

**ОЦЕНКА ГЕОЛОГИЧЕСКОЙ ИНФОРМАТИВНОСТИ
МНОГОСПЕКТРАЛЬНЫХ КОСМИЧЕСКИХ ИЗОБРАЖЕНИЙ
НА ОСНОВЕ ИНСТРУМЕНТАЛЬНОГО ОПТИЧЕСКОГО ФОТОТОНОМЕТРА**

Азимов Ботир Ганиевич

к.г.м.н., Докторант Ташкентский государственный
технический университет, Ташкент, Узбекистан

Эркинова Камола

Докторант, Докторант Ташкентский государственный
технический университет, Ташкент, Узбекистан

Алмордонов Абдулла Ровилович,

старший преподаватель, К.г.м.н: доцент Ташкентский государственный
технический университет, Ташкент, Узбекистан

Аннотация

Когда компьютер оценивает геологическую информацию в комплекте многоспектральных космических изображений, фототон – основной дешифровочный признак – делится на 256 градаций. Такая градация фототона не может быть визуально воспринята человеческим глазом. В результате даже ведущий геолог становится простым интерпретатором изображения, обработанного программистами. Создан 10-балловый инструментальный фототонетр, способный качественно и количественно оценивать эталоны фототонов, разделенных компьютером, по цифровым данным, полученным с космического спектрометра. Разработан метод построения графика кривых, показывающих закономерности изменения фототона в зависимости от спектрального диапазона космических снимков, определяющего состав геологических данных. Метод построения графика кривых фототонов позволил впервые определить понятие фотополя - антонима фотоаномалии.

Ключевые слова: оценка сравнительная, геологическая информативность, комплект многоспектральных космических изображений, Средняя Азия, комбинация каналов, минеральные индексы.

ВВЕДЕНИЕ

Комплекты многоспектральных изображений Landsat (1972 г.), особенно комплект многоспектральных изображений Метеор-Природа 28 (1977 г., рис. 1–4), стали неожиданным сюрпризом для геологов-экспертов, занимающихся визуальным дешифрированием.

В видимом (0,5-0,6 и 0,6-0,7 мкм), переходном (0,7-0,8 мкм) и ближнем инфракрасном (0,8-1,0 мкм) диапазонах спектра на этом изображении установленные оптические дешифровочные признаки, описывающие геологическую содержательную информацию, а именно плотность фототонов имела значительная количественная разница.

В каком спектральном диапазоне многоспектрального комплекта изображений фототонны отражают реальный геологический состав, а в каком нет, остается открытым вопросом.

Вторым серьезным ударом для геологов визуального дешифрирования оказалось широкое практическое применение компьютера. Когда компьютер оценивает геологическую информацию в комплекте многоспектральных космических изображений, фототон – главный дешифровочный признак – делится на 256 градаций. Такая градация фототона не может быть визуально воспринята человеческим глазом. В результате даже ведущий геолог становится простым интерпретатором изображения, обработанного программистами.

Создание инструментарий, способного определять на компьютере плотность стандартных эталонных фототоннов на основе цифровых данных, полученных с космического спектрометра, и оценивать их качественно и количественно, стало наиболее актуальной задачей сегодняшнего развития науки изучения Земли из космоса.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

23 июля 1972 года был запущен спутник Landsat. В бывшем Советском Союзе первые комплекты Landsat были визуально дешифрированы В.И. Паниным и С.Ф. Скобелевым. Геометрическую дешифровку они выполнили правильно, но пришли к неправильному выводу, что фототон, определяющий геологическую информацию комплекта, в первую очередь изменен атмосферой.

Начиная с 26 августа 1977 г. начали поступать комплекты космических снимков «Метеора-28», сделанные в 4-х диапазонах видимого и ближнего инфракрасного электромагнитного спектра (рис. 1-4).

В настоящее время разработан инструментальный оптический фототонметр, определяющий относительную геологическую информативность по комплекту многоспектральных космических изображений (рис. 5). Как видно из рисунка инструментальный оптический фототонметр выполнен в виде таблицы [1].

В ячейках первой строки таблицы размещены стандартные эталоны фототона в 10 баллов.

