

ISSN 1607–2855

Том 2 • № 1 • 2001 С. 25 – 28

УДК 523.34

## Связь между химико-минералогическими параметрами лунной поверхности и колор-индексом

А.И. Стреблянская, Д.Г. Станкевич

Астрономическая обсерватория Харьковского национального университета.

*В данной работе найдены оптимальные длины волн для определения химико-минералогических параметров лунного грунта: содержания FeO, TiO<sub>2</sub>, ильменита и величины индекса зрелости I<sub>s</sub>/FeO. Найдены широкие и тесные пары длин волн в разных спектральных диапазонах. Показано, что наилучшие значения  $\lambda_1/\lambda_2$  часто оказываются принадлежащими ИК-диапазону, а общеупотребительные значения часто дают худшие результаты и по коэффициентам корреляции и по ошибке определения искомого параметра.*

*ЗВ'ЯЗОК МІЖ ХІМІКО-МІНЕРАЛОГІЧНИМИ ПАРАМЕТРАМИ МІСЯЧНОЇ ПОВЕРХНІ І КОЛОРИНДЕКСОМ, Стреблянская А.І., Станкевич Д.Г. – У даній роботі вперше знайдені оптимальні довжини хвиль для визначення наступних хіміко-мінералогічних параметрів: вмісту FeO, TiO<sub>2</sub>, ільменіту і величини індексу зрілості I<sub>s</sub>/FeO. Знайдено широкі і близькі пари довжин хвиль у різних спектральних діапазонах. Показано, що найкращі значення  $\lambda_1/\lambda_2$  часто опиняються в ІЧ-діапазоні, а загальноупотребовані довжини хвиль іноді дають гірші результати як по коефіцієнтах кореляції так і по похибці визначення заданого параметра.*

*RELATIONSHIP BETWEEN CHEMICAL AND MINERALOGICAL PARAMETERS OF MOON SURFACE AND COLOR-INDEX, by Streblyanskaya A.I., Stankevich D.G. – In presented work, the optimal wavelengths for determination of FeO, TiO<sub>2</sub>, ilmenite abundances and for maturity index I<sub>s</sub>/FeO are determined. The wide and narrow pairs of wavelengths are found in different waverange. As it is shown, the best values of  $\lambda_1$  and  $\lambda_2$  often belong to IR-range of spectrum. The common-used visible wavelengths pair give us the worse results, both in terms of correlation coefficients and errors of determination.*

### ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

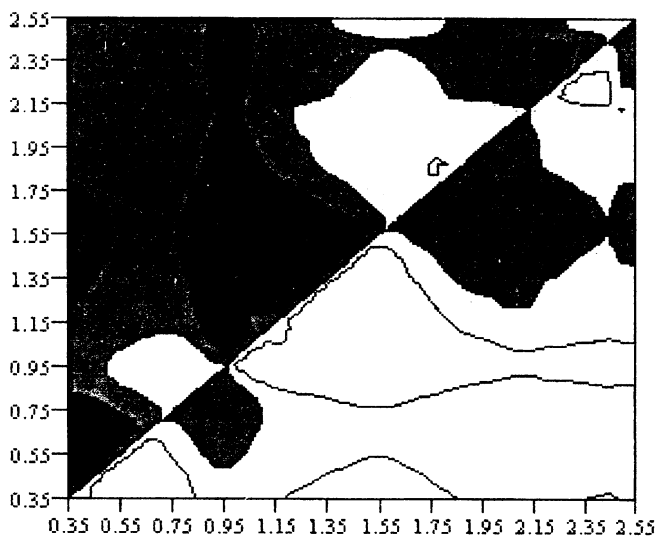
В практике дистанционного определения по оптическим характеристикам грунта Луны его химико-минералогических и структурных параметров широко распространено использование в качестве исходного оптического параметра показателя цвета  $C = A(\lambda_1)/A(\lambda_2)$ , где  $A(\lambda)$  – альbedo на соответствующей длине волне  $\lambda$ . Это простейшая и широко используемая нелинейная функция для спектрального альbedo. При этом обычно остается открытым вопрос о выборе длин волн для вычисления указанных величин. Был ряд работ, в которых авторы пытались связать напрямую химико-минералогических (далее, для краткости, х/м) параметры и колор-индекс, но выбор длин волн для получения показателя цвета был произволен [1] и определялся теми светофильтрами, которые были в наличии у наблюдателя или условиями задачи (поэтому они были часто не наилучшие для определения того или иного параметра). Поэтому исследователи давно задумывались о том, какие длины волн оптимальны для определения колор-индекса. Никто не перебирал все колор-индексы, чтобы определить те, что наилучшим образом коррелируют со значением х/м параметра. Поэтому наша задача состояла в следующем: так подобрать базовые длины волн для вычисления колор-индекса, чтобы коэффициент корреляции между получающимся колор-индексом и заданным х/м параметром оказался максимальным по абсолютной величине.

## ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ

Были использованы спектры, полученные К.Питерс [2] в лаборатории "РЕЛАБ" университета Брауна, часть из которых общедоступна, а часть была любезно предоставлена в наше распоряжение. Для анализа были отобраны данные по 9 образцам морского грунта с мест посадки «Аполлонов – 11, 12, 15, 17». Каждый образец грунтов был рассеян по фракциям 45–20, 20–10 и <10  $\mu\text{m}$ , рассевки получались мокрым просеиванием с трижды дистиллированной водой. Были использованы лабораторные данные Морриса и группы Тейлора [4], которые провели детальный анализ частиц по химическим и минералогическим параметрам. Всего же определено и помещено в базу данных 13 параметров по химии (включая  $I_s/\text{FeO}$ ) и 7 минералогических параметров. Это 25 спектров для разных рассевок плюс 9 спектров образцов, которые не были разделены по размеру (т.е. для изначального химсостава). Спектры измерены на 44 длинах волн от 0.35 до 2.5  $\mu\text{m}$  с шагом 0.05  $\mu\text{m}$  по длине волны. В зависимости от поставленной задачи, мы использовали набор из 34 – для определения химических параметров или 25 (только рассевки) спектров – для определения минералогии. Спектры измерялись на отражение. Потом они были переведены из спектров отражательной способности в спектры показателя поглощения  $\kappa(\lambda_1)$  с помощью теоретической модели светорассеяния в порошковых средах разработанной Шкуратовым и др. [3], которая учитывает влияние дисперсности материала.

Дело в том, что хотя обычно сравнивают непосредственно химический состав и оптических свойств лунной поверхности, это сравнение должно быть сделано с оптическими свойствами материала формирующего эту поверхность, и размер частиц играет решающую роль в оптических характеристиках грунта. Поэтому, мы переходим от параметров реголита к параметрам среды. Учитывая все выше сказанное, мы в работе использовали уже не альбедо, а  $\kappa$  – мнимую часть показателя преломления (т.к.  $\kappa$  – характеристика самого вещества поверхности и не зависит от ее структуры, и поэтому она теснее связана с химическим составом, чем альбедо). Кроме того мы можем ожидать линейной зависимости между концентрацией хромофорных элементов в веществе и его показателем поглощения. Эту зависимость можно представить в виде  $\kappa(\beta) \sim \beta$ , где  $\kappa$  – мнимая часть показателя преломления (показатель поглощения), а  $\beta$  – концентрация хромофорных элементов вызывающих это поглощение.

Учитывая все это перейдем от альбедного колор-индекса к колор-индексу показателя поглощения.



Q

Рис.1. Распределение коэффициентов корреляции для пары параметров –  $\text{TiO}_2$  и  $S_k(\lambda_1, \lambda_2)$ . На рисунках наиболее яркие и темные области соответствуют максимальным коэффициентам корреляции (от 0.7 до 0.9 и от -0.7 до -0.9, соответственно).

Таблица 1

	$\lambda_1$	$\lambda_2$	W	A	B	$\sigma$ , %	Комментарий к паре
FeO	2.50	2.45	-0.814	186	-172	1.07	Тесная. ИК
FeO	0.80	1.30	-0.777	38.0	-26.8	1.16	Широкая. Ближний ИК
FeO	0.85	1.05	-0.733	40.4	-28.4	1.26	Тесная. Ближний ИК
FeO	0.45	0.5	-0.688	86.8	-73.8	1.34	Тесная. ВИЗ
I <sub>s</sub> /FeO	2.50	2.45	0.687	-3118	3212	29.7	Тесная. ИК
I <sub>s</sub> /FeO	0.80	1.30	0.627	338	478	31.8	Широкая. Ближний ИК
TiO <sub>2</sub>	0.90	1.60	-0.889	44.4	-41.3	1.36	Широкая. ИК
TiO <sub>2</sub>	1.25	1.30	-0.887	419	-415	1.43	Тесная. ИК
TiO <sub>2</sub>	0.50	0.45	0.741	-119	121	2.00	Тесная. ВИЗ
TiO <sub>2</sub>	0.65	0.40	0.699	-26.4	28.2	2.13	Широко используется. ВИЗ
Ильменит	1.30	1.25	0.849	-495	499	1.85	Тесная. ИК
Ильменит	1.00	1.75	-0.751	54.3	-50.3	2.31	Широкая. ИК
Ильменит	0.50	0.45	0.620	-113	115	2.74	Тесная. ВИЗ

Для этого перехода существуют разные модели, мы использовали модель светорассеяния в порошковых средах (модель Шкуратова [3]), позволяющую от оптических характеристик рассеивающего слоя перейти к параметрам вещества этого слоя. Эта модель является приближенной, однако, она неплохо зарекомендовала себя в оптике безатмосферных небесных тел.

