

КОЛИЧЕСТВЕНО РАЗДЕЛЯНЕ НА СПЕКТРАЛНИ СМЕСИ ПОЧВА-РАСТИТЕЛНОСТ

Румяна Кънчева, Деница Борисова, Георги Георгиев

ИКСИ-БАН, 1113 София; rumik@abv.bg

РЕЗЮМЕ. Количественото разделяне на смесени класове обекти, предлагано тук по отношение на системата почва-растителност, е важна задача на дистанционния мониторинг за оценка на състоянието на селскостопански посеви. Динамиката на растителната покривка, особено що се отнася до агроценозите, се отразява в изменение на редица биопоказатели, обобщен израз на които в периода на активна вегетация може да служи проективното покритие. Неговото определяне позволява да се съди за състоянието на посевите в хода на тяхното развитие или под действието на стресови фактори. Достоверна интерпретация на данните в значителна степен зависи от наличието на спектрално-биофизични модели, свързващи многоспектралните данни с различни растителни биопараметри и агропоказатели. Широко използвани за целта са спектралните отражателни характеристики във видимия и близкия инфрачервен диапазон, като основен подход е разработката и приложението на разнообразни вегетационни индекси. Колориметричният анализ е рядко срещан по отношение на растителната покривка, но предоставя определени възможности, както сочат резултати от наши изследвания. Целта на настоящата работа е да демонстрира и сравни използването на тези два метода за определяне на растителното проективно покритие. Предлаганият подход може да служи при изследване на различни почвено-растителни системи и други смесени класове.

QUANTITATIVE DECOMPOSITION TECHNIQUES FROM SOIL-VEGETATION MIXTURE REFLECTANCE

Rumiana Kancheva, Denitsa Borisova, Georgi Georgiev

Space and Solar-Terrestrial Research Institute, Bulgarian Academy of Science, 1113 Sofia; rumik@abv.bg

ABSTRACT. Vegetation monitoring is one of the essential applications of remote sensing techniques. Concerning farmlands an important task is crop state assessment during the growing period. Crop state and physiological development are defined by a set of bioparameters such as biomass amount, leaf area index, chlorophyll content, etc. An important role among them plays the green canopy coverage. It is an indicator of plant growth and is closely related to other bioparameters being at the same time a factor of soil-vegetation mixture reflectance. Various methods of spectral data processing are used for the estimation of plant parameters aiming at the establishment of quantitative relationships between crop biophysical and reflectance properties. The actual usefulness of the applied for this purpose remote sensing methods depends on their accuracy and reliability. The problem of mixed classes is essential in remote sensing and concerns most aspects of data processing and interpretation. It is associated with spectral mixture quantitative decomposition. Soil-vegetation covers are a most common case of mixed classes. The determination of their components' proportions is related to the assessment of plant canopy. Vegetation coverage expresses on the one hand the proportions of soil and vegetation in the mixture and defines the spectral reflectance, and on the other hand it is a bioindicator of plant state and growth. As thus it is of particular interest in remote sensing crop monitoring. Two methods that provide means for green canopy fraction evaluation are presented in the paper - reflectance spectra transformations techniques and colorimetric analysis. The objective is to reveal the potential and accuracy of spectral ratios and colorimetric features for soil-vegetation mixture decomposition, and to compare these techniques for green canopy fraction estimation from multispectral data.

Въведение

Своевременната оценка на състоянието на земеделски посеви е от съществен практически интерес, тъй като има отношение към въпросите за управление на агросистемите, прогнозиране на развитието и добива. Аерокосмическата информация дава възможности за дистанционен мониторинг и оценка на състоянието на растителната покривка. Нейната достоверна интерпретация в значителна степен зависи от наличието на спектрално-биофизични модели, свързващи многоспектралните данни с различни растителни биопараметри и агропоказатели. Широко използвани за целта са спектралните отражателни характеристики във видимия и близкия инфрачервен диапазон, като основен

подход е разработката и приложението на разнообразни вегетационни индекси, представляващи предимно прости и сложни отношения на коефициентите на отражение за две или повече дължини на вълните (Jackson, Huete, 1991; Carlson, Ripley, 1997; Jiang et al., 2006; Glenn et al., 2008). Въз основа на експериментални данни се създават статистически модели, които служат за определяне на различни растителни показатели (Jackson, Huete, 1991; Carlson, Ripley, 1997; Kancheva, 1999; Kancheva, Borisova, 2005; Jiang et al., 2006; Glenn et al., 2008). Колориметричният анализ е рядко срещан по отношение на растителната покривка, но предоставя определени възможности, както сочат резултати от наши изследвания

(Kancheva, Mishev, 2000; Kancheva et al., 2002; Kancheva, Borisova, 2004; 2009).