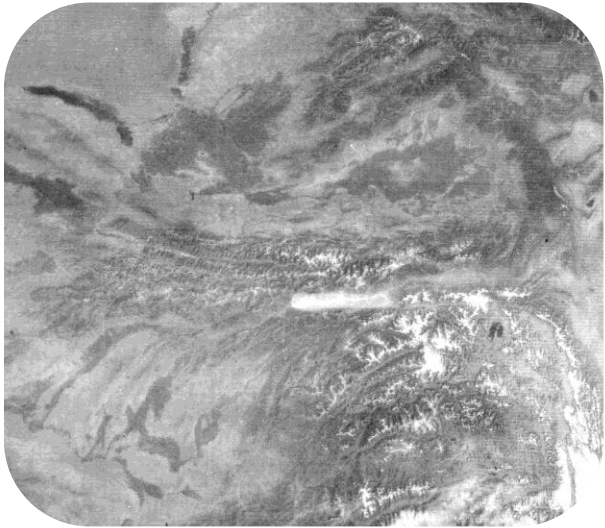
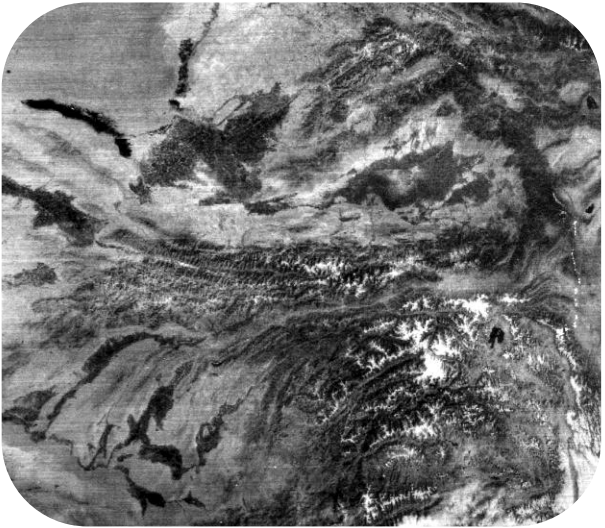
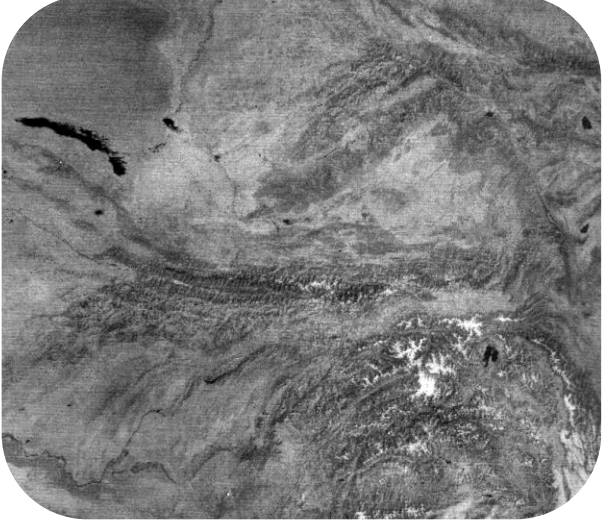
Ячейки второй строки таблицы представляют собой плотность стандартных эталонных фотонов, определенную компьютером по данным космического спектрометра.

В ячейках третьей строки таблицы указан максимальный уровень генерализованной плотности в этих стандартных эталонах фототоннов.

В ячейках четвертой строки таблицы показаны значения единицы в стандартных эталонных фототонах, оптимально различимых человеческим глазом.

Ячейки пятой строки таблицы показывают, насколько значения единиц стандартных эталонных фототоннов, оптимально различаемых человеческим глазом, соответствуют значениям единиц полевого спектрометра.

**Рисунки 1-4. Спектральные диапазоны комплекта многоспектральных
космических изображений Метеор Природа 28**

	
Рис. 1. Канал 1. Спектральный диапазон (0,5-0,6 мкм)	Рис. 2. Канал 2. Спектральный диапазон (0,6-0,7 мкм)
	
Рис. 3. Канал 3. Спектральный диапазон (0,7-0,8 мкм)	Рис. 4. Канал 4. Спектральный диапазон (0,8-1,0 мкм)

Цель статьи – оценить геологическую информативность комплекта многоспектральных космических изображений Центральной Азии на основе инструментального оптического фототонметра.

Стандартные эталоны фототонов										
№	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1.										
2.	0÷ 13	14÷ 40	41÷ 66	67÷ 93	94÷ 120	121÷ 146	147÷ 172	173÷ 198	199÷ 224	225÷ 255
3.	13	40	66	93	120	146	172	198	224	255
4.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
5.	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0

Рис. 5. 10-балльный инструментальный оптический фототонometr

Принцип работы инструментального оптического фототонометра заключается в следующем.

