

ИНФОРМАЦИОНЕН ПОТЕНЦИАЛ НА СПЕКТРАЛНИТЕ ОТРАЖАТЕЛНИ ХАРАКТЕРИСТИКИ НА РАСТИТЕЛНОСТ ПРИ ИЗСЛЕДВАНЕ НА АНТРОПОГЕННИ ВЛИЯНИЯ

Румяна Кънчева

ЦЛСЗВ – БАН
София 1113, България
ул.Акад.Г.Бончев, бл.3
E-mail: rkanchevastil@abv.bg

Деница Борисова

ЦЛСЗВ – БАН
София 1113, България
ул.Акад.Г.Бончев, бл.3
d_borisova_stil@abv.bg

Георги Георгиев

ЦЛСЗВ - БАН
София 1113, България
ул.Акад.Г.Бончев, бл.3
ggeorgievstil@abv.bg

РЕЗЮМЕ

Изключително сериозните екологични проблеми, свързани с антропогенните въздействия върху околната среда, налагат разработването на методи за оценка на влиянието им върху биосферата и по-специално върху почвено-растителните системи. В селското стопанство особено важна е възможността за навременна идентификация на аномални състояния на посевите. В работата се разглежда използването на спектралните отразителни характеристики като информационен признак за състоянието на растителността и за количествена оценка на влиянието на антропогенни фактори. Представени са някои резултати от наземни спектрометрични изследвания на селскостопанска растителност, отгледана в условията на различни антропогенни въздействия (хранителен режим, замърсяване на почвата с тежки метали).

Специалното внимание, което се отделя на екологичните проблеми, свързани с антропогенното влияние върху околната среда и преди всичко върху растителните системи, обуславя важността на изследвания, насочени към намирането на ефективни начини за ранна и навременна фитодиагностика. Доказани възможности в това отношение имат дистанционните методи, чието приложение е от особен практически интерес за идентификация на аномални състояния (Kancheva, *et al.*, 1992; Shibayama *et al.*, 1993 Кънчева и др., 1996) на растителността, предизвикани от различни стресови фактори, като например замърсяване на почвата с токсични елементи.

Настоящата работа има за цел да илюстрира приложението на спектрометрични данни за мониторинг на селскостопански култури при наличието на антропогенни въздействия, които в случая са представени с различно по вид и количество азотно наторяване и присъствие на тежки метали в почвата.

Фактът, че природните образувания отразяват, поглъщат и излъчват падналата върху тях слънчева радиация по различен, характерен за тях начин, лежи в основата на дистанционните изследвания. За почви и растителност широко приложение е намерил видимият и близкият инфрачервен спектрален диапазон (0.4-1.3 μm), поради редица свои предимства, между които: широк спектър, съсредоточаване на по-голямата част от слънчевата енергия, биологически активна област на спектъра, сравнителна простота на техническите измервателни средства, значителна чувствителност към вариациите на различни параметри на системата "почва-растителност".

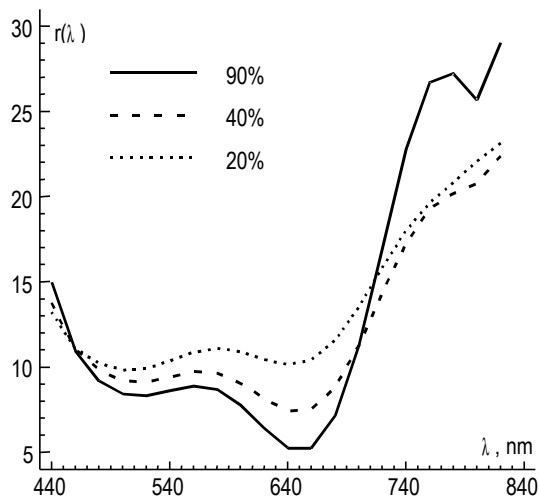
Същността на изследванията се състои в измерване на

отразената от обекта радиация, която съдържа информация относно вида и физико-биохимичните му свойства. Информация за различните класове обекти носи енергетичното и спектрално разпределение на отразената радиация, т.е. измерваните коефициенти на отражение $r(\lambda_i)$, които формират спектралната отразителна характеристика $R\{r(\lambda_i)\}$ и, поради своята специфичност, са спектрални информационни признаци на обекта. Растителната покривка се характеризира с композиция от морфологично-биохимични параметри F_k , които са нейни "веществени признаци", а многоканалните измервания $r(\lambda_i)$ за различни дължини на вълните λ_i дават нейния разширен "спектрален образ" $R\{r(\lambda_i)\}$.

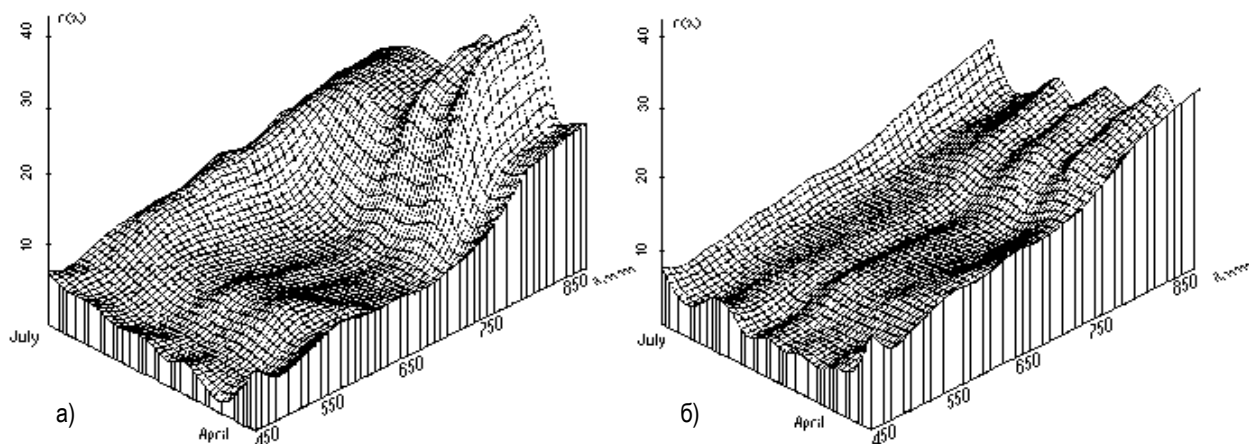
Решава се така наречената обратна задача, състояща се в определяне на параметрите F_k на изследвания обект по измерените спектрални характеристики $R\{r(\lambda_i)\}$. Това е възможно поради зависимостта на отразителната способност от вида, свойствата и моментното състояние на обекта, което и обуславя информационното съдържание на спектралните характеристики. Така например отразителните свойства на растителната покривка са функция на редица нейни биопараметри като гъстота, височина, листов индекс, биомаса, хлорофилно съдържание и пр. Това означава, че изменения на тези параметри водят до изменение на спектралния и енергетичен състав на отразената радиация, т.е. между биофизичните и радиационни характеристики съществува адекватна връзка $R\{r(\lambda_i)\}=f(F_k)$. Тази връзка не само определя информационната същност на данните от спектрометрични измервания, а ѝ придава количествен израз.

