

М.Ю. Жилнев (ГКНПЦ им. М.В. Хруничева)

В 1979 г. окончил МИИГАиК по специальности «космическая геодезия», в 1989 г. — факультет повышения квалификации МАИ по специальности «Автоматизация проектирования сложных технических систем». Работал в НПО им. С.А. Лавочкина. С 2001 г. по настоящее время — начальник группы комплекса цифровой обработки информации ГКНПЦ им. М.В. Хруничева.

Обзор применения мультиспектральных данных ДЗЗ и их комбинаций при цифровой обработке

К написанию настоящей статьи меня подтолкнуло почти полное отсутствие изложенной ниже информации в русскоязычных изданиях и сети Интернет. И это при том, что в России сообщество только тех, кто обрабатывает данные дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ), составляет, как минимум, более двух сотен компаний, университетов и государственных организаций. При этом в данной информации, наверняка, нуждаются не только те, кто обрабатывает данные ДЗЗ, но и производители аппаратуры и космических аппаратов ДЗЗ, методик и программного обеспечения для соответствующей обработки полученных данных и разного рода потребители информации ДЗЗ. А главное, собранные здесь сведения о применении данных ДЗЗ показывают, что использование их только для прямого дешифрирования (классификации), производства и обновления топографических карт, вычисления 2-3 самых известных индексов озелененности и линеаментного анализа — это лишь небольшая часть того, что можно получить по мультиспектральным данным о поверхности Земли цифровой обработкой. В настоящее время применяется еще и субпиксельная обработка спектральных данных ДЗЗ, но это — особый вид обработки, поэтому в данной статье он не рассматривается.

При подготовке статьи использовались материалы перевода трудов зарубежных авторов, найденных в разных источниках. Исходя из этого, в настоящей статье освещен довольно широкий спектр того, что позволяют получить данные ДЗЗ как по информации, зафиксиро-

ванной в каждом из каналов мультиспектральной спутниковой оптико-электронной аппаратуры, так и при совместном использовании информации, полученной в отдельных зонах спектра. Также, здесь изложены применяемые сочетания спектральных данных, их интерпретации и прикладное применение результатов цифровой обработки. Соответственно, в статье приведены описания:

- основных спектральных каналов оптико-электронной съемочной аппаратуры и применение полученной в них информации;
- применений основных комбинаций данных, полученных в различных спектральных каналах спутниковой оптико-электронной аппаратуры ДЗЗ;
- основных расчетных индексов, которые могут быть вычислены и визуализированы после обработки информации спектральных каналов спутниковой аппаратуры ДЗЗ.

Учитывая информацию тех материалов, которые были переведены и использованы в настоящей статье, можно уверенно утверждать, что применение спутниковых мультиспектральных данных ДЗЗ в совокупности с их соответствующей цифровой обработкой позволяет относительно недорого и быстро получать:

- достаточно достоверную и подробную геологическую и географическую (картографическую) информацию;
- достоверные оценки, в том числе и финансовые, лесных и водных ресурсов, «видов на урожай», экологии, устранения последствий ЧС;

- достоверные документированные данные для решения задач управления хозяйством и территориями, для финансирования сельского хозяйства и его использования (страхования сельхозкредитов, контроля эффективности использования субсидий и субвенций на ГСМ, удобрения и т. д.).

ОПИСАНИЕ ОСНОВНЫХ СПЕКТРАЛЬНЫХ КАНАЛОВ ОПТИКО-ЭЛЕКТРОННОЙ СЪЕМОЧНОЙ АППАРАТУРЫ (BAND DESCRIPTIONS) КА ДЗЗ И ОБЛАСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ПОЛУЧЕННОЙ В НИХ ИНФОРМАЦИИ

Результаты перевода и компиляций материалов, размещенных в [1-4] и материалах компаний (космических агентств), являющихся операторами соответствующих КА ДЗЗ, обобщены в табл. 1 (применение спутниковой

информации в ДЗЗ и других приложениях в данной таблице дается на основе данных оптико-электронной съёмочной аппаратуры ТМ (Thematic Mapper) и ETM+ КА Landsat.

Следует отметить, что на сайтах компаний (агентств), являющихся производителями и/или операторами различных КА ДЗЗ, кроме океанографических приложений и проведения атмосферных коррекций данных ДЗЗ практически не раскрываются другие приложения и задачи, в которых для наблюдения поверхности Земли применяются синие каналы оптической части спектра бортовой оптико-электронной аппаратуры КА, но они имеются почти на всех КА ДЗЗ и воспроизводятся на заявленных к запуску и объявленных как проектируемые.