1. Комплект многоспектральных космических изображений импортируется в программное обеспечение ArcGIS.
2. Десятибалльные космофотометрические карты создаются в ArcGIS с использованием меню «Цветной лидар по классификации».
3. В зависимости от используемого спектрального диапазона космофотометрических карт строится график кривых изменения стандартных эталонов фототона геолого-геоморфологических и других природных объектов.
4. На основе графика кривых оценивается относительная геологическая информативность комплекта многозональных космических снимков исследуемой территории.

Насколько эффективен инструментальный оптический фототонometr и на его основе созданный график при оценке относительной геологической информативности комплекта многоспектральных космических снимков, мы рассмотрим на примере Ферганской межгорной впадины и ее горного обрамления.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЯ

На синхронно полученных многозональных космических изображениях на территориях Ферганской межгорной впадины и ее горного обрамления (см. рис.1-4) при инструментальном дешифрировании обнаруживается качественная изменчивость главного дешифровочного критерия фототона в различных спектральных диапазонах.

Поэтому возникла задача, количественно оценить эту изменчивость распознавания геологических объектов на многозональных космических изображениях.

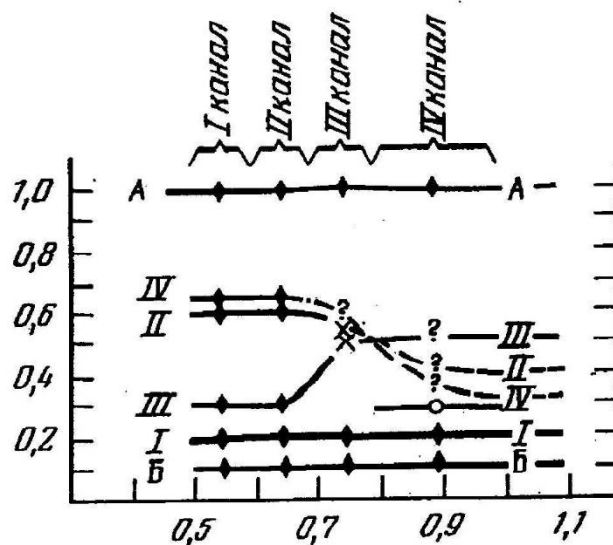
Для решения поставленной задачи нами рассматриваются комплекты КСИ мелкого (масштаб 1:7500000-8000000) масштаба. Анализ их позволил нам составить график (рис.6).

Как видно из приведенного графика, в зелено-красных частях спектра (зоны 0,5-0,6 и 0,6-0,7 мкм) характер расположения кривых существенно не различается. В этих диапазонах кроме кривых А-А и Б-Б (снег-ледник с фотоплотностью - 10 и поверхности водохранилищ с фотоплотностью - 1) имеется четыре параллельные кривые:

I - шероховатый, с темно-серой тональной структурой фотоплотностью $14 \div 40$; II - серий, местами до светло-серого с фотоплотностью $121 \div 146$; III - зернистый темно-серый с фотоплотностью $41 \div 66$; IV - крупнопятнистый светло-серый с фотоплотностью $147 \div 172$. Тип I (на графике кривая I-I), который имеет темно-серый фототон с шероховатой тональной структурой, является одним из самых устойчивых индикаторов эрозионного рельефа горного обрамления территории, однако оно выражено неодинаково на КС. Горные хребты, в которых домезозойский фундамент приподнят выше 4000 м (Туркестанский, Алайский, Ферганский), на изображениях оконтуриваются четко, тогда как в более низких хребтах (Чаткальском, Кураминском, Зиаэтинском, Зирабулакском, Кульджуктауском) шероховатость сглажена, и контуры более расплывчатые.

Тип II (на графике кривая II-II - серий фототон, местами изменяющийся до светло-серого) совпадает с невысокими пустынными грядами, так называемыми адырами. Адыры являются молодыми поднятиями и сложены неоген-четвертичными отложениями. На изображениях этот тип хорошо прослеживается вдоль северной окраины впадины. Четко оконтуривается также субширотная полоса адыров вдоль ее южной окраины.

