

## ПРИМЕНЕНИЕ МУЛЬТИСПЕКТРАЛЬНЫХ ДАННЫХ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ЗЕМЛИ И ИХ КОМБИНАЦИЙ ПРИ ЦИФРОВОЙ ОБРАБОТКЕ

*канд. геогр. наук, доц. А.А. ТОПАЗ, Т.В. ЛЯХ  
(Белорусский государственный университет)*

*Представлены результаты экспериментальных исследований по цифровой обработке мультиспектральных данных Белорусского космического аппарата. На примере космического снимка территории ландшафтного заказника «Озеры» выполнен анализ методов обработки мультиспектральных данных, их комбинаций и преобразований. Выявлено, что по мультиспектральному снимку БКА наличие четырех спектральных каналов позволяет рассчитать 10 вегетационных индексов и 4 главные компоненты.*

**Ключевые слова:** *мультиспектральные данные дистанционного зондирования Земли; космические снимки; методы цифровой обработки изображения; спектральные преобразования; вегетационные индексы; метод главных компонент.*

В настоящее время применение мультиспектральных данных дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) в совокупности с их соответствующей цифровой обработкой позволяет получать достоверную и подробную информацию о земной поверхности. Однако, к сожалению, потребители этих данных не всегда обладают полным представлением обо всех средствах и способах их применения. Особенно актуальна эта проблема в связи с запуском Белорусского космического аппарата (БКА), а именно: какое количество спектральных индексов можно получить по снимку БКА и какова их практическая ценность (достоверность информации); возможно ли применить сложные алгоритмы преобразования к данным с БКА.

Цель наших исследований заключалась в анализа и оценке возможностей методов обработки мультиспектральных данных, их комбинаций и преобразований применительно к данным ДЗЗ, полученным БКА.

Объектом исследования была выбрана территория ландшафтного заказника республиканского значения «Озеры». Заказник основан 5 марта 1990 г. согласно Постановлению Совета Министров Белорусской ССР с це-

лью сохранения ценных экологических систем с редкими видами растений и животных, занесенными в Красную книгу. Расположен заказник на западе Гродненской области, в Гродненском и Щучинском районах. Его площадь составляет 240 км<sup>2</sup>. На территории заказника расположено более 20 озер, которые дренируются мелкими ручьями. Около 93% площади заказника занимают лесные фитоценозы. На их распознавание и был сделан акцент в проводимых исследованиях.

В породном составе лесных фитоценозов абсолютное доминирование имеют сосновые сообщества, на долю которых приходится около 70% площади лесов. По берегам озер и рек, а также у болот встречаются черноольховые и березовые леса. Незначительную площадь занимают широколиственные насаждения – менее 1% [5]. К территории заказника прилегают сельскохозяйственные земли, населенные пункты, торфоразработки. Таким образом, заказник «Озеры» является сложным лесным и водно-болотным природным комплексом, местами нарушенным хозяйственной деятельностью (мелиорацией торфяников, вырубками леса, застройкой, сельскохозяйственной освоенностью).

В исследованиях использовались космические снимки Белорусского космического аппарата с уровнем обработки спутниковых данных «С» – ортотрансформированные изображения в проекции UTM и системе координат WGS-84. Основные параметры съемочных систем БКА представлены в таблице 1.

Таблица 1

**Основные характеристики БКА [4]**

Параметр съемочной системы	Панхроматическая	Мультиспектральная
Тип орбиты	солнечно-синхронная	
Высота орбиты, км	510	
Пространственное разрешение, м	2,1	10,5
Полоса захвата, км	Не менее 20	
Спектральный диапазон, мкм	0,54–0,86	0,46–0,84
Количество спектральных каналов	1	4 синий: 0,46–0,52 мкм зеленый: 0,52–0,60 мкм красный: 0,63–0,69 мкм ближ. ИК: 0,75–0,84 мкм
Радиометрическое разрешение	8 бит на пиксел	
Формат файлов	GeoTIFF	

Спутниковые данные на территорию заказника «Озеры» были предоставлены географическому факультету НИРУП «Геоинформационные

системы» в соответствии с договором №20/2013-ДЗЗ/Б от 18.11.2013 г., заключенном между УП «Геоинформационные системы» и БГУ. На снимках отображена территория заказчика по состоянию на 16 августа 2015 г.

