

## **Развитие телевизионных методов дистанционного зондирования земли Постановка задачи**

Селиванов К.В.,

**Аннотация** Появление и развитие нанотехнологий, микромеханики и молекулярной электроники уже сейчас делает возможным создание спутников, умещающихся на ладони. Причины, побуждающие обращать всё большее внимание на разработку сверхмалых аппаратов, в том, что цена каждого килограмма веса, вырванного из плена земного притяжения, составляет около 10 тысяч долларов.

Основная задача таких минимизаций размеров – разработать системы способные при минимальных технических, финансовых и временных затратах выполнять разнообразные технические, исследовательские и финансовые задачи. Например, задачу по предоставлению наземным потребителям информации о виде Земной поверхности со спутника, в любой момент времени суток.

Принятая со спутников информация со станции сопряжения доводится до потребителя через существующие наземные или спутниковые каналы связи.

Дистанционное зондирование земли (ДЗЗ) имеет многолетнюю историю развития, которая началась с первых фотографических съемок Земли с воздушных шаров и самолетов в конце 19 века и по мере развития фотографической техники стала основой аэрофотографии – важной прикладной отрасли науки, хозяйства и военного дела. Появление космических носителей – спутников земли – обеспечило возможность проведения космических съемок. Сегодня ДЗЗ из космоса - весьма активно развивающееся направление космической техники.

Самолетная и космическая съемка имеют много общего и часто объединяются общим термином аэрокосмическая съемка [1], поскольку в практической деятельности они часто дополняют друг друга и являются элементами технологической цепочки, объединяющей разновысотную съемку наземных объектов с их непосредственным контактным наблюдением [2].

Однако техника и технология аэро и космической съемок все же существенно отличны. Если до настоящего времени при аэрофотосъемке используются традиционные фотографические носители изображения, то в космосе сделан окончательный переход на оптико-электронные системы, близкие по своим принципам действия к малокадровым телевизионным системам [3, 4].

В развитии аэрокосмической съемки был важный момент, когда наряду с черно-белой (панхроматической) съемкой началось использование цветной (спектрозональной)

съемки. Этот переход был вызван различными причинами и, прежде всего, различием решаемых задач. Если черно-белая (панхроматическая) съемка удовлетворяет многим требованиям топографии и картографии, то для наблюдения, например, таких объектов, как растительный покров, более эффективно использовать цветную и спектрально-зональную съемку [5, 6].

Появление цветной фотографии, а также цветного кино и телевидения, стимулировалось заинтересованностью массового потребителя получить натуральную, естественную передачу образов объектов съемки, приемником которого был человеческий глаз.

Натуральная цветопередача базировалась на трехкомпонентной теории цветного зрения (колориметрии) [7, 8], экспериментально доказавшей свою эффективность. При цветной аэрофотосъемке не ставилась задача натурального, колориметрически точного воспроизведения цветов, а использовалось свойство цветного изображения передавать существенно больший объем информации об объекте съемки, что способствовало более точному решению задач дешифрирования (опознавания, классификации) изучаемого объекта.

Для решения многих практических задач съемки колориметрически точным способом изображением объекта съемки нет необходимости. Более того, допустимо сознательное искажение цветопередачи, с целью лучшего выявления некоторых объектов съемки. Возможно, и это сейчас широко используется в технике ДЗЗ, использование таких спектральных диапазонов, в которых глаз не чувствителен, например, в ближнем инфракрасном диапазоне. При этом возникает требующая научного обоснования задача оптимального для визуального дешифрирования представления исследованного объекта, наблюдаемого в натуральных цветах.

Рассмотрим классическую для ДЗЗ ситуацию - различения наиболее типичного объекта на поверхности земли – растительного покрова. Все живые растения имеют характерную кривую спектрального отражения – спектральный коэффициент яркости (СКЯ) (рис.1.), имеющего в видимом диапазоне относительно небольшой подъем в области зеленого цвета и значительное повышение коэффициента отражения в ближней инфракрасной области (0.76-1 мкм), невидимой глазу. Незначительные различия в форме кривых для различных растений будучи обнаружены системой опознавания позволяют определить типы растительности и их состояние. Глаз на пути эволюционного развития человека научился хорошо различать типы растительности в зеленом диапазоне, но аппаратура наблюдения на первом этапе (фотоаппараты, электронно-оптические системы ранних конструкций) обладали значительно меньшей контрастной чувствительностью,

