

УДК [504.4:528.7]:004

## ОЦЕНКА ЦЕЛЕСООБРАЗНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ СНИМКОВ НИЗКОГО РАЗРЕШЕНИЯ ДЛЯ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ПАВОДКОВОЙ СИТУАЦИИ В РЕСПУБЛИКЕ БАШКОРТОСТАН НА ОСНОВЕ ГИС-ТЕХНОЛОГИЙ

О. И. Христовуло<sup>1</sup>, А. Ф. Атнабаев<sup>2</sup>, И. Кляйн<sup>3</sup>

<sup>1</sup> o-hristodulo@mail.ru, <sup>2</sup> aaf1981@mail.ru, <sup>3</sup> Igor.Klein@dlr.de

<sup>1,2</sup> ФГБОУ ВПО «Уфимский государственный авиационный технический университет» (УГАТУ)

<sup>3</sup> Германский центр авиации и космонавтики (Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt) DLR

*Поступила в редакцию 18 декабря 2014 г.*

**Аннотация.** В рамках системы мероприятий, направленных на повышения качества информационной поддержки принятия решений при прогнозировании и прохождении паводка, рассматривается вопрос о возможности использования свободно распространяемых данных дистанционного зондирования Земли (ДДЗЗ) и точности полученных результатов. Проведена оценка результатов дешифрирования снежного покрова со снимков низкого разрешения со спутника MODIS, путем сопоставления результатов дешифрирования той же территории со снимков высокой точности со спутника Landsat. Описан алгоритм анализа и сопоставления результатов дешифрирования снимков на примере Республики Башкортостан. Рассматривается реализация предложенного алгоритма путем сравнительного анализ результатов дешифрирования снимков территории РБ за 2010 г.

**Ключевые слова:** геоинформационная система (ГИС); космические снимки; прогнозирование паводковой ситуации; система поддержка принятия решений; зоны затопления; данные дистанционного зондирования Земли (ДДЗЗ).

### ВВЕДЕНИЕ

Ежегодные паводковые ситуации представляют собой один из основных источников чрезвычайных ситуаций (ЧС) природного характера. Происходящие сегодня в мире глобальные и региональные изменения климата могут стать причиной увеличения повторяемости, интенсивности чрезвычайных ситуаций и масштабов ущерба от них. Практически ежегодно паводковые ситуации повторяются в Республике Башкортостан (РБ), при этом по масштабности охватываемых территорий и наносимому ущербу они значительно превосходят остальные чрезвычайные ситуации природного характера. Это связано, прежде всего, с многочисленностью водных объектов РБ и активным применением водных ресурсов для питьевых, производственных и сельскохозяйственных нужд.

Значительное влияние на увеличение объема талых вод оказывает интенсивность таяния снежного покрова, что обуславливает необходимость мониторинга таяния снежного покрова и дальнейшее использование полученных дан-

ных для информационной поддержки при принятии решений в паводковый период. Важную роль при мониторинге таяния снежного покрова играет показатель запаса воды в снеге. Являясь расчетным, он позволяет делать высокоточные прогнозы об эквиваленте воды в снежном покрове, выход которой может произойти в ходе снеготаяния. Современная система мониторинга может быть основана на широком применении ГИС-технологий, средств и методов космического дистанционного зондирования и использования моделей прогноза погоды, что будет способствовать повышению эффективности контроля над паводковой ситуацией [1].

Между тем развитие технологий оперативного мониторинга и прогнозирования состояния гидросферы позволяет значительно повысить эффективность системы мониторинга за опасными паводковыми ситуациями в РБ. Однако в каждой системе мониторинга есть свои специфические проблемы. В частности, при использовании ДДЗЗ основными проблемами является дороговизна и низкая периодичность снимков высокой точности, которые обеспечи-

вали бы высококачественные результаты классификации снежного покрова. В то же время имеется большое количество бесплатных снимков низкой и средней точности. Возникает вопрос о возможности использования свободно распространяемых ДДЗЗ и точности полученных результатов обработки для прогнозирования паводковой ситуации.

Исходя из вышесказанного, целью статьи является оценка качества дешифрирования снежного покрова снимков спутника MODIS, имеющего низкое разрешение, при помощи снимков высокой точности спутника Landsat. Снимки MODIS являются общедоступными, тогда как более качественные снимки Landsat являются не ежедневными и в основном платными.

Для достижения цели необходимо решить задачи, представленные на рис. 1. Далее более подробно описана каждая из задач.

