

ОСНОВНИ ПОДХОДИ ПРИ АНАЛИЗА НА ДИСТАНЦИОННИ ДАННИ ЗА РАСТИТЕЛНАТА ПОКРИВКА

Р. Кънчева

Централна лаборатория по слънчево земни въздействия, БАН, 1113 София, България, e-mail: rkanchevastil@abv.bg

РЕЗЮМЕ. Изхождайки от особеностите на растителността като биосистема и като обект на дистанционните изследвания, се излагат основните подходи за анализ на получаваните спектрално-енергетични данни, обосновава се задължителния им характер.

MAIN APPROACHES FOR VEGETATION REMOTELY SENSED DATA ANALYSIS

R. Kancheva

Solar-Terrestrial Influence Laboratory, BAS, 1113 Sofia, Bulgaria, e-mail: rkanchevastil@abv.bg

ABSTRACT. On the ground of the vegetation peculiarities as a biological system and as a subject of remote sensing studies, the main approaches for spectral data analysis are discussed and their compulsory character is reasoned.

Интересът към количествено описание на процесите на взаимодействие между растителните организми и заобикалящата ги среда, както и изключителното разнообразие в поведението на фитоценозите при взаимодействието им с условията на средата, предопределят значението на разработки, свързани с математическото моделиране. В особена степен това се отнася до изследвания, касаещи селското стопанство. Решаването на задачата е затруднено от видовото различие на агросистемите, от многофакторния процес, какъвто е развитието им, и практическата невъзможност за описание на всички механизми, водещи до изменение с времето на различни биопараметри, които представляват диагностични показатели за състоянието на фитоценозите и подлежат на количествено определяне.

На дистанционните методи е присъщ емпиричен подход, използващ спектрално-енергетичните характеристики на системата "почва-растителност" като индикатор за нейното състояние и влиянието на различни природни и антропогенни въздействия. Експерименталният характер на изследванията, големият обем от разнородни данни, разнообразието на растителните обекти и динамичната им природа, както и редица други фактори, влияещи върху получаваните данни и установяваните връзки, налагат използването на някои основни подходи при анализа на експерименталния материал, върху които ще се спрем накратко, обосновавайки тяхната необходимост.

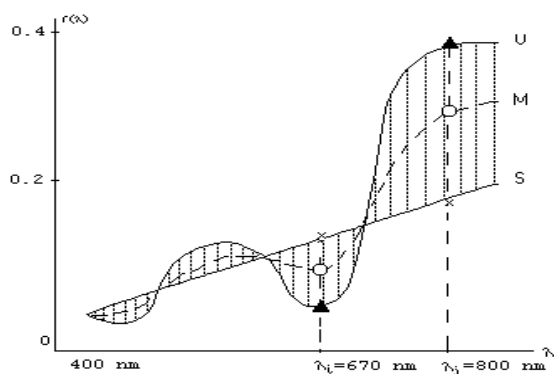
Като се има предвид, че в повечето случаи обработката на дистанционни данни за растителната покривка цели спектрално-биофизичното моделиране на изследваните обекти и практическото приложение на тези модели за оценка на състоянието и прогнозиране на развитието на фитоценозите, не само подходящ, но и наложителен е **статистическият подход**, поради следните причини:

➤ Процесите на взаимодействие на слънчевата радиация със системата "почва-растителност", както и процесите на измерване на радиационните характеристики носят съществено *стохастичен характер*. Същото е свойствено и за биоструктурните параметри на растителната покривка, определящи радиационния ѝ режим. Следователно получаваните данни са случайни величини, което изисква съответния математически подход.

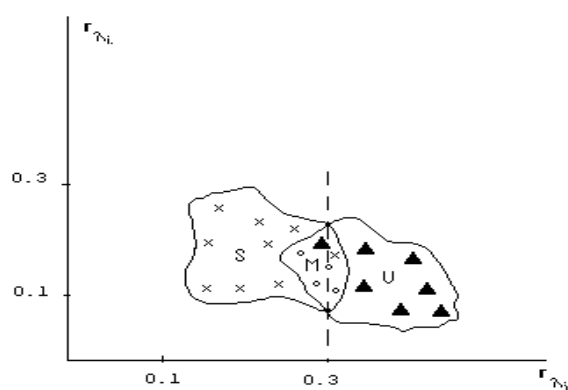
➤ Спектралните характеристики са *многопараметричен сигнал* и съдържат случайни вариации вследствие влиянието на множество случайно изменящи се фактори. Това често маскира спектралните различия, обусловени от конкретните свойства на обекта, които са предмет на изследването. Статистическият анализ позволява да бъде оценена значимостта на факторите и влиянието им върху спектралната разделимост.

