

AZƏRBAYCAN RESPUBLİKASI

Əlyazması hüququnda

TƏBİİ OBYEKTŁƏRİN TƏDQİQİNDƏ MAYE-KRİSTAL SÜZGƏCLİ ÇOXSPEKTRAL ÖLÇMƏ SİSTEMLƏRİNİN TƏKMİLLƏŞDİRİLMƏSİ

İxtisas: 3337.01 – İnformasiya-ölçmə və idarəetmə sistemləri
(sahələr üzrə)

Elm sahəsi: Texnika elmləri

Fəlsəfə doktoru

elmi dərəcəsi almaq üçün təqdim edilmiş

DİSSERTASIYA

İddiaçı: _____ **Günəl Vaqif qızı Əliyeva**

Elmi rəhbər: _____ **texnika elmləri doktoru, professor**
Fəxrəddin Güləli oğlu Ağayev

SUMQAYIT– 2021

M Ü N D Ə R İ C A T

GİRİŞ	5
I FƏSİL. MAYE-KRİSTAL SÜZGƏCLİ ÇOXSPEKTRAL İNFORMASIYA-ÖLÇMƏ SİSTEMLƏRİNDƏN İSTİFADƏNİN SƏMƏRƏLİLİYİNİN ARTIRILMASI PRİNSİPLƏRİ	14
1.1. Maye-kristal süzgəclli hiperspektral günəş fotometrlərinin həssaslığının qiymətləndirilməsinin analitik metodu	14
1.2. Multispektral ölçmələrin dəqiqliyinin artırılmasında çoxfunksional maye kristal süzgəclərdən istifadə prinsipləri	20
1.3. Pilotsuz uçuş aparatlarının (PUA) qrup uçuşlarında maye-kristal süzgəclli hiperspektrometrlər vasitəsilə aparılan ölçmələrin optimallaşdırılması ...	28
1.4. Opto-elektron süzgəclərlə birgə iş zamanı yükəlaqəli cihazlar bazasında yaradılan fotoqəbuledicilərin kalibrlənməsi məsələləri	34
I fəslin nəticələri	39
II FƏSİL. DƏNİZ MÜHİTİNİN HİDROFİZİKİ PARAMETRLƏRİNİN ÇOXSPEKTRAL ÖLÇMƏ METODLARININ TƏKMİLLƏŞDİRİLMƏSİ	40
2.1. Dəniz suyunda xlorofilin konsentrasiyasının təyininin yeni hiperspektral ölçmə metodu	40
2.2. RGB kolorimetriyası ilə dəniz suyunun rənginin təyində dəqiqliyin artırılmasının adaptiv ölçmə metodu	47
2.3. Dəniz suyunun rənginin borddan hiperspektral ölçmə üsulunun optimallaşdırılması	53
2.4. Bort monoxromatik ölçmələri əsasında obyektlərin spektral xüsusiyyətlərinin təyininin optimallaşdırılması məsələləri	61
II fəslin nəticələri	67

III FƏSİL. YERÜSTÜ OBYEKTŁƏRİN SPEKTROFOTOMETRİK	
ÖLÇMƏ NƏTİCƏLƏRİNİN İNFORMATİVLİYİNİN	
ARTIRILMASINDA ATMOSFER AEROZOLUNUN	
TƏSİRİNİN NƏZƏRƏ ALINMASI	69
3.1. Müxtəlif əksetmə əmsallarına malik yerüstü obyektlərin spektral ölçmə nəticələrinin informativliyinə atmosfer aerosolunun təsirinin qiymətləndirilməsi	69
3.2. Bitkilərin normallaşdırılmış diferensial sululuq indeksinin təyində ölçmələrin dəqiqliyinə aerosolun təsirinin nəzərə alınması	75
3.3. Atmosferin yuxarı sərhəddində əks olunan radiasiyanın yüksək informativliklə ölçülməsi üçün kiçik dispersli aerosolun miqdarının qrafoanalitik təyini metodu	79
3.4. Texnoloji nəzarəti yerinə yetirən kolorimetrik informasiya-ölçmə sistemi siqnallarının optimal emalı üçün atmosfer aerosolunun ümumiləşdirilmiş modeli	85
III fəslin nəticələri	93
IV FƏSİL. BİTKİLƏRİN MƏXSUSİ PARAMETRLƏRİNİN	
TƏYİNİNDƏ TƏKMİLLƏŞDİRİLMİŞ ÇOXSPEKTRAL	
BORT ÖLÇMƏ METODLARI	95
4.1. Müxtəlif spektral kanalların ölçmələri əsasında bitkilərin quru çəkisinin təyin edilməsinin parametrik-statistik metodikası	95
4.2. Maili trayektoriya ilə hərəkət edən daşıyıcıda quraşdırılmış spektrometr vasitəsilə meşə örtüyünün strukturu haqqında toplanmış məlumatların informativliyinin artırılması	101
4.3. FAO-56 ekoloji modelin göstəricilərinin bort spektral ölçmə vasitələri ilə kalibrlənməsi metodikasının təkmilləşdirilməsi	108
4.4. Qarışıq obyektlərin subpiksel miqyaslı multispektral ölçmələrinin optimallaşdırılması	113
4.5. Maye-kristal süzgəclərdən informasiya-ölçmə sistemlərində istifadənin	

səmərəliliyinin analitik-eksperimental qiymətləndirilməsi	121
IV fəslin nəticələri	131
NƏTİCƏ	132
İSTİFADƏ EDİLMİŞ ƏDƏBİYYAT SİYAHISI	134
İXTİSARLARIN SİYAHISI	148

GİRİŞ

Mövzunun aktuallığı və işləmə dərəcəsi. Hal - hazırda ətraf mühitə nəzarət üçün hiperspektral və multispektral ölçmə metodlarından geniş istifadə olunur. Təbii ehtiyatların monitorinqi zamanı spektral və məkan parametrləri əsas göstəricilər olmaqla, müvafiq ölçmə metodlarının optimal qaydada birgə istifadə edilməsi məsələsini qarşıya qoyur. Müvafiq üsulların birgə istifadə edilməsi sayəsində, bir çox geofiziki məsələlər həll edilmiş, xalq təsərrüfatının bir çox sahələrində qabaqcıl texnologiyaların tətbiqi mümkün olmuşdur. Bu məsələlərin həllində təsvir yaradan qurğuların xüsusi rolu qeyd edilməlidir. Təsvir yaradıb ötürən qurğular nisbətən uzun inkişaf yolu keçmiş, keçən əsrin əvvəllərindəki elektron – şüa borularından tutmuş hazırki yük əlaqəli, yüksək informativ cihazlarda öz əksini tapmışlar. Bu cihazlar müasir, hiperspektrometrlərin əsasını təşkil edir və müxtəlif quruluşlu spektral ayırdetmə vasitələri ilə birlikdə “təsvirlər kubu” adlanan hiperspektral informasiya məkanını formalaşdırmağa imkan verir. Təsvirlər kubunda cəmləşmiş spektrlər toplusu ətraf mühit obyektlərinin öyrənilməsi üçün vacib informasiya mənbəyi olmaqla bu obyektlərin müxtəlif signaturlar əsasında identifikasiyasını və təsnifatını yerinə yetirməyə imkan verir. Təsvir yaradan qurğularda istifadə edilən çoxelementli fotoçeviricilər ikiölçülü matris quruluşuna malik olmaqla hiperspektral analizin yerinə yetirilməsi üçün monoxromatorla tamamlanmalıdırlar. Optik dalğa uzunluqlarının seçilməsi məsələsi difraksiya qəfəsi, interferensiya süzgəci ilə bərabər maye-kristal əsaslı elektron idarə edilən qurğular vasitəsilə də həll edilə bilər. Maye-kristal süzgəclərin son zamanlar aşkar edilmiş elektron idarə olunma xassəsi keyfiyyətə yeni olan multispektral və hiperspektral qurğuların yaradılmasına imkan verir. Dalğa uzunluğuna görə tənzimlənən maye-kristal süzgəclər ətraf mühitə ekoloji nəzarət məsələlərində geniş istifadə edilə bilirlər və bu cür nəzarətin effektivliyini xeyli yüksəltmək potensialına malikdirlər. Bu cür qurğularda idarə konturunda sərf edilən elektrik enerjisi çox kiçik olmaqla, dalğa uzunluqlarının geniş diapazonda seçilməsini təmin edir və bir nəticə olaraq yüksək keyfiyyətli hiperspektral təsvirlərin formalaşmasına imkanı yaradır.

Maye-kristal süzgəclər öz konstruktiv sadəliyinə görə yüksək etibarlılığı ilə fərqlənirlər. Son zamanlar maye - kristal süzgəclərin istehsal texnologiyası xeyli təkmilləşdirilmiş, bir sıra texnoloji parametrlərin, o cümlədən qoşulub-açılma müddətini əks etdirən tez işləmə göstəricisinin yüksəldilməsi əldə edilmişdir. Maye-kristal süzgəclərin cəld işləməsi göstəricisinin yüksəldilməsi bu əsasda qurulan təsvir formalaşdırıcı qurğuların yüksək dinamik səhnələrin tədqiqində istifadə edilməsi üçün geniş imkanlar yaratmışdır. Maye-kristal süzgəclər bir sıra digər üstünlüklərə də malikdirlər ki, bunlara optik siqnalın az zəifləməsi, böyük müşahidə bucağına malik olmasını, aperturasının genişliyini misal göstərmək olar. Bütün bunlar maye-kristal süzgəclərin müxtəlif təyinatlı təsvir formalaşdırıcı optik - elektron sistemlərdə tətbiqi potensialının olduqca geniş olduğunu göstərir və bu qurğuların daha da effektiv istifadə imkanlarının tədqiqini aktual bir məsələ kimi qarşıya qoyur. Deyilən məsələnin həllində müxtəlif optimal iş rejimlərinin araşdırılması və praktikada tətbiqi vacib əhəmiyyət kəsb edir. Müxtəlif tipli ətraf mühit obyektlərinin, o cümlədən, su mühitində, bitki aləmində və atmosferdə mövcud olan obyektlərin hərtərəfli tədqiqi üçün nəzərdə tutulmuş multi və hiperspektral qurğularda geniş tətbiq olunma potensialına malik olması müasir maye-kristal süzgəclərin deyilən sistemlərdə istifadə edilməsinin elmi-metodik əsaslarının işlənilməsinə həsr edilmiş dissertasiya tədqiqatları mövzusunun yüksək aktuallığını və elmi əhəmiyyətini göstərir.

Maye-kristal süzgəclər elektron idarə edilə bilmə qabiliyyəti, daha geniş aperturası və daha informativ təsvir yaratmaq kimi üstünlükləri ilə analoji təyinatlı qurğulardan üstündürlər. Maye-kristal süzgəclər rəngli təsvirlərin alternativ formalaşdırma texnologiyası olan RGB tipli qurğularda da müvəffəqiyyətlə tətbiq edilə bilirlər. Bu qurğular əsasında difraksiya təhrifləri kiçik olan təsvirlər almaq mümkündür ki, bu da spektral ayırdetmə qabiliyyətinin kifayət qədər yüksək olması sayəsində əldə oluna bilər. Bu qurğularda giriş aperturasının faktiki ölçüsü 35 mm-ə çatır, görmə bucağı isə kifayət qədər genişdir. Belə ki, girişə verilən optik şüalar normala nəzərən 7° -dən böyük bucaqla fotoqəbulediciyə ötürülür. Maye-kristal süzgəclərin tətbiq sahəsi olduqca genişdir. Bu qurğular yüksək texniki istismar göstəricilərinə malik olduqları üçün müxtəlif hərbi və dinc təyinatlı informasiya –

ölçmə sistemlərində geniş istifadə edilir. Bu qurğuların yüksək etibarlılığı onların termal, su buxarı, zərərli optik radiasiya və zərbə təsirlərinə qarşı yüksək davamlılığı ilə izah olunur. Müasir hiperspektral sistemlərin konstruksiyasının sadələşdirilməsində maye-kristal süzgəclərin elektron idarə edilə bilmə xüsusiyyəti yeni texnoloji həll kimi geniş imkanlar açır. Bir nəticə olaraq, ətraf mühit obyektlərinin ekoloji monitorinqi, onların identifikasiyası və təsnifatı məsələlərinin daha effektiv tərzdə həll edilməsi mümkünlüyü reallaşır. Bu imkanların daha effektiv və səmərəli istifadə edilməsi yollarının tədqiqi yerinə yetirilmiş dissertasiya tədqiqatlarının əsasını təşkil edir və dissertasiya işində alınmış nəticələr müxtəlif təyinatlı təsvir yaradan optik-elektron qurğuların informativliyinin artırılmasına xidmət edir.

Dəniz, atmosfer və bitki örtüyünün müxtəlif komponentlərinin məsafədən tədqiqi və ümumən, ətraf mühit üzərində monitorinqini reallaşdıran müxtəlif təyinatlı optik-elektron informasiya-ölçmə sistemlərinin təkmilləşdirilməsi məqsədilə dissertasiya işində qarşıya qoyulmuş və həll edilmiş, məsələlər ölçmə üsul və metodlarının modellərinin yaradılması, optimal üsulların sintezi, dəqiqlik və informativliyin artırılmasına xidmət edən elmi-texniki metodikaların işlənilməsi yolu ilə həyata keçirilmişdir.

Tədqiqatın məqsəd və vəzifələri: Atmosfer, su və bitki mühitinin ekoloji monitorinqi üçün maye-kristal süzgəclərin monoxromator kimi istifadə edildiyi yüksək informativ multispektral informasiya-ölçmə sistemlərinin yaradılmasının elmi-metodiki əsaslarının işlənilməsindən ibarətdir.

Əsas məqsədə nail olmaq üçün dissertasiya işində aşağıdakı məsələlər qarşıya qoyulmuş və həll edilmişdir:

- Fotometrin girişində yerləşdirilmiş maye- kristal süzgəclərin həssaslığa təsir edən əsas amillərin analizi və günəş fotometrinin həssaslığının təcrübi xüsusiyyətlərinin dalğa uzunluqlarına görə tədqiqi.

- Radiasiyanın su buxarı və O₂ tərəfindən kontinual udulması baş verən dar zolaqlı 685-705 nm dalğa uzunluğu diapazonunda və aerosolun nəmlənməsi, həmçinin quruması kimi hadisələrin təsir göstərə biləcəyi 400-700 nm geniş spektral

diapazonda üç dalğa uzunluğunda spektral ölçmə dəqiqliyinin artırılması imkanlarının tədqiqi.

- Dəniz suyunun rənginin təyini zamanı təhriflərin yaranmasında küləyin sürətinin qeyri-stabilliyi səbəbindən su səthinin dalğalanması faktorunun rolunun tədqiqi. Dəniz suyunun rəng komponentlərinə küləyin sürətinin qeyri-stabilliyinin təhrifedici təsirini aradan qaldırmağa imkan verən adaptiv ölçmə metodunun işlənilməsi.

- Dəniz hövzəsində bir neçə nöqtədə suyun rənginin ölçülməsinin informasiya baxımından optimallaşdırılması məsələsinin formalaşdırılması və həlli. Müxtəlif dalğa uzunluqlarında aparılan ölçmələrin sayı ilə dalğa uzunluğu arasındakı optimal asılılığın müəyyənləşdirilməsi.

- Bitki sahələrində fotometrik ölçmələr aparılan mühitdə havanın rütubətliliyinin variasiyaları nəticəsində aerosolun nəmlənməsi və quruması hadisələrinin təsiri ilə bitkilərin sululuq indeksinin müəyyənləşdirilməsində yaranan xətanın tədqiqi.

- Rəng siqnallarının korrelyasiya hesablayıcısının optimallaşdırılması üçün tətbiq edilən məqsəd funksionalının formalaşdırılması məqsədilə atmosfer aerosolunun optik qalınlığının ümumi modelinin işlənilməsi, xarici atmosfer faktorları nəzərə alınmaqla korrelyasiya hesablayıcısının optimal rejiminin sintezi.

- Bortdan yerinə yetirilən maili skanerləmə əməliyyatında maili sətrin müddətinin maillik bucağından asılı olaraq dəyişməsi rejimini təşkil etməklə, maye-kristal süzgəclərin amplitud - spektral buraxma xarakteristikalarının müvafiq qolundan istifadə etməklə meşə örtüyü strukturunun maili skanerlənməsi sisteminin optimallaşdırılması imkanının tədqiqi.

- Məsafədən zondlama vasitələrindən istifadə etməklə FAO-56 ekoloji modelinin göstəricilərinin kalibrasiya metodikasının təkmilləşdirilməsi, LAI və NDVI arasında empirik əmsalın dəqiq müəyyənləşdirilməsi imkanının təhlili.

Tədqiqat metodları: Dissertasiya işində qarşıya qoyulan məsələlərin həllində optik atmosfer ölçmələri, optimal proseslər və informasiya nəzəriyyələrindən, həmçinin riyazi analizin elementlərindən istifadə edilmişdir. Alınmış nəzəri

müddələrin və təkliflərin təsdiq edilməsi məqsədi ilə təcrübi nəticələr nəzərə alınmaqla model hesablamaların aparılmasına geniş yol verilmişdir.

Müdafiyyə çıxarılan əsas müddəalar:

1. Fotometrlərdə quraşdırılmış maye-kristal süzgəclərin həssaslığına təsir edən əsas amillərin analizi nəticələrinin sistemli təqdimatı, süzgəclərin həssaslığının dalğa uzunluğunun işçi diapazonunda tipik minimuma malik olmasının və bu xüsusiyyətin günəş-fotometrik ölçmə rejimi parametrlərinin seçilməsi zamanı nəzərə alınmasının zəruriliyinin əsaslandırılması.

2. 685-705 nm dar spektral diapazonda O₂-nin və su buxarının kontinual udulmasının mənfi təsiri aradan qaldırılmaqla, üçdalğalı bort spektral ölçmələrinin dəqiqliyinin artırılmasına dair məsələ və onun həlli. Su buxarının və atmosfer aerosolunun nəmlənməsi və qurumasının mənfi təsirini aradan qaldırmaqla, 400-700 nm geniş spektral diapazonda üçdalğalı bort spektral ölçmələrinin dəqiqliyinin artırılması məsələsinin həlli nəticələri.

3. Dəniz səthinin küləyin sürətinin dəyişkənliyinə görə müxtəlif dərəcədə həyəcanlanmasının dəniz suyunun rənginin ölçmə nəticələrinin xətasına səbəb ola biləcəyi barədə müddəa. Dəniz suyunun rəng komponentlərinin ölçülməsi üçün küləyin sürətinin dəyişkənliyinin təsirini aradan qaldırmağa imkan verən adaptiv ölçmə metodu.

4. Dəniz ərazisinin bir neçə nöqtəsində suyun rənginin ölçmə məlumatlarının informativliyinin optimallaşdırılmasına dair təklif edilmiş məsələ və onun həlli. Optimal rejimdə dalğa uzunluğu və ölçmələrin sayı kimi göstəricilərin əks əsilliyə malik olması, yəni qısa dalğalarda çox, uzun dalğalarda isə az miqdarda ölçmələrin aparılması zəruriliyinin aşkarlanması.

5. Bitki sahəsinin fotometrik ölçmələri aparıldığı zaman bitkilərin sululuq indeksinin real qiymətinin ikipolyarlı xətalara malik ola bilməsi və bunun havanın rütubətliyinin variasiyalarına görə aerosolun nəmlənməsi və quruması nəticəsində baş verə bilməsinin nəzəri əsasları.

6. Rəng siqnallarının korrelyasiya tipli hesablayıcısının iş rejimini optimallaşdırmaq üçün istifadə edilən məqsəd funksionalının formalaşdırılması üçün

nəzərdə tutulan və atmosfer aerosolunun optik qalınlığını xarakterizə edən ümumiləşdirilmiş riyazi model. Xarici atmosfer amilləri nəzərə alınmaqla korrelyasiya hesablayıcısının sintez edilmiş optimal rejimi.

7. Meşə zolağının strukturunun borddan maili çəkilişi zamanı skanlayıcının kadrında trapesiya tipli təhriflərin yarana bilməsi və sətir müddətlərinin mailik bucağından asılı olaraq adaptiv idarə rejimində spektral ölçmələrin optimallaşdırıla bilməsi barədə müddəa. Kadr ərzində süzgəcin buraxma zolağının zamana görə kəsilməz dəyişmə rejimi təşkil edildikdə, maye-kristal süzgəclərin amplitud-spektral xarakteristikalarının müvafiq qolundan istifadə etməklə meşə örtüyü strukturunun maili skanlaşdırma sisteminin informasiya kriteriyası əsasında optimallaşdırılması üsulu.

8. Spektral bort ölçmə vasitələrindən istifadə etməklə FAO-56 ekoloji modelinin göstəricilərinin kalibrasiyasının təkmilləşdirilmiş metodikası. İşlənmiş metodikada NDVI-nin minimal qiymətini təyin etmək zərurəti olmadığından, zəruri hesablamaların ümumi həcmnin azalması, LAI və NDVI indeksləri arasındakı əlaqəni təyin edən empirik əmsalın qiymətinin dəqiq müəyyənləşdirilməsinin mümkünlüyü haqqında təklif.

Tədqiqatın elmi yeniliyi:

1. Maye-kristal süzgəclərin yerləşdirildiyi fotometrərin həssaslığına təsir göstərən əsas faktorlar analiz edilərək günəş fotometrərinin həssaslığının dalğa uzunluqlarının işçi diapazonunda xarakterik minimuma malik olması göstərilmiş və bunun günəş-fotometrik ölçmələrin rejim parametrlərinin seçilməsi zamanı nəzərə alınması təklif edilmişdir.

2. Su buxarının və O_2 – nin kontinual udulmasının mənfi təsir göstərdiyi 685-705 nm dar spektral diapazonda üçdalğalı spektral ölçmələrin aparılması məsələsi və atmosfer aerosolunun rütubətliyi və qeyri-rütubətliyi sayəsində mənfi təsərə malik 400-700 nm geniş spektral diapazonda dəqiqliyinin artırılması məsələsi formalaşdırılaraq həll edilmişdir.

3. Küləyin sürətinin dəyişkənliyindən asılı olaraq dəniz səthinin həyəcanlanmasının müxtəlif dərəcəli faktorunun nəzərə alınmaması səbəbindən

dəniz suyu rənginin təyində xətalara yaranması müəyyənləşdirilmiş və bu xətalara aradan qaldıra bilən adaptiv metod təklif olunmuşdur.

4. Dəniz suyunun rənginin təyini üçün dəniz ərazinin bir neçə nöqtəsində ölçmələrin aparılmasının informativ optimallaşdırılması məsələsi formalaşdırılaraq həll edilmiş, optimal rejimdə dalğa uzunluğu və ölçmələrin sayı kimi göstəricilərin bir-birindən əks əsli olması, yəni qısa dalğalarda daha çox, uzun dalğalarda isə əksinə az sayda ölçmələrin aparılması zəruriliyi müəyyənləşdirilmişdir.

5. Havanın rütubətliyinin dəyişkənliyinə görə aerosolun nəmlənməsi və quruması səbəbindən bitki sahələrində fotometrik ölçmələr əsasında bitkilərin sululuq indeksinin hesablanmış real qiymətinin ikipolyarlı xətalara malik olması göstərilmişdir.

6. Rəng siqnallarının korrelyasiya tipli hesablayıcısının iş rejiminin optimallaşdırılmasının məqsəd funksionalının formalaşdırılması üçün atmosfer aerosolunun optik qalınlığının ümumiləşdirilmiş modeli təklif edilmişdir. Kolorimetrin baxılan modelinin optimallaşdırılması nəticəsində xarici atmosfer faktorlarının nəzərə alınması ilə korrelyasiya hesablamalarının aparılmasının optimal rejimi sintez edilmişdir.

7. Meşə massivləri strukturlarının borddan maili çəkiliş zamanı kadrın skanlaşdırılmasında trapesional yanlışlığın yaranmasının mümkünlüyünü və nəticədə sətir müddətlərinin meyl bucağından əsli olaraq dəyişməsi şərti daxilində hiperspektral ölçmələrin aparılması zəruri olduqda sistemin işinin informativliyinin azalmasına gətirib çıxara bildiyini nəzərə almaqla maili skanlaşdırma sisteminin informasiya kriteriyası üzrə maye-kristal süzgəclərin amplitud-spektral xarakteristikasının artan əyrisindən istifadə etməklə kadr ərzində süzgəcin buraxma zonasının zamana görə dəyişmə rejiminin təşkilinin optimallaşdırılmasının mümkünlüyü göstərilmişdir.

8. Məsafədən zondlama vasitələrindən istifadə etməklə FAO-56 ekoloji modelinin göstəricilərinin kalibrlənməsinin təkmilləşdirilmiş metodikası təklif olunmuş və bu metodikada NDVI-nin minimal qiymətini təyin etmək zərurəti olmadığından, aparılmalı olan zəruri hesablamaların ümumi həcmi azaldığı, LAI

və NDVI indeksləri arasında əlaqəni müəyyənləşdirən empirik əmsalın dəqiq qiymətinin təyin edilməsinin mümkünlüyü göstərilmişdir.

Tədqiqatın nəzəri və praktiki əhəmiyyəti:

1. Çoxfunksional maye-kristal süzgəclərin müxtəlif təyinatlı informasiya-ölçmə sistemlərində tətbiqi bu sistemlərin spektral kanalların formalaşdırma qovşaqlarını həm funksional, həm də konstruktiv olaraq sadələşdirməyə imkan verir ki, bu da belə sistemlərin effektivliyini və etibarlılığını artırır.

2. Dəniz mühitinin komponentlərinin, onun suyunun rənginin və çirklənmə dərəcəsinin tədqiqi üzrə təklif edilmiş metod və texniki işləmələr su mühitinin ekoloji monitorinqinin effektivliyini artırmağa, dənizin ekoloji vəziyyətinin sağlamlaşdırılması üzrə tövsiyə və tədbirlərin işlənilməsinə imkan verir.

3. Bortdan yerinə yetirilən çoxspektral ölçmələr vasitəsilə müxtəlif yerüstü obyektlərin tədqiqi zamanı ayrı-ayrı atmosfer komponentlərinin mənfi təsirinin nəzərə alınması üzrə təklif edilmiş üsul və metodikalar Yer səthinin ekoloji monitorinqinin nəticələrinin doğruluğunu və səhhiyyətini artırır, ekoloji remediya üzrə fəaliyyətin əsas istiqamətlərini düzgün müəyyənləşdirmək üçün imkanlar yaradır.

4. Bitki aləminin sağlamlıq vəziyyətinin kolorimetrik üsullarla, o cümlədən RGB metodu ilə tədqiqinə dair verilmiş tövsiyə və təkmilləşdirmələr yaşıllıq sahələrinin ekoloji vəziyyətinin düzgün qiymətləndirilməsində, kənd təsərrüfatı bitkiçiliyinin effektivliyinin yüksəldilməsində və ümumilikdə canlı bitki aləminin qorunmasında xüsusi əhəmiyyətə malikdir.

Aprobasiyası və tətbiqi:

Dissertasiya işinin əsas nəticələri Milli Aerokosmik Agentliyinin Təbii Ehtiyatların Kosmik Tədqiqi İnstitutunda aparılan elmi-tədqiqat işlərinin nəticələrinin İnstitutun Elmi-Texniki Şurasının iclaslarında, həmçinin aşağıdakı elmi-praktiki konfranslarda məruzə edilmiş və müzakirələr aparılmışdır:

- IX международной научно-практической конференции «Аграрная наука Сельскому хозяйству», Барнаул, 2014;

- VII заочной международной научно – практической конференции «Актуальные проблемы экологии и охраны труда» Курск, 2015;

- 5-ая международная межвузовская научно-практической конференция. Великие Луки, 2015;

- X международная научно-практическая конференция «Аграрная наука сельскому хозяйству», Барнаул 2015.

Dissertasiya işinin nəticələri “Üfüq” İB-nin “Radioquraşdırma” zavodunun sifarişi ilə Elmi Tədqiqat Aerokosmik İnformatika İnstitutunda yerinə yetirilmiş təcrübi konstruktor işində tətbiq edilmişdir (Tətbiq aktı əlavə olunmuşdur).

Dissertasiya işinin mövzusu üzrə müxtəlif nəşrlərdə 20 elmi məqalə və konfrans materialları dərc edilmişdir.

Tədqiqatın yerinə yetirildiyi təşkilatın adı:

Dissertasiya işinin əsas nəticələri Milli Aerokosmik Agentliyinin Təbii Ehtiyatların Kosmik Tədqiqi İnstitutunun “Məsafədən zondlamanın optik – elektron cihazları” şöbəsində yerinə yetirilmişdir.