### ПОИСК И ПОДГОТОВКА ДДЗ

Известно, что при решении задач, связанных с моделированием природных и техногенных процессов с использованием геоинформационных технологий, необходимо проанализировать и обработать ДДЗЗ за много лет наблюдений. Общеизвестными и надежно зарекомендовавшимися источниками таких данных являются архивы снимков Landsat «Геологической службы США» USGS [2] и архив снимков MODIS «Национального управления по воздухоплаванию и исследованию космического пространства NASA» [3]. Наиболее важными обстоятельствами, позволившие выбрать в качестве базы космоснимков два выше описанных ресурса, являются следующие факты: первый заключается в том, что в архивах данных USGS и NASA хранятся снимки за много лет наблюдений; второй – все необходимые данные находятся в открытом доступе. Следует отметить, что актуальных данных на территорию РБ со спутника Landsat высокого разрешения найти очень сложно, а снимки с разрешением от 15 м и выше представлены в виде весьма обширной коллекции, включая и территорию РБ.

Существуют два подхода к получению снимков Landsat из архива USGS. Один из них – с использованием Web-приложения GloVis [2]. Другой способ связан с использованием Web-приложения EarthExplorer [3].

В процессе поиска ДДЗЗ для исследуемой территории необходимо учитывать следующие параметры поиска:

1) снимок спутника Landsat должен принимать значения строки (Row) в интервале от 21 до 23, а значения столбца (Path) от 163 до 166;

2) снимок MODIS должен включать в себя квадрат h21v03 для разрешающей способности 1000 м.

### ПРЕДВАРИТЕЛЬНАЯ ОБРАБОТКА ДАННЫХ

Результатом поиска снимков на территории РБ является снимок со спутников Landsat и MODIS за 10 февраля 2010 г. (рис. 2). Обладая снимками различного пространственного разрешения, можно перейти к следующему этапу оценки целесообразности использования снимков низкого разрешения – процессу дешифрирования и сопоставления получаемых данных. С целью повышения качества интерпретации земной поверхности, снежного покрова и водных объектов в процессе дешифрирования снимков необходимо использовать нормализованные дифференциальные индексы растительности, снега и воды.

В настоящее время существует целый ряд программного обеспечения, предназначенного для обработки и представления полученной информации в виде тематических карт исследуемых объектов (ScanEx Image Processor, RSI ENVI, ERDAS IMAGINE, eCognition и др.) [4]. В программном продукте ERDAS IMAGINE присутствует модуль расчета нормализованных дифференциальных индексов, вычисляемых по формуле:

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

где NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) – нормализованный относительный индекс растительности; NIR – отражение в ближней инфракрасной области спектра; RED – отражение в красной области спектра.

Использование нормализованной разности между минимумом и максимумом отражений увеличивает точность измерения, позволяет уменьшить влияние таких явлений, как различия в освещенности снимка, облачности, дымки, поглощение радиации атмосферой и прочие, и, таким образом, перейти к следующему этапу оценки целесообразности использования снимков низкого разрешения.