Обработка данных ДЗЗ производилась в программном продукте ENVI с помощью встроенных базовых функций. Использовались инструменты визуализации, инструменты расчета спектральных индексов (Vegetation Index Calculator, NDVI, Band Math) и главных компонент (Forward PCA Rotation).

Анализируя возможности спектральной обработки данных ДЗЗ с БКА, в первую очередь следует отметить, что сами по себе снимки в отдельных спектральных каналах несут в себе полезную информацию о земной поверхности. Например, при изучении водоемов могут быть использованы снимки в синем и зеленом диапазоне, при дешифрировании растительного покрова незаменимы снимки в красном и ближнем инфракрасном (ИК) диапазонах.

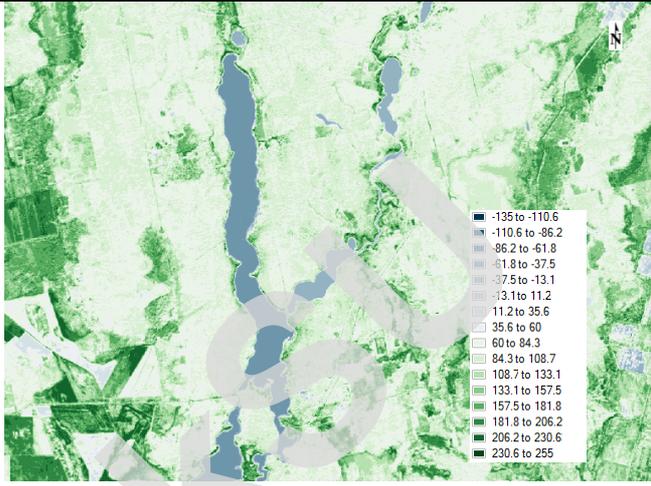
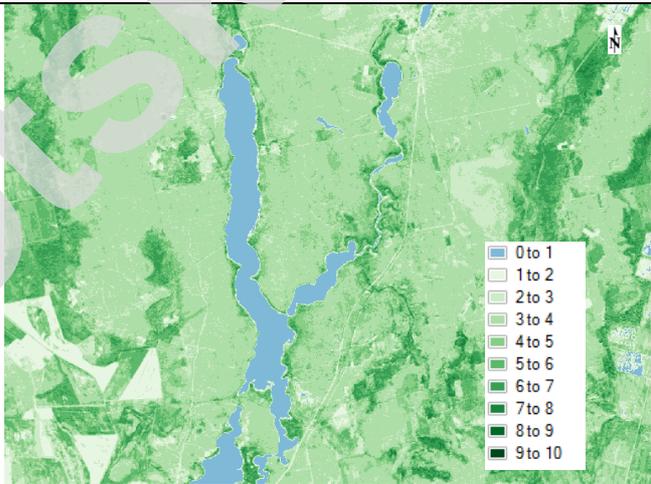
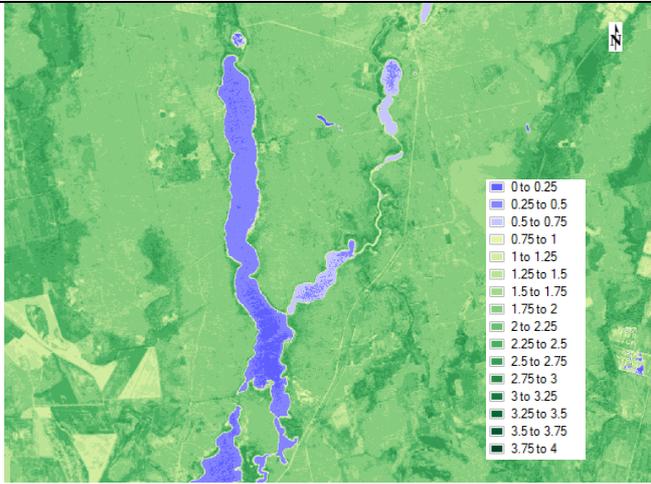
Однако наиболее эффективной формой одновременной передачи информации, содержащейся на отдельных зональных черно-белых снимках одной и той же территории, является синтез материалов многозональной съемки, позволяющий проводить комплексный анализ зональных изображений. Используя мультиспектральные данные БКА, можно создавать различные варианты синтеза, включая две наиболее популярные комбинации каналов: «естественные цвета» и «искусственные цвета». Первая комбинация – (3-2-1) «естественные цвета» – используется, как правило, при изучении водоемов, городских территорий и других антропогенных объектов, полезна при первичном просмотре материалов съемки и визуальном дешифрировании. Область применения другой комбинация – (4-3-2) «искусственные цвета» – несколько шире: изучение состояния растительности, мониторинг и анализ сельскохозяйственных угодий, мониторинг увлажненности почв, дифференциация лиственных и хвойных пород [1–3].