что делало предпочтительным наблюдение в ближнем ИК диапазоне, поскольку обеспечивало лучшее отношение сигнал/шум регистрирующего устройства. Были созданы специальные спектрозональные фотопленки, с одним из спектральных каналов, чувствительных в ближнем ИК диапазоне. Они эффективно использовались при аэрофотосъемке лесов [5]. Ясно, что такая система принципиально отличалась от системы RGB, используемой при натуральном воспроизведении изображений.

Интересно отметить, что была и другая, возможно весьма важная задача при создании спектрозональной пленки, а именно: демаскировка объектов наблюдения, которые часто маскируются путем их окраски в зеленый цвет, но воспроизвести форму спектральной характеристики отражения растительности в ближнем ИК диапазоне краска не может.

Если задача распознавания замаскированных объектов не является главной, то используя существенный рост чувствительности современных оптико-электронных систем по сравнению с фотопленкой, можно определить еще одну важную задачу – исследование возможностей отказа от ближнего ИК диапазона в системах ДЗЗ широкого использования. Потери от такого решения могут будут приемлемыми с точки зрения опознавания растительности и будет получен заметный выигрыш в упрощении аппаратуры и сокращении объема передаваемых данных.

Имеется и другой, новый аспект в рассматриваемом вопросе. Он связан не только с упрощением технических характеристик современной съемочной аппаратуры, но и с изменением состава пользователей космической информации ДЗЗ.

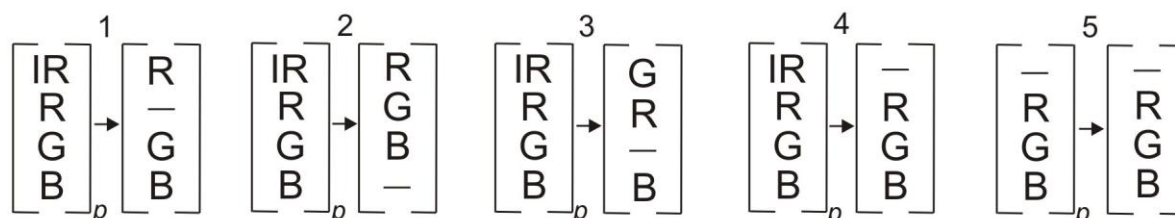
Сегодня сформировался широкий класс полупрофессиональных и совсем не профессиональных потребителей космической информации, ставшей весьма доступной, для которых натуральное цветовоспроизведение снимков имеет важное значение, поскольку позволяет достичь естественного восприятия объекта съемки, узнаваемости их без использования каких-либо методов цифровой обработки (которая, однако, в принципе не исключается на определенном этапе использования информации). Наиболее яркий пример - система Google Earth [9], которая пользуется все большей популярностью в мире. Информация от Google Earth свободно передается через интернет и представляет результаты съемки всего земного шара на определенные моменты времени с различным пространственным разрешением (в основном высоким, до 1 м), которое в настоящее время может быть получена с многих спутников ДЗЗ, находящихся на орбитах. Такой съемкой(метровой) охвачено до 70% площади поверхности Земли, для других районов используется съемка с меньшим пространственным разрешением. Источником информации для Google Earth служат многозональные 3 и 4-х канальные системы с ИК

диапазоном, поэтому Google Earth не может представить пользователям натуральные изображения, а только лишь так называемое псевдоцветные, которое однако формируется таким образом, чтобы быть максимально похожим на естественные. Как показала практика, такая операция, в принципе, приемлема для пользователя, тем более не имеющего под рукой эталона для сравнения.