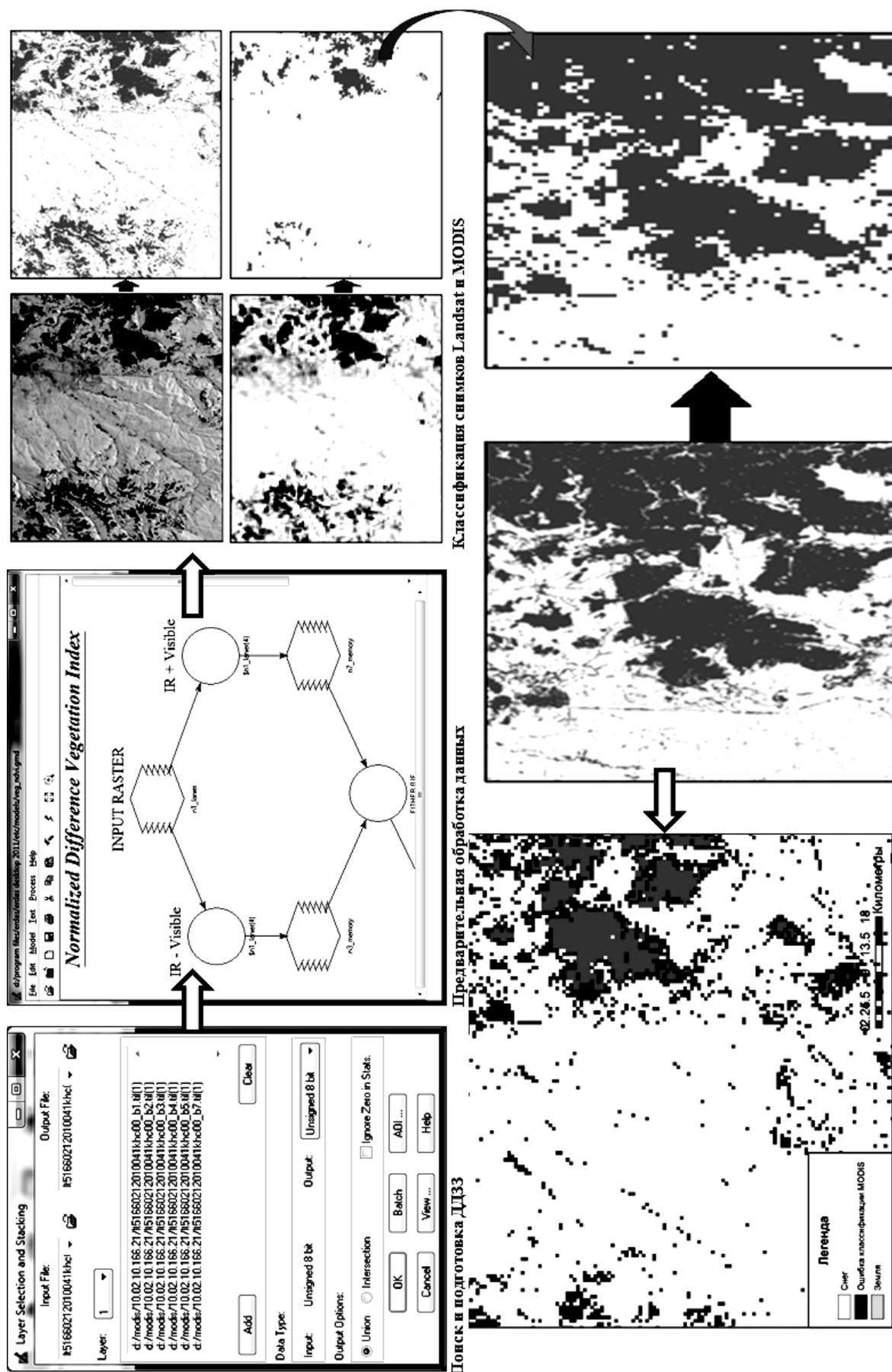
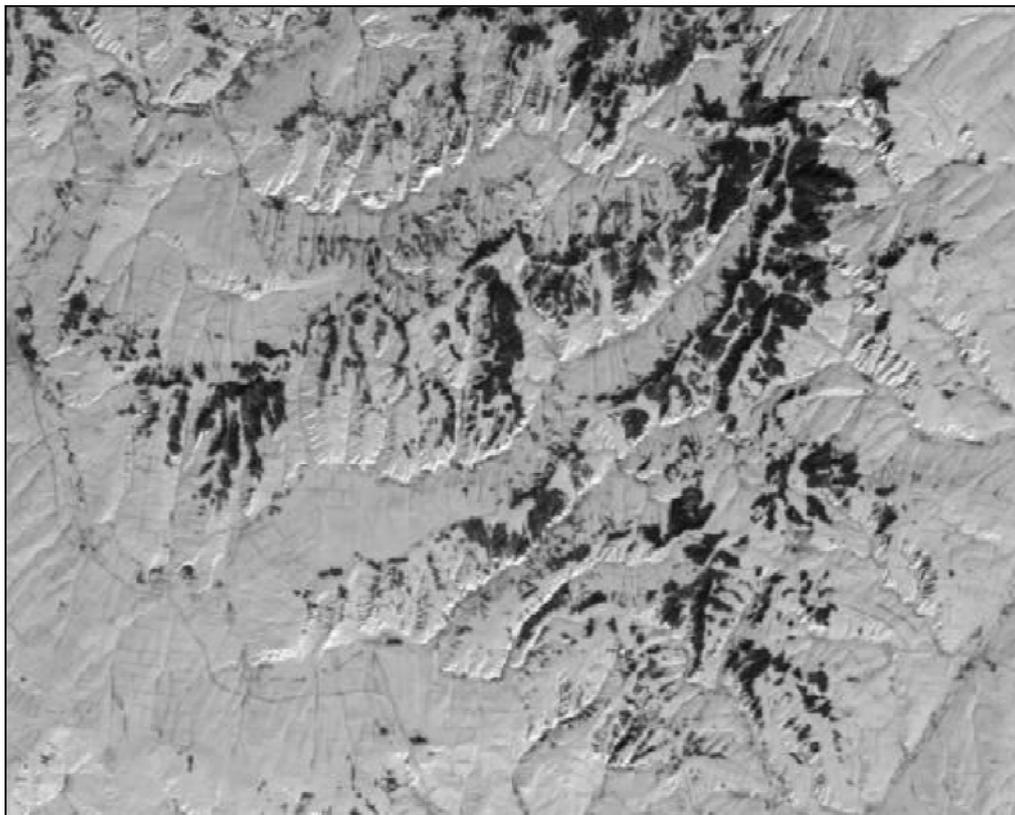
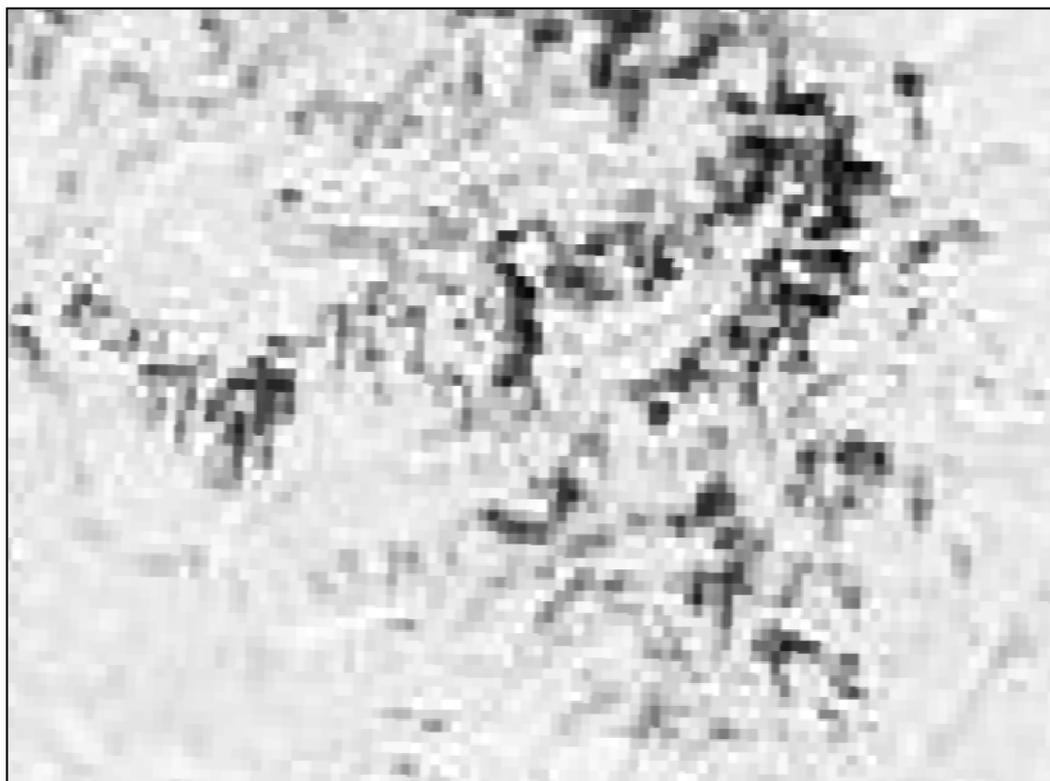


