

## КОМПЛЕКСНОЕ ПРИМЕНЕНИЕ СПЕКТРАЛЬНОГО АНАЛИЗА И ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ДЛЯ РАЗВЕДКИ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ

*Тултемирова Гульназ Усенбековна, ст. преподаватель, КГТУ им. И. Раззакова, Кыргызстан, 720044, г. Бишкек, пр. Ч. Айтматова 66, e-mail: tultemirova@gmail.com*

В этой статье рассматривается применение видимого ближнего инфракрасного излучения и коротковолнового инфракрасного излучения, спектрального анализа и дистанционное зондирование для разведки полезных ископаемых. Приведен анализ мультиспектральных и гиперспектральных снимков.

**Ключевые слова:** дистанционное зондирование, космический снимок, спектральная характеристика, спектральное разрешение, ВБИК, КВИК.

## COMPLEX APPLICATION OF SPECTRAL ANALYSIS AND REMOTE SENSING FOR THE MINERAL EXPLORATION

*Tultemirova Gulnaz, Senior Lecturer, Kyrgyzstan, 720044, Bishkek c., Ch. Aitmatov av.66, KSTU named after I. Razzakov e-mail: tultemirova@gmail.com*

The use of visible near-infrared radiation and short-wave infrared radiation, spectral analysis and remote sensing for mineral exploration is considered in this paper. The analysis of multispectral and hyperspectral images is given.

**Keywords:** remote sensing, space image, spectral characteristic, spectral resolution, VNIR, SWIR.

За прошедшее десятилетие область разведочного дистанционного зондирования претерпела фундаментальное преобразование от обработки изображений до извлечения спектральной минералогической информации, что привело к расширению области спектральной геологии и дистанционного зондирования (SGRS), которая охватывает технологии, способствующие определению, подтверждению и описанию месторождений полезных ископаемых.

Технологии SGRS предоставляют информацию о минералогических и изменяющихся характеристиках минерального рудного тела, помогая идентифицировать признаки на поверхности, в полевых образцах и в недрах с помощью спектроскопических измерений.

С момента запуска Landsat в 1970-х годах спутниковые снимки исторически широко использовались для наземных геологических применений. По мере совершенствования

технологии возросшая доступность спектральной информации на спутниках позволила получить больше информации о геологии.

Все оптические спутники измеряют отражательную или излучательную способности. Природные объекты по-разному отражают падающую на них солнечную радиацию. Отражательные свойства земной поверхности, как и любой другой поверхности, однозначно характеризуются спектральным или интегральным коэффициентом яркости в сочетании с индикатором отражения. Каждый такой признак, который нам виден, имеет свою собственную спектральную сигнатуру, и в этой сигнатуре могут быть отличительные особенности, которые могут помочь нам идентифицировать и отобразить его с помощью инструментов спектрального анализа.

Спектры горных пород отличаются большим разнообразием и определяется минеральным составом, типом кристаллической решётки минералов, размером зерен минералов. В видимом диапазоне спектра минералы различаются слабо. Значительно больше различий наблюдается в БИК диапазоне. Здесь многие группы минералов, такие как глины, карбонаты, сульфаты имеют отчётливые линии поглощения, регистрируемые современными средствами ДЗ. Видимое ближнее инфракрасное излучение (ВБИК) и коротковолновое инфракрасное излучение (КВИК) являются мощными инструментами для геологии, поскольку они охватывают ключевые характеристики поглощения многих геологических минералов. Таким образом, улучшая возможности визуализации изображений улучшенная спектральная информация также дает возможность извлекать больше информации в качестве уровня спектральной сигнатуры, которая может поддерживать как литологические, так и минералогические оценки аномалий. Это само по себе может использоваться в сочетании с интерпретированными структурными особенностями изображения для улучшения нашего понимания геологического контекста.

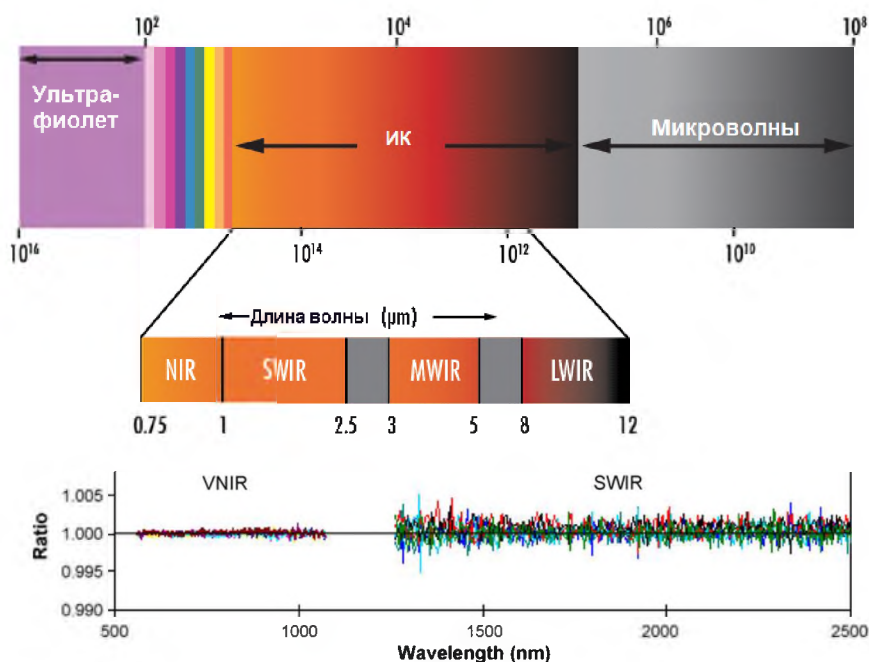


Рис. 1. Оптический диапазон электромагнитных волн.

### Спектральное картирование минералов

Поглощение и отражательная способность минералов по VNIR (ВБИК) и SWIR (КВИК) -картам позволяют иметь возможность картировать изменения поверхности, которые могут быть связаны с месторождениями металлоорганических руд, принимающих форму типов месторождений, таких как месторождения гидротермального, эпитептермального типа. Эти типы

месторождений могут помочь нам идентифицировать медь, золото и другие металлические товары. Однако также можно использовать аналогичные методы для поиска редкоземельных элементов и даже углеводородов. Эти типы отложений могут помочь наблюдать, что VNIR особенно полезен для картирования минералов железа.

В то время как SWIR имеет отличные поглощения для глины и гидроксильных минералов, а также углеродистых минералов, комбинация обеих частей спектра для геологии предоставляет более полную информацию о стиле месторождения в некоторой области. Чем больше спектральной информации сопоставляется с контекстной геологической информацией, тем больше можно ее интерпретировать и, следовательно, тем больше уверенности можно придать результатам, цели и полученным областям.

### Сравнение Landsat и Aster снимков

Таблица 1

Область спектра	Диапазон Landsat	Диапазон спектра (мкм)	Пространственное разрешение	Диапазон Aster	Диапазон спектра (мкм)	Пространственное разрешение
VNIR	1	0,45-0,52	30м			15м
	2	0,52-0,60		1	0,52-0,60	
	3	0,63-0,69		2	0,63-0,69	
	4	0,76-0,90		3N	0,76-0,86	
	8	0,52-0,90	3b			
SWIR	5	1,55-1,75	30м	4	1,60-1,70	30м
	7	2,08-2,35		5	2,45-2,185	
			6	2,185-2,225		
			7	2,235-2,285		
			8	2,295-2,365		
TIR				9	2,360-2,430	90м
				10	8,125-8,475	
				11	8,475-8,825	
				12	8,925-9,275	
	6	10,40-12,50	60м	13	10,25-10,95	
			14	10,95-11,65		

### Важность спектрального разрешения

При картировании минералов важную роль играет спектральное разрешение. На графике (Рис.2) показано сравнение данных снимков Aster, Landsat и гиперспектрального снимка, где приведены спектральная отражательная способность минерала аланин, который часто встречается при изменении горных пород.

Важно отметить, что, хотя спектральное картирование может использоваться для геологических целей, нельзя обнаружить все тело непосредственно, т.к. спутниковое излучение не проникает сквозь землю, поскольку оно измеряет только отражательную способность того, что мы видим на поверхности.

Улучшенное спектральное разрешение является одним из способов улучшить способность различать элементы, составляющие сигнал дистанционного зондирования. Однако необходимо понимать, что именно комбинация спектрального разрешения, спектрального интервала дискретизации и количества спектральных диапазонов (вместе с спектральным диапазоном дискретизации) позволяют различать больше компонентов и / или более сложные распределения.

Что следует учитывать в отношении спектрального разрешения:

- Количество или выбор спектральных полос (красный, зеленый, синий, NIR, SWIR, тепловой и т. д.)
- Ширина каждой полосы
- Определенные спектральные полосы (или комбинации) хороши для определения конкретных характеристик грунта.

На рисунке 2 отчетливо видна разница спектральных кривых трех снимков. График данных, полученных со снимка Landsat, который имеет семь спектральных полос, не имеет достаточной четкости по сравнению с графиком данных ASTER (имеет 14 спектральных полос) и гиперспектрального снимка.

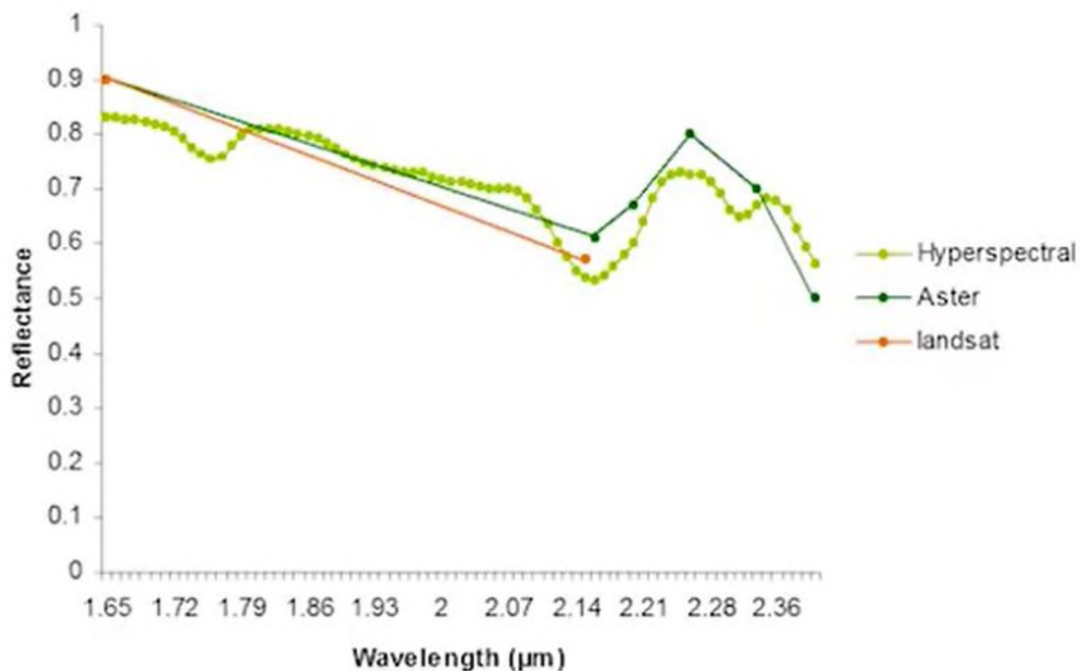


Рис.2 Спектральная отражательная способность минерала аланин. Данные получены со снимков Landsat, ASTER и WorldView3

Гиперспектральные снимки имеют сотни спектральных полос, что позволяет извлекать уникальные спектральные сигнатуры. Объединение информации, извлеченной из таких снимков с геофизической информацией позволяет лучше контекстуализировать результаты и обеспечить цели с большей уверенностью для дальнейшего наблюдения в этой области.

Здесь видно, что Landsat, который не предоставляет никаких отличительных признаков, помогает отличить этот минерал от любого другого с аналогичной картиной поглощения, потому что он имеет только две спектральные полосы 5 и 7. Дополнительные полосы ASTER имеют очень похожее расстояние между полосами в квадрате, и дают более ясное представление о форме спектров через его пять спектральных полос в этой области, но все еще не позволяет предоставить точное соответствие с учетом того, что большинство минералов гидроксилглины имеют точки поглощения между двумя точками от шести до двух точек два микрометра. В отличие от этого гиперспектральный снимок имеет много узких полос и поэтому может демонстрировать гораздо более тонкие изменения, уникальные для конкретных минералов.

### Пошаговый процесс

Пошаговый процесс разведки полезных ископаемых обычно включает в себя следующие начальные этапы визуализации, где выбираются комбинации спектральных полос

для оптимизации наиболее интересных характеристик. После того как композит был определен для выделения объектов, можно увидеть первоначальную обработку, включая соотношения и основные компоненты для определения начальных областей потенциальных аномалий, а затем уменьшения шума и извлечения любых элементов для более детального спектрального картирования и классификации. Но процесс может незначительно отличаться в зависимости от вида месторождения или земельного покрова в регионе, поскольку это может означать, что некоторые инструменты и алгоритмы, которые можно использовать, просто не будут подходящими, и поэтому процесс будет адаптирован для оптимизации результатов разных областей.

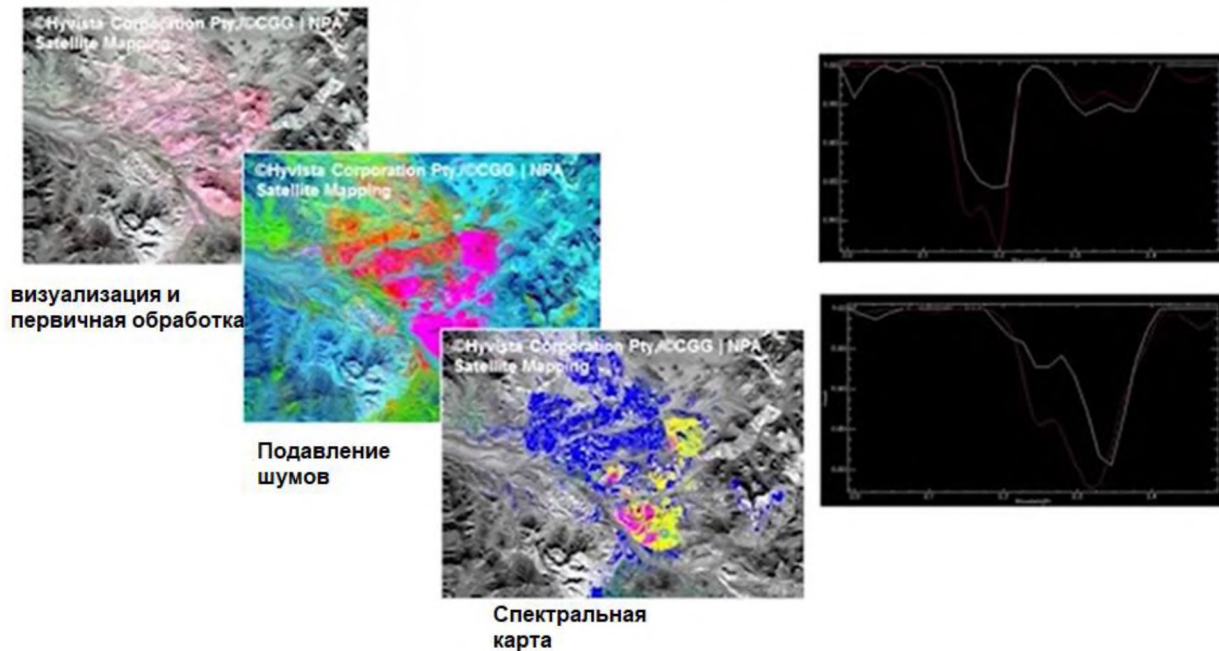


Рис.3 Пошаговый процесс разведки полезных ископаемых

На рисунке 3 представлены 2 графика – извлеченные спектры из обработанных изображений. На верхнем изображено спектральная отражательная способность каолинита, а на нижнем хлорида. Кривая красного цвета является эталонным спектром, белым изображены спектры, извлеченные из изображения после завершения спектральной обработки. Это позволяет накладывать спектральные результаты на структурную информацию для создания целевых областей.

### Выводы

В результате обзора применения спектрального анализа и дистанционного зондирования для разведки полезных ископаемых можно сделать следующие выводы:

1. VNIR (ВБИК) и SWIR (КБИК) позволяют картировать изменения поверхности, которые могут быть связаны с месторождениями металлоорганических руд.
2. Спектральное разрешение играет важную роль в картировании минералов.
3. Гиперспектральные снимки дают более детальную информацию о спектральных характеристиках конкретных минералов.

### Список литературы

1. Губин В.Н., Дистанционные методы в геологии, –Мн.: БГУ, 2004.– 138 с.
2. Козин Е.С. Автоматизация привязки космических снимков // Материалы 6-го Сибирского совещания по климато-экологическому мониторингу, 14-16 сентября 2005 г. Томск: Ин-т мониторинга климат. и эколог. систем СО РАН, 2005. С. 421– 423.

### **Известия КГТУ им. И.Раззакова 51/2019**

---

3. Курик, а. А. Спектральные изображения [Текст] / А. А. Курик, К. Пейвн // Randall B. Smith, Ph.D. Introduction To Hyperspectral Imaging, 12 august. - 1999. - № 12. – p.3-4.
4. Enton Bedini, The use of hyperspectral remote sensing for mineral exploration: a review, Journal of Hyperspectral Remote Sensing v.7, n.4 (2017) 189-211
5. Freek van der Meer, Steven de Jong, Spectral mapping methods: many problems, some solutions.