Причем, если рассмотреть тенденцию в развитии оптико-электронной аппаратуры космических аппаратов, можно заметить следующие особенности:

Таблица 1

Основные спектральные каналы оптико-электронной аппаратуры КА ДЗЗ и возможное применение полученной в них информации

Наименование спектрального канала (русский / английский)	Обозначение спектрального канала в документации	Длины волн спектрального канала, мкм (µm)
	Применение спутниковой информации в дистанционном зондировании Земли и других приложениях	
Видимый синий / Blue (violet)	band 0, B0	0,42-0,55
	Получаемые данные используются для океанографических приложений и проведения атмосферных коррекций данных ДЗЗ, в частности, при вычислении некоторых индексов озелененности	
Видимый синий / Blue	band1, B1	0,45-0,52
	Зона предназначена для отображения побережий, батиметрии, наносов; дифференциации грунта от растительности и лиственной от хвойной флоры, картографирования типов леса, обнаружения искусственных сооружений. Она менее подходит для оценок вегетации и изучения хвойных лесов. В ней вполне хорошо фрагментируются структурные горные породы (например, сланцы, фосфаты, эвопориты, эвопораты), сильно рассеивающие синий свет в этой зоне и иногда – в зоне 2, т. е. в видимом зеленом. Атмосферные эффекты основной вклад вносят в видимой части спектра – более 70% рассеянного излучения приходится именно на зону спектра band1	
Видимый зеленый / Green	band2, B2	0,52-0,60
	Зона соответствует максимальному коэффициенту отражения зеленой (здоровой) растительности и используется для таксации леса. Также используется для идентификации искусственных объектов местности и составления карт концентрации наносов и осадков в мутных водах. Она лучше подходит для выявления горных пород богатых 2-х валентным (закисным) железом по сравнению с 3-х валентным	

Наименование спектрального канала (русский / английский)	Обозначение спектрального канала в документации	Длины волн спектрального канала, мкм (μm)
	Применение спутниковой информации в дистанционном зондировании Земли и других приложениях	
Видимый красный / Red	band3, B3	0,63-0,69
	Зона нужна для того, чтобы различать множество разновидностей растений, так как содержит полосу поглощения хлорофилла. Смещение этой полосы по спектру может применяться для определения видового состава растений. Также, она используется для определения границ почв и геологического оконтуривания (залелей, рудного тела, нефтяных полей), искусственных объектов. Она более предпочтительна для горных пород и почв, богатых железом, особенно 3-х валентным	
Ближний инфракрасный / Near InfraRed	band4, B4, NIR	0,76-0,90
	Зона особенно чувствительна к количеству вегетационной биомассы, представленной снятой сцене. Это полезно для идентификации сельскохозяйственных почв / культур, оценки урожайности, а также для определения береговых линий водных объектов на местности (по контрасту воды / грунта). Максимум интенсивности излучения хлорофилла от здоровой растительности получается в характеристике «красной границы» по разнице между сигналами в 3 и 4 зонах спектра. Растительность, загрязненная нефтепродуктами, может также показать измеримое смещение на «красной границе». В отсутствие растительности соотношение сигналов в диапазоне с 1 по 5 каналы показывает отношение содержания в горных породах и минералах 2-х валентного железа к 3-х валентному	
Коротковолновый инфракрасный/Short Wave Infrared (Middle InfraRed)	band5, B5, SW IR, MIR	1,55-1,75
	Зона чувствительна к содержанию воды в растительности и почвах, оценка которого является полезной в стадии плодоношения изучения засухи и исследований здоровья растений. Вещество, содержащее воду, дает сигнал ниже, чем сухой материал. На участках свободных от растительности в данном диапазоне спектра дифференцируются соответствующие различные оксиды железа, содержащиеся в породах и почвах, и обычно в ней отлично отображаются выветренные горные породы. Эта зона – одна из немногих, в которой можно дифференцировать облака от снега и льда (низкий сигнал – от снега, интенсивный – от облаков)	
Тепловой инфракрасный	band 6, B6 TIR	10,40-12,50
	Тепловой ИК участок, используемый для определения температуры подстилающей поверхности, интенсивности теплоты объектов. Эта зона предназначена для оценок урожая «на корню» обнаружения и анализа нагрузок на растительность, применения инсектицидов, и для определения теплового загрязнения. Может также использоваться, чтобы обнаруживать геотермальную активность. Предпочтительнее для отображения темных породообразующих минералов с высокой плотностью	
Коротковолновый инфракрасный / Middle InfraRed	band 7, B7, MIR	2,08-2,35
	Зона важна для выделения типов геологических пород. Она была отображена из-за наличия потенциала для того, чтобы различать горные породы, измененные гидротермальные зоны и для других исследований в целях геологоразведки. В данной зоне спектра богатые кремнием материалы, пыль в воздухе и оголенные почвы часто дают относительно высокий сигнал. Зона важна для выделения границ почв, а также степени увлажненности почв и растительности	

Примечание.