Целта на настоящата работа е да демонстрира и сравни използването на тези два метода за количествено разделяне на спектрални смеси почва-растителност чрез определяне на проективно покритие на растителността. То е избрано като обобщен израз на структурните различия и изменения на посевите, т.е. като показател, характеризиращ най-общо тяхното състояние. Показано е приложението на различни вегетационни индекси и на някои цветови характеристики на обектите, интерпретирани от гледна точка на растителното покритие. Отличително обстоятелство в работата е отчитането на почвения тип и фенологичната фаза на растенията.

Материали и методи

Проективното покритие на растителността е параметър, свързан с цялостната архитектура на посева. То е свързано с гъстотата на посева, биомасата, листовия индекс и пр., показател е за вегетационното развитие и може да бъде считано за комплексен индикатор на състоянието на растителната покривка. Проективното покритие е и основен фактор за спектралното отражение на системата почва-растителност, тъй като спектралната отражателна характеристика на смесения клас „почва-растителност“ се формира в зависимост както от отражателните свойства на почвата $r_s(\lambda_i)$ и растителността $r_v(\lambda_i)$, така и от относителния дял на участващите класове растителност c_v и почва c_s ($c_s=1-c_v$), при което $r_{sv}(\lambda_i) = c_v(r_v - r_s) + r_s$ (Mishev, Yanev, 1993). Горните две обстоятелства позволяват растителното покритие да бъде считано за свързващо звено между измерваните спектрални характеристики и състоянието на растителната покривка. Това обуславя интереса към определянето му по многоспектрални данни. Провежданите наземни експерименти служат за създаване и валидация на съответните модели. Задачата е свързана и с един от основните проблеми при дистанционните изследвания - проблемът за декомпозиция на смесени класове, който касае повечето въпроси на обработката и интерпретацията на данните (Мишев, Кынчева, 1988; Borisova, Kancheva, 2005; Kancheva, Borisova, 2006). Отнася се и до количественото разделяне на спектрални смеси, което в нашия случай е свързано с определяне на растителното покритие и представляващо цел на работата.

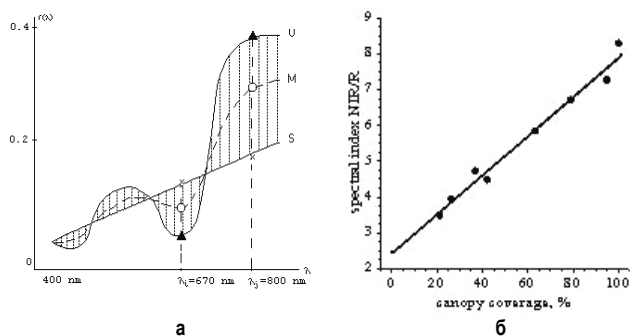
Развивани повече от две десетилетия, вегетационните индекси са запазили своята актуалност и широка приложност. Редица задачи на дистанционните изследвания на растителната покривка от картиране до проследяване на фенологичното развитие и прогнозиране на добива от селскостопански култури се решават на базата на определяне на вегетационни индекси по спектрометрични данни и аерокосмически изображения. В настоящата работа са изследвани множество отношения, контрасти и нормирани разлики предимно в характерни за растителността спектрални области – синята (B – 450 nm), зелената (G – 550 nm), червената (R – 670 nm), близката инфрачервена (NIR – 820 nm) и в участъка 650-750 nm. За количествено описание на връзката между растителното проективно покритие и спектралното отражение на системата почва-растителност са изведени емпирични