При таком методе преобразования цветов должны быть дополнительно выполнены следующие условия:

- растительный покров должен быть представлен оттенками зеленого цвета;
- снежный и облачный покров должны быть натурально белыми;
- водные поверхности могут иметь оттенки от сине-фиолетового до темно-синего, почти черного;
- определенным образом должно быть учтено влияние атмосферы

В общем имеется 5 базовых вариантов цветового преобразования каналов:



В профессиональной практике принято IR сигнал транспонировать в красный (R) (варианты 1,2), что приводит к представлению растительных покровов в псевдоцветном синтезированном изображении в виде полей различного оттенка красного цвета. Такое цветовое кодирование помогает дешифровщику, обеспечивая повышенный цветовой контраст между растениями и почвой, но с большим трудом воспринимается непрофессионалами или же специалистами, для которых растительный покров не является объектом наблюдения. Поскольку в современном процессе дешифрирования и псевдосинтеза принимает участие вычислительная машина, возможен разнообразный подбор палитры цветов, кодирующих разные каналы, то здесь был описан процесс синтеза, ставший практически стандартом для систем ДЗЗ.

Выбор количества спектральных каналов наблюдения и их расположения на шкале длин волн - один из основных вопросов в теории и практике ДЗЗ [4, 10 и др.]. В свое время ему было посвящено очень много теоретических работ и было реализовано большое количество систем ДЗЗ не только космических, но и авиационных, что дает возможность подвести некоторые итоги по анализу в этой области.

Анализируя характеристики нескольких десятков спутников ДЗЗ, запущенных за последние более 30 лет, можно отметить единообразный подход к выбору количества базовых спектральных каналов: три в видимой области, один в ближнем ИК. Причем

длины волн этих каналов практически совпадают. Они сосредоточены в диапазонах 0,4-0,5 мкм, 0,5-0,6 мкм, 0,6-0,7 мкм и 0,7-0,9 мкм с некоторой точностью деления  $\pm \Delta\lambda$ . По аналогии с колориметрическими системами указанные спектральные диапазоны обозначаются, как RGB, IR, хотя для корректности эти обозначения следует сопровождать индексом «р» (псевдо). Величина  $\Delta\lambda$  в разных системах не превышает 10% и разработчиками систем объясняется необходимостью более точной настройки системы на опознавание объектов определенного класса. Во многих случаях такая аргументация вызывает сомнение, поскольку имеется ряд факторов, делающих такую настройку малоэффективной. На это имеются следующие основания [4].

1. По техническим причинам форму спектральных фильтров не удается сделать достаточно прямоугольной, с четкой границей их разделения (рис. 2). Реально, спектральные характеристики частично перекрываются и их форма бывает близка к колоколообразной, иногда несимметричной. Вызывает вопрос выбор уровня, на котором измеряется ширина спектрального канала.
2. СКЯ одних и тех же природных образований не являются достаточно стабильными. Они изменяются на некоторую величину, в зависимости от угла наблюдения, угла освещения и состояния атмосферы. СКЯ растительности заметно варьируют также от направления ветра и района произрастания.
3. Имеют место неизбежные шумы фотоприемников, которые вносят свой вклад в величину  $\Delta\lambda$ , включая флуктуационные шумы и шумы квантования.

Тем не менее, многочисленные системы ДЗЗ работают достаточно эффективно и активно развиваются. Количество наблюдений и задач, решаемых на базе ДЗЗ, исчисляется тысячами и точно настроить систему под каждого пользователя невозможно, да и практика показывает, что в этом нет необходимости, имея ввиду системы ДЗЗ массового обслуживания, - класс систем который в настоящее время можно четко позиционировать.

Обращает на себя внимание аналогия с системой человеческого зрения, трехкомпонентной (трехканальной) своей основе, но отличающейся нечетким разделением каналов между собой (рис. 3). Учитывая изложенное, можно предположить, что наличие широких спектральных перекрывающихся каналов в системе RGB глаза не будет существенным препятствием для использования этой системы, в качестве базовой, для ДЗЗ массового обслуживания. Точности решения задач с помощью такой системы должны быть дополнительно исследованы.