На Фиг.1 са показани спектралните характеристики на

пролетен ечемик във фаза вретене при различно проективно покритие (относителния дял на растителността спрямо почвата в рамките на измерваната площ). Очевидни са различията в отражателната способност в зависимост от посочения параметър.



Фигура 1. Спектрални отражателни характеристики на ечемик при различно проективно покритие на растителността.



Фигура 2. Спектрални отражателни характеристики на ечемик през вегетационния период при чиста почва (а) и замърсяване с никел в концентрация 400 mg/kg (б).

По този начин особеностите на измерваните спектрални отражателни характеристики са функция от състоянието на растителността, което на свой ред зависи от условията на отглеждане. Връзката "условия на отглеждане → състояние на растителността → отражателна способност" обуславя информационния потенциал на спектрометричните данни и е предпоставка за идентификацията на аномални състояния в резултат на стресови фактори. Целта е извличане на информационното съдържание, което означава да се определят различни биоструктурни параметри на растителната покривка F_k и оценят антропогенните влияния F_r посредством спектрометрични данни $R\{r(\lambda_i)\}$. Това е възможно на базата на емпирични съотношения, извеждани по експериментални данни, като задачата се

Фитопараметрите, като израз на морфологично-структурните изменения на растителната покривка, са показатели за състоянието на растенията както в резултат на тяхното развитие, така и вследствие влиянието на различни фактори, в това число на антропогенни въздействия F_r . Наред с естествените физиологични процеси по време на вегетационното развитие, които влияят върху спектралните характеристики, стресовите фактори предизвикват статистически значими промени в отражателната способност на растителността (Bammel and Birnie, 1994; Kancheva, *et al.*, 1992; McMurtey, *et al.*, 1994; Кънчева, 1995). Това добре се илюстрира от Фиг.2, където е представено спектралното отражение на пролетен ечемик през целия вегетационен сезон в случай на чиста почва (а) и при замърсяването ѝ с никел (б).

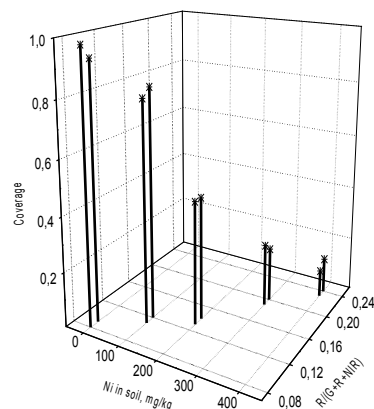
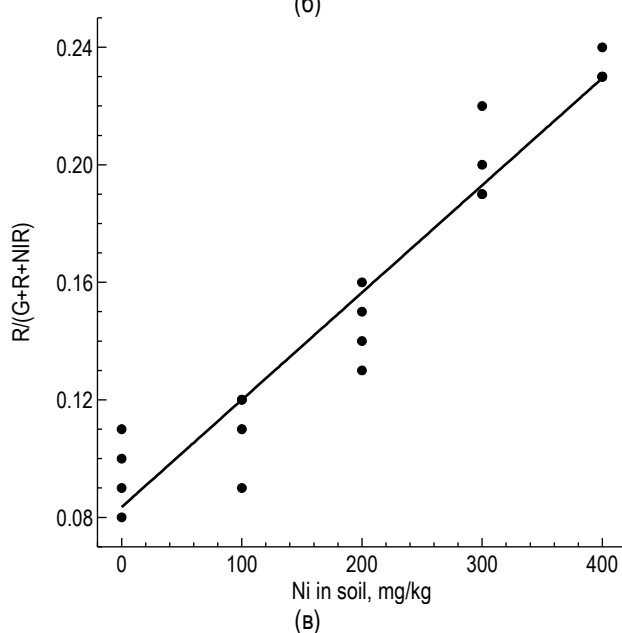
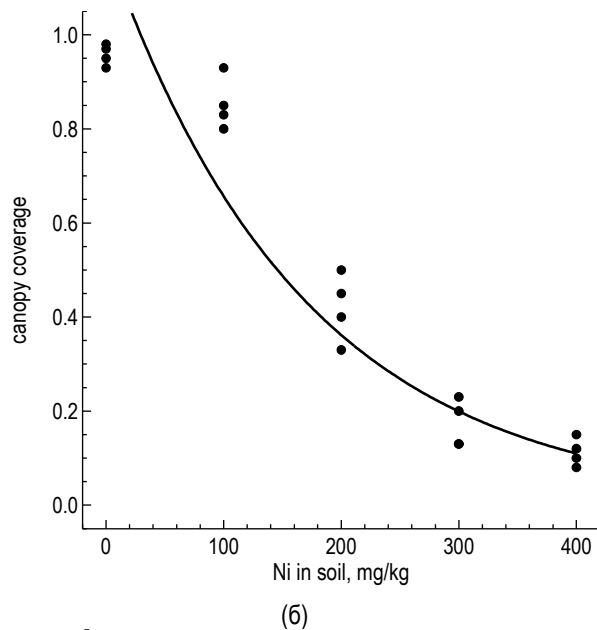
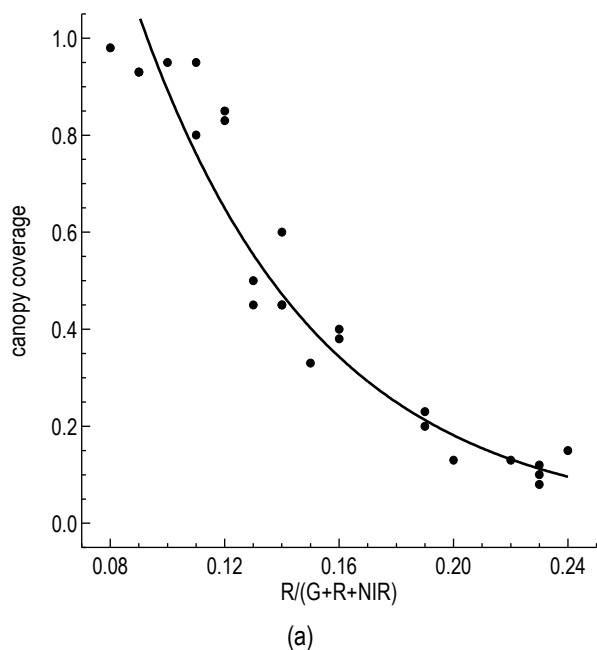
свежда до установяване на вида на взаимовръзките между спектралните характеристики, биометричните параметри и величината на антропогенния фактор: $R\{r(\lambda_i)\}=f(F_k)$, $F_k=f(F_r)$, $R\{r(\lambda_i)\}=f(F_r)$.