Рис. 1. Этапы анализа данных дистанционного зондирования Земли для классификации снежного покрова

*a**б*

**Рис. 2.** Снимки Landsat и MODIS за 10 февраля 2010 г.:  
*a* – снимок Landsat; *б* – снимок MODIS

Для уменьшения влияния различных помехообразующих факторов, таких как поглощение аэрозолями атмосферы (atmospheric resistant vegetation index – ARVI), отражение от почвенного слоя (soil adjusted vegetation index – SAVI) и др., в ходе предварительной обработки были применены модификации алгоритма для расчета NDVI. Для расчета этих индексов используются формулы, учитывающие отношения между отражающей способностью различных природных объектов и растительностью в других диапазонах, помимо красного и инфракрасного, что делает их более сложными в применении [5]:

$$NDWI = \frac{GREEN - SWIR}{GREEN + SWIR}, \quad (2)$$

где NDWI (Normalized Difference Water Index) – нормализованный разностный водный индекс; GREEN – отражение в зеленой области спектра; SWIR – отражение в средней области спектра.

$$NDSI = \frac{RED - SWIR}{RED + SWIR}, \quad (3)$$

где NDSI (Normalized Difference Snow Index) – нормализованный дифференциальный индекс снега; RED – отражение в красной области спектра; SWIR – отражение в средней инфракрасной области спектра.

Снег с его высокой отражающей способностью в видимой части электромагнитного спектра и высокой поглощающей способностью в ближней инфракрасной части спектра хорошо отличим от облаков, для которых коэффициент отражения в тех же частях спектра всегда является высоким. Это позволяет отделить большинство снега от облаков.

Таким образом, на шаге предварительной обработки произведено объединение требуемых спектральных каналов в один набор данных, необходимых для реализации индексного подхода, и подготовка промежуточных результатов в виде индексов NDVI, NDWI и NDSI, позволяющих обеспечить более качественное дешифрирование снимков на следующем этапе оценки качества классификации снежного покрова.

#### КЛАССИФИКАЦИЯ СНИМКОВ LANDSAT И MODIS

Для классификации полученного на предыдущем этапе набора данных с последующим определением классов «снег», «облако», «земля без снега» принято решение использовать алго-

ритм без обучения (Unsupervised classification), поскольку он обеспечивает оперативность и достаточное качество обработки ДДЗ [4].