регресионни модели. Колориметричният анализ на многоспектралните данни е извършен в съответствие със стандартните CIE 1964 методи (Джад, Вышецкий, 1978) в диапазона 450-750 nm за стандартен източник D₆₅. За всяка спектрална отражателна характеристика са изчислени цветовете координати, координатите на цветността x,y,z и доминиращата дължина на върната λ_d . В съответствие със спомената адитивна теория за смесените класове цветовете координати XYZ на системата почва-растителност (Mishev, 1992) са свързани с растителното покритие чрез аналогична на спектралното отражение формула $X_{sv} = Xc_v(X_v - X_s) + X_s$. Съответно координатите на цветността хуу се определят от $x_{sv} = [c_v(X_v - X_s) + X_s] / [c_v(W_v - W_s) + W_s]$, където W е сумата на цветовете координати

Резултати и дискусия

Изследванията включват наземни измервания с многоканална апаратура във видимия и близкия инфрачервен спектрален диапазон 400-820 nm, извършени по време на различни фенологични фази от вегетационното развитие на различни култури (зимна пшеница, пролетен ечемик, грах, люцерна). Същевременно е определяно проективното покритие и други растителни параметри – надземна биомаса, хлорофилно съдържание и пр. Тук ще отбележим, че отчитането на фазите на онтогенезата при спектрално-биофизичното моделиране позволява определянето на най-подходящи периоди за растителния мониторинг, повишава точността на прогнозните модели и позволява ранна диагностика на посевите (Mishev, Yanev, 1993; Kancheva, 1999; Kancheva, Mishev, 2000; Kancheva et al., 2002; Kancheva, Borisova, 2004; 2005; 2009). Почвената покривка е представена от чернозем, алувиално-ливадна и сива горска почва. Целта е да бъде количествено оценено влиянието на почвения тип върху спектралните характеристики на системата почва-растителност чрез съответните модели за определяне на растителното покритие. Спектрометричните и биометрични данни са обработени статистически. При корелационния и регресионния анализ са използвани спектрални преобразувания (вегетационните индекси) във вид на различни отношения на измерваните спектрални коефициенти на отражение, както и цветови характеристики на обектите – цветови координати, координати на цветността, доминираща дължина на вълната. Изведени са зависимости, свързващи проективното покритие с някои от тези спектрални признаци.

Фигура 1а илюстрира формирането на спектралната отражателна характеристика на смесения клас почва-растителност, където са показани спектралните отражателни характеристики на гола почва $c_v=0$, плътна растителна покривка, т.е. при относителен дял на растителното покритие $c_v=1$, и смесен клас почва-растителност, т.е. при $0 < c_v < 1$. Влиянието на различното растително покритие върху спектралните характеристики е показано на Фиг. 1б за пролетен ечемик върху сива горска почва чрез зависимостта на индекса NIR/R от растителното покритие.



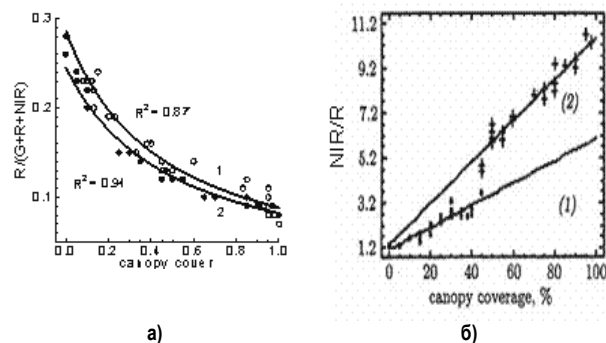
Фиг. 1. Спектрални отражателни характеристики на гола почва S (x), плътна растителна покривка V (▲) и смесен клас "почва-растителност" M (○) (а) и зависимост на вегетационния индекс NIR/R от растителното покритие на ечемик върху сива горска почва (б)

В Таблица 1 са приведени данни от корелационния анализ на част от изследваните вегетационни индекси с проективното покритие на зимна пшеница върху чернозем в две фенофази. Голяма част от посочените спектрални индекси проявяват силна корелираност с растителното покритие, като в същото време са зависими и от фенологичната фаза на растенията. Най-силна връзка се наблюдава по време на активно вегетативно развитие преди фазата восьмична зрялост при зърнените култури и за индекси с използването на R и NIR. За количествено описание на изследваните взаимовръзки са изведени емпирични регресионни модели между растителното покритие и спектралното отражение на системата почва-растителност.