За обработка на данните се прилагат статистически методи, включващи преди всичко корелационен и регресионен анализ. Получените модели се използват за биофизична интерпретация на спектрометричните данни. При изследване на системата "почва-растителност" характерна особеност и разпространена практика е използването на спектрални преобразувания, наричани вегетационни индекси (VI), които представляват различни комбинации от измерените коефициенти на отражение $r(\lambda_i)$ за две или повече дължини на вълните λ_i под формата

отношения, тегловни суми, нормирани разлики и др. Някои от съображенията за това са: осъществява се съкращаване на големия обем от данни; подобрява се отношението сигнал/шум чрез минимизиране на влиянието на външни "смустващи" фактори като различия в топографията на обекта, изменения в условията на осветеност и др.; усилване на спектралните различия и чувствителността към оценяваните величини; съответно се подобрява точността и надеждността на резултатите; постига се съпоставимост от различни измервания. Всичко това цели повишаване на информативността на многоспектралните данни.

Вегетационните индекси се използват като входни параметри в емпиричните модели, разработвани за оценка на състоянието на посева и влиянието на антропогенни въздействия върху неговото развитие. Най-често това са индекси, формирани в специфични за растителността спектрални зони (вж. Фиг.1) на силно отражение и поглъщане на слънчевата радиация: зелената (G – 550 nm), червената (R – 670 nm), близката инфрачервена (NIR – 800 nm), а така също в областта на рязкото увеличение на отражателната способност между R и NIR (700-780 nm).

По долу са приведени няколко примера, илюстриращи получените спектрално-биофизични модели. На Фиг.3 за ечемик във фаза вретенене са показани зависимостите между спектралния индекс $R/(G+R+NIR)$, проективното покритие и концентрацията на Ni в почвата (а, б, в), както и съвместното изменение на биометричния и спектрален признак от степента на замърсяване (г).

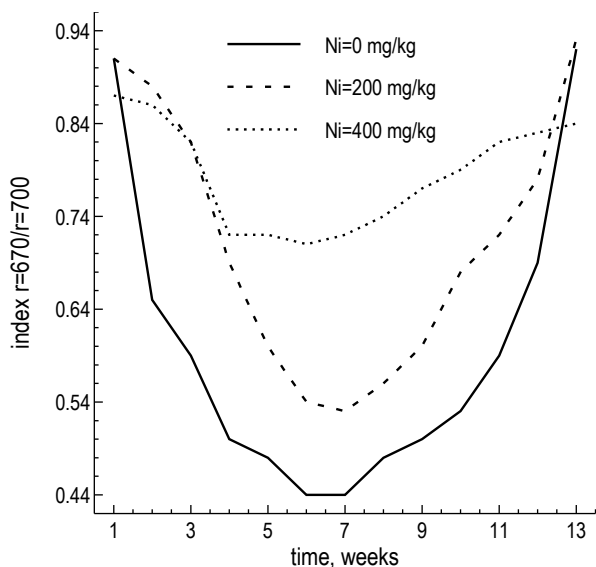


(г)

Фигура 3. Зависимости между спектралния индекс $R/(G+R+NIR)$, проективното покритие на ечемик и концентрацията на Ni в почвата.

Подобни регресионни модели позволяват определяне на съответния растителен параметър по спектрометрични данни и количествена оценка на въздействието на стресовия фактор.