Спектральные каналы (зоны) для оптико-электронной аппаратуры TM, MSS Landsat, XS Spot, AVHRR NOAA и некоторые другие имеют иные обозначения и нумерацию. Отдельные таблицы соответствия каналов имеются, например, в [1] и [5].

- SeaWiFS KA SeaStar, OrbView-2, Vegetation 1 KA SPOT 4 и Vegetation 2 KA SPOT 5 (разрешение 1 км) имеют довольно узкий голубой спектральный канал В0 0,43-0,47 мкм;
- AVNIR-2 KA ALOS имеет спектральный канал 0,42-0,50 мкм (разрешение 10 м);
- ALI KA EO-1 – 0,43 -0,453 мкм (разрешение 30 м) наряду с обычным band1;
- KA Pleiades-HR 1,2 должен иметь синий (широкий) спектральный канал 0,430-0,550 мкм;
- KA WorldView-2 – 0,423-0,453 мкм, еще шире.

При этом следует отметить, что оптико-электронная аппаратура последних двух КА – высокого разрешения.

Т. е. ширина синего канала растет с 0,03 мкм до 0,3 мкм и пространственное разрешение разработчики повышают, так как этого, видимо, требуют заказчики данных ДЗЗ. Понятно, что высокое пространственное разрешение и, соответственно, малые полосы захвата, скорее всего, используются и проектируются не для задач океанографии.

В связи с этим было бы интересно узнать, что думают о синих каналах российские потребители данных ДЗЗ, те кто их использует при обработке, и разработчики соответствующей спутниковой аппаратуры.

ПРИМЕНЕНИЕ ОСНОВНЫХ КОМБИНАЦИЙ ДАННЫХ, ПОЛУЧЕННЫХ В СПЕКТРАЛЬНЫХ КАНАЛАХ СПУТНИКОВОЙ ОПТИКО-ЭЛЕКТРОННОЙ АППАРАТУРЫ ДЗЗ (SATELLITE BAND COMBINATIONS)

Основываясь на переводе и компиляции материалов, представленных в [1, 3-4], обобщены основные комбинации данных, полученных в спектральных каналах спутниковой оптико-электронной аппаратуры ДЗЗ, и выделены области их применения на основе данных оптико-электронной съемочной аппаратуры ТМ и ЕТМ+ КА Landsat. Для удобства использования результатов этой работы они сведены в табл. 2.

Следует также отметить следующее. Комбинация спектральных каналов **4-3-2** хорошо известна, особенно, если используются мультиспектральные данные, полученные аппаратурой XS KA Spot, LISS-3 KA IRS, РДСА (Гамма-Ц) КА «Монитор-Э», которые имеют только по 3 спектральных канала. Эта комбинация может применяться и для других данных среднего разрешения, полученных оптико-электронной аппаратурой с КА TEOS, LISS-4 KA IRS-P6, AVNIR KA ALOS, HRG KA SPOT-4,-5, VNIR KA TERRA (ASTER). Также она может исполь-

Таблица 2

Применение основных комбинаций данных, полученных в спектральных каналах спутниковой оптико-электронной аппаратуры КА ДЗЗ

Комбинация спектральных каналов	Наименование спектральных каналов
Отображение и основное применение данных ДЗЗ, обработанных с применением данной комбинации информации спектральных каналов аппаратуры	
3-2-1	Видимые красный / red, band 3 – зеленый / green, band 2 – синий / blue, band 1
<p>Это композиция «натуральных» цветов подобная цветной фотографии. Поскольку в ней используются полосы видимой части спектра, то объекты местности после такой обработки выглядят почти естественно для человеческого зрения.</p> <p>При этом здоровая растительность визуализируется зеленым, недавно убранные поля – очень светлые, нездоровая растительность – от желтой до коричневой, дороги – серые, береговые линии – белесые. Облачность и снег – белые и практически не дифференцируются.</p> <p>Данная комбинация хорошо отображает распространение воды и применяется для батиметрического картографирования мелководий, локализации наносов осадочных пород, седиментационного анализа, изучения городских территорий и других антропогенных объектов. Вырубки лесов и территории со скудной (редкой) растительностью не так хорошо обнаруживаются как при комбинациях каналов 4-5-1 или 4-3-2. Также замечено, что при комбинации 3-2-1 виды растительности дифференцируются хуже, чем при комбинации 4-5-1, а мелководье и почвы, грунты – хуже чем при комбинации 7-5-3.</p> <p>Кроме прочего, данная комбинация используется для первичного просмотра материалов съемки, показа неспециалистам в спутниковых данных и визуального дешифрирования.</p>	