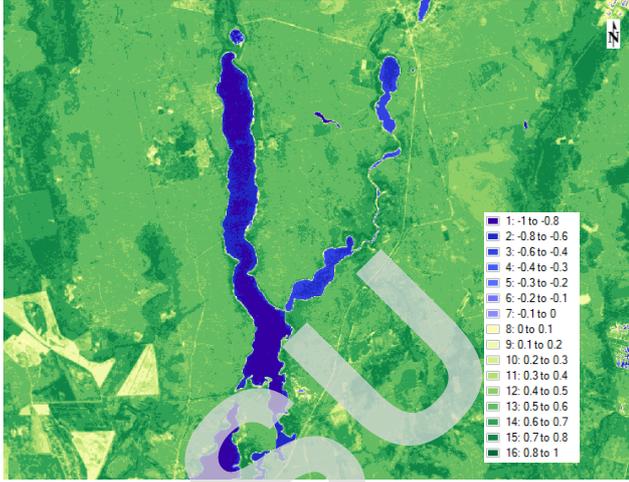
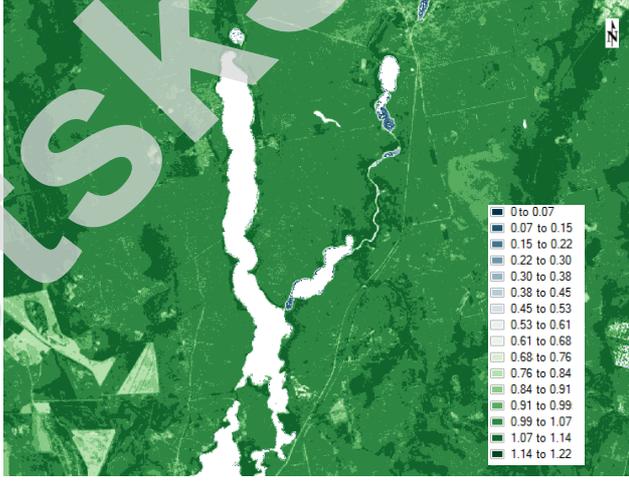
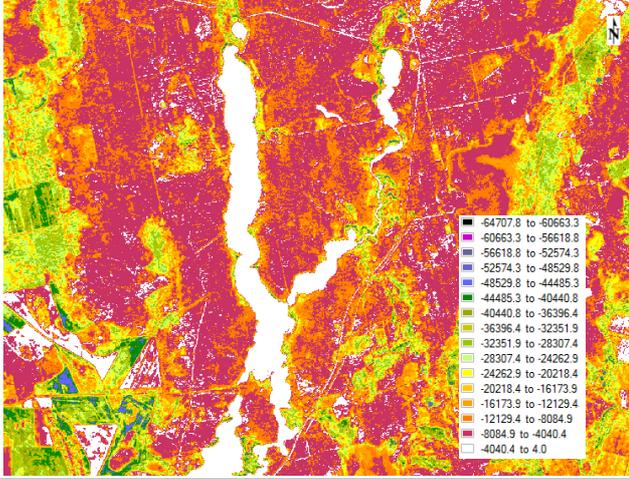
Но наиболее полное представление о растительном покрове дают вегетационные индексы (ВИ). Они основаны на математических операциях с каналами изображения. Чаще всего используется две наиболее информативные в плане растительности зоны спектра: красная и ближняя инфракрасная. В красной области спектра находится максимум поглощения солнечного излучения хлорофиллом растений, а в ближнем ИК диапазоне – область максимального отражения клеточных структур листа. Таким образом, здоровая, фотосинтезирующая растительность характеризуется меньшим отражением в видимой красной зоне и большим в ближней ИК. Всего