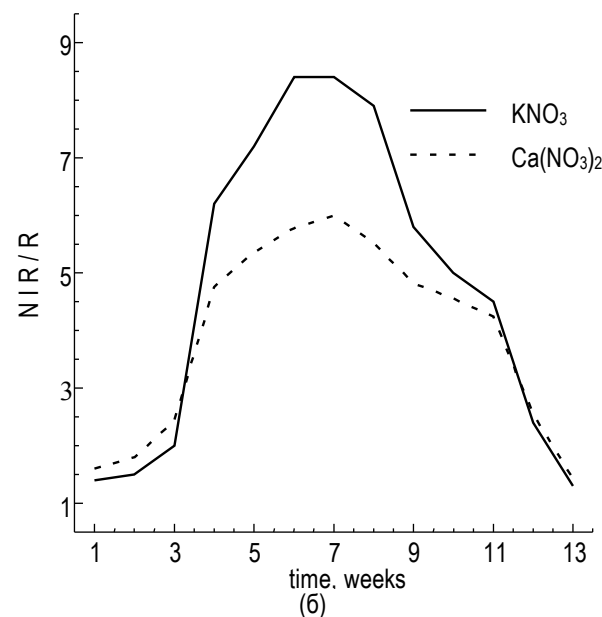
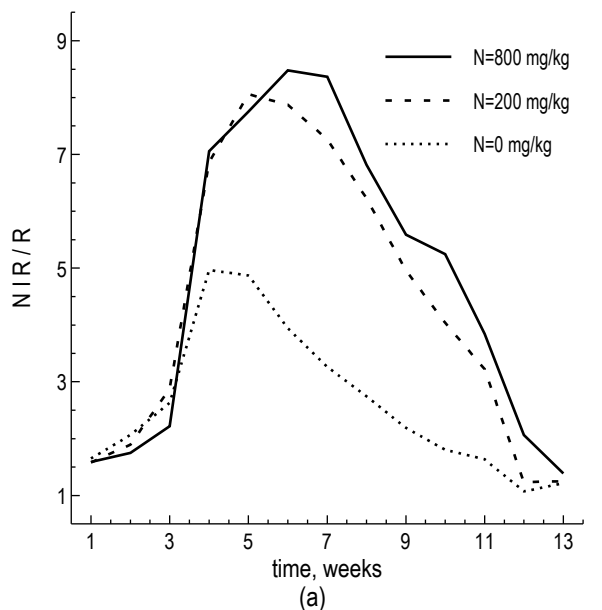
Трябва да споменем, че особено внимание се придава на времевия аспект на данните (Samson, 1993; Shibayama and Akiyama, 1989; Кънчева и Георгиев, 2000). Изследването на измененията на спектралните признаци в различни периоди на вегетация е условие за извършване на периодична оценка на състоянието на растенията и своевременна идентификация на възникнали стресови ситуации. Зависимостта $V_{ij}=f(t)$, наричана спектрално-времеви профил, се формира чрез съвместяване на получените в различно време от вегетационния цикъл спектрометрични данни. Тя носи информация както за моментното състояние на растенията, така и за хода на тяхното развитие. Спектрално-времевите профили са индикатор също за различия в състоянието на растенията, предизвикани от антропогенни въздействия. Пример за това е Фиг.4, където са показани времевите профили на спектралния индекс $r(\lambda = 670 \text{ nm})/r(\lambda = 700 \text{ nm})$ за посеви пролетен ечемик върху сива горска почва при различно замърсяване с Ni.



Фигура 4. Времеви профили на спектралния индекс $r(\lambda=670 \text{ nm})/r(\lambda=700 \text{ nm})$ на ечемик при различно почвено замърсяване с Ni.

Стресов фактор при отглеждане на селскостопански култури може да бъде хранителният дефицит. Още в периода братене-вретенене зърнените култури ясно проявяват нееднородното съдържание на азот. Азотното наторяване се отразява върху височината, проективното покритие, биомасата и цвета на растенията (съдържание на хлорофил и каротиноиди), което води до промяна на спектралните характеристики. Като пример на Фиг.5а са представени времевите профили на вегетационния индекс NIR/R за системата пролетен ечемик-излужен чернозем при различно съдържание на азот в почвата (NH_4NO_3). Изразените различия в отразителната способност прави спектралните характеристики пригодни за оценка на минералната обезпеченост на растенията. Интересно е да се отбележи, че различия в отражението се наблюдават и

в зависимост от вида на азотно-торовото съединение. Това се вижда от Фиг.5б, където при еднакво азотното съдържание (800 mg/kg) стойностите на разглеждания спектрален индекс съществено се различават, особено в активните етапи на вегетация.



Фигура 5. Вегетационен ход на спектралния индекс NIR/R на ечемик в зависимост от количеството (а) и вида (б) на азотния тор.

Обобщавайки многобройните резултати от експерименталните изследвания, само част от които са приведени тук, правим извод, че регресионните модели, свързващи отразителните характеристики с условията на отглеждане и агропараметрите на селскостопански култури, както и времевите профили на спектралните признаци, могат да се използват за количествена оценка по спектрометрични данни на състоянието на растенията и влиянието на стресови фактори върху тяхното развитие.

ЛИТЕРАТУРА

- Bammel, B., Birnie, R., 1994. Spectral reflectance response of big sagebrush to hydrocarbon-induced stress in the Bighorn Basin, Wyoming. - *Photogram. Eng. Rem. Sens.*, 60, 87-96.
- Kancheva, R., Krumov, A., Boycheva, V. 1992. Crop agroecological diagnostics using multispectral data. - *Proceed. of the Central Symposium of the 'International Space Year' Conference, ESA SP-341, Munich, 873-979.*
- Kancheva, R., Krumov, A., Boycheva, V., Ilieva, V. 1992. Remote sensing technique in crop heavy metal pollution studies. - *Compt. Rend. Acad. bulg. Sci.*, 45, 7, 49-52.
- Kancheva, R., Krumov, A., Boycheva, V., Ilieva, V., Popova, T. 1992. Crop agronomic variables as function of soil heavy metal pollution. - *Compt. Rend. Acad. bulg. Sci.*, 45, 9, 41-44.
- McMurtey, J., Chappelle, E., Kim, M., Meisinger, J., Corp, L. 1994. Distinguishing nitrogen fertilization levels in field corn (*Zea mays* L.) with actively induced fluorescence and passive reflectance measurements. - *Remote Sensing Environ.*, vol.47, 36-44.
- Samson, S. 1993. Two indices to characterize temporal patterns in the spectral response of vegetation. - *Photogrammetric engineering & Remote Sensing*, 59, 4, 511-517.
- Shibayama, M., Akiyama T. 1989. Seasonal visible, near-infrared and mid-infrared spectra of rice canopies in relation to LAI and above-ground dry phytomass. - *Remote Sensing Environ.*, 27, 119-127.
- Shibayama, M., Takahashi, W., Morinaga, S., Akiyama, T. 1993. Canopy water deficit detection in paddy rice using a high resolution field spectroradiometer. - *Remote Sensing Environ.*, 45, 117-126.
- Кънчева, Р. 1995. Мониторинг на селскостопански обекти във връзка с антропогенни въздействия. - *Сборник трудове "Екологично инженерство и опазване на околната среда ЕЕЕР-95", Нац. конф. с междунар. участие "Автоматика и информатика", София, 86-89.*
- Кънчева, Р., Георгиев, Г. 2000. Връзка между спектралните характеристики на земеделски култури и добива. *Юбилеен сборник "30 години организирани космически изследвания в България", ИКИ-БАН, София, 146-149.*
- Кънчева, Р., Георгиев, Г., Илиева, В., Бойчева, В., Попова, Т. 1996. Спектрални отражателни характеристики на селскостопанска растителност при замърсяване на почвата с тежки метали. - *Почвознание, агрохимия и екология*, 3, 96-99.