Комбинация спектральных каналов	Наименование спектральных каналов
Отображение и основное применение данных ДЗЗ, обработанных с применением данной комбинации информации спектральных каналов аппаратуры	
4-3-2	Ближний ИК / near infrared, band 4 - видимые красный / red, band 3 - зеленый / green, band 2
<p>Стандартная комбинация, при которой создается композиция «искусственные цвета» (false color), когда данные инфракрасного канала отображаются красной гаммой. При этом растительность отображается в оттенках красного цвета, городские районы – в сине-голубых, а почвы (грунты) – варьируются от темно- до светло-коричневого цвета. Лед, снег и облака проявляются тонами белого или светло-голубого цвета (лед и облака по краям).</p> <p>Данная композиция может использоваться для многих приложений. Она полезна для изучения растительности на разных стадиях созревания урожая с/х культур, увлажненности (дренажа) почв, грунта. Хвойные породы проявляются более темно-красными и коричневыми тонами, чем породы деревьев с твердой древесиной. Как правило, насыщенные красные оттенки указывают на широкий лист и/или более здоровую растительность, в то время как, менее насыщенный красный означает наличие травы или скудной, в том числе, кустарниковой растительности. Плотные населенные городские территории визуализируются сине-голубыми оттенками. При этой комбинации спектральных каналов отображение местности аналогично традиционной инфракрасной аэрофотосъемке</p>	
4-5-3	Ближний ИК / near infrared, band 4 - коротковолновый инфракрасный / MIR, band 5 - видимый красный / red, band 3
<p>Такая комбинация информации красного видимого с ближним и средним ИК спектральными каналами обычно используется для анализа состояния растительности и поверхностных горных пород. Она дает возможности наилучшего распознавания различных видов растительности. Также она позволяет лучше определять границы земли и воды и показывает такую детальность, которую трудно получить в видимом диапазоне. Точность определения внутренних водоемов и проток тем выше, чем больше используется инфракрасных каналов. Как правило, получается, что увлажненные почвы выглядят темнее, что обусловлено поглощением солнечного излучения водой в инфракрасной зоне спектра. В данной композиции виды растительности и ее состояние видимы как вариации оттенков и тонов коричневого, зеленого и оранжевого цветов. Она показывает различия влажности и полезна для анализа растительности, почв и грунтов</p>	
4-5-1	Ближний ИК / near infrared, band 4 – инфракрасный / MIR, band 5 - видимый синий / blue, band 1
<p>Такая комбинация информации, в основном, служит для изучения здоровья растительности и водных объектов. Водные объекты при ее применении отображаются оттенками сине-голубой гаммы в зависимости от глубины, взвесей и т. п. Здоровая растительность проявляется оттенками зеленого цвета и от оранжевого до коричневого. Ярко-голубыми оттенками могут отображаться недавно вырубленные леса, а красноватыми – восстановившаяся или скудная растительность. При этом средний ИК-канал повышает различимость стадий роста растений и их стрессов. Данная композиция не рекомендуется для изучения искусственных сооружений типа дорог и взлетно-посадочных полос и ее следует осторожно применять в интерпретациях, особенно, если съемка была произведена сразу после выпадения атмосферных осадков. В частности, полезно сравнить подтопленные территории и области изображения красных тонов, соответствующие растительности, и сопоставить с тем, как они переключаются с соответствующими оттенками в комбинации 3-2-1, чтобы гарантировать верную интерпретацию</p>	
5-4-3	Инфракрасный / MIR, band 5 - ближний ИК / near infrared, band 4 - видимый зеленый / green, band 3
<p>Подобно комбинации 4-5-1, эта комбинация снабжает пользователя большим количеством информации и цветового контраста. Здоровая растительность проявляется ярко-зелеными оттенками, а почвы – розовато-лиловыми, сиреневыми. В отличие от сочетания 7-4-2, включающего 7 канал и позволяющего изучать геологические явления, эта композиция полезна для изучения растительности, заражения сельскохозяйственными вредителями и широко используется в области управления лесозаготовками и изучения лесных сообществ</p>	
5-4-2	Инфракрасный / MIR, band 5 - ближний ИК / near infrared, band 4 - видимый зеленый / green, band 2
<p>В данном случае создается композиция в псевдоцветах (pseudo color). Получаемые цвета изображения не соответствуют натуральным цветам объектов. В отдельных случаях дороги могут отображаться оттенками красного, вода – желтого, а растительность – синего. Данные после тематической обработки также формируются в псевдоцветах</p>	
5-4-1	Инфракрасный / MIR, band 5 - ближний ИК / near infrared, band 4 - видимый синий / blue, band 1
<p>Комбинация похожа на 7-4-2, здоровая растительность выглядит ярко-зеленой, за исключением того, что она лучше для сельскохозяйственного анализа территорий</p>	