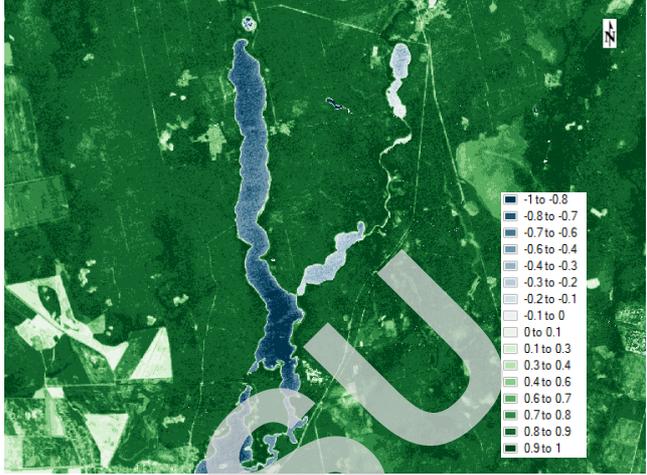
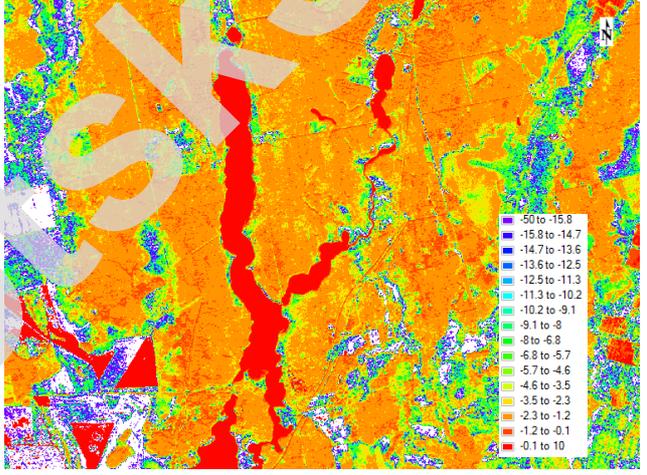
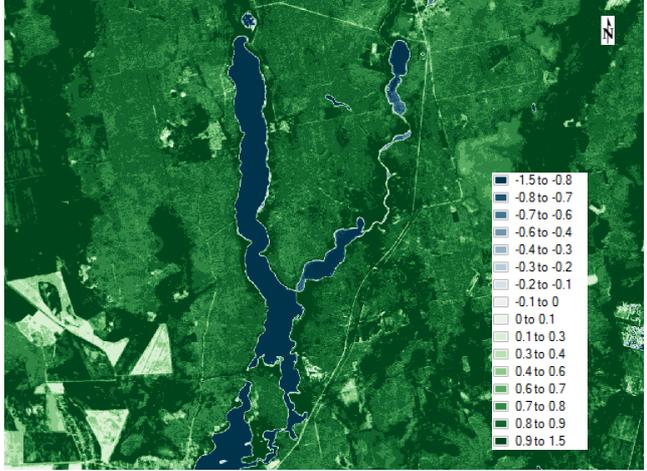
по снимку БКА было получено 10 ВИ без дополнительных расчетов: разностный ВИ, относительный ВИ, нормализованный разностный ВИ и несколько их модификаций (таблица 2).

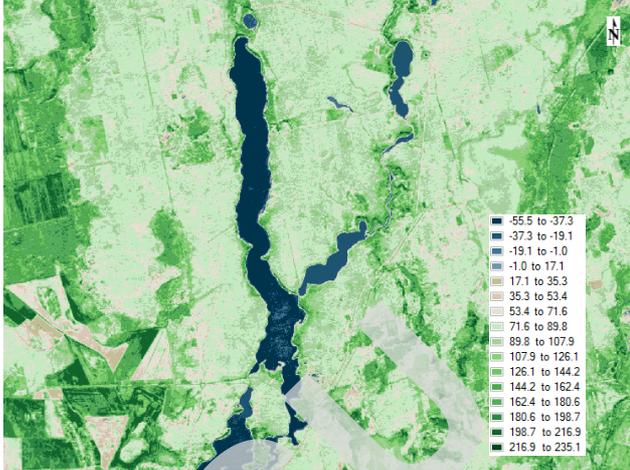
Таблица 2

Вегетационные индексы, рассчитанные по космическому снимку БКА

Название индекса и формула расчета	Цветокодированное изображение
<p>Разностный ВИ (DVI)</p> $DVI = band4 - band3$	
<p>Относительный ВИ (Simple Ratio)</p> $Simple\ Ratio = \frac{band4}{band3}$	
<p>Преобразованный относительный ВИ (TSR)</p> $TSR = \sqrt{\frac{band4}{band3}}$	

