15. Shurov V.I., Gninenko U.I., Lengesova N.A., Gninenko M.U. Elm sawfly in the European part of Russia / / Protection and Quarantine rasteniy. 2012. Number 2. – P.37-39
16. Blossey, B., Notzold, R. Evolution of increased competitive ability in invasive nonindigenous plants: a hypothesis.//J. Ecol.,- 1995, -Vol. 83, P. 887-889.
17. MacArthur. Patterns of species diversity//Biol. Reviews -1965. -№ 40. -P. 510-533. MacArthur Selection for life tables in periodic environments// Amer. Natur. -1968.-№ 102.-P.381-383.
18. MacArthur g. Geographical Ecology. -1972. -269pp. Harper and Row.
19. Mack R.N., Simberloff, D., Lonsdale, W.M., Evans H., Clout, M. and Bazzaz F.A.. Issues in Ecology. Biotic invasions: causes, epidemiology, global consequences, and control// Ecological Applications.- 2000 -№10 (3). -P. 689-710.
20. Moyle P.B., Light T. Fish invasions in California: do abiotic factors determine success// Ecology – 1996- Vol.77- No.6- P. 1666-1670.
21. Nei M., Maruyama T., Chakraborty R. The bottle neck effect and genetic variability in populations// Evolution, -1975, Vol. 29,- P.l-10.
22. Pimentel D., McNair S., Janecka J., Wightman J., Simmonds C., O'Connell C., Wong E., Russel L., Zern J., Aquino T., Tsomondo T. Economic and environmental threats of alien plant, animal, and microbe invasions// Agriculture, Ecosystems and Environment. 2001.-№ 84.-P. 1–20.
23. Ruesmink J. L., Parker I. M., Groom M. J. & Karieva P. M. Reducing the risks of nonindigenous species introductions: Guilty until proven innocent// Bioscience- 1995.-№ 45.- P. 465-77.
24. Rodda GH, Sawai Y, Chiszar D, Tanaka H (1999) Problemsnake management: the Habu an the brown treesnake//. Comstock Publishing Associates, Ithaca-1999
25. Southwood, T.R.E., 1978. Ecological Methods With Particular Reference to the Study of Insect Populations// Chapman and Hall, London,.-1978.- 692pp.
26. Williamson, M.. Biological Invasions//Chapman and Hall. -1996.-
27. Whittaker R.H., Feeny P.P. Allelochemicals: chemical interactions between species// Science. -1971.-Vol. 171- P. 757-770.
28. Whittaker, R. H. 1972. Evolution and measurement of species diversity/// Taxon. -1972. Vol.-21. P. 213-/251/

УДК 573; 57.087; 519.7

СИНТЕЗ ОБЩЕЙ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ СПЕКТРАЛЬНОЙ ХАРАКТЕРИСТИКИ ОТРАЖЕНИЯ РАСТИТЕЛЬНОСТИ НА УЧАСТКЕ ПЕРЕХОДА В КОНЦЕ КРАСНОЙ ЗОНЫ

© 2012 **Сулейманова Е.Дж., Мустафабейли Х.Ш.,**
Национального Аэрокосмического Агентства, г. Баку

Проанализированы результаты существующих экспериментальных исследований зависимости содержания хлорофилла в растениях от показателей края красной зоны спектра.

На основе проведенного анализа построена математическая модель зависимости позиции края красной зоны от величины скачка спектральной характеристики.

The article analyses the results of existing experimental studies of the dependence of the content of chlorophyll in plants of indicators edge of the red zone of a spectrum.

Based on this analysis, a mathematical model of the dependence of the position of the edge of the red zone of the value of the jump of spectral characteristics.

Ключевые слова: математическая модель; спектр; хлорофилл; синтез; край красной зоны

Key words: mathematical model; spectrum; chlorophyll; synthesis; red edge position

Хорошо известно, что содержание хлорофилла в кроне растений является одним из показателей таких характеристик физиологического состояния вегетации, как способность фотосинтеза, этап развития, продуктивность и стресс. Вместе с тем, как указывается в [1] распределение хлорофилла в пределах кроны определенного массива растительности изменяется во времени и по трехмерному пространству. С учетом вышесказанного, экстраполяция результатов исследований отдельных деревьев или ветвей тем или иным способом для оценки целой группы или массива деревьев часто приводит к результатам, отличающихся от практических результатов дистанционного зондирования этой же группы или массива растительности в определенном спектральном участке.

Однако, как отмечается в работе [2], зондирование вегетации с расстояния и анализ данных целого массива растительности также обладает определенной погрешностью. Дело в том, что изменчивость количества хлорофилла в листьях растений, приводит к различиям в спектральных характеристиках отражения растения, которые к тому же подвержены некоторым внешним воздействиям почвы, атмосферы, конфигурации кроны и т.д.

Таким образом, логическая последовательность исследований включающая (1) исследование спектра отражения и поглощения; (2) определение содержания хлорофилла по результатам (1) оказывается малопродуктивным для обобщения этих результатов на растительные массивы.

Вместе с тем, следует отметить, что до сих пор ставились и решались задачи спектрального анализа основных показателей растений путем ввода различных вегетационных индексов. Однако, диалектика общего развития подсказывает нам неразрывность таких методов исследования как анализ и синтез, и на определенном этапе развития методов анализа, спонтанно или целенаправленно ставятся и решаются задачи синтеза, логически обратные в отношении задач анализа. Временная задержка между моментами появления казалось бы взаимосвязанных методов анализа и синтеза в основном определяется глубиной анализа и обобщения существующих методов анализа применяемых в конкретных областях исследований.

Отметим, что эмпирическая взаимосвязь между показателями края красной зоны и содержанием хлорофилла известна с работ [3, 4]. Широко известен эффект смещения края красной зоны спектра отражения в область коротких длин волн при увядании растительности под воздействием различных факторов стресса. Например, в работе [5] указывается случай, когда рост содержания хлорофилла от 18 μкг · см$^{-2}$ до 66 μкг · см$^{-2}$ привела к смещению края красной зоны спектра от 695 нм до 721 нм.

Несколько подробно рассмотрим результаты исследования взаимосвязи край красной зоны спектра – общее содержание хлорофилла» изложенные в работе [1]. В результате исследований ветвей растительности из шестнадцати разных участков с помощью спектрорадиометра SE 590 и дальнейшего лабораторного анализа была исследована регрессионная зависимость содержания хлорофилла от позиции края красной зоны. Результаты проведенных исследований показаны на рис. 1.

Как видно из графиков, приведенных на рис. 1, при увеличении содержания хлорофилла в растениях, позиция края красной зоны смещается вправо. В общем случае, в работе [1] получено следующее регрессионное уравнение между содержанием хлорофилла (Chl) и позицией красной зоны (x)

$$Chl\,(мг) = -3510{,}43 + 5{,}07 \cdot x\,(нм). \qquad (1)$$

Следует отметить, что в некоторых случаях исследования растительности в качестве аргумента рассматривается не та длина волны, где производная кривой перехода в конце красной зоны максимальна, а конкретно величина производной в зоне перехода. Например, в работе [2] изложены результаты исследования зависимости содержания хлорофилла в листьях кукурузы и соевых. На рис. 2 приведен график линейной регрессии между содержанием хлорофилла и параметром

$$x_1 = \left(\frac{R_{750-800}}{R_{710-730}}\right) - 1, \qquad (2)$$

где $R_{750-800}$ - разность отраженных радиаций на длинах волн 750 нм и 800 нм; $R_{710-730}$ - разность отраженных радиаций на длинах волн 710 нм и 730 нм.

Уравнение регрессии, полученное в [2] имеет следующий вид

$$Chl\,(мг) = 716{,}32\,x_1. \qquad (3)$$

С учетом

$$x_1 = \frac{C}{\Delta R_{710-730} / \Delta\lambda} - 1,$$

где

$$C = \frac{\Delta R_{750-800}}{\Delta\lambda} = const,$$

а также $\Delta\lambda = (710 - 730)$, выражение (3) перепишем как

$$Chl\,(мг) = 716{,}32 \cdot \frac{C}{\Delta R_{710-730} / \Delta\lambda} - 1. \qquad (4)$$

Для составления дифференциального уравнения в первом приближении примем

$$\frac{\Delta R_{710-730}}{\Delta \lambda} = C_1 \cdot \frac{d\,R_{710-730}}{dx}, \qquad (5)$$

где $C_1 = const$, т.е. допускаем, что средняя величина произвольной $\frac{\Delta R}{\Delta \lambda}$ прямо пропорциональна $\frac{dR}{dx}$.

Поравняв левые стороны выражений (1) и (4) получим

$$-3510{,}43 + 5{,}07\,x = \frac{716 \cdot C}{C_1 \cdot \frac{dR}{dx}}$$

или

$$\frac{dR_{710-730}}{dx} = \frac{A_1}{A_2 x - A_3}, \qquad (6)$$

где $A_i,\ i = \overline{1,3} = const$.

Решение (6) имеет следующий вид

$$\int_{a_1}^{R} dR_{710-730} = \int_{\lambda}^{x} \frac{A_1\,dx}{A_2 x - A_3}. \qquad (7)$$

Решение (7) запишем в следующем виде

$$\int_{a_1}^{R} dR_{710-730}(x) = \frac{1}{A_2} \int_{\lambda_0}^{x} \frac{A\,d(A_2 x - A_3)}{A_2 x - A_3} \qquad (8)$$

Интегрирование выражения (8) осуществляется следующим образом:

$$R_{710-730}(x) - R_{710-730}(\lambda_1) = \frac{1}{A_2}\left[ln\left|A_2 x - A_3\right| - l\,n\left|A_2 \lambda_0 - A_3\right|\right]. \qquad (9)$$

Выражение (9) запишем в следующем виде

$$R_{710-730}(x) = R_{710-730}(\lambda_1) + \frac{1}{A_2}\,l\,n\left|\frac{A_2 x - A_3}{A_2 \lambda_0 - A_3}\right|. \qquad (10)$$

Таким образом, как видно из выражения (10) в предлагаемой модели спектральной характеристики отражения вегетации на участке края красной зоны существует логарифмическая функциональная зависимость между длиной волны, где крутизна спектральной кривой максимальна и амплитудой скачка кривой спектра в этой же зоне.

Заметим, что построенная здесь модель в основном базируется на результатах экспериментальных исследований изложенных в [1-5] и допускает лишь одно предположение (5) о пропорциональности приращений $R_{710-730}$ по λ и по x. Полученная модель (10) может быть использован для определения значения x по величине $R_{710-730}(x)$ и наоборот, для определения $R_{710-730}(x)$ по значениям x.

В заключении сформулируем основные выводы и положения проведенного исследования:

1. Проанализированы результаты существующих экспериментальных исследований зависимости содержания хлорофилла в растениях от показателей края красной зоны спектра.

2. На основе проведенного анализа построена математическая модель зависимости позиции края красной зоны от величины скачка спектральной характеристики.

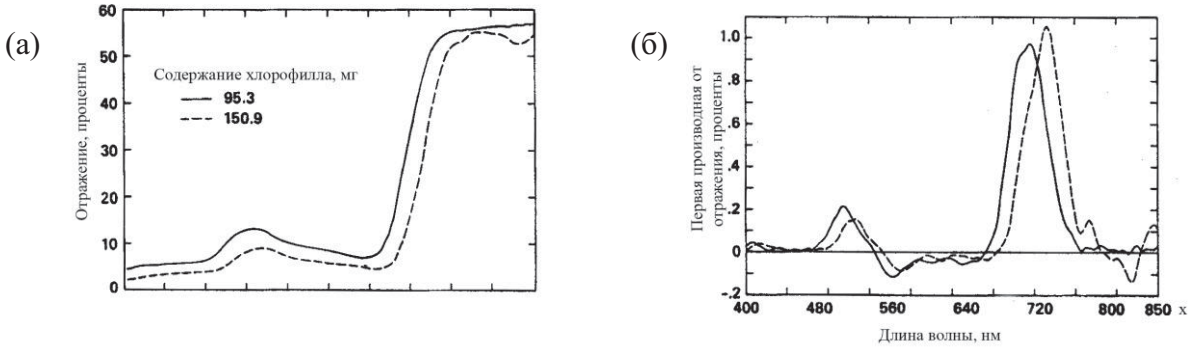

Рис. 1. Спектр отражения (а) и производный спектр отражения части растительности при разных величинах содержания хлорофилла (б).

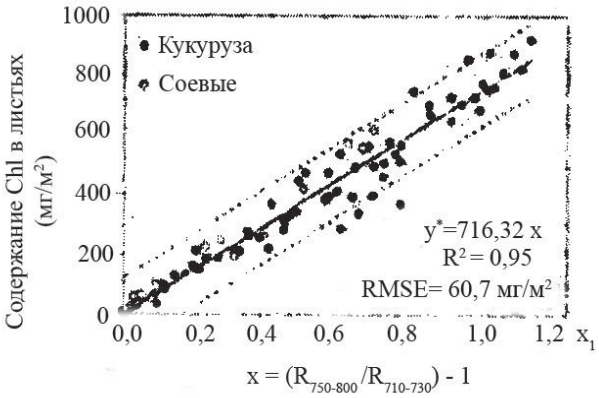

Рис. 2. График линейной регрессии.

Библиографический список

1. Curran P.J., Dungan J.L., Gholz H.L. Exploring relationship reflectance red edge and chlorophyll content in slash pine.
http://treephys.oxfordjournals.org/ by quest on February, 18, 2012
2. Gitelson A.A., Vina A., Ciganda V., Rundquist D.C. Arkebauer T.J. Remote estimation of canopy chlorophyll content in crops // Geophysical Research Letters, 2005, Vol. 32, L08403, doi: 10.1029/2005GL22688.
3. Gates D.M. Biophysical ecology. Springer-Verlag, New York, 1980.
4. Howard J.A., Watson R.D., Hessin T.D. Spectral reflectance properties of Pinus ponderosa in relation to the copper content of the soil, Malachite Mine, Colorado. Proc. 7th Int. Symp. Remote Sensing of Environment. Univ. Michigan, Ann Arbor, pp. 285-296
5. Dockray M. Verification of a new method for determing chlorophyll concentration in plants by remote sensing. M.Sc. Thesis, Imperial Coll. Sci. and Technol., Univ. London.