Комбинация спектральных каналов	Наименование спектральных каналов
Отображение и основное применение данных ДЗЗ, обработанных с применением данной комбинации информации спектральных каналов аппаратуры	
5-3-1	Инфракрасный / MIR, band 5 - видимый красный / red, band 3 - видимый синий / blue, band 1
Данная комбинация показывает морфологию текстуры, в то время как по 7-3-1 можно выявить состав горных пород	
7-4-2	Коротковолновый инфракрасный / MIR, band 7 - ближний ИК / near infrared, band 4 - видимый зеленый / green, band 2
<p>При данной комбинации изображение визуализируется подобным естественному, несмотря на наличие частиц и смога в атмосфере. Здоровая растительность отобразится как ярко-зеленая и может «уйти в насыщение» в сезоны бурного роста (созревания). Луга (пастбища) показываются зелеными, области бедных почв – розовыми оттенками, а области с редкой растительностью - оранжевыми и коричневыми. Сухая растительность видна оранжевой, водные поверхности – голубыми, синими. Пески, почвы, грунты и минералы визуализируются большим множеством цветов.</p> <p>Эта комбинация употребляется для изучения сельскохозяйственных территорий, а также – заболоченных земель. Если на изображении окажутся зоны пожаров (огни), то они отобразятся красными тонами. Она используется и для анализа зарастания или не зарастания лесом пораженных огнем участков и при управлении хозяйством на выгоревшей местности. Городские районы проявляются оттенками пурпурного. Луга (пастбища) проявляются в светло-зеленых тонах. Светло-зеленые вкрапления внутри городов указывают на травяное покрытие земли (парки, кладбища и т. п.). От коричнево-зеленых к ярко-зеленым оттенкам визуализируются лесные территории с хвойным лесом, являющимся более темной зеленью, чем лиственный.</p> <p>Эта композиция используется и для геологических приложений. Она позволяет наилучшим образом распознавать типы горных пород. Вместо band 2 может использоваться band 1 при условии достаточно высокого качества информации.</p> <p>Данную комбинацию лучше применять по результатам съемки засушливых (безводных) территорий и пустынь. На увлажненных подстилающих поверхностях цвета различаются хуже.</p>	
7-5-3	Коротковолновый инфракрасный / MIR, band 7 - коротковолновый инфракрасный / MIR, band 5 - видимый красный / red, band 3
<p>Редко используемая комбинация. Применяется для получения псевдо-натуральных цветов при некоторых условиях [6]. Согласно [4], при данной комбинации изображение визуализируется подобным естественному и позволяет анализировать атмосферную дымку, состояние взвесей в атмосфере, ее задымленность. Растительность проявляется в оттенках темно- и светло-зеленого цвета, урбанизированная местность может быть белой, серой или пурпурной; почвы, песок и минералы проявляются многообразием цветов. Благодаря практически полному поглощению излучения Солнца в среднем ИК-диапазоне водой, снегом и льдом, хорошо выделяются береговые линии и, соответственно, водные объекты. Подтопляемые территории видны очень темно-синими и почти черными, по сравнению с композицией 3-2-1, где мелководные затопленные территории отображаются серым и трудно различимы. Поверхности с повышенной температурой, такие как лесные пожары и кальдеры вулканов выводят в насыщение изображение в средних ИК-каналах и отображаются оттенками красного или желтым цветом. В связи с этим одним из обычных приложений данной композиции является мониторинг лесных пожаров</p>	
7-5-4	Коротковолновый инфракрасный / MIR, band 7 - коротковолновый инфракрасный / MIR, band 5 - ближний ИК / near infrared, band 4
<p>Данная комбинация не включает ни одного канала в видимой части спектра и обеспечивает лучшую проникаемость сквозь атмосферу. В связи с этим четко определяются береговые линии. Она может быть использована для анализа текстуры и влажности почв. Растительность проявляется в оттенках синего цвета. Эта комбинация может использоваться для геологического изучения территорий. Если пользователь предпочитает видеть растительность зеленой, то надо изменить композицию на 7-4-5</p>	

Примечания.