Название индекса и формула расчета	Цветокодированное изображение
<p>Нормализованный разностный ВИ (NDVI)</p> $NDVI = \frac{band4 - band3}{band4 + band3}$	
<p>Преобразованный нормализованный разностный ВИ (TNDVI)</p> $TNDVI = \sqrt{\frac{b4 - b3}{b4 + b3} + 0.5}$	
<p>Индекс глобального мониторинга окружающей среды (GEMI)</p> $GEMI = E * (1 - 0.25 * E) - \frac{b3 - 0.125}{1 - b3}$ <p>где</p> $E = 2 \frac{(b4^2 - b3^2) + 1.5 + b4 + 0.5 * b3}{b4 + b3 + 0.5}$	

Название индекса и формула расчета	Цветокодированное изображение
<p>ВИ устойчивый к влиянию атмосферы (ARVI)</p> $ARVI = \frac{b4 - (2 * b3 - b1)}{b4 + (2 * b3 - b1)}$	
<p>Расширенный индекс озелененности (EVI)</p> $EVI = 2.5 \frac{b4 - b3}{b4 + 6 * b3 - 7.5 * b1 + 1}$	
<p>Почвенный ВИ (SAVI)</p> $SAVI = (L + 1) \frac{b4 - b3}{b4 + b3 + L},$ <p>где L принимает значение от 0 до 1 в зависимости от плотности растительности (0 – наибольшая, 1 – наименьшая)</p>	

Название индекса и формула расчета	Цветокодированное изображение
<p>Модифицированный почвенный ВИ (MSAVI2)</p> $MSAVI\ 2 = (L + 1) \frac{b_4 - b_3}{b_4 + b_3 + L},$ <p>где</p> $L = 1 - \frac{2 * b_4 + 1 - \sqrt{(2 * b_4 + 1)^2 - 8 * b_4 * b_3}}{2}$	

На полученных цветокодированных изображениях хвойный лес отображается светло-зеленым оттенком, чуть темнее – березовые леса, самые темные – черноольховые. Самые низкие значения ВИ имеет водная поверхность и непродуктивные земли, в свою очередь, растительность имеет наибольшие значения ВИ.

В целом все вычисленные вегетационные индексы позволяют идентифицировать виды земель и породный состав леса с примерно одинаковой достоверностью. Выбор того или иного ВИ зависит от сомкнутости растительного покрова и чистоты атмосферы. В случае с разреженной растительностью лучше использовать группу индексов, корректирующих влияние почвы, чтобы избежать ошибок интерпретации. Если на снимке не производилась атмосферная коррекция, то целесообразно использовать ВИ, корректирующий влияние атмосферной дымки. В иных случаях лучше использовать наиболее надежные и проверенные индексы: NDVI и относительный ВИ, поскольку их чувствительность к изменениям растительного покрова наибольшая, что дает более достоверный результат.

При обработке данных ДЗЗ используются также сложные преобразования, основанные на линейной перестройке осей в пространстве спектральных параметров. Одним из таких методов является метод главных компонент. Если расчет ВИ основан на корреляции спектральных характеристик объектов в разных зонах, то этот метод намерено разрушает эти взаимосвязи для получения качественно новых изображений. Кроме того, такие спектральные преобразования используются для уменьшения количества каналов изображения.

При наличии четырех спектральных каналов по снимку с БКА возможен расчет четырех главных компонент (рис. 1). Наиболее информативными являются две первые. Первая компонента имеет наибольший спектральный контраст и поэтому наиболее информативна. Полезную информацию можно получить также и по второй компоненте. Виды земель по этим изображениям различимы лучше всего. На изображении первой компоненты четко выделяются водные объекты, урбанизированные земли, хорошо различаются сельскохозяйственные угодья и лесные территории. Изображение второй компоненты позволяет дифференцировать непродуктивные земли, водные объекты и состав лесной растительности. Последние компоненты могут содержать в себе полезную информацию, но чаще всего, содержат больше шумов и не используются в анализе. Композитное изображение из первых главных компонент в полной мере отображает характеристики местности (рис. 2). Недостаток этого метода заключается в отсутствии стандарта отображения объектов. На разных снимках при одинаковой обработке одни и те же объекты будут визуализироваться различными цветами. Это создает некоторые неудобства при дешифрировании и выделении классов земной поверхности, т.к. необходимо сопоставлять результат обработки с исходным снимком.

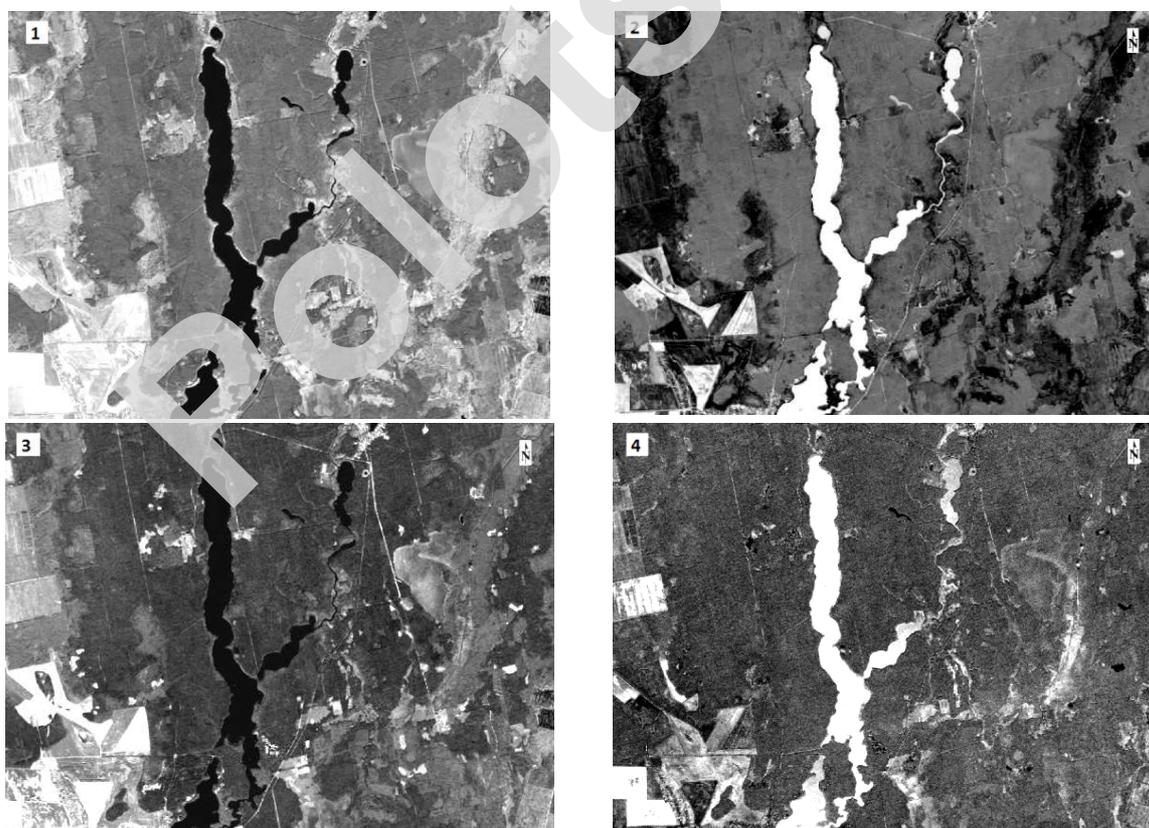


Рис. 1. Изображения главных компонент

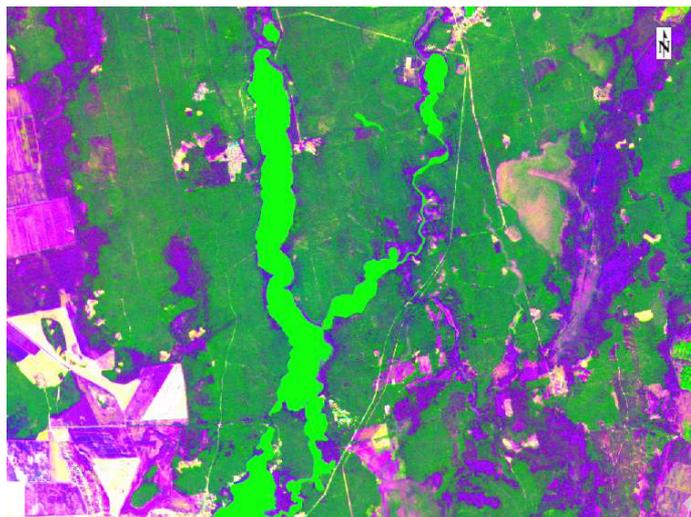


Рис. 2. Композитное изображение первых трех главных компонент

Таким образом, выполненные исследования показали, что по мультиспектральному снимку БКА наличие четырех спектральных каналов позволяет рассчитать 10 вегетационных индексов и 4 главные компоненты.

В ходе сравнения результатов анализа снимка с картографическими материалами по заказнику «Озеры» выявлено, что данные, полученные в результате спектральных преобразований, являются достоверными, интерпретация классов земной поверхности выполнена корректно. Встречаются неточности в некоторых сложных вегетационных индексах, что может быть связано с влиянием атмосферных и почвенных шумов.

Полученные данные позволяют оперативно и достоверно провести идентификацию видов земель (распознавание породного состава лесной растительности, культурной растительности), по индексным изображениям возможно проводить картирование растительности.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Дистанционное зондирование: количественный подход / Ш. М. Дейвис [и др.]; под общ. ред. Ф. Х. Свейна, Ш. Дейвиса. – М. : Недра, 1983. – 415 с.