Препоръчана за публикуване от
катедра "Приложна геофизика", ГПФ

INFORMATIONAL POTENTIAL OF VEGETATION SPECTRAL REFLECTANCE IN ANTHROPOGENIC IMPACT STUDIES

Rumiana Kancheva

STIL - BAS
Sofia 1113, Bulgaria
Acad. G. Bonchev
str., bl. 3
E-mail: rkanchevastil@abv.bg

Denitsa Borisova

STIL - BAS
Sofia 1113, Bulgaria
Acad. G. Bonchev str., bl. 3
d_borisova_stil@abv.bg

Georgi Georgiev

STIL - BAS
Sofia 1113, Bulgaria
Acad. G. Bonchev str., bl. 3
ggeorgievstil@abv.bg

ABSTRACT

The serious ecological problems relevant to the anthropogenic impact on the environment, and first of all on the biosphere, impose the necessity of methods for assessing these effects especially on vegetation land covers. In agriculture the possibility for timely identification of abnormal crop state is of particular importance. This paper is devoted to the implementation of reflectance spectra as informational feature about plant status as well as for the assessment of anthropogenic factors impact on plant development. Some results from ground-based reflectance measurements of plants grown up under different conditions (nutrient regime, heavy metal pollution) are presented.

The special attention paid to ecological problems associated with the anthropogenic impact on the environment, and first of all on vegetation, determines the importance of studies directed towards the development of efficient means for early phytodiagnostics. The identification of abnormal plant state (Kancheva, *et al.*, 1992; Shibayama *et al.*, 1993 Кънчева и др., 1996) caused by various stress factors such as soil toxic contamination is of particular interest. Remote sensing has proved abilities in this respect.

The goal of the this paper is to illustrate the use of spectral reflectance data for crop monitoring when anthropogenic factors are applied, represented here by nitrogen fertilization and soil heavy metal pollution.

The specific reflectance, absorption and emission of solar radiation by land covers is the basis of multispectral remote sensing. Widely used in soil and vegetation monitoring is the visible and near infrared (0.4-1.3 μm) spectral range due to some its advantages, such as: concentrates the largest portion of solar energy, covers the biologically active spectra, requires relatively simple technical devices, shows significant sensitivity to plant parameters variations.

At the root of spectrometric studies lies the fact that the reflected by the object radiation contains information about its biophysical properties. This information is carried by the specific spectral and

energy distribution of the reflected solar radiation, i.e. by the reflectance coefficients $r(\lambda_i)$ which form the spectral reflectance characteristic $R\{r(\lambda_i)\}$ and are spectral informational features of the studied object, its 'spectral image'. Vegetation covers are characterized by a composition of biomorphological parameters Φ_k which are their 'substantial features'.

The so called 'inverse task' is to be solved that means to estimate the parameters Φ_k using measured spectral reflectance $R\{r(\lambda_i)\}$. A basis for the purpose provides the dependence of the reflectance features on the kind, properties and current state of the object. This dependence actually determines the informational content of spectral features. Vegetation reflectance for instance is a function of a number of bioparameters such as density, height, biomass, leaf area, chlorophyll, etc. This means that plant parameters variation cause reflectance spectra changes, i.e. between the radiometric and biophysical properties there exist adequate relationships $R\{r(\lambda_i)\}=f(\Phi_k)$ which not only determine the informational content of spectral data but attaches to it quantitative expression.

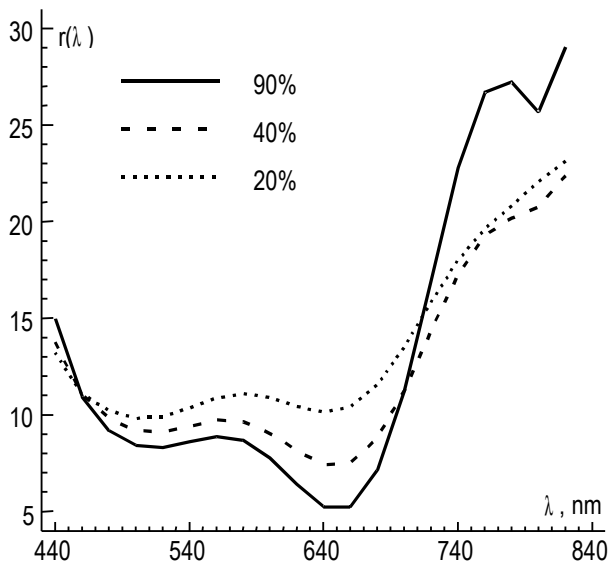


Figure 1. Spectral reflectance of spring barley plots with different plant canopy coverage.

Fig.1 shows the obvious difference of spring barley reflectance ability due to canopy coverage variance (the proportion of vegetation within the pixel area).