## **Заключение**

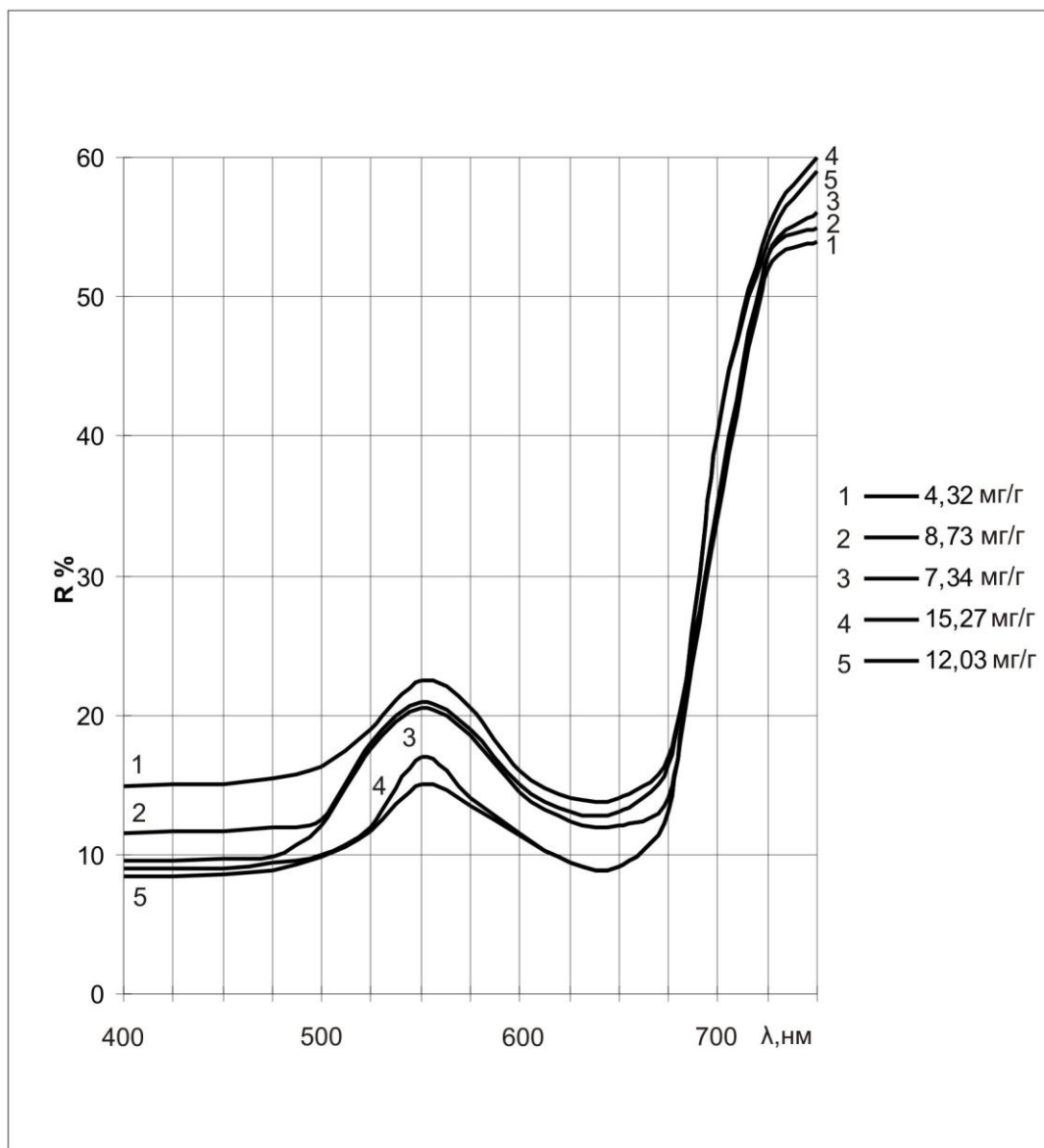
1. Имеется достаточно обоснованное предположение, позволяющее сделать предположение о том, что в недорогих перспективных системы ДЗЗ массового обслуживания разнообразных потребителей можно ограничиться использованием колориметрической системы RGB, обеспечивающей натуральную цветопередачу изображения объектов наблюдения.
2. Использование системы RGB позволит исключить из бортовой аппаратуры ближний инфракрасный канал, что приведет к ее упрощению и удешевлению и имеет особое значение, если система ДЗЗ формируется на базе малоразмерных космических аппаратов (например наноспутников) [11].