Результатом классификации являются векторные данные, состоящие из 4 классов уникальных значений. Для полученных классов объектов приняты следующие значения: а) для снимка со спутника Landsat: 1 – «нет данных»; 2 – «облака»; 3 – «земля»; 4 – «снег»; б) для снимка спутника MODIS: 0 – «нет данных»; 1 – «облака»; 10 – «земля»; 20 – «вода»; 25 – «лед»; 50 – «снег».

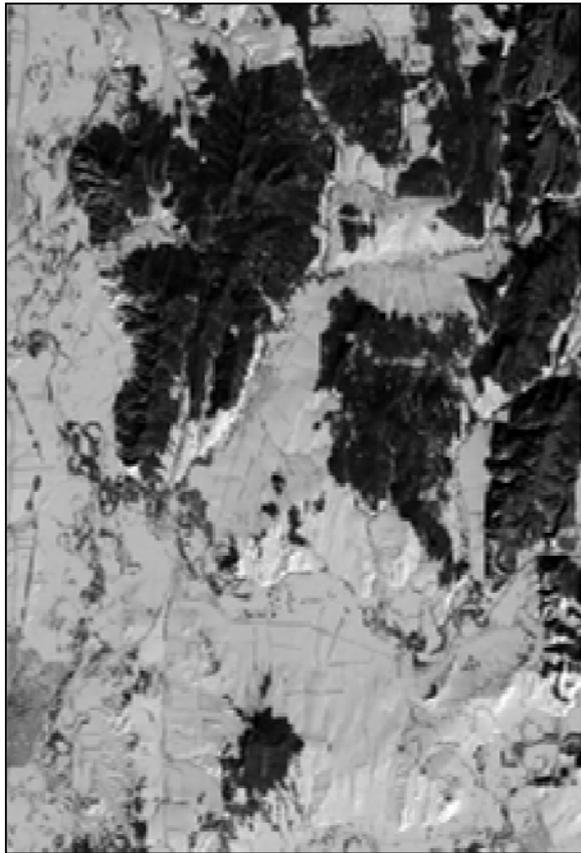
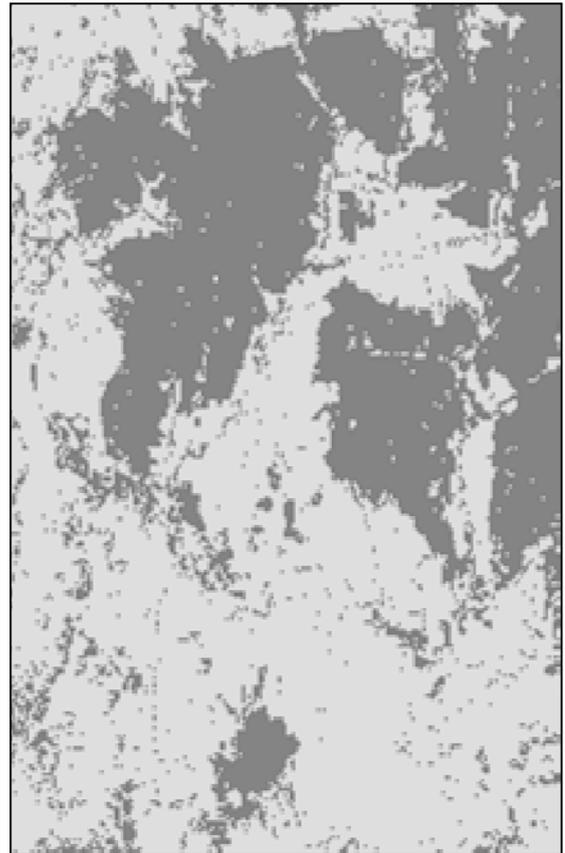
Примеры результатов классификации снимков Landsat и MODIS представлены на рис. 3.

Для дальнейшего сравнения результатов классификаций двух снимков появляется необходимость в приведении к одной проекции. Однако для выполнения сравнительного анализа снимков этого не достаточно, поскольку снимки Landsat и MODIS имеют разное пространственное разрешение. По сопоставлению были получены векторные данные, представленные рис. 4.