Crop bioparameters being an expression of morphological changes are indicators of plant state as a result of the growth process and of the impact of various factors including anthropogenic influences. Fr. Along with the natural physiological development stress factors cause statistically significant variations of plant reflectance (Bammel and Birnie, 1994; Kancheva, *et al.*, 1992; McMurtey, *et al.*, 1994; Кънчева, 1995) because of their affect on chlorophyll content, biomass amount, etc. This is illustrated very well by Fig.2 where the spectral characteristics $R\{r(\lambda_i)\}$ of spring barley during the whole vegetation period are presented for the case of unpolluted (a) and 400 mg/kg Ni-polluted soil (b).

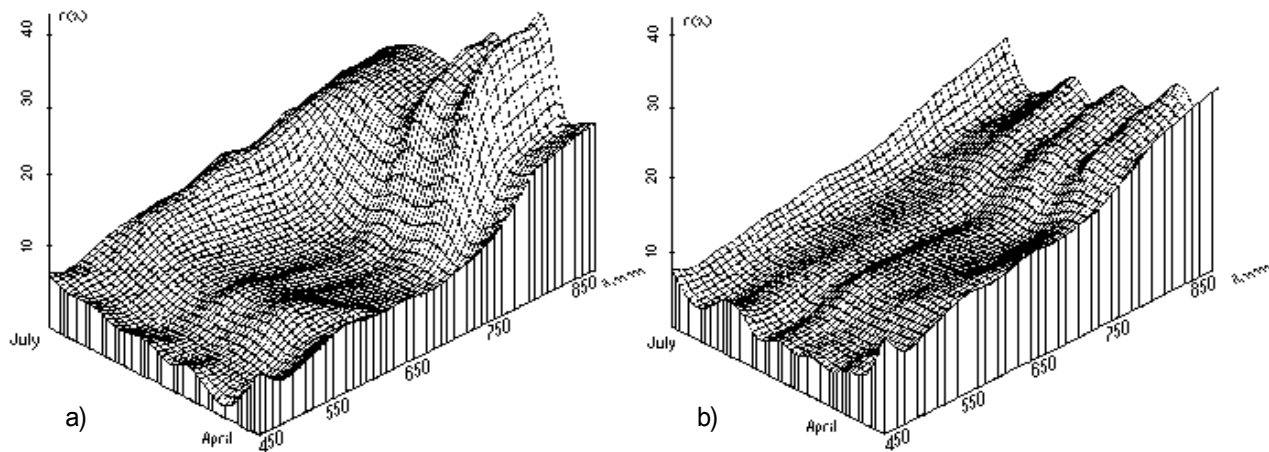


Figure 2. Barley spectral reflectance throughout the growing season for unpolluted (a) and Ni-polluted plots (b).

Thus spectral reflectance variations are a function of plant state which in return depends on growth conditions. The relation 'growth conditions \rightarrow plant state \rightarrow reflectance ability' determines the informational potential of vegetation spectral data and provides ground for vegetation abnormal status identification caused by stress factors. The aim is to extract the informational content which means plant bioparameters Φ_k to be estimated and anthropogenic influences Fr to be assessed using crop multispectral data $R\{r(\lambda_i)\}$. This is possible on the basis of empirical relationships derived from experimental data. The task is to establish quantitative dependences between reflectance features, bioparameters and anthropogenic factors: $R\{r(\lambda_i)\}=f(\Phi_k)$, $\Phi_k=f(Fr)$, $R\{r(\lambda_i)\}=f(Fr)$.

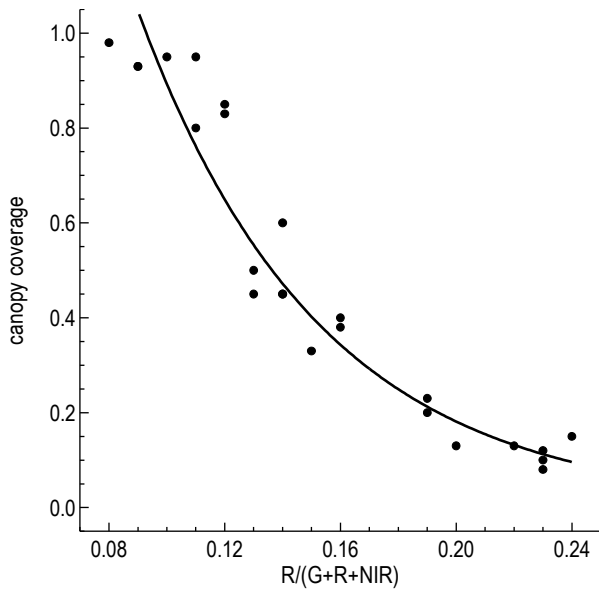
Statistical methods are used for data processing, including preliminarily correlation and regression analyses, the models being later applied for biophysical interpretation of spectrometric data. A peculiarity and wide spread practice in vegetation studies is the use of spectral transformations called vegetation indices (VI). They are various combinations of the measured reflectance coefficients $r(\lambda_i)$ at two or more wavelengths λ_i and have the form of ratios, weighted sums, normalized differences, etc. Some of the considerations for doing so are: the large data amounts are being reduced, the signal to noise ratio is being improved by minimizing the effects of 'noise' factors (such as varying illumination conditions, topography, etc.), spectral differences become more pronounced and the sensitivity to estimated variables is being

increased, thus achieving better accuracy and reliability of the results. All this is aimed at improving the spectral data informativity.

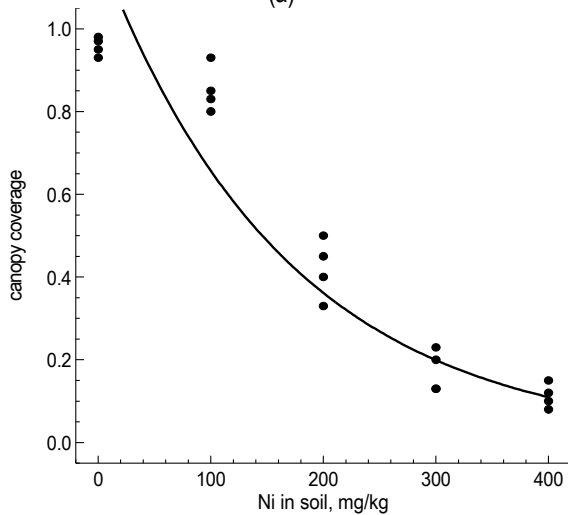
Vegetation indices are used as input variables in regression models for crop state and anthropogenic impact evaluation. More often these are indices formed in specific for vegetation spectral bands (see also Fig.1) of intensive reflectance and absorption of the incident light: green (G – 550 nm), red (R – 670

nm), near infrared (NIR – 800 nm) and the R-NIR region (700-780 nm) of sharp reflectance increase.

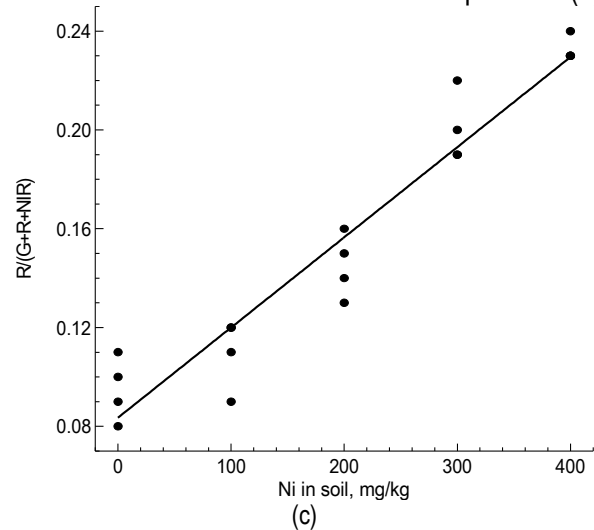
Examples are presented below illustrating some spectral-biophysical models. In Fig.3 the relationships between spring barley vegetation index $R/(G+R+NIR)$, plant canopy coverage and Ni concentration in soil are shown (a, b, c) as well as the simultaneous change of the spectral and biometrical variables as functions of the pollution (d).



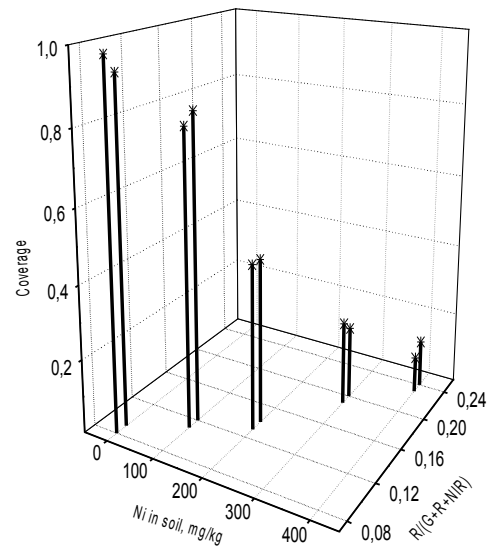
(a)



(b)



(c)



(d)

Figure 3. Relationships between barley vegetation index $R/(G+R+NIR)$, plant canopy coverage and Ni concentration in soil.

Such empirical models when high correlations are observed allow plant parameters to be estimated

using multispectral data as well as the impact of stress factors on crop development to be evaluated.

Should be mentioned also that special attention is being paid to data temporal aspect (Samson, 1993; Shibayama and Akiyama, 1989; Кънчева и Георгиев, 2000). The study of spectral features temporal behaviour during plant development is a condition for crop state periodical assessment, growth process forecasting and early identification of stress situations. The dependence $V_{ij}=f(t)$ called spectral-temporal profile carries information about the current and previous plant status and shows development trends. Temporal spectral data is indicative as well of plant state differences caused by anthropogenic factors. An example is Fig.4 where the temporal behaviour of $r(\lambda=670\text{nm})/r(\lambda=700\text{nm})$ vegetation indices for Ni-polluted spring barley plots are shown.

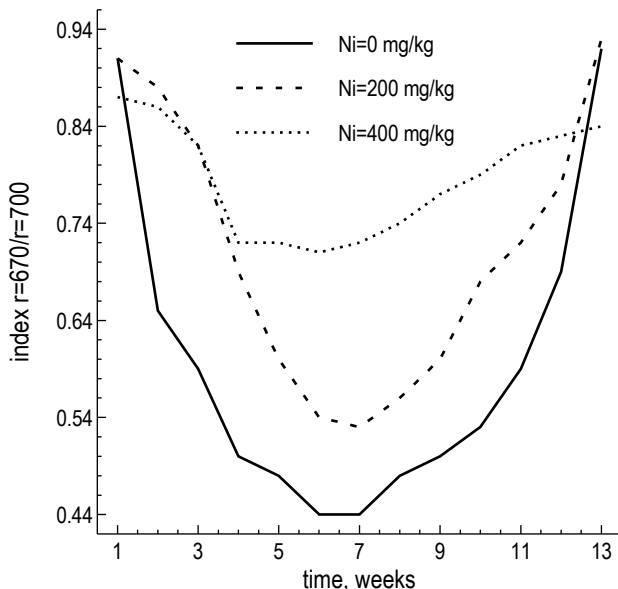


Figure 4. Temporal behaviour of $r(\lambda=670\text{ nm})/r(\lambda=700\text{ nm})$ vegetation indices for spring barley plots with different Ni pollution.

It should be pointed out that the dependence of plant spectral reflectance on the heavy metal concentration in soil is observed almost throughout the whole vegetation period. This fact permits crop early diagnostics.