## **Литература**

1. Ю.Ф. Книжников, В.И. Кравцова, О.В. Тутугалина. Аэрокосмические методы географических исследований, «Академия», Москва, 2004 г., 336 стр.
2. К.Я. Кондратьев, В.В. Козодеров, П.П. Федченко. Аэрокосмические исследования почв и растительности, Гидрометеиздат, Ленинград, 1986 г., 231 стр.
3. Б.В. Виноградов, К.Я. Кондратьев. Космические методы земледения, Гидрометеиздат, Ленинград, 1971 г., 190 стр.
4. Э. Баррет, Л. Куртис. Введение в космическое земледение, Москва, «Прогресс», 1979 г., 368 стр.
5. Ю.С. Апостолов. Исследования измерительных и изобразительных свойств спектрональных аэрофотоснимков применительно к задаче дешифрования растительного покрова. Автореферат диссертации на соискание уч. ст. ктн, МНИИГАИК, Москва, 1969 г., 18 стр.
6. Ф.В. Кишенков, Ю.С. Апостолов. Воздушное фотографирование и картографирование лесных территорий. Изд. Брянского технологического института, Брянск, 1968 г., стр. 68.
7. Д. Джадд, Г. Вышецки. Цвет в науке и технике, «Мир», Москва, 1978 г., стр. 591.
8. А.К. Кустарев. Колориметрия цветного телевидения, «Связь», Москва, 1967 г., стр. 335.
9. А. Павлов. Планета Земля, журнал Upgrade; 50, 12.2008, стр. 40-43.

10. О.М. Покровский. Проблемы оптимизации систем дистанционной идентификации параметров атмосферы, океана и объектов природной среды, Препринт №12, ВНИИТИ, ОВМ АН СССР, Москва, 1981 г., стр.28.

11. К.В. Селиванов. Развитие систем передачи изображений с наноспутников в интересах ДЗЗ, 6-ая открытая всероссийская конференция «Современные проблемы ДЗЗ из космоса», ИКИ РАН, Москва, 10-14 ноября, 2008 г.