Далее нами был посчитан колор-индекс показателя поглощения  $C_k(\lambda_1, \lambda_2) = \kappa(\lambda_1)/\kappa(\lambda_2)$ . Имея лабораторные измерения содержания FeO, TiO<sub>2</sub>, ильменита (основного титансодержащего минерала) и показателя зрелости I<sub>s</sub>/FeO для всех образцов, мы рассчитали коэффициенты корреляции W между  $C_k(\lambda_1, \lambda_2)$  и соответствующими химико-минералогическими параметрами и выбрали те длины волн, при использовании которых этот коэффициент максимален. Следовательно, коэффициент корреляции W является функцией от  $\lambda_1$  и  $\lambda_2$ . Для наглядности построены диаграммы распределения коэффициентов корреляции W в координатах  $\lambda_1, \lambda_2$  (для примера приведена диаграмма для содержания титана, рис.1), где были определены экстремумы, соответствующие высоким коэффициентам корреляции и, следовательно, оптимальным длинам волн. Также построены регрессионные диаграммы для лучших результатов по x/m параметрам (рис.2, 3).

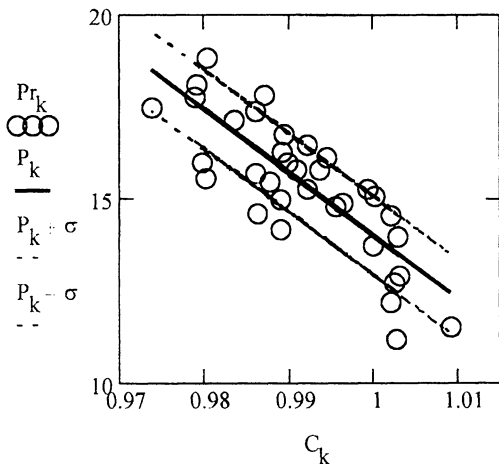


Рис.2. Регрессионная диаграмма для определения содержания FeO (%) по показателю цвета  $C$  (2.5/2.45 μm)

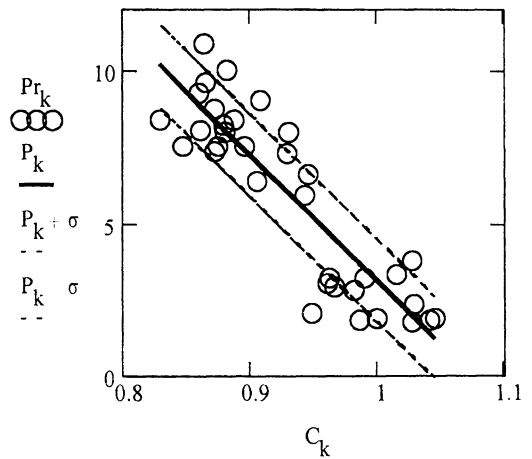


Рис.3. Регрессионная диаграмма для определения содержания TiO<sub>2</sub> (%) по показателю цвета  $C$  (0.9/1.6 μm)

## ОПТИМАЛЬНЫЙ КОЛОР-ИНДЕКС: РЕЗУЛЬТАТЫ

Оптимальные длины волн, относительная ошибка определения параметра  $\sigma$ , значения коэффициентов корреляции  $W$  и коэффициентов  $A$ ,  $B$  регрессионного соотношения  $P = A + BC_k$ , приведены в табл. 1. Показано, что оптимальный выбор  $\lambda_1/\lambda_2$  может существенно улучшить точность определения  $P$  по  $C_k$ , где  $P$  – определяемый параметр. В некоторых случаях можно найти несколько локальных экстремумов коэффициента корреляции в пространстве длин волн, соответствующих нескольким решениям задачи оптимального выбора длин волн. Помимо численного значения коэффициента корреляции при этом мы учитывали, что не все длины волн одинаково удобны для наблюдения. Например, в случае, если оптимум соответствует выбору инфракрасного участка спектра, мы находили также и субоптимальное решение в видимой области более удобной для наблюдений.

В некоторых случаях высокие коэффициенты корреляции соответствуют близким (тесным) парам длин волн – это удивительно и трудно объяснимо, и в тоже время неудобно для измерений на широкополосной спектральной колориметрической технике. Поэтому были найдены и широкие пары длин волн – в столбце «Комментарий к паре» указано, какова данная пара (широкая или тесная), а также диапазон длин волн (ИК – инфракрасный, ВИЗ – визуальный).

1. *Charette M.P., et al.* Application of remote spectral reflectance measurements to lunar geology classification and determination of titanium content of lunar soils. – J. Geophys. Res. – 1974. – 79. – P.1605–1613.
2. *Pieters C.M. and Taylor L.A.* Visible to mid-infrared spectra of lunar mare soils // In Lunar and Planetary Science XXIX, Abstract # 1827, LPI, Houston (CD-ROM), 1998.
3. *Taylor L.A., Morris R.V.* Mineralogical characterization of lunar mare soils. In Lunar and Planetary Science XXIX, Abstract # 31, LPI, Houston (CD-ROM), 1999.
4. *Shkuratov Yu., Starukhina L., Hoffmann H., Arnold G.* A model of spectral albedo of particulate surfaces: implication to optical properties of the Moon. – Icarus. – 1999. – 137, 2. – P.235–246.

Поступила в редакцию 10.07.2001