Дешифрируется разделение южной полосы адыров на две ветви. Ясно, светло-серым фототонном вырисовывается Андижанская полоса адыров, которая кулисно подставляет Чимионскую полосу. Ареал этого фототона восточнее г. Ферганы отклоняется на северо-восток и, образуя диагональную перемычку, сливается с предгорьями Ферганского хребта.



Кривые на графике характеризуют: А-А - снег - ледник, белый фототон, оконтуривающийся на Туркестано-Алайской высокогорной системе во всех спектральных диапазонах; Б-Б - поверхность водохранилищ, которые четко выделяются гладким черным фототоном во всех спектральных диапазонах; I - I - области поднятия домезозойского фундамента с сильно расчлененным рельефом; II - II - зоны предгорий с адырным рельефом, сложенным неоген-четвертичными отложениями; III - III - впадины со средне- и позднеплейстоценовым покровом, ровным, местами слабо холмистым рельефом, с обильной современной флорой; IV - IV - возвышенности с эоловыми образованиями. Сплошные линии - четко оконтуриваемые фотоаномалии; штрих-пунктирные - фотоаномалии, выделенные в других спектральных диапазонах, но в данной части спектра имеющие расплывчатые контуры; штриховые - фотоаномалии, выделенные в других спектральных диапазонах, но в данной части спектра не оконтуриваемые; ромбики - фотоаномалия, имеющая повсеместно четко отличимые одинаковые фотоплотностями; X - фотоаномалия с плохо оконтуриваемым фотоплотностями из-за расплывчатости контуров; ? - фотоаномалия, выделенная в других спектральных диапазонах, которая в данной части спектра не оконтуривается, вследствие чего усредненные фотоплотностями не известны; кружок - фотоаномалия, не совпадающая с фотоаномалиями, выделенными в других спектральных диапазонах, и интерпретируемая на основе геолого-геофизических данных как погребенные структуры фундамента

Рис. 6. График изменения фотоплотностей геолого-геоморфологических и других природных объектов в зависимости от использованного спектрального диапазона МКИ Тип III (на графике кривая III-III) выделяется зернистым темно-серым фототоном. На КСИ данный тип оконтуривает Ферганскую, Куршабскую, Кашкадарьинскую, Бухарскую, Бешкентскую и другие впадины. Впадины покрыты отложениями средне-позднеплейстоценового и голоценового возраста, имеют ровный, местами слабохолмистый рельеф, с обильной растительностью. Видимо, обильная современная флора и обводненность придают изображению темный фототон с зернистым оттенком. Тип IV (на графике кривая IV-IV) представлен крупнопятнистым светлым фототоном, фиксирует широко развитые песчаные возвышенности, в частности Яванскую и Каракалпакскую степи Ферганской впадины. Фотополя четко вырисовываются на общем темно-сером зернистом фоне аккумулятивных равнин собственно Ферганское кайнозойской мегасинклинали.

Таким образом, на графике в зелено-красной части спектра (0,5-0,7 мкм) наиболее отличимые фотоплотностями (кривые I-I, II-II, III-III и IV-IV) имеют геолого-геоморфологические черты поверхности территории.

На графике в диапазоне 0,7-0,8 мкм сильно изгибается кривая III-III (фотоплотность от 0,41÷66 единиц увеличивается до 94÷120 единиц); слабее изменяется фотоплотность кривой II-II (от 121÷146 до 94÷120 ед.); фотоплотности кривой I-I не изменяется; фотоплотности на кривой IV-IV таковы, что на изображениях в данной части спектра соответствующие ей образования не отличаются от соседних площадей. Основной причиной этого является соответственное изменение фотоплотности других типов объектов. Из приведенного графика видно, что в первую очередь это касается кривой III-III, характеризующей аккумулятивные равнины. Действительно, фотополя III,

оконтуривающий собственно Ферганскую кайнозойскую мегасинклиналь, Куршабскую и Кашкадарьинскую впадины, изменяется от темно-серого (фотоплотностью $41 \div 66$ ед.) до светло-серого (фотоплотность $94 \div 120$ ед.) фототона с зернистым строением. Резкое увеличение фотоплотности у типа III приближает его к объектам типов II и IV, в связи с чем контуры объектов IV, т.е. песчаные возвышенности среди аккумулятивных равнин, не прослеживаются, а тип II, представляющий невысокие пустынные гряды, сложенные неоген-четвертичными отложениями, вырисовывается не повсеместно. Прослеживанию поддаются предгорная адырная зона Северо-Ферганской и Аламышикской (Андижанской) полосы. Характерно, что граница между аккумулятивной равниной и адырной зоной хорошо видна только там, где центральная впадина отделена от окраинных структур флексурно-разрывными зонами.