1. Аналогичную таблицу на русском языке с переводом материалов [4] можно найти на сайте www.gis-lab.ru.
2. Комбинация цветовых каналов оборудования (дисплея) при синтезе и обработке указанных комбинаций информации спектральных каналов должна быть – красный (red), зеленый (green), синий (blue).

зоваться при обработке данных со спутников ДЗЗ высокого и сверхвысокого разрешения, таких как IKONOS II, OrbView-3, KOMPSAT, FORMOSAT-2, GeoEye-1, WorldView-2, RapidEye. Для данных, полученных с тех КА ДЗЗ, мультиспектральная аппаратура которых имеет первые 4 спектральных канала, дополнительно доступна лишь комбинация **3-2-1**.

Для мультиспектральных данных, полученных с КА ДЗЗ, возможен синтез с панхроматическими изображениями. Данный вид синтеза в программных комплексах (ПК) ENVI и PCI Geomatica называется PanSharping, а в ПК ERDAS IMAGINE – Resolution Merge. Кроме того, в ПК ERDAS IMAGINE, используя метод Natural Color, из комбинации спектральных каналов **4-3-2** и данных, полученных средствами Resolution Merge (PanSharping) с применением данной композиции каналов, могут быть синтезированы изображения в квазинатуральных (привычных для человеческого глаза) цветах. Такие данные бывают особенно интересны и показательны, например, для презентации и при визуальном дешифрировании тех спутниковых данных ДЗЗ, которые имеют только 2, 3 и 4-й спектральные каналы (band 2-4).

ОСНОВНЫЕ РАСЧЕТНЫЕ ИНДЕКСЫ, КОТОРЫЕ МОГУТ БЫТЬ ВЫЧИСЛЕНЫ И ВИЗУАЛИЗИРОВАНЫ ПОСЛЕ ОБРАБОТКИ ИНФОРМАЦИИ СПЕКТРАЛЬНЫХ КАНАЛОВ СПУТНИКОВОЙ АППАРАТУРЫ ДЗЗ

Изложенное ниже описание является переводом и компиляцией материалов, представленных в [1, 3-5]. Как и в предыдущих разделах для удобства использования основные расчетные индексы (соотношения сигналов в каналах), полученные на основе данных оптико-электронной съемочной аппаратуры TM КА Landsat, представлены в табл. 3.

Помимо приведенных в табл. 3 индексов, отдельные программные средства обработки содержат другие индексы или индексные преобразования, причем такие, какие не имеются в других. В частности, в [5] описано вычисление Sum Green (SG) Index, который используется для выявления изменений «зелености» растительности, и Tasseled Cap (имеется и в ERDAS IMAGINE), представляющий собой комплекс индексов, который в зависимости от выбранного типа аппаратуры КА Landsat (MSS, TM, ETM+) выдает от 4 до 6 различных индексов (показателей), характеризующих снятую местность.

Таблица 3

Основные расчетные индексы (соотношения сигналов в каналах), которые могут быть вычислены и при обработке информации спектральных каналов спутниковой аппаратуры ДЗЗ

Комбинация спектральных каналов спутниковой аппаратуры ДЗЗ при обработке	Некоторые основные расчетные индексы, которые визуализируются в виде растров после обработки информации спектральных каналов спутниковой аппаратуры ДЗЗ
Ближний ИК (near infrared, band 4), видимый красный (red, band 3)	<p>Применяется для получения индексов в ПК ENVI и ERDAS IMAGINE:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1) простое отношение (Simple Ratio) $SR = IR/R$, его значение должно находиться в интервале от 0 до 30, общепринятые значения для зеленой растительности – в диапазоне 2-8 [5]; по [4] $TM4/TM3$ предназначен для различения растительности, водных объектов и пахотных земель, позволяет интенсивнее выделять леса и бедные (бесплодные) земли и однозначно определить распространение растительности; 2) $SQRT(IR/R)$ имеется только в ERDAS IMAGINE, цели получения не указаны; 3) индекс озелененности (Vegetation Index = $IR-R$) имеется только в ERDAS IMAGINE; 4) нормализованный разностный индекс озелененности (Normalized Difference Vegetation Index) $NDVI = (IR-R)/(IR+R)$, его значение должно находиться в интервале от -1 до 1, общепринятые значения для зеленой растительности в диапазоне 0,2-0,8 [5]; 5) трансформированный (Transformed) $NDVI$ ($TNDVI$) = $SQRT[(IR-R)/(IR+R) + 0,5]$ имеется только в ERDAS IMAGINE; 6) $TM3/TM4$ – для однозначного различения бесплодных и урбанизированных земель, но он не пригоден для определения водных объектов, лесов и пахотных земель [4]

