС от размера входного изображения при трансформировании на основе полиномов различных типов

Как видно из рисунка 7, ЦФС демонстрирует наименьшую производительность при трансформировании изображения на основе сплайнов, однако невязка в опорных точках изображения в этом случае стремится к нулю, что дает предпосылки формирования результирующего изображения с лучшей точностью, чем при использовании полиномов других типов [6].

Поскольку в процессе трансформирования изображения изменяется его фотометрическая структура, то для получения значения яркости пиксела результирующего изображения по значениям яркости ограниченного набора пикселов исходного изображения применяется их интерполяция. Суть интерполяции заключается в использовании имеющихся данных для получения ожидаемых значений в неизвестных точках изображения местности [10]. Зависимость производительности ЦФС от размера обрабатываемого изображения при трансформировании для различных типов интерполяции пикселов приведена на рисунке 8.

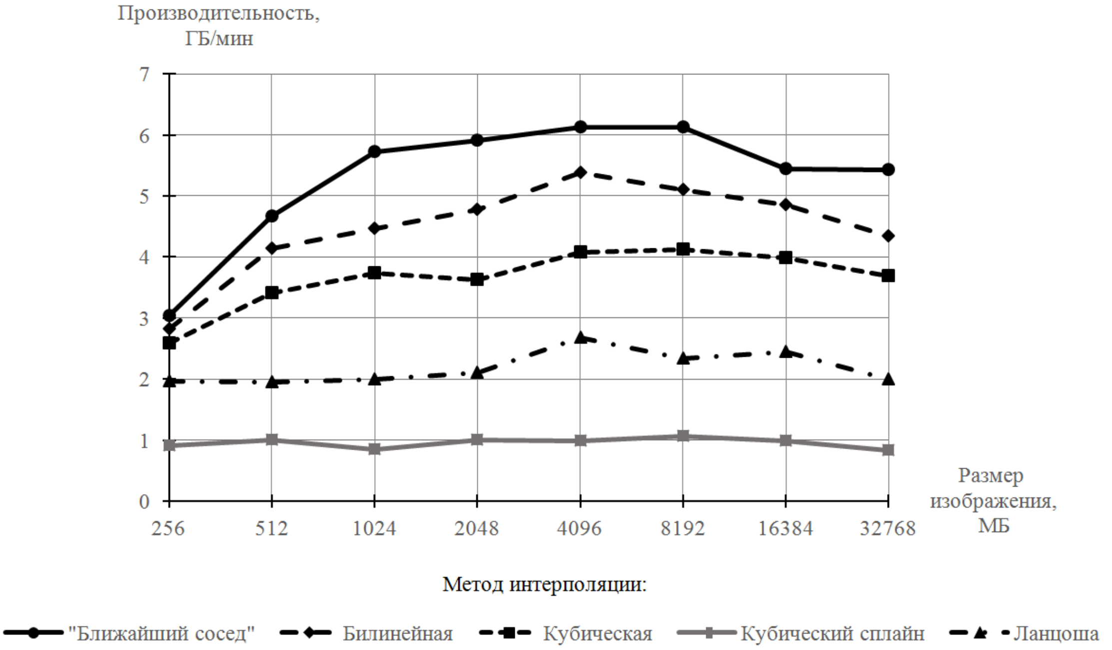

Рис. 8. Зависимость производительности ЦФС от размера обрабатываемого изображения при трансформировании для различных типов интерполяции пикселов, тип дискового массива -Raid0

Следует отметить, что вид интерполяции пикселов влияет на размытие резких переходов яркости изображения и наличие алиасинга (ступенчатости контуров отображаемых объектов), то есть – на визуальное восприятие изображения местности. В задачах космического мониторинга стационарных объектов и участков поверхности Земли возникает необходимость четкого прослеживания контрастных границ этих объектов. Для решения подобных задач применяются различные виды кубической интерполяции и Ланцоша. Выполнение данных видов интерполяции является ресурсоемкой процедурой и их применение приводит к снижению производительности ЦФС, что видно из рисунка 8.

3. Влияние параметров аппаратной части ЦФС на её производительность

В данной работе не рассматривалось влияние аппаратной платформы ЦФС (частота работы процессора, количество ядер процессора, объем оперативного запоминающего устройства (ОЗУ) и пр.) на её производительность, поскольку оператор не может штатно повлиять на эти параметры (кроме замены комплектующих). Однако существует ряд параметров ЦФС, установка которых позволит повлиять на её производительность. В качестве таких параметров исследовались: тип дискового массива и размер кластера – минимального объема дискового пространства, который может быть выделен для размещения файла.

Из анализа зависимостей, изображенных на рисунках 8 и 9, следует, что использование Raid0 (объединение дисков) позволяет повысить производительность ЦФС в среднем на 10 – 15 % по сравнению с Raid1 (дублирование дисков) при прочих равных условиях.

Результаты проведенных исследований показали, что увеличение размера кластера дискового массива существенно не влияет на производительность ЦФС (рис. 10). Влияние изменения размера кластера при изменении размера блока изображения на производительность ЦФС не выявлено.

4. Формирование рекомендаций для определения параметров выполнения трансформирования космических изображений местности

По результатам проведенных исследований в целях сокращения времени трансформирования космических изображений местности предлагаются следующие рекомендации:

– максимальная производительность ЦФС при трансформировании изображений достигается при размере блока от 1024 пиксела и более;

– изображения местности в формате GeoTIFF со «строчным» блоком рекомендуется использовать в случае, если их размер составляет не более 50 % от объема оперативного запоминающего устройства ЦФС в виду возможного падения её производительности при трансформировании из-за многократного обращения к блокам изображения, находящимся на дисковом массиве;

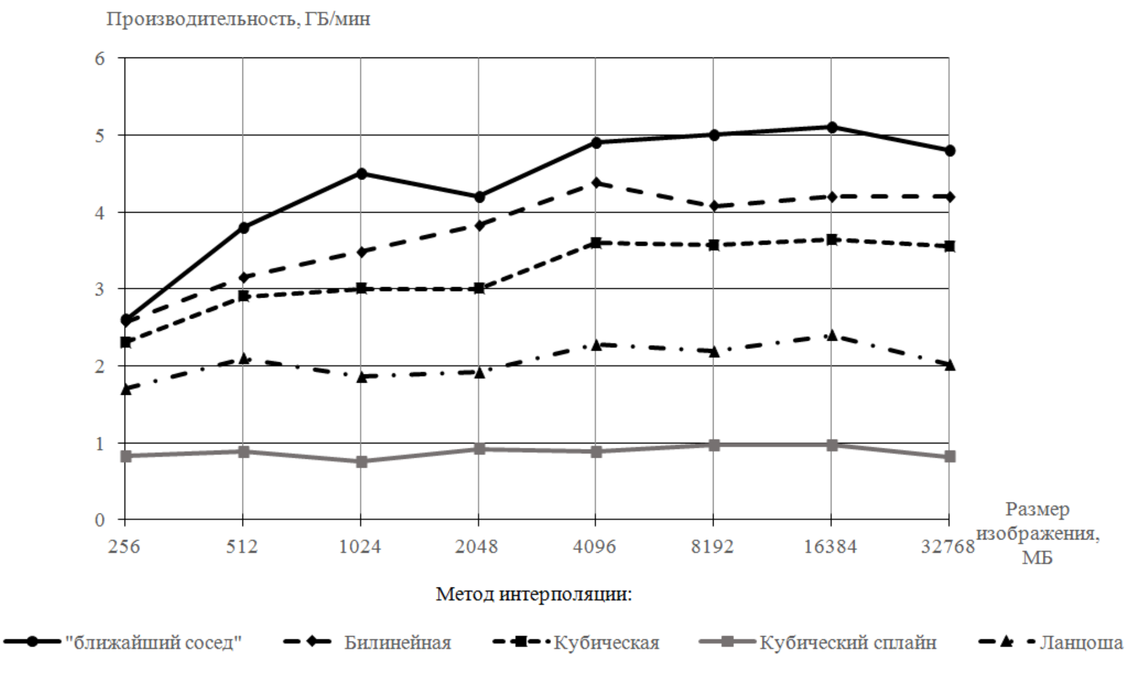

Рис. 9. Зависимость производительности ЦФС от размера обрабатываемого изображения при трансформировании для различных типов интерполяции пикселов, тип дискового массива – Raid1

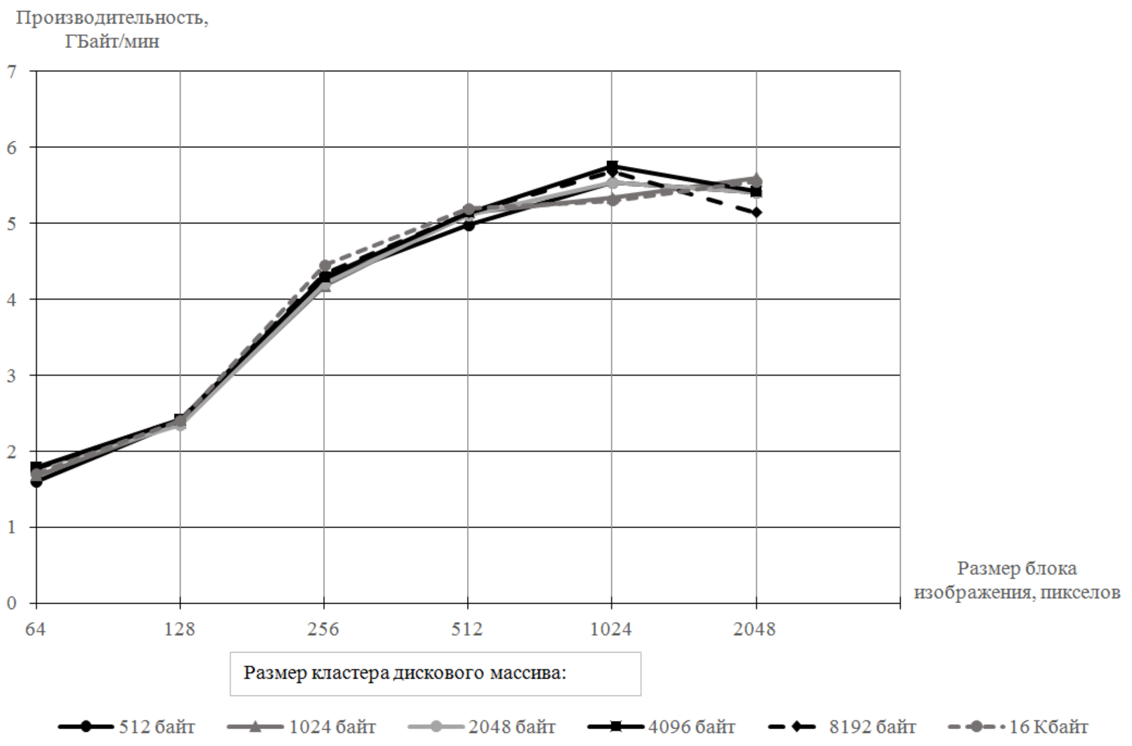

Рис. 10. Зависимость производительности ЦФС от размера кластера дискового массива при трансформировании изображений с различным размером блока

– в качестве выходного формата при трансформировании космических изображений местности предпочтительно использовать GeoTIFF с размером блока 2048 пикселов;

– использование форматов со сжатием не является целесообразным из-за низкой скорости чтения-записи изображения, обусловленной необходимостью его распаковки (данная операция неотделима от чтения данных);

– при трансформировании изображений местности рекомендуется использовать полиномы 2-й и 3-й степени, поскольку они позволяют сформировать изображение с меньшими геометрическими искажениями объектов по сравнению с полиномом 1-й степени при сопоставимом времени трансформирования;

– использование метода билинейной интерполяции является предпочтительным, так как формируемое изображение имеет лучшие визуальные свойства, чем при использовании метода «ближайшего соседа», и меньшее время его формирования, чем при использовании метода кубической интерполяции;

– размер кластера дискового массива на время обработки изображений местности влияет незначительно.

Выводы

В работе проведен анализ влияния свойств данных ДЗЗ, свойств трансформированных изображений местности, методов и параметров процесса трансформирования и параметров аппаратной платформы на производительность цифровой фотограмметрической станции. Сформулированы рекомендации по выбору указанных параметров для повышения производительности ЦФС при сохранении точности и визуальных свойств результирующих изображений

Список литературы

1. Мирошниченко С.Ю. Выделение теней для определения высот объектов местности на космических изображениях // Известия Юго-Западного государственного университета. Серия: Управление, вычислительная техника, информатика. Медицинское приборостроение. – 2012. – №2. Ч. 2. – С. 170 – 173.

2. Ященко А.А., Мирошниченко С.Ю. Метод распознавания объектов дорожной сети на космических снимках // Известия Юго-Западного государственного университета. Серия: Управление, вычислительная техника, информатика. Медицинское приборостроение. – 2012. – №2. Ч. 1. – С. 158 – 162.

3. Панарин В.А., Кубовская О.М. Методология создания муниципальной информационной системы на основе требований к ИСОГД // Геоматика. – 2015. – № 4. – С. 58 – 66.

4. Злобин В.К., Еремеев В.В. Обработка аэрокосмических изображений. – М.: Физматлит, 2006. – 288 с.

5. Бекренев О.В. [и др.]. Возможности приема и обработки данных ДЗЗ в Консорциуме УНИГЕО // Ракетно-космическое приборостроение и информационные системы. – 2014. – Т. 1, вып. 3. – С. 66–72.

6. Шовенгердт Р.А. Дистанционное зондирование. Модели и методы обработки изображений. – М.: Техносфера, 2010. – 560 с.

7. Беленов А.В. Стандартные уровни обработки и форматы представления данных ДЗЗ из космоса. Мировой опыт // Геоматика. – 2009. – № 4. – С. 18 – 20.

8. Сонюшкин А.В. Совершенствование технологии создания ортофотопланов по космическим изображениям высокого разрешения: дис. ... канд. техн. наук / Московский государственный университет геодезии и картографии. – М., 2015.

9. Шуклин И.И., Ющенко С.П. Адаптивная распределенная система фотограмметрической обработки данных дистанционного зондирования Земли из космоса в ЕТРИС [Электронный ресурс] // Тезисы докладов 13-й Всероссийской открытой конференции «Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса» (16 – 20 ноября 2015 г.) / Институт космических исследований РАН. – М., 2015. - 1 электрон. опт. диск (CD-ROM) : зв., цв. ; 12 см.

10. Евстратова Л.Г. Трансформирование космических снимков с использованием программного комплекса ENVI: учеб. пособие. – Новосибирск: СГГА, 2008. – 53 с.

Получено 08.11.16

I.I. Shuklin, Leading Researcher, FGUP «18 TSNII» MO RF (Kursk) (e-mail: shuklin@nm.ru)

S.A. Mosin, PostGraduate Student, Southwest State University (Kursk)
(e-mail: 22mosin@gmail.com)

S.YU. Miroshnichenko, Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor, Southwest State University (Kursk) (e-mail: oldguy7@rambler.ru)

THE INFLUENCE OF EARTH REMOTE SENSING DATA CHARACTERISTICS AND TRANSFORMATION PARAMETERS ON THE TIME OF LOCALITY IMAGING

The paper presents an experimental study of the influence of Earth remote sensing data and their transformation parameters on the resulting imaging time. The importance of such studies is determined by the need to improve the performance of digital photogrammetric stations in terms of their ability to transform a locality space image. The focus is given to such basic remote sensing data as storage format of input raster data and their internal struc-

ture. Concurrently the format and internal structure of raster data have been defined for the transformed locality images. Numerous available methods and characteristics of locality image transformation have been reviewed to identify the types of transformation polynomials and smoothing algorithms. Consideration has also been given to such hardware parameters as disk array type and FS cluster size. The authors have substantiated the restrictions on hardware platform, image transformation methods, the pixel size of input and output images and coordinate system. It has been shown that the rate of file reduction influences on the transformation speed with specific attention paid to the changes in the speed as a result of a change in the data format (the format of the output image differs from the format of the input image). The outcome of the research is recommendations on the setting of locality space image transformation parameters and adjustment of digital photogrammetric station so that in increase their efficiency without compromising accuracy and visual quality of output images.

Key words: *geoinformatics, Earth remote sensing, locality space images, photogrammetric processing*

***

Reference

1. Miroshnichenko S.Ju. Vydelenie tenej dlja opredelenija vysot ob#ektov mestnosti na kosmicheskih izobrazhenijah // Izvestija Jugo-Zapadnogo gosudarstvennogo universiteta. Serija: Upravlenie, vychislitel'naja tehnika, informatika. Medicinskoe priborostroenie. – 2012. – №2. Ch. 2. – S. 170 – 173.

2. Jashhenko A.A., Miroshnichenko S.Ju. Metod raspoznavanija ob#ektov dorozhnoj seti na kosmicheskih snimkah // Izvestija Jugo-Zapadnogo gosudarstvennogo universiteta. Serija: Upravlenie, vychislitel'naja tehnika, informatika. Medicinskoe priborostroenie. – 2012. – №2. Ch. 1. – S. 158 – 162.

3. Panarin V.A., Kubovskaja O.M. Metodologija sozdanija municipal'noj informacionnoj sistemy na osnove trebovanij k ISOGD // Geomatika. – 2015. – № 4. – S. 58 – 66.

4. Zlobin V.K., Eremeev V.V. Obrabotka ajerokosmicheskih izobrazhenij. – M.: Fizmatlit, 2006. – 288 s.

5. Bekrenev O.V. [i dr.]. Vozmozhnosti priema i obrabotki dannyh DZZ v Konsorciume UNIGEO // Raketno-kosmicheskoe priborostroenie i informacionnye sistemy. – 2014. – T. 1, vyp. 3. – C. 66–72.

6. Shovengerdt R.A. Distancionnoe zondirovanie. Modeli i metody obrabotki izobrazhenij. – M.: Tehnosfera, 2010. – 560 s.

7. Belenov A.V. Standartnye urovni obrabotki i formaty predstavlenija dannyh DZZ iz kosmosa. Mirovoj opyt // Geomatika. – 2009. – № 4. – S. 18 – 20.

8. Sonjushkin A.V. Sovershenstvovanie tehnologii sozdanija ortofotoplanov po kosmicheskim izobrazhenijam vysokogo razreshenija: dis. ... kand. tehn. nauk / Moskovskij gosudarstvennyj universitet geodezii i kartografii. – M., 2015.

9. Shuklin I.I., Jushhenko S.P. Adaptivnaja raspredelennaja sistema fotogrammetricheskoj obrabotki dannyh distancionnogo zondirovanija Zemli iz kosmosa v ETRIS [Jelektronnyj resurs] // Tezisy dokladov 13-j Vserossijskoj otkrytoj konferencii «Sovremennye problemy distancionnogo zondirovanija Zemli iz kosmosa» (16 – 20 nojabrja 2015 g.) / Institut kosmicheskih issledovanij RAN. – M., 2015. - 1 jelektron. opt. disk (CD-ROM) : zv., cv. ; 12 sm.

10. Evstratova L.G. Transformirovanie kosmicheskih snimkov s ispol'zovaniem programmnogo kompleksa ENVI: ucheb. posobie. – Novosibirsk: SGGA, 2008. – 53 s.