Более информативной становится кривая I-I, характеризующая выходы палеозоя; она надежно выделяется и в более низких частях Чаткало-Кураминской горной системы.

Таким образом, на графике в части спектра $0,7-0,8$ мкм, вследствие сближения между собой фотоплотности у кривых II-II, III-III IV-IV геоморфологическая зональность территории на космических снимках читается хуже, и поэтому изображение горного обрамления с выходами палеозоя, характеризующегося кривой I-I, повсеместно ухудшается.

Обратимся теперь к особенностям графика в диапазоне волн $0,8-1,1$ мкм. Фотоплотность палеозойских образований, характеризуемые кривой I-I с увеличением длины волны существенно не изменяется, но соответствующая этой кривой фотоаномалия I в диапазоне $0,8-1,1$ мкм дешифрируется лучше всего. Ее ареалы выделяются в высокогорьях (Туркестанский, Алайский, Ферганский хребты) резким, а в низкогорьях (западные части Кураминского и Чаткальского хребтов) сглаженным варьирующим фототонам. Объекты типов II и III видны в этом диапазоне хуже всего. Границы между типами II (адырный рельеф) и III (аккумулятивный рельеф с обильной флорой) практически не поддаются прослеживанию. Поэтому информация о поверхностных геолого-геоморфологических объектах оказывается минимальной. Но на всех космических снимках в диапазоне $0,8-1,1$ мкм резко улучшается изображение линейных полос. Последние по расположению, простираению и размерам отождествляются с известными глубинными разломами: Южно-Ферганским, Северо-Ферганским, Таласским, Ферганским, Кумбель-Кокандским и др. Вместе с тем на анализируемых КСИ между Южно-Ферганским и Северо-Ферганским глубинными разломами на площадях с крупно - ($100-25$ км) и мелкопятнистым ($40-10$ км) рисунками в общем серого фототона различаются более темные ареалы фотоаномалий. Выделяемые фотоаномалии не совпадают и даже пересекают контуры объектов, отдешифрированных в других спектральных диапазонах, но неразличимых в диапазоне $0,8-1,1$ мкм. Это наводит на мысль, что ареалы рассматриваемых фотоаномалий (на графике они отмечены кружком) несут иную информацию, нежели известные поверхностные геолого-геоморфологические объекты, а эта информация относится главным образом к глубинным образованиям. Такое предположение подтвердилось на основе корреляции графиков оптических фотоплотностей разномасштабных многозональных космоснимков с геологическими, геофизическими и геоморфологическими данными.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На основании выше изложенного можно сделать следующие выводы.

1. Сплошные кривые I-I, II-II, III-III и IV-IV с резко отличимыми фотоплотностями на графике наглядно показывают, что в видимой части спектра (0,5-0,7 мкм) геолого-геоморфологические образования земной поверхности хорошо дифференцируются по отражательным способностям. Дешифрируются элементы четвертичной геологии и рельеф, коррелирующийся с литолого-стратиграфическими комплексами и структурами поверхности.
2. В части спектра 0,7-0,8 мкм кривые II-II, III-III IV-IV характеризуются близкими фотоплотностями, т.е. отражательные способности поверхностных геолого-геоморфологических структур близки, вследствие чего контуры их расплывчаты. На этих КСИ хорошо оконтуривается горное обрамление территории с выходами палеозойского фундамента (тип I-I).
3. В ближних инфракрасных частях спектра (0,8-1,1 мкм) информация о поверхностных геолого-геоморфологических чертах (штриховые кривые II-II, III-III, IV-IV) минимальна. Однако проступают линии, полосы и ареалы, коррелирующиеся с зонами глубинных разломов, поднятиями и впадинами погребенного основания. Необходимо подчеркнуть, что приведенные здесь результаты и выводы построены на основе визуального дешифрирования. Для более достоверной оценки спектральных характеристик геологических образов и других природных объектов, дешифрирующихся на многозональных КСИ, а также для проверки вышеизложенных выводов, мы привлекли метод статистической обработки этих материалов с помощью инструментальных измерений.

Литература

1. Azimov B.G. Yer yuzasini distantson zondlash. (O'quv qo'llanma). –T.: «Innovatsion rivojlanish nashriyot-matbaa uyi» 2022, 252 b.