Комбинация спектральных каналов спутниковой аппаратуры ДЗЗ при обработке	Некоторые основные расчетные индексы, которые визуализируются в виде растров после обработки информации спектральных каналов спутниковой аппаратуры ДЗЗ
Видимые красный (red, band 3), зеленый (green, band 2)	Применяется для получения индекса TM3/TM2 [4], который позволяет различать леса и пашни; полезен для определения широких классов растительности и обратного TM2/TM3, который лучше для более четкого различения непродуктивных земель, но при его применении распознавание урбанизированных территорий не улучшается
Видимые красный (red, band 3), синий (blue, band 1)	Применяется для получения индекса окислов железа (Iron Oxide = TM3/TM1); указан только ERDAS IMAGINE
Ближний ИК (near infrared, band 4), видимые красный (red, band 3), синий (blue, band 1)	Применяется для получения (только ENVI): 1) расширенного индекса озелененности (Enhanced Vegetation Index) $EVI = 2,5 * [(pNIR - pRed) / pNIR + 6 * pRed - 7,5 * pBlue + 1]$, его значение должно находиться в интервале от -1 до 1, общепринятые значения для зеленой растительности 0,2-0,8; 2) устойчивого к влиянию атмосферы индекса озелененности (Atmospherically Resistant Vegetation Index) $ARVI = [pNIR - (2 * pRed - pBlue)] / [pNIR + (2 * pRed - pBlue)]$, его значение должно находиться в интервале от -1 до 1, общепринятые значения для зеленой растительности 0,2-0,8
Видимый красный (red, band 3), коротковолновый инфракрасный (MIR, band 5)	Применяется для получения индекса TM3/TM5 [4], который позволяет лучше распознавать непродуктивные земли, автостреды, конфигурацию улиц на урбанизированных территориях, а также застраиваемые городские территории или забетонированные площади. Он улучшает распознавание замутненных вод, а чистых – нет, и соответственно, применяется для наблюдения различий в загрязнениях водных объектов
Ближний ИК (near infrared, band 4), коротковолновый инфракрасный (MIR, band 5)	Применяется для получения: 1) индекса TM4/TM5, который позволяет разделять водные объекты, непродуктивные почвы и растительность [4]; 2) индекса железистых минералов Ferrous Minerals = TM5/TM4 (ERDAS IMAGINE); согласно [4] он позволяет получать улучшенные данные о водных объектах, растительности и присутствии влаги в пахотных землях
Коротковолновый инфракрасный (MIR, band 7), видимый зеленый (green, band 2)	Согласно [4] данное соотношение служит для отделения лесов от пахотных земель, но не пригодно для разделения лесов и водных объектов
Коротковолновый инфракрасный (MIR, band 7), коротковолновый инфракрасный (MIR, band 5)	Применяется для получения: 1) индекса глиноземных минералов Clay Minerals = TM5/TM7 (ERDAS IMAGINE); 2) это же соотношение, согласно [4], позволяет отделять водные объекты от грунтов (почв), а также улучшает определение влаги на пахотных землях и в растительности и, соответственно, используется для изучения урожая «на корню» и мощности растительности
Видимые синий (blue, band 1), красный (red, band 3), ближний ИК (near infrared, band 4), коротковолновый инфракрасный (MIR, band 5), коротковолновый инфракрасный (MIR, band 7)	Применяется для получения индексов (ERDAS IMAGINE): 1) минерального композита Mineral Composite = TM5/TM7, TM5/TM4, TM3/TM1; 2) гидротермального композита Hydrothermal Composite = TM5/TM7, TM3/TM1, TM4/TM3

Примечание.

TM – спектральный канал, соответствующий аппаратуре TM KA Landsat.

Приведенные выше индексы, судя по их описаниям, являются условно «широкополосными» (широкодиапазонными) индексами характера и состояния земной поверхности и растительного покрова.

В описании ПК ENVI [5] также приведено вычисление множества узкополосных (узкодиапазонных) индексов – Narrowband Greenness. В частности, в данном программном комплексе может быть вычислено семейство из семи индексов, связанных с сущностью и термином Red Edge, который, по моему мнению, технически правильно перевести как «красная граница», т. е. правая граница видимого красного диапазона спектра электромагнитных излучений. Аналогичный по названию термин используется в квантовой механике, астрономии и астрофизике. К тому же термин «красная граница» имеет привычное звучание для русскоязычной научной и технической литературы. Данное семейство индексов по смыслу определяемых с его помощью характеристик поверхности Земли, в основном, связывается с нахождением, развитием и жизнеспособностью растений.

Там же описано получение индексов для нефотосинтезирующей растительности (non-photosynthetic vegetation), содержания нитрогенов, лигнина, углерода, целлюлозы, увлажненности и еще нескольких подобного рода индексов, относящихся к изучению растительного покрова Земли. Получается, что именно в ПК ENVI имеются специальные возможности работы с данными спектрального канала Red Edge и, по всей видимости, из доступных по цене в настоящее время именно данный программный комплекс является наиболее подходящим для обработки данных, полученных пятиканальной аппаратурой КА RapidEye. Кроме того, в ПК ENVI встроены 5 спектральных библиотек, практически, на все случаи жизни и представлен полный набор алгоритмов и инструментов для проведения спектрального анализа мультиспектральных данных ДЗЗ. Одна из них, IGCP264, состоит из 5 библиотек измерений, проведенных на пяти разных спектрометрах. Имеется Additional Vegetation Libraries, которая предназна-

чена для определения и изучения наличия сухой и зеленой (живой) растительности.

В настоящей статье перевод описаний по данным индексам не сделан, в силу ограничений на допустимый объем статьи и так как не все из них описаны уравнениями. Кроме того, они, скорее всего, предназначены для узкого круга специалистов, имеющих достаточный практический опыт спектральной обработки данных ДЗЗ.

Хотелось бы выразить благодарность каждому из авторов тех материалов, которые использованы при подготовке настоящей статье, за проделанную ими сложную и нужную работу.

Искренне надеюсь, что при переводах и компиляции использованных публикаций автору настоящей статьи удалось передать основной их смысл. При нахождении возможных смысловых ошибок (в силу отсутствия у автора заметного опыта спектральной обработки) или значительных неточностей в тексте статьи прошу уважаемых читателей сообщить о них в редакцию журнала «ГЕОМАТИКА».

Думаю что, ввиду крайне небольшого количества русскоязычных публикаций об обработке мультиспектральных данных ДЗЗ и их значимости данная статья побудит и других авторов сообщать об интересных данных, опыте и результатах. Это особенно важно, так как в настоящее время данное направление приобретает все возрастающую актуальность при решении научных, хозяйственных и экономических задач в совокупности с соблюдением норм защиты природы. Кроме того, такие данные находят все большее применение в промышленности, в частности, при разработке и испытаниях новой авиационной («беспилотники»), космической и ракетной техники, в военной разведке и, даже, в страховом деле. Убедиться в этом можно, посмотрев спектральные характеристики оптико-электронной аппаратуры современных коммерческих, государственных и военных (TagSat, США), уже функционирующих и готовящихся к эксплуатации спутников для наблюдения Земли в оптическом диапазоне спектра, «беспилотников» и аэрофотокамер.

Список литературы

1. ERDAS IMAGINE [Электронный ресурс]. URL: <http://gi.leica-geosystems.com>.
2. SPOT Image [Электронный ресурс]. URL: <http://www.spotimage.com>.
3. InfoTerra [Электронный ресурс]. URL: <http://www.infoterra-global.com>.
4. James W. Quinn [Электронный ресурс]. URL: <http://web.pdx.edu>.
5. Help ENVI, ver. 4.4.
6. InfoTerra [Электронный ресурс]. URL: <http://www.infoterra.co.uk>.

Integrated Systems Russia

8-10 декабря 2009
Москва, Гостиный Двор

Монтажные приспособления

Акустические системы

Светодиодные экраны

Видеоконференцсвязь

Интерактивные устройства

Системы управления

Плазменные, LCD панели

Коммутационное оборудование

Системы оповещения

Digital Education

Digital Signage

Системы освещения

Мультирум

Конференцсвязь

Впервые! **PROIntegration**
awards

НАЦИОНАЛЬНАЯ ПРЕМИЯ
в области профессионального аудио-видео оборудования
и системной интеграции «ProIntegration Awards 2009»

www.prointegration.ru



www.isrussia.ru

Профессиональное аудио – видео оборудование и системная интеграция для корпоративного и домашнего сектора: бизнес-центры, государственные учреждения, транспортные объекты, стадионы, образовательные и медицинские учреждения, банки, гостиницы, торгово-развлекательные комплексы, квартиры и коттеджи

При поддержке профессиональных ассоциаций:



CUSTOM
ELECTRONIC
DESIGN &
INSTALLATION
ASSOCIATION

infoComm
INTERNATIONAL

MIDexpo
Международная выставка-ярмарка

Integrated
Systems
Events, LLC

Организаторы: