

## АНАЛИЗ НА ГРЕШКИТЕ В СПЕКТРОМЕТРИЧНИТЕ ИЗМЕРВАНИЯ

Валентин Атанасов<sup>1</sup>, Георги Желев<sup>1</sup>, Деница Борисова<sup>1</sup>,  
Кирил Алексиев<sup>2</sup>, Петя Копринкова<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Институт за космически изследвания и технологии – Българска академия на науките  
<sup>2</sup>Институт по информационни и комуникационни технологии – Българска академия на науките  
e-mail: vatanassov@space.bas.bg

**Ключови думи:** дистанционни изследвания, видеоспектрометрични системи, неопределености, грешки.

**Резюме:** Спектрометричните измервания се характеризират с огромни възможности по отношение на получаваната информация. Същевременно за да бъдат реализирани тези възможности е необходимо да бъде отстранено влиянието на множество допълнителни ефекти и грешки върху резултатите от измерванията. В работата са разледани различните източници на лъчение, участващи в формиране на общата мощност на регистрираното от прибора отразено лъчение. Анализирани са и е направена е систематизация на грешките от тези източници и са посочени пътищата за тяхното намаляване и отстраняване. Приведена е класификация на грешките по определени критерии.

## ERROR ANALYSIS IN THE SPECTROMETRIC MEASUREMENTS

Valentin Atanasov<sup>1</sup>, Georgi Jeleu<sup>1</sup>, Denitza Borisova<sup>1</sup>,  
Kiril Alexiev<sup>2</sup>, Petya Koprinkova<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Space Research and Technology Institute – Bulgarian Academy of Sciences  
<sup>2</sup>Institute of Information and Communication Technologies – Bulgarian Academy of Sciences  
e-mail: vatanassov@space.bas.bg

**Keywords:** remote sensing, imaging spectrometer, uncertainties, errors.

**Abstract:** Spectrometric measurements are characterized by a huge potential in terms of the received information. However, to be realized these opportunities need to be removed the influence of a number of additional effects and errors on the measurement results. In the paper are discussed various radiation sources involved in the formation of the registered irradiation. Errors from these sources are analyzed and classified according to specific criteria and are listed ways for their reduction and elimination.

### Въведение

През последните десетилетия дистанционните изследвания се наложиха като водеща научна област и мощен инструмент в изучаването на земната повърхност. Получаваната информация се използва успешно в редица важни области, като геология, селско стопанство, картография, военно дело, екология и др. Кръгът от приложения на дистанционно получени спектрални данни и изображения непрекъснато се разширява, включвайки нови области, като екологичен мониторинг на застрашени зони, мониторинг на глобалните промени на природните ресурси и околната среда, промени в климата и др.

Водещо място в дистанционните изследвания заемат спектрометричните измервания. Съществуващият огромен потенциал на тези изследвания може да бъде използван пълноценно само при наличието получени с висока точност и прецизност спектрални данни и изображения. Това условие, за съжаление, не може да бъде изпълнено априори и първоначално при получаване на суровите данни. Напълно основателно е широко разпространено мнение в

научните среди, че резултатите от тези измервания са едни от най-малко надеждните от всичките физични измервания [1,2]. Причина за това са многобройните неопределености и неточности, генерирани в процеса на дистанционните измервания (фиг.1) [3]. Към тези неопределености и неточности, когато става въпрос за видеоспектрометри се добавят и такива, породени от самия метод на формиране на изображенията, например за конкретност ще посочим че при т. нар. pushbroom тип прибори, при които изображението се формира последователно ред по ред и приносът на грешките е значителен по едната пространствена координата, докато при whiskbroom приборите се прибавят такива и по втората пространствена координата. Ето защо анализът и оценката на грешките при тези измервания е от изключително важно значение за получаване на релевантни научни и практически резултати.

### **Грешки при измерванията**

От гледна точка на теорията на измерването съществуват няколко основни критерии за класификация на грешките – по произход, характер, проявление и др.. Следва да се отбележи, че в много случаи, разделянето на грешките по определен критерий е в известна степен условно и се определя от степента на познание на свойствата на измервателното средство и въздействията на влияещите фактори.

Според избрания критерий грешките могат да бъдат класифицирани:

**По своя характер** (според закономерността на появяване на грешките) грешките се делят на три вида: груби, систематични и случайни. При спектрометричните измервания могат да се наблюдават и трите вида грешки.

**Грубите грешки** представляват неоправдано големи отклонения от истинската стойност на измерваната величина. Например срыв в апаратурата за събиране на данни – при сателит Landsat 7ETM+ – загуба на редове. Грубите грешки обикновено при анализа се игнорират.

**Систематични грешки** са грешките, които запазват големината и знака си в серията измервания или се изменят по определен начин. Те отклоняват измерваната величина от истинската ѝ стойност в една посока. Систематичните грешки са: инструментални (грешки на уреда) и методични (грешки на метода):

- **инструментални** систематични грешки - обуславят се от неточности при направата и градуировката на уредите, от неточно установяване и настройване на уреда, от настъпили изменения в отделни модули на уреда. Към тази категория можем да причислим повечето от грешки от влияния на вътрешни за прибора фактори (фиг. 2 – дясна колона), като неидеалност на оптичната система  $s_o$ , неидеалност на апаратурата, участваща в процеси на формиране на изображение.

- **методични** систематични грешки - получават се, когато се използват приблизителни формули или когато условията, при които се правят измерванията, се отличават от приетия теоретичен модел. Към тази категория можем да причислим повечето от грешки от влияния на външни за прибора фактори (грешки генерирани от външни източници – фиг. 2 – лява колона),

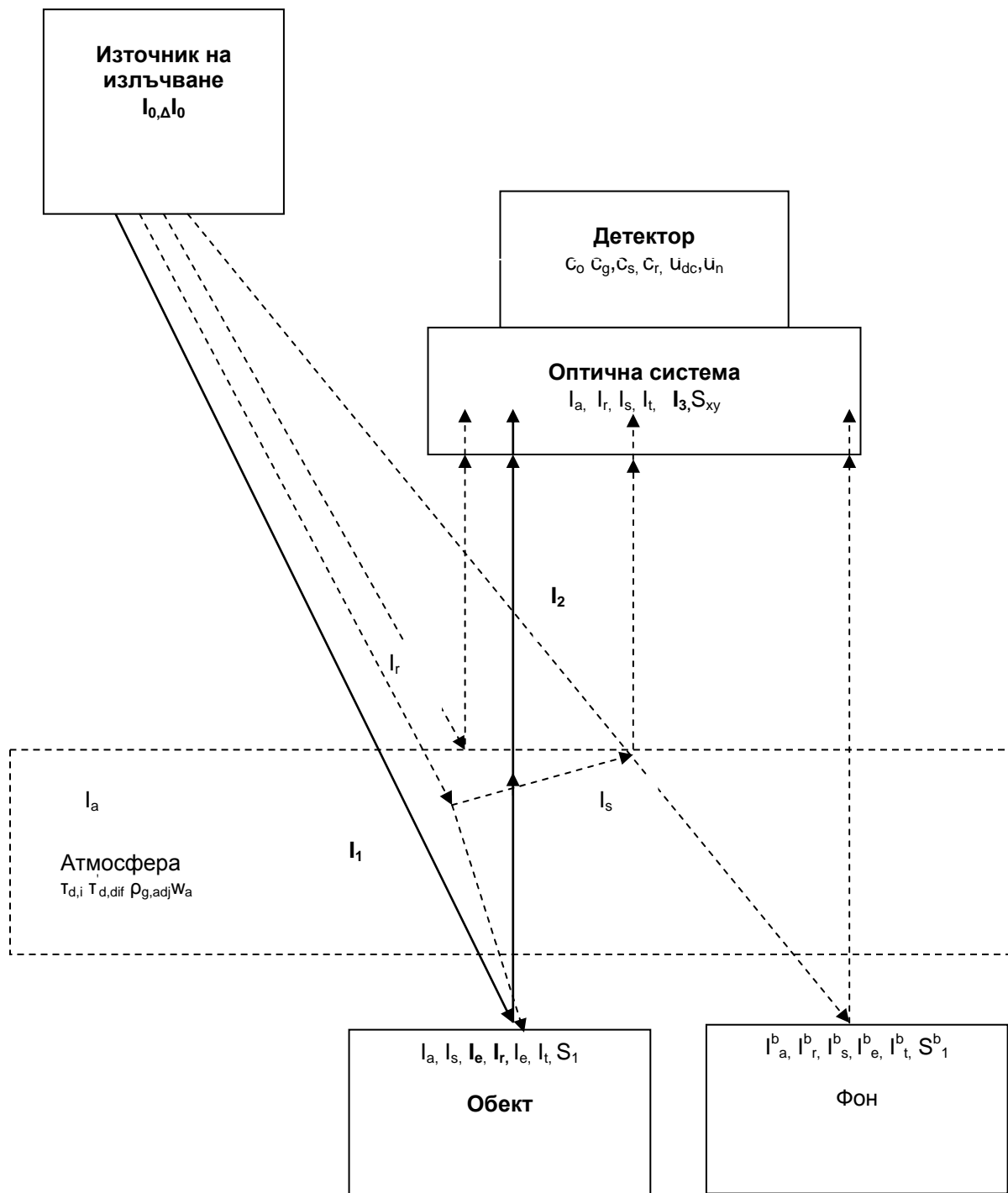
**Случайни грешки** са тези, които се променят по големина и знак при всяко следващо измерване. Причините за тези грешки могат да бъдат: малки промени на налягането, температурата, осветеността. Такива са грешките генерирани от прибора под влияния на външни за прибора фактори (фиг. 2 – дясна колона, долна част), грешки от нестабилност на характеристиките на прибора.

Някои от грешките, например тази породени от влиянието на тъмнинния ток, имат повече от една компонента – основна, която може да бъде причислена към систематичните грешки) -адитивен характер- и втора компонента със случаен характер.

Един от основните критерии по който могат да бъдат класифицирани грешките и който трябва да бъде взет под внимание в спектрометричните измервания е по произход на грешките. Изборът на такъв критерий ни дава възможност за планиране на ефективни процедури за предварителна обработка на данните и минимизиране на влиянието на смущаващите фактори в измерванията.

### **Според източника за възникване на грешките:**

**Методични** – дължащи се на несъвършенството на метода на измерване. Най-често тези грешки възникват, когато се използват непреки (косвени) измервания (фиг. 2 – лява колона),



Фиг. 1. Източници на лъчение, участващи в формиране на общата мощност на регистрираното от прибора отразено лъчение, където:  $I_0$  – интензивност на източника на лъчение, обикновено в спектрометричните измервания – Слънцето,  $\Delta I_0$  – вариации в интензивност на източника на лъчение, интензивности на:  $I_a$  – поглъщане,  $I_r$  – отражение,  $I_s$  – разсейване,  $I_t$  – пропускане,  $I_e$  – излъчване,  $I_3$  – резултантно лъчение, попадащо върху детектора,  $S_1$  – геометрия на наблюдение, обект,  $S_1^b$  – геометрия на фона,  $T_{d,i}$ ,  $T_{d,dif}$ ,  $\rho_{g,adj}$ ,  $W_a$  – коефициенти на пропускане, дифузно проникване, отражение. Източници на грешки, формирани в детектора, където  $U_{dc}$  – тъмнинен ток,  $U_n$  – шум от управляващата електроника,  $C_0$  – неидеалност на оптичната система,  $C_g$  – геометрична неопределеност,  $C_s$  – спектрална неопределеност,  $C_r$  – радиометрична неопределеност.

**Инструментални** – дължащи се на несъвършенството на измервателното средство, на неговите грешки. Грешките на измервателното средство се определят от схемата и качеството на апаратурата (фиг. 2 – дясна колона),

**Случайни (субективни)** – дължащи се на случайни фактори, напр. на невниманието, небрежността или неправилните манипулации на оператора в процеса на измерване и фиксиране на резултатите.

**Според зависимостта на проявяване на грешките в стойностите на измерваните величини:**

**Аддитивни** – съставлящи на абсолютните грешки, независещи от стойностите на измерваните величини.

**Мултипликативни** – съставлящи на абсолютните грешки, пропорционални на стойностите на измерваните величини.

- **линейни** - при линейните измервателни средства мултипликативните грешки се дължат на грешките на номиналната им чувствителност

- **нелинейни** – съставлящи на абсолютните грешки, изменящи се нелинейно от стойностите на измерваните величини - когато функцията на преобразуване е нелинейна величина.

Класификацията на грешките по отделните критерии е от особена важност за подобряване на точността от измерванията, тъй като най-общо казано различните източници причиняват различен тип грешки. Това диференциране на източниците на грешки позволява прилагането на разделни методи за намаляване на отделните съставлящи и постигане на оптимални резултати както по време на проектирането и изграждането, така и по време на експлоатационния период на прибора.

### **Източници на грешки в спектрометричните измервания**

Източниците на грешки в спектрометричните измервания са с широк спектър, обусловен от разнородния им произход, и при всички случаи, когато данните от измерванията ще се използват за последващи анализи, те трябва да бъдат взети в предвид, като всеки от тях трябва да бъде локализиран, анализиран и характеризирен. Това императивно налага планиране и прилагане на методи и процедури за предварителна обработка на получаваните данни.

Основен източник на грешки е неопределеността и нестабилността на измерванията, извършвани с такива инструменти, регистриращи отразено лъчение. В количествено отношение тази висока неопределеност се обуславя не само от източниците, формиращи общата мощност на пристигащия на входа на прибора сигнал (фиг. 1), но и от типа на използвания прибор [3,4].

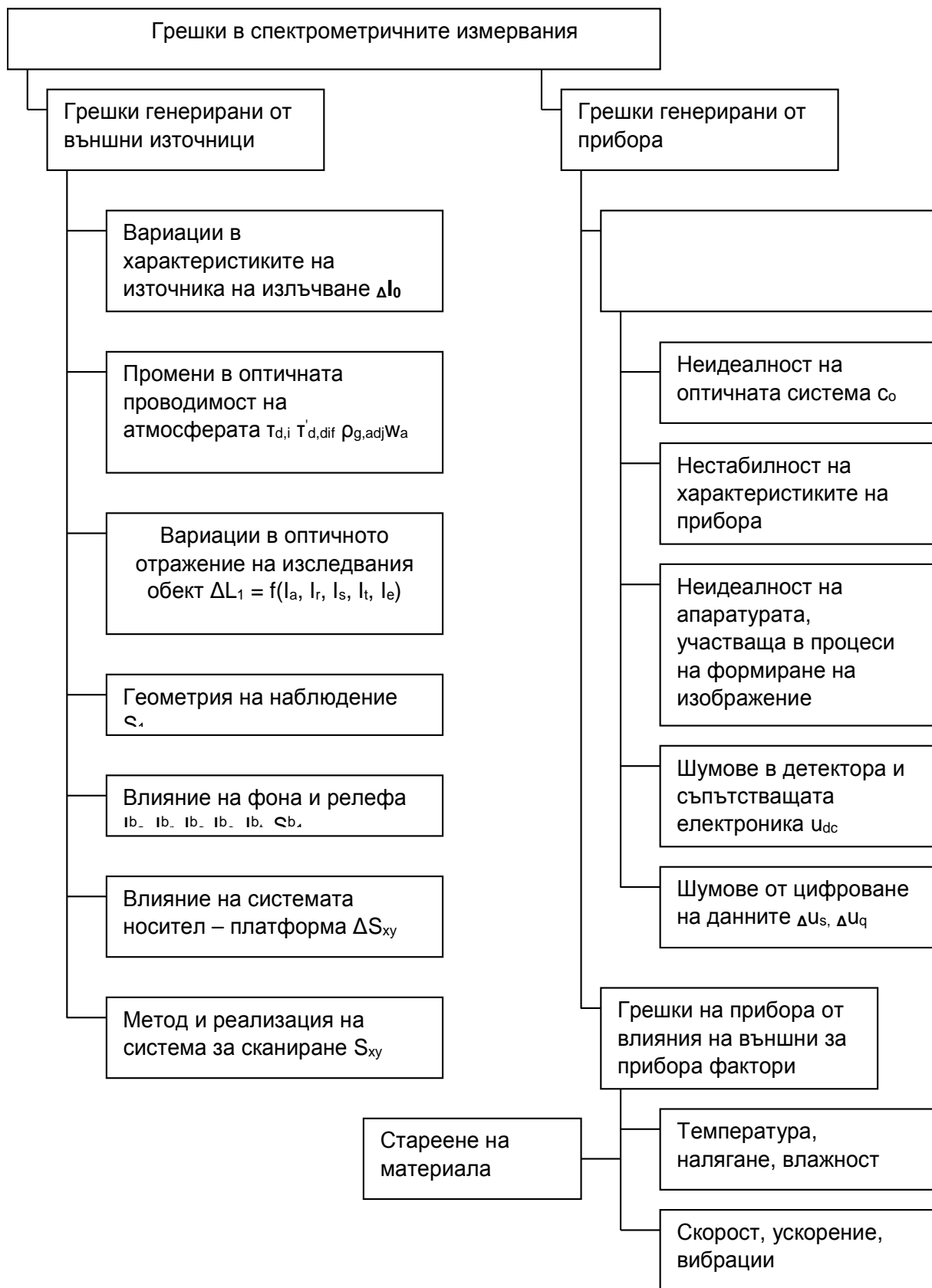
Източниците на грешки, в зависимост от произхода на генерираните неопределености, нестабилности и шум, могат да бъдат разделени условно на две основни групи (фиг. 2):

♦ източници на грешки, породени от неопределености и нестабилности, генерирани от външни за прибора фактори, към която група могат да бъдат причислени:

- вариации в характеристиките на източника на излъчване  $\Delta I_0$ ;
- промени в оптичната проводимост на атмосферата, предизвикани от вариации в температура, налягане, количество водни пари и разпределение на молекули на газове, влияещи на ефектите на поглъщане, отражение, разсейване  $T_{d,i}$   $T_{d,dif}$   $\rho_{g,adj} W_a$ ;
- вариации в оптичното отражение на изследвания обект  $\Delta L_0$  предизвикани от ефектите на поглъщане  $I_a$ , отражение  $I_r$ , разсейване  $I_s$ , пропускане  $I_t$ , излъчване  $I_e$ ;
- влияние на геометрията на наблюдение на изследвания обект върху формиране на пълната мощност на лъчението, регистрирано от сензора  $S_1$ ;
- влияние на фона и релефа върху формиране на пълната мощност на лъчението, регистрирано от сензора  $I_a^b$ ,  $I_r^b$ ,  $I_s^b$ ,  $I_e^b$ ,  $I_t^b$ ,  $S_1^b$ ;
- вариации в характеристиките на системата носител - платформа при снемане на изображения;
- вариации в характеристиките на системата за сканиране при получаване на изображенията  $S_{xy}$ ;

♦ източници на грешки, породени от нестабилности и шум, генерирани от самия прибор и добавящи в системата геометрична неопределеност  $c_g$ , спектрална неопределеност  $c_s$ , радиометрична неопределеност  $c_r$ , към която група могат да бъдат причислени:

- източници на грешки генерирани от прибора, вследствие на влияния на вътрешни за прибора фактори:



Фиг. 2. Грешки в спектрометричните измервания

- неидеалност на оптичната система  $c_0$ ;
- нестабилност на характеристиките на прибора;

- неидеалност на апаратурата, участваща в процеси на формиране на изображение;
  - шумове в детектора и съпътстващата електроника  $U_{dc}$ ;
  - шумове от цифроване на данните при процесите на дискретизация и квантоване  $\Delta U_s, \Delta U_q$ .
- източници на грешки генерирани от прибора, вследствие на влияния на външни за прибора фактори:
- - температура, налягане, влажност;
  - - скорост, ускорение, вибрации;

Като допълнение към изложеното може да се посочи, че значително влияние върху определяне на метричните характеристики на системата оказва качеството на електрониката и параметрите на апаратурата за обработка на данните.

Приложените класификации на източниците на шум и неопределености, проявяващи се в процеса на измерването, позволяват не само количествено определяне, но и прилагане на предварителна обработка на данните с цел изключване или свеждане до минимум влиянието им върху изходните резултати, с цел по-добра съпоставимост на тези данни и подобряване на еднозначността на получената информация.

### **Изводи**

1. Направеният анализ на грешките, проявяващи се в процеса на дистанционните спектрометрични измервания позволява систематизация на грешките и точна класификация по различни критерии. Това предполага набелязване на методи и процедури намаляване или отстраняване на тяхното влияние в получаваните данни, дава възможност за количественото им определяне и изключване.

2. Определянето на грешките по произход дава възможност за планиране на ефективни методи за минимизиране на грешките в спектрометричните измервания.

### **Благодарности**

Изследването в настоящата работа е проведено в рамките на договор ДФНИ – И01/8, 2012, между ИКИТ – БАН и Фонд “Научни изследвания”.

### **Литература:**

1. Koskowski, H. J., 1997. Reliable Spectroradiometry, Spectroradiometry Consulting, La Plata, MA, 1997.
2. Schaepman, M. E., 1998. Calibration of a Field Spectroradiometer. Remote Sensing Series, University of Zurich.
3. Atanassov, V., L. Krалева, G. Jелев, 2008, Noise and uncertainties in remote sensing spectrometric measurements. Proceedings of the Third Scientific Conference with International Participation “Space, Ecology, Nanotechnology Safety – SENS’2007”, 27-29 June 2007, Varna, Bulgaria, SRI-BAS. ISSN: 1313-3888, p.170-173.