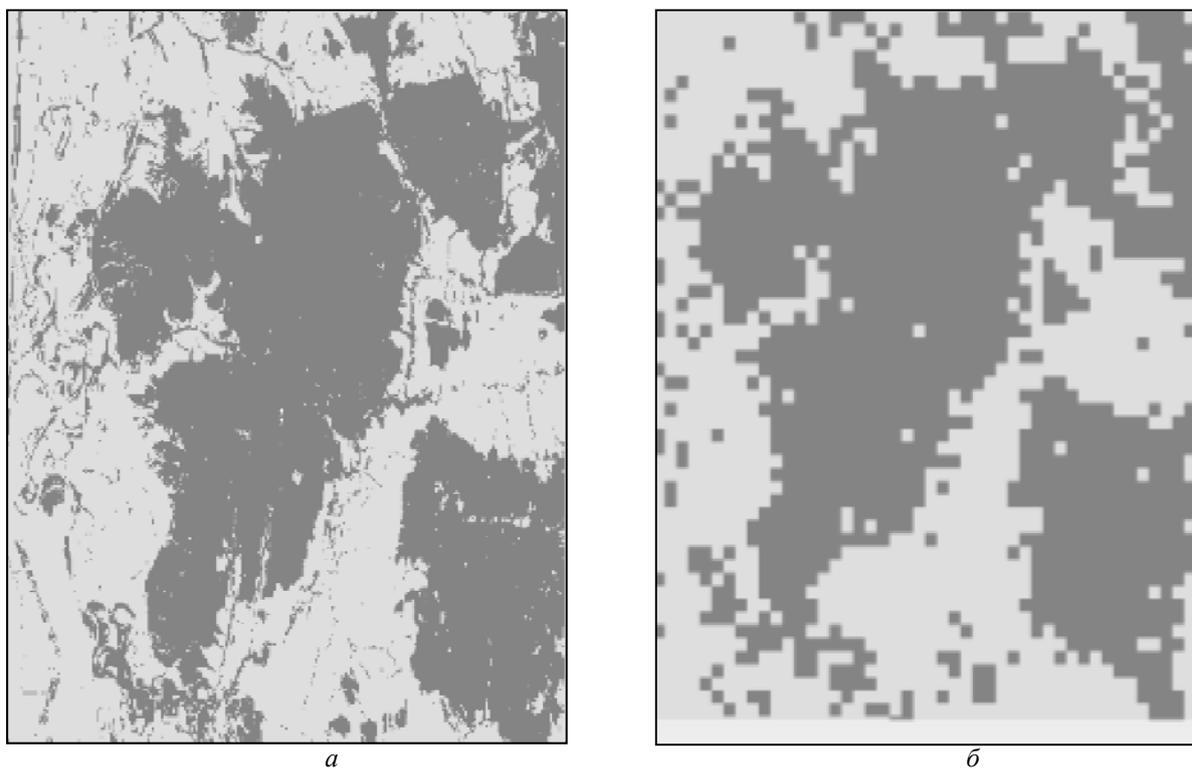
Таким образом, результаты, полученные на этапе приведения двух продуктов к одному базису, обеспечивают дальнейшую возможность детального сравнительного анализа результатов классификации снимков.

#### ПОПИКСЕЛЬНОЕ СРАВНЕНИЕ И ВИЗУАЛИЗАЦИЯ ПОЛУЧЕННЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ

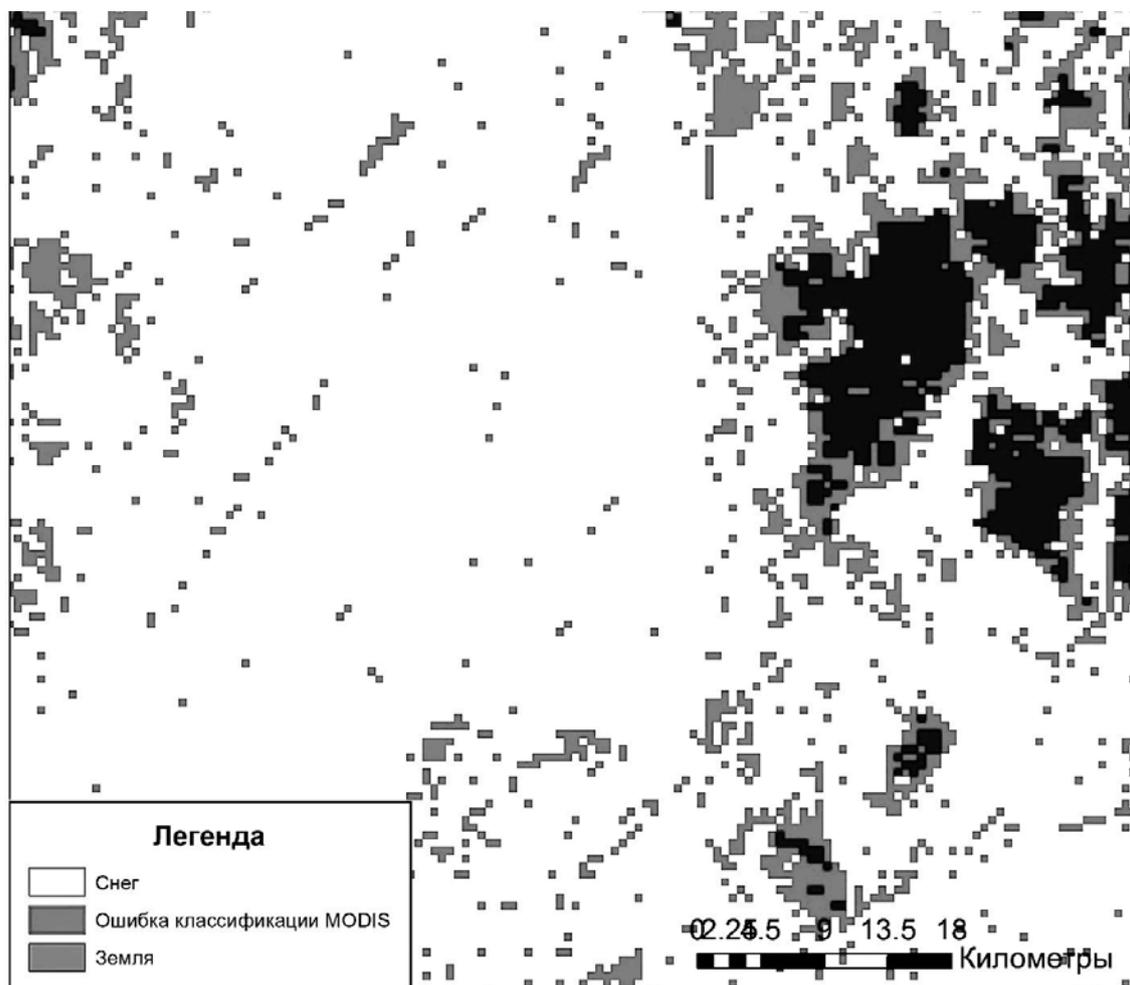
После приведения двух снимков к одному базису были получены сопоставимые продукты. Для их точного сравнения по методу анализа идентичности дешифрирования снимков разных спутников было выполнено попиксельное сопоставление снимков. Данный метод основан на сопоставлении результатов классификаций снежного покрова, земли, воды, льда и реализован в виде модели программного продукта ERDAS IMAGINE. Результатом сравнения является растровый набор данных с уникальной классификацией, отражающей соотношение уникальных значений классификации спутника Landsat с уникальными значениями классификации спутника MODIS, и в наглядной форме демонстрирует ошибки классификации снимка спутника MODIS по сравнению с эталонной классификацией снимка спутника Landsat (рис. 5). Полученный растр оценки качества классификации снежного покрова снимка MODIS можно представить в табл. 1.

*a**б**в**г*

**Рис. 3.** Результат классификации космоснимков:  
*a* – снимок Landsat; *б* – классификация Landsat; *в* – снимок MODIS; *г* – классификация MODIS



**Рис. 4.** Результат изменения пространственного разрешения снимка Landsat:  
*a* – разрешение 60 м; *б* – разрешение 500 м



**Рис. 5.** Результат применения модели попиксельного анализа

Таблица 1

## Результат попиксельного анализа

Классификация MODIS	Классификация Landsat					
		«снег»	«Земля»	«вода»	другие («нет данных»)	общее кол-во клас.
«снег» (40, 50 + «лед» 25)	94460	17679	0	0	112139	84.23
«Земля» (10)	71	3546	0	0	3617	98.04
«вода» (20)	0	14	0	0	14	0.00
другие («ошибка», «нет данных», 1)	0	0	0	67014	67014	100.00
общее кол-во класс. пикс.	94531	21239	0	67014	182784	
точность определения, %	99.92	16.70	#	100.00		90

Таблица отражает статистическую оценку количества пикселей, полученных при сравнении двух результатов классификации. Главным числовым значением таблицы является столбец «точность», показывающий качество результатов классификаций снимка MODIS

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Важную роль при прогнозировании паводковых ситуаций, как и любой ЧС, играет оперативное получение актуальной информации. Проведенный сравнительный анализ снимка со спутника MODIS за 2010 год показал приемлемую точность выявленной территории, покрытой снегом, которая в среднем составила 73 %. Результаты анализа позволяют сделать вывод о целесообразности применения снимков MODIS в процессе поддержки принятия решений при мониторинге паводковой ситуации Республики Башкортостан. Использование снимков MODIS позволит сэкономить существенное время и средства, необходимые в процессе заказа, получения и обработки снимков на платной основе.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Павлов С. В., Ямалов И. У., Атнабаев А. Ф., Кунаков Ю. Н. Информационное сопровождение весеннего половодья на территории Республики Башкортостан с использованием ГИС-технологий // Вестник УГАТУ. 2011. Т. 15, № 2 (42). С. 29–38. [[ S. V. Pavlov, I. U. Yamalov, A. F. Atnabaev, Y. N. Kunakov, "Information support of the spring high water on territory of Republic Bashkortostan by use GIS-technologies," (in Russian), in *Vestnik UGATU*, vol. 15, no. 2 (42), pp. 29-38, 2011. ]]

2. Геологическая служба США [Электронный ресурс]. URL: <http://landsat.usgs.gov> (дата обращения 2014, Nov. 5). [[ United States Geological Survey, USGS (2014, Nov. 05) [Online], (in English). Available: <http://landsat.usgs.gov>]]

3. Система получения данных MODIS первого уровня обработки [Электронный ресурс]. URL: <http://ladsweb.nascom.nasa.gov> (дата обращения 2014, Nov. 5). [[ LAADS Web. Level 1 and Atmosphere Archive and Distribution System (LAADS) (2014, Nov. 05) [Online]. (in English). Available: <http://ladsweb.nascom.nasa.gov> ]]

4. Методологический аппарат ERDAS IMAGINE для классификации изображений [Электронный ресурс]. URL: <http://gis-lab.info/qa/genclass-erdas.html> (дата обращения: 05.11.2014). [[ *Methodological apparatus ERDAS IMAGINE for image classification* (2014, Nov. 05) [Online], (in Russian). Available: <http://gis-lab.info/qa/genclass-erdas.html> ]]

5. Вегетационные индексы. Основы, формулы, практическое использование [Электронный ресурс] URL: [http://mapexpert.com.ua/index\\_ru.php?id=20&table=news](http://mapexpert.com.ua/index_ru.php?id=20&table=news) (дата обращения: 05.11.2014). [[ *Vegetation index. Base formula, practical use* (2014, Nov. 05) [Online], (in Russian). Available: [http://mapexpert.com.ua/index\\_ru.php?id=20&table=news](http://mapexpert.com.ua/index_ru.php?id=20&table=news) ]]

## ОБ АВТОРАХ

**ХРИСТОДУЛО Ольга Игоревна**, проф., зав. каф. геоинформационных сист. Дипл. инж. (УГАТУ, 2010). Д-р техн. наук (УГАТУ, 2012). Иссл. в обл. применения ГИС-технол. при разработке корпоративных сист.

**АТНАБАЕВ Андрей Фарагатович**, доц. каф. геоинформационных сист. М-р техн. и технол. (УГАТУ, 2004). Канд. техн. наук (УГАТУ, 2007). Иссл. в обл. применения ГИС-технол. при разработке корпоративных сист. и обработки данных ДЗЗ.

**Кляйн Игорь**, сотр. германского аэрокосмического центра DLR. Дипл. инж. (Германия, Аугсбург, 2004). Иссл. в обл. обработки данных ДЗЗ.

**METADATA**

**Title:** Assess whether to use low resolution images for predicting flood situation in the Republic of Bashkortostan by GIS-technologies.

**Authors:** O. I. Hristodulo<sup>1</sup>, A. F. Atnabaev<sup>2</sup>, I. Klein<sup>3</sup>

**Affiliation:**

Ufa State Aviation Technical University (UGATU), Russia.

German Aerospace Center DLR, German.

**Email:** <sup>1</sup>o-hristodulo@mail.ru, <sup>2</sup>aaf1981@mail.ru

**Language:** Russian.

**Source:** Vestnik UGATU (scientific journal of Ufa State Aviation Technical University), vol. 19, no. 4 (70), pp. 163-171, 2015. ISSN 2225-2789 (Online), ISSN 1992-6502 (Print).

**Abstract:** In the framework of measures aimed at improving the quality of information support of decision-making at forecasting and flood passage discusses the possibility of using open-source remote sensing data and the accuracy of the results. The estimation results of snow classification with low-resolution images from the satellite MODIS, by comparing the results of classification the same area with high precision images from the satellite Landsat. An algorithm for analyzing and comparing the results of decoding images on the example of the Republic Bashkortostan (RB). We consider the implementation of the proposed algorithm through a comparative analysis of the results of decoding remote sensing data territory of RB for 2010.

**Key words:** Geographic Information System; forecasting flood situation; decision support systems; flood zone; remote sensing (satellite imagery).

**About authors:**

**HRISTODULO, Olga Igorevna**, Prof., Head of Dept. of Geographic Information System. Dipl. engineer (USATU, 1991). Dr. of Tech. Sci. (UGATU, 2013). Researcher in the use of GIS technology in the development of enterprise systems.

**ATNABAEV, Andrey Faragatovich**, docent., Dept. of Geographic Information System. Dipl. master (USATU., 2004). Cand. of Tech. Sci. (UGATU, 2007). Researcher in the use of GIS technology in the development of enterprise systems

**KLEIN, Igor**, scientific staff member at German Aerospace Center DLR| German Remote Sensing Data Center DFD| Land Cover Dynamics. Dipl. Engineer (University of Augsburg, 2004)