**Рис. 1. Спектральные кривые отражения зеленых листьев, содержащих различное количество хлорофилла.**



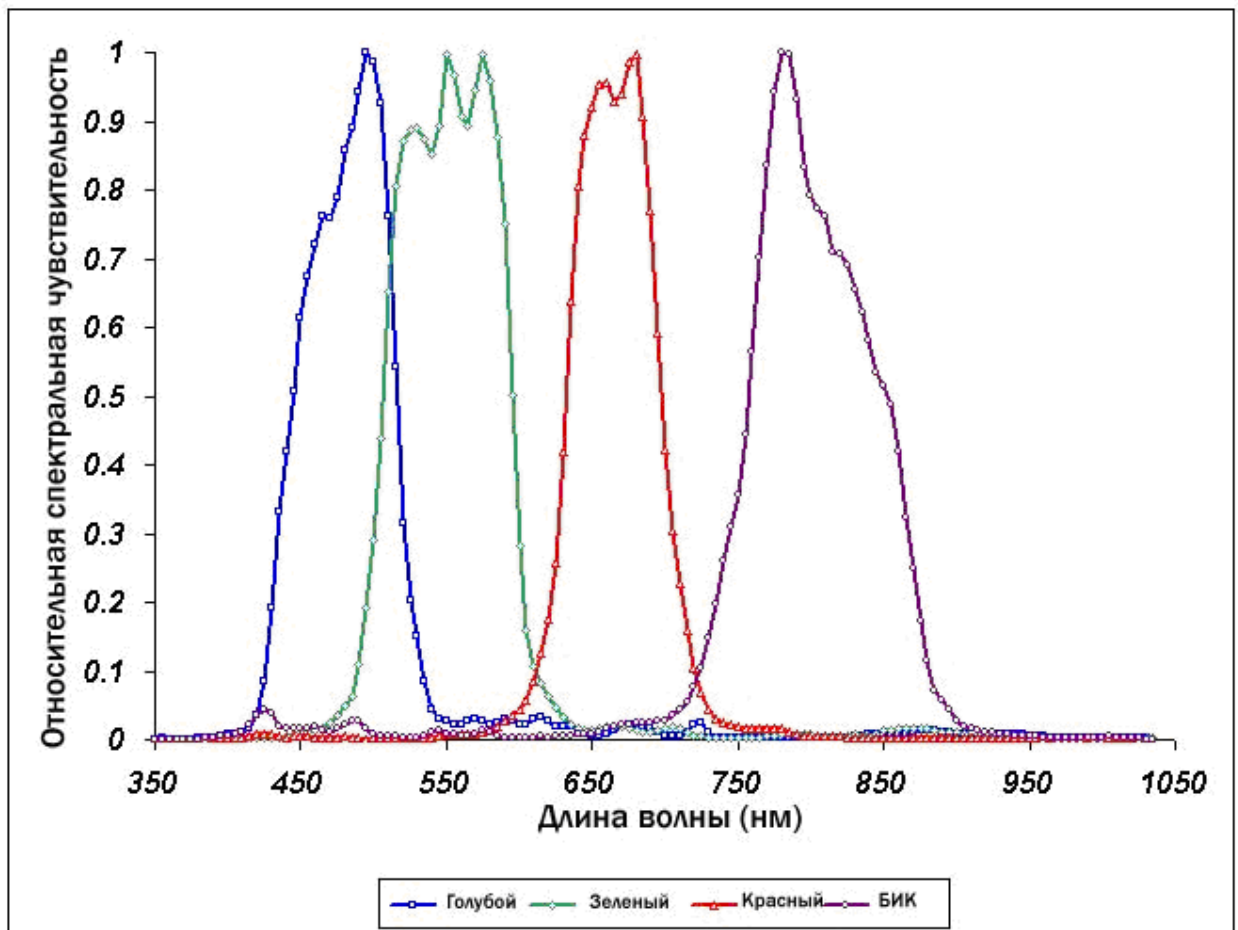


Рис. 2. Спектральная чувствительность спектральных каналов спутника IKONOS.

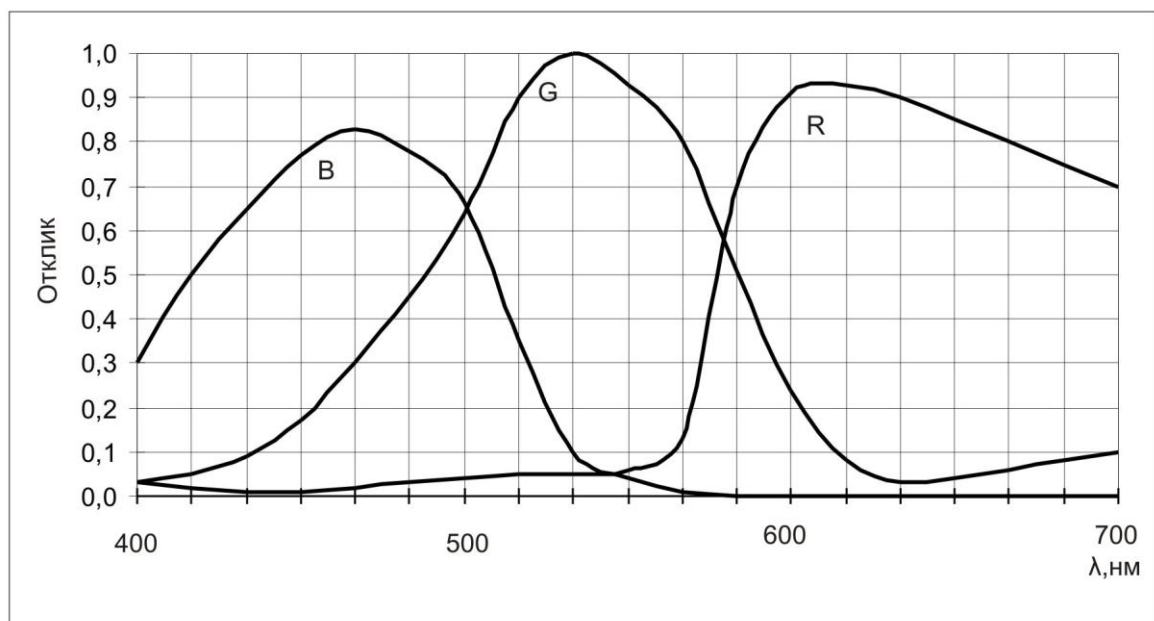


Рис.3. Спектральная характеристики чувствительности в камерах Sony ICX415AQ с системой RGB.