Таблица 1. Коефициенти на корелация между различни вегетационни индекси (VI) и проективното покритие на зимна пшеница върху чернозем във фази изкласяване (1) и млечна зрялост (2)

VI	1	2	VI	1	2
(NIR-R)/(NIR+R)	0.86	0.94	NIR/(G+R)	0.99	0.95
NIR/R	0.98	0.97	R/(NIR+G)	-0.83	-0.93
(NIR-G)/(NIR+G)	0.88	0.88	G/R	0.89	0.86
NIR/G	0.97	0.86	NIR/(G.R)	0.90	0.77
(NIR-R)/NIR	0.79	0.94	G/(G+R+NIR)	-0.94	-0.70
(NIR-G)/NIR	0.83	0.81	NIR/(G+R+NIR)	0.91	0.95

На фигура 2а са показани зависимостите на вегетационния индекс $R/(G+R+NIR)$ от проективното покритие на посеви пролетен ечемик върху два почвени типа – сива горска (1) и чернозем (2). Използването на обобщен модел за двата почвени типа води до систематично завишени стойности на определяното растително покритие при тъмната черноземна почва и понижени при светлата сива почва. Грешката може да е значителна, особено в случаите на малко растително покритие. Отчитането на почвения тип силно повишава прогностичната точност на моделите. Същото се отнася и за фенологичната фаза на развитие, т.е. когато съответните спектрално-биофизични зависимости се установяват за отделни фази (етапи) на развитие.



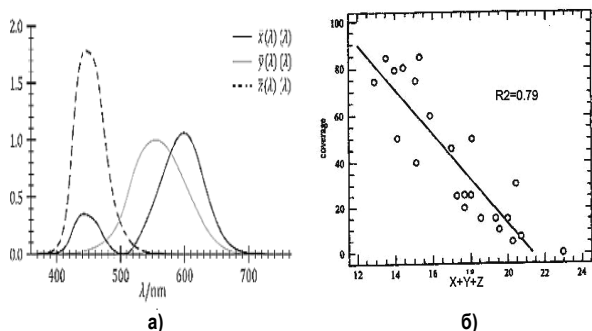
Фиг. 2. Зависимост на вегетационния индекс $R/(G+R+NIR)$ (а) от растителното покритие на пролетен ечемик върху сива горска почва (1) и чернозем (2) и на вегетационния индекс NIR/R (б) на грах върху алувиално-ливадна почва за две фенофази

На фигура 2б е показана зависимостта на вегетационния индекс NIR/R на грах за две фенофази на растенията. Фенологичното диференциране на зависимостите намалява погрешностите, свързани с други растителни параметри, като например изменящото се в хода на вегетация и влияещо върху измерваните отражателни характеристики хлорофилно съдържание. В зависимост от вида и дължините на вълните на спектралните индекси корелационните коефициенти варират от 0.77 до 0.97. Високата корелация и точност на подобни модели позволяват надеждно определяне на растителното покритие по спектрални данни.

Вторият подход за оценка на зеленото покритие, който предлагаме в работата, е използването на цветови характеристики на системата почва-растителност. Тяхно предимство е използването на цялата отражателна характеристика и нормирането ѝ спрямо спектралното разпределение на падащата радиация. За цветовия анализ са използвани данни от наземни спектрометрични измервания на пролетен ечемик върху чернозем и сива горска почва и на грах върху тъмна кафява горска и светла алувиално-ливадна почва. Измененията на проективното покритие варират от гола почва до плътна растителна покривка.

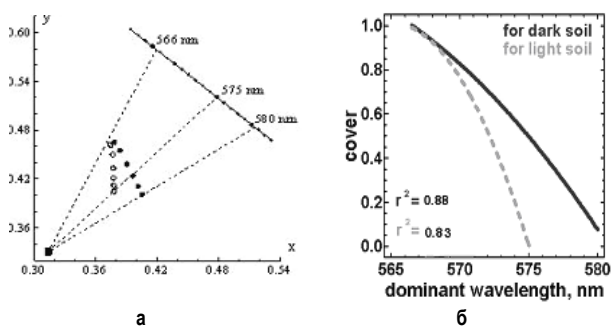
На фигура 3а са показани стандартните цветови функции, които са използване при изчисляването на цветовите характеристики. Изведени са статистически значими зависимости за получените суми на цветовите координати $X+Y+Z$ от проективното покритие на растителността. За ечемик върху сива горска почва получената регресионна права е показана на Фиг. 3б. Тя е изведена за периода братене-вретенене. За отделните фенологични фази корелацията (R^2) се повишава и е съответно 0.88 и 0.84.

В цветовото пространство цветността на обектите се изразява във вид на точка, дефинирана от координатите на цветността (x,y). Те определят положението на анализирания обект върху цветовия локус и, както беше показано, зависят от величината на растителното покритие. За всяко от измерванията координатите на цветността са изчислени по приведената по-горе формула и са нанесени върху цветовия локус.



Фиг. 3. Стандартни CIE цветови функции (а) и зависимост на проективното покритие на пролетен ечемик върху сива горска почва в периода братене-вретене и сумата на цветовете координати – (б)

На фигура 4а те са показани за гола почва, пълтна растителност (грах) и относително растително покритие 0, 0.25, 0.5, 0.75 и 1, като е отчитан почвения тип. Ясно се вижда зависимостта на координатите на цветността от относителния дял на двата класа почва и растителност. Освен координатите, друга важна цветова характеристика е доминиращата дължина на вълната λ_d . През получената при колориметричния анализ на данните цветова област е построена правата $D_{65}-\lambda_d$, която пресича линията на спектралната цветност в точка $(x,y)_{\lambda_d}$, определяйки доминиращата дължина на вълната на обекта. Доминиращата дължина на вълната за пълтна растителна покривка е еднаква и в двата случая, но се различава при смесения клас и за всеки тип почви. На фигура 4б са представени регресионните зависимости на доминиращата дължина на вълната от растителното проективно покритие. Установена е висока корелация, която намалява при неотчитане на типа почва (Табл. 2). При анализа на данните е установена висока корелация между λ_d и зеленото покритие c_v . Инверсните регресионни зависимости $c_v=f(\lambda_d)$ са полиноми от втора степен с коефициенти на определеност (R^2) 0.88 и 0.83 (при ниво на вероятност $p<0.05$) съответно за тъмна и светла почва. Подобрата прогнозна точност на модела за тъмна почва (както това се наблюдава и при вегетационните индекси) обясняваме с по-големите цветови различия, т.е. с по-широкия диапазон на изменение на λ_d на обектите с различно растително покритие.



Фиг. 4. Координати на цветността на грах върху тъмна • и светла ○ почва при различно растително покритие (а) и регресионни зависимости между проективното покритие на грах и доминиращата дължина на вълната на смесения клас при тъмна ---- и светла - - - почва (б)

Таблица 2. Коефициенти на корелация между растителното покритие на грах, доминиращата дължина на вълната и някои вегетационни индекси поотделно за тъмна и светла почва и общо за двете почви

индекс / почва	тъмна	светла	общо
(NIR-R)/(NIR+R)	0.95	0.93	0.92
NIR/R	0.91	0.88	0.87
(NIR-R)/R	0.91	0.88	0.87
G/R	0.88	0.85	0.86
(G-R)/R	0.88	0.85	0.86
$\Sigma(G+R)/\Sigma(B+NIR)$	0.85	0.81	0.82
(G-R)/(G+R)	0.93	0.92	0.92
G+NIR-2R	0.94	0.94	0.94
λ_d	-0.96	-0.93	-0.88

Обобщеният, т.е. почвено-недиференциран модел, е в случая с коефициент на определеност 0.77 и значително по-ниска точност. В Таблица 2 са показани резултати от корелационния анализ на растителното покритие на грах за двата почвени типа, доминиращата дължина на вълната и някои вегетационни индекси. В повечето случаи връзката отслабва при неотчитане на почвения тип, като в най-голяма степен това се отнася за доминиращата дължина на вълната. Подобен анализ позволява в същото време подбор на вегетационни индекси, по-слабо податливи на влиянието на почвения фон, което има своите предимства в растителния мониторинг.

Заклучение

Полезността на изложените изследвания се заключава, според нас, в следното. Количественото разделяне на смесени класове обекти, предлагано тук по отношение на системата почва-растителност, е важна задача на дистанционния мониторинг за оценка на състоянието на селскостопански посеви. Динамиката на растителната покривка, особено що се отнася до агроценозите, се отразява в изменение на редица биопоказатели, обобщен израз на които в периода на активна вегетация може да служи проективното покритие. Неговото определяне позволява да се съди за състоянието на посевите в хода на тяхното развитие или под действието на стресови фактори. Предлаганият подход може да служи при изследване на различни почвено-растителни системи и други смесени класове.

Литература

- Джад, Д., Г. Вышецкий. 1978. Цвет в науке и технике. М., 378 с.
- Мишев, Д., Р. Кынчева. 1988. Определение относительной площади, занимаемой посевом, по данным спектрометрических измерений. – *Исследование Земли из космоса*, 5, 71-75.
- Borisova D., R. Kancheva. 2005. Rock, soil and vegetation reflectance data analysis for spectral mixture decomposition. – *Proc. Scientific Conference with International Participation SES'2005, Book I, Publishing House of Technical University, Sofia*, 215-220.

- Carlson, T., D. Ripley, 1997. On the relationship between fractional vegetation cover, leaf area index, and NDVI. – *Remote Sensing of Environment*, 62, 241-252.
- Glenn E., A. Huete, P. Nagler and S. Nelson, 2008. Relationship between remotely-sensed vegetation indices, canopy attributes and plant physiological processes: What vegetation indices can and cannot tell us about the landscape. – *Sensors*, 8, 2136-2160.
- Jackson R. and A. Huete, 1991. Interpreting vegetation indices. – *Preventive Veterinary Medicine*, 11, 185-200.
- Jiang, Z., A. Huete, J. Chen, Y. Chen; J. Li, G. Yan, X. Zhang. 2006. Analysis of NDVI and scaled difference vegetation index retrievals of vegetation fraction. – *Remote Sensing of Environment*, 101, 366-378.
- Kancheva, R., 1999. State assessment of the soil-vegetation system using spectrometric data. PhD thesis, 142 p. (in Bulgarian)
- Kancheva, R., D. Borisova, 2004. Plant senescence and soil background impact on vegetation reflectance and color features. – *Compt. Rend. Acad. Bulg. Sci.*, 57, 7, 53-58.
- Kancheva, R., D. Borisova, 2005. Ground-based models for remotely sensed data interpretation. – *Proc. 2nd International Conference "Recent Advances in Space Technologies"*, Istanbul, Turkey, 79-82.
- Kancheva, R., D. Borisova. 2006. Spectral unmixing for information extraction. – *Proc. ISPRS Mid-term Symposium 2006 "Remote Sensing: From Pixels to Processes"*, Enschede, The Netherlands, http://www.itc.nl/isprsc7/symposium/proceedings/PS01_4.pdf.
- Kancheva, R., D. Borisova, 2009. Colorimetric analysis in vegetation state assessment. – *Proc. 28th EARSeL Symposium and Workshops "Remote Sensing for a Changing Europe"*, Istanbul, Turkey, 2-5 June 2008, Ed. D. Maktav, IOS Press, Amsterdam, 151-156.
- Kancheva, R., D. Mishev, 2000. Colorimetric characteristics for detection of plant chlorophyll variations. – *Compt. Rend. Acad. Bulg. Sci.*, 53, 4, 43-46.
- Kancheva, R., D. Borisova, D. Mishev, 2002. Plant canopy coverage and colour features. – *Compt. Rend. Acad. Bulg. Sci.*, 55, 4, 55-58.
- Mishev, D. 1992. Colour coordinates of a mixed class. – *Compt. Rend. Acad. Bulg. Sci.*, 45, 3, 51-54.
- Mishev, D., T. Yanev, 1993. A mixed class of natural formations and the compositions of its spectral reflectance characteristic. – *Compt. Rend. Acad. Bulg. Sci.*, 46, 11, 33-35.

Препоръчана за публикуване от
Катедра "Приложна геофизика", ГПФ