➤ Изследваните зависимости между признаците на системата "почва-растителност" (радиационни, биофизични, морфологични) имат стохастичен характер и при отсъствие на детерминизъм статистическите методи за обработка позволяват намаляване на *неоднозначността* на резултатите.

➤ Статистическият анализ на експерименталните данни е необходим, за да се отговори на един важен въпрос, касаещ *статистическото разпределение* на измерваните величини (биофизични параметри, радиационни характеристики). В основата на прилаганите корелационни и регресионни методи лежи хипотезата за нормалност на статистическите разпределения на променливите. Правомерно приложение на апарата на класическата статистика е възможно след проверка на близостта на експерименталните данни до нормалния закон на разпределение.



Фиг.1: а) Спектрални отразателни характеристики на почва (S), растителност (V) и системата "почва-



б) Спектрални клъстери в 2 - мерно пространство от дължини на вълните растителност (M)

► Статистическите методи дават възможност да се правят "най-вероятно" правилни изводи въз основа на оценка на точността и степента на *достоверност* на резултатите.

► От значение е *предимството* на статистическите методи, че те: • позволяват анализа на многомерни данни; • получаването на количествени резултати; • разпространяват се върху широк кръг задачи.

► В спектралното пространство от дължини на вълните даден клас (или състояние) се характеризира не с една точка, а с клъстер от точки, който се формира в резултат на случайния характер на отразателните характеристики. В общия случай клъстерите се пресичат (Фиг.1), което е резултат от сходството на спектралните признаци (за дадена дължина на вълната, в даден момент, поради външни фактори, зашумени измервания и пр.).

Наличието на неопределеност, т.е. на области на припокриване на спектралните характеристики, налага използването на *многомерен анализ* както по отношение на едновременната обработка на данните от различни спектрални канали, така и по отношение на времевите изменения на отразателните характеристики (Фиг. 2). Това е и една от причините за използване на спектрални преобразувания, представляващи комбинации от коефициентите на отражение за две или повече дължини на вълните.

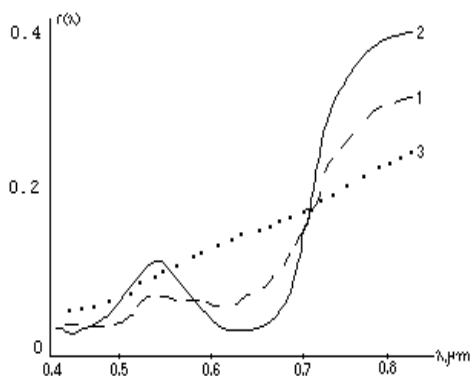
Практическото използване на получаваните данни диктува необходимостта от количествено описание на изучава-

ните величини и взаимовръзки. Поради тази причина принципен подход, който се използва при спектрометричните изследвания на растителната покривка, е *количественият анализ* на данните.

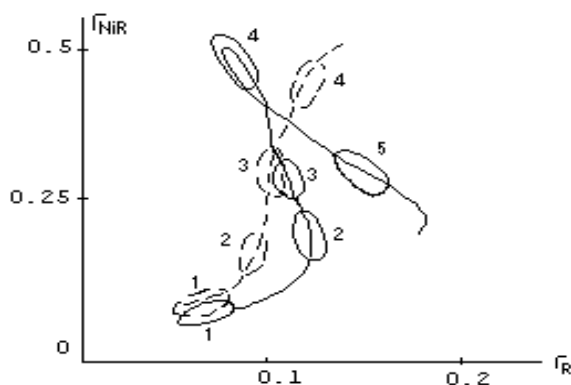
► Това означава, че обработката им цели характеризирането на обекта посредством *количествено представяне* на интересувачи ни негови параметри. За агроценозите това са предимно биометрични показатели (гъстота, проективно покритие, биомаса, листов индекс и пр.), които дават представа за физиологичното им развитие. Оценката на състоянието на растителните обекти се базира върху зависимостта между спектралните и биофизични характеристики.

► Възможност за решаване на задачата дава наличието на адекватни, физично обусловени връзки, като е необходим техничен *количествен израз*. Той се установява чрез съотношения, изведени по експериментални данни, а емпиричната параметризация се осъществява посредством методите на регресионния анализ. Тези методи позволяват по относително несложен начин да се намират най-устойчивите зависимости между корелираните величини.

► Проблемът се свежда до *аналитично описание* на връзката, оценка на значимостта на факторите, адекватността на модела и прогностичната му точност.



Фиг.2: а) Спектрални отразателни характеристики различни фенологични фази:
1 - братене, 2 - изкласяване, 3 - възрастна зрялост



б) Фазови траектории на развитието на зимна пшеница (—) и люцерна (---) в 2 - мерно спектрално пространство

При изследването на растителни системи от изключителна методична важност е **системният подход**. Той означава, че трябва да бъдат определени: • съдържанието на понятието "система", • основните структурни характеристики на системата; • вида и количественото измерение на вътрешните взаимовръзки, • да се прилага функционално-структурен анализ, разкриващ законо-мерностите на динамиката на системата под влиянието на различни фактори. Тези изисквания са твърде съществени поради сложността на фитоценозите като обект на спектрометричните изследвания и динамичния характер на установяваните зависимости. Ще разгледаме накратко съдържанието им.

➤ Агросистемите като природен комплекс включват основен компонентите почва и растителност, така и агротехническите и териториално-климатичните условия. Ако последните не са предмет на изследванията, те се явяват ограничително условие. Тогава под **системата** "почва-растителност" ще се имат предвид двете ѝ съставни – растителна и почвена покривка. Трябва да се отчита и обстоятелството, че самата растителност също представлява система (стъбла, листа, репродуктивни органи), отличаваща се за всеки подклас със своите структурно-морфологични характеристики, количествени израз и взаимовръзки, спецификата на развитие. Оттук произтича друго ограничително условие, а именно, че резултатите от изследванията се отнасят до определена агросистема (култура, почвен тип, условия на отглеждане).

➤ Следващото изискване на системния подход третираме като необходимост от два аспекта на изследването на растителната покривка: • изучаване на вътрешната ѝ структура, връзките и процесите на развитие (*вътрешен аспект*); • анализ на връзките на растителността с цялата система (*външен аспект*). Тъй като е невъзможно да бъдат обхванати всички присъщи на системата "почва-растителност" връзки и не всички параметри, характеризиращи системата, са необходими за решаване на конкретната задача или пък достъпни за определяне чрез използваните методи, подбираме тези връзки и показатели, които имат: → най-непосредствено отношение към целта на изследването, → най-тясна връзка с независимите променливи в модела, → комплексен (обобщаващ) характер, → достъпност, простота и точност на измерване.

➤ При изследване на сложна система, каквато е почвено-растителната покривка, отличаваща се с множество описващи я параметри, *структурата* ѝ може да бъде отразена при помощта на няколко модела. Приемаме, че състоянието на растителността може да бъде описано чрез крайна съвкупност от характеризиращи я биометрични показатели, чието количествено определяне се осъществява чрез методите на статистическото моделиране с използване на спектрометрични данни. Такива показатели са редица екстензивни параметри (височина, биомаса, проективно покритие). Изборът им е определен от горните изисквания: непосредственото отношение към целта на изследването - по тях може да се съди за състоянието на посева, тясната връзка със спектралните променливи (използвани като входни величини в регресионните модели), комплексния характер - доколкото са взаимосвързани и представляват показатели за състоянието на растенията и процесите на формиране на добива.

➤ Изследвания, свързани със структурата, са първа крачка при системния анализ, но тя не е достатъчна, тъй като не обхваща взаимосвързаността на елементите в сис-

темата и системообразуващите връзки, които се проявяват във взаимодействието на компонентите (растителност, почвена покривка, антропогенни въздействия, климатични условия). Подборът на необходимите при дадено изследване *връзки* и тяхната систематизация са не по-малко важни от описание на структурните характеристики. В задачите на растителния мониторинг могат да се отделят групи връзки: → Зависимости между отделните биоструктурни характеристики на растителната покривка. Почвеният тип и свойства не са променливи в моделите, а се явяват ограничително условие. Установяването на статистически зависимости между биометричните параметри е важен аспект, тъй като позволява по спектрални регресионни модели да се определят само някои от тях, а други да се изчисляват посредством вътрешните взаимовръзки. Практическата им ценност е особено висока, когато масовото измерване на някои от тези характеристики (например листов индекс) е трудно изпълнимо. → Външния аспект на системните изследвания разглеждаме като описание на връзките между агропоказателите и приложените антропогенни въздействия. От тук следва възможността за дистанционна оценка на външни влияния върху състоянието на растенията. → Агросистемата е комплекс, в който състоянието на компонентите представлява единно цяло. Като цяло я третираме от гледна точка на нейната продуктивност и моделираме зависимостите между добива, биопараметрите и антропогенните въздействия.

Характерно свойство на растителната система е нейната *динамичност*, т.е. способността да изменя своето състояние във времето. Функционирането на системата (вегетационно развитие) води до промяна на състоянието ѝ (фенологична фаза) и съответно до изменение на характеризиращите я показатели. Известно време системата се намира в новото си състояние и отново натрупва количествени и качествени изменения, водещи до прехода ѝ в ново състояние. Същото се отнася и за разглежданите връзки, които не са фиксирани, а се изменят при дадено състояние (фенофаза) на системата. Оттук следва изключителната важност на **функционалния подход**, означаващ моделиране на измененията в състоянието на системата "почва-растителност". Още повече, че с изследване на функционирането е тясно свързан въпросът за нейното управление (например предприемането на мерки при установени аномални състояния).

➤ Процесът на развитие може да бъде разделен на *времеви интервали* с присъща структура (биометрични характеристики) и режим на функциониране (вътрешни взаимовръзки). Естествени прагове за дискретизация са фенологичните фази в течение на вегетационния цикъл. Така представяме динамиката на системата като взаимосвързана последователност от нейните състояния, описвани със съвкупност от водещи или обобщени признаци, които достатъчно добре (пълно) отразяват ръста и развитието.

➤ Моделирането на системните процеси изисква използване на входни променливи, свързани с физиологичната динамика на растенията и обуславящите я климатични параметри. Това обаче е затруднено от броя, случайния характер и съвместното действие на влияещите фактори. Затова, от гледна точка на функционално-структурния анализ, особен интерес представляват изследвания в различни етапи от развитието на агрофитоценозите и установяването за отделните фенофази на зависимости между спектралните характеристики, биофизичните пара-

метри, антропогенните влияния, добива. Изучаването на режима на функциониране е в смисъл на проследяване на изменението във времето на биофизичните и радиометрични характеристики и установяване на съотношения, описващи взаимовръзките между елементите на системата (биопараметри, продуктивност, антропогенни въздействия) в различни моменти на развитие (фенологични фази). По такъв начин всеки етап от развитието на системата описваме с модел, количествено характеризиращ структурата и режима ѝ на функциониране, като целият процес се отразява във вид на *последователна система от модели* на нейното състояние.

➤ Изменението на състоянието става под влиянието на комплекс от *фактори* и условия, обуславящи функционирането на системата. Факторите са вътрешни (локални – почвени свойства, антропогенни въздействия) и външни (глобални – климатични условия). Затова важен аспект на функционалния подход са изследвания за влиянието на различните условия на отглеждане (почва, наторяване, напояване, замърсяване) върху развитието и продуктивността на агросистемите. По отношение на динамиката на спектралните отражателни характеристики фактори са почвеният тип, биометричните параметри, фенологичната фаза, видът и количеството на антропогенните въздействия. Значимостта на факторите се оценява с помощта на дисперсионен анализ, взаимодействието помежду им посредством корелационен анализ, а влиянието им върху системата се определя количествено чрез регресионен анализ.

Като закономерен подход при дистанционните изследвания на растителната покривка следва **математическото моделиране**. То е ефективен метод за изясняване на вътрешните закономерности, характерни за сложните динамични системи, каквато е системата "почва-растителност". Математическото моделиране представлява аналитично описание на изследваните обекти и явления с помощта на определен клас уравнения.

➤ Цялостното имитиране на сложна система е практически невъзможно и обикновено е изпълнимо моделирането на някои страни на системата. В случая е важно мо-

делът да описва → главните свойства (биоструктурни параметри) на системата и да възпроизвежда → вида на външните и вътрешносистемни връзки, при това в количествена форма.

➤ Такъв подход на математическото моделиране се състои в намиране на *прости зависимости*, описващи отделни аспекти на изучаваната система. Предимството му е, че се опира на емпиричен материал и води до решаването на конкретни задачи. Моделът е предварително ограничен от задачата и най-често е справедлив и приложим за дадени условия (агросистема, фенофаза).

➤ *Предназначение* на математическото описание на системата "почва-растителност" е да се: → оцени състоянието ѝ на даден етап от развитието, → определи влиянието на различни въздействия, → осъществи прогнозиране на протичащите процеси (ръст, добив).

Отделна работа ще бъде посветена на изискванията, задачите и решаването им при спектрално-биофизичното моделиране на растителната покривка.

Работата е финансирана по договор Б1306/03 с НСНИ-МОН.

Литература

- Витенберг И. 1986. *Статистическое моделирование динамических систем средствами АВТ*. Машиностроение, М., 200.
- Зайцев Г. Н. 1984. *Математическая статистика в экспериментальной ботанике*. Наука, М., 424.
- Кънчева Р. 1999. Оценка на състоянието на системата почва-растителност чрез използване на спектрометрични данни. Докторски труд, София, 144.
- Лидански Т. 1988. *Статистически методи в биологията и в селското стопанство*. Земиздат, С., 376.
- Свейн Ф. и Ш. Дейвис. 1983. *Дистанционно зондирование: количественный подход*. Недра, М., 415.