2. Жиленев, М. Ю. Обзор применения мультиспектральных данных ДЗЗ и их комбинаций при цифровой обработке / М. Ю. Жиленев // Геоматика. – 2009. – № 3. – С. 56–64.
3. Кравцов, С. Л. Обработка изображений дистанционного зондирования Земли (анализ методов) / С. Л. Кравцов. – Минск : ОИПИ НАН Беларуси, 2008. – 256 с.
4. Национальная академия наук УП «Геоинформационные системы» [Электронный ресурс] / УП «Геоинформационные системы». – Минск, 2016. – Режим доступа: <http://gis.by>. – Дата доступа: 20.03.2016.
5. Проведение инвентаризации и изучение состояния республиканского ландшафтного заказника «Озеры» : отчет о НИР (заключ.) / Белорус. гос. ун-т ; рук. Б. П. Власов. – Минск, 2006. – 66 с. – № ГР 20063462.

## USE OF MULTISPECTRAL REMOTE SENSING DATA AND COMBINATIONS IN DIGITAL PROCESSING

*A. TAPAZ, T. LIAKH*

*The article presents the results of experimental research on the digital processing of the Belarusian spacecraft multispectral data. The analysis of multispectral data processing, their combinations and transformations was made on the basis of satellite image landscape reserve "Ozery". It was found that the existence of 4 spectral channels on BKA multispectral image allows to calculate 10 vegetation indexes and 4 principal components.*

*Keywords: Multispectral remote sensing data, satellite images; methods of digital image processing; spectral transformation; vegetation indices; the principal component analysis.*

**УДК528.8**

## К ВОПРОСУ ПРОСТРАНСТВЕННОЙ ХАРАКТЕРИСТИКИ ОЦЕНКИ ДОСТОВЕРНОСТИ РЕЗУЛЬТАТОВ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ДЕШИФРИРОВАНИЯ КОСМИЧЕСКИХ СНИМКОВ

**М.В. ВОЛОШИНА**

*(Полоцкий государственный университет, Беларусь)*

*Рассмотрена возможность совместного анализа результатов двойной (многократной) классификации космического снимка для пространственного анализа различий в распределении по классам легенды как дополнительной характеристики оценки достоверности карт классификаций и улучшения результатов классификации.*

Автоматизированное дешифрирование (классификация) космических снимков как метод тематического картографирования используется на протяжении последних десятилетий. Его преимущества – оперативность, детальный и точный анализ яркостных различий, использование значительного по сравнению с визуальным методом количества исходных кана-