A stress factor can be also the nutrient deficit. Already at layering and tube-forming stages cereals manifest the insufficient nitrogen supply. Nitrogen fertilization effects plant growth bioparameters (height, biomass amount, canopy coverage, chlorophyll content) that leads to pronounced

differences of reflectance features comparing to nutrient suffering vegetation. Fig.5a is an example of NIR/R index for spring barley plots with different nitrogen concentration in soil (the fertilizer is NH_4NO_3). It is interesting to point out that spectral differences are observed also in relation to fertilizer compound. This is seen in Fig.5b where the nitrogen content in soil is equal for all treatments (800 mg/kg) but the spectral-temporal profiles differ due to the fertilizer compound.

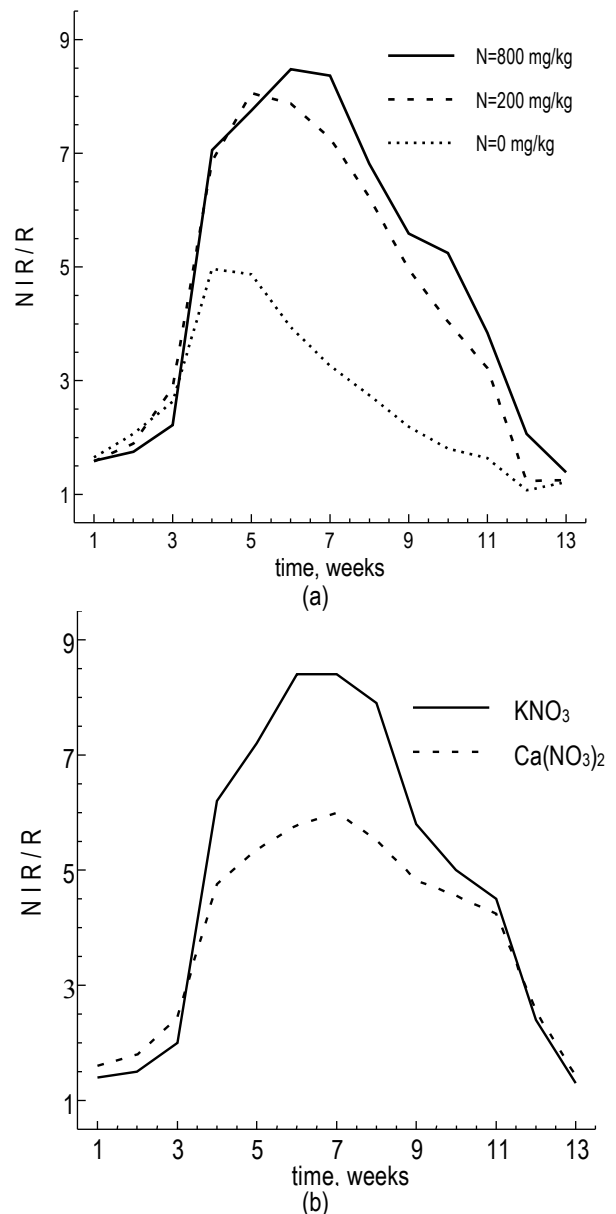


Figure 5. Temporal behaviour of barley NIR/R vegetation index depending on nitrogen amount (a) and fertilizer compound (b).

Summarizing the results of experimental studies, part of which are presented here, we draw the conclusion that reflectance spectra temporal

behaviour and regression models relating plant reflectance features to bioparameters and growth conditions can be used for quantitative assessment of plant state and stress factors impact.

REFERENCES

- Bammel, B., Birnie, R. 1994. Spectral reflectance response of big sagebrush to hydrocarbon-induced stress in the Bighorn Basin, Wyoming, *Photogram. Eng. Rem. Sens.*, 60, 87-96.
- Kancheva, R., Krumov, A., Boycheva, V. 1992. Crop agroecological diagnostics using multispectral data. - *Proceed. of the Central Symposium of the 'International Space Year' Conference, ESA SP-341*, Munich, 873-879.
- Kancheva, R., Krumov, A., Boycheva, V., Ilieva, V. 1992. Remote sensing technique in crop heavy metal pollution studies. - *Compt. Rend. Acad. bulg. Sci.* 45, 7, 49-52.
- Kancheva, R., Krumov, A., Boycheva, V., Ilieva, V., Popova, T. 1992. Crop agronomic variables as function of soil heavy metal pollution. - *Compt. Rend. Acad. bulg. Sci.* , 45, 9, 41-44.
- McMurtey, J., Chappelle, E., Kim, M., Meisinger, J., Corp, L. 1994. Distinguishing nitrogen fertilization levels in field corn (*Zea mays* L.) with actively induced fluorescence and passive reflectance measurements. - *Remote Sensing Environ.*, 47, 36-44.
- Samson, S., 1993. Two indices to characterize temporal patterns in the spectral response of vegetation. - *Photogrammetric engineering & Remote Sensing*, 59, 4, 511-517.
- Shibayama M., Akiyama T. 1989. Seasonal visible, near-infrared and mid-infrared spectra of rice canopies in relation to LAI and above-ground dry phytomass. - *Remote Sensing Environ.*, 27, 119-127.
- Shibayama, M., Takahashi, W., Morinaga, S., Akiyama, T. 1993. Canopy water deficit detection in paddy rice using a high resolution field spectroradiometer. - *Remote Sensing Environ.*, 45, 117-126.
- Кънчева, Р. 1995. Мониторинг на селскостопански обекти във връзка с антропогенни въздействия. - *Сборник трудове "Екологично инженерство и опазване на околната среда ЕЕЕР-95"*, Нац. конф. с междунар. участие "Автоматика и информатика", София, 86-89.
- Кънчева, Р., Георгиев, Г. 2000. Връзка между спектралните характеристики на земеделски култури и добива. *Юбилеен сборник "30 години организирани космически изследвания в България"*, ИКИ-БАН, София, 146-149.
- Kancheva, R., Georgiev, G., Boycheva, V., Ilieva, V., Popova, T. 1996. Spectral reflectance features of soil-vegetation system for crop heavy metal stress indication. - *Soils Science, Agrochemistry and Ecology, Part III*, 96-99.

*Recommended for publication by Department
Applied Geophysics, Faculty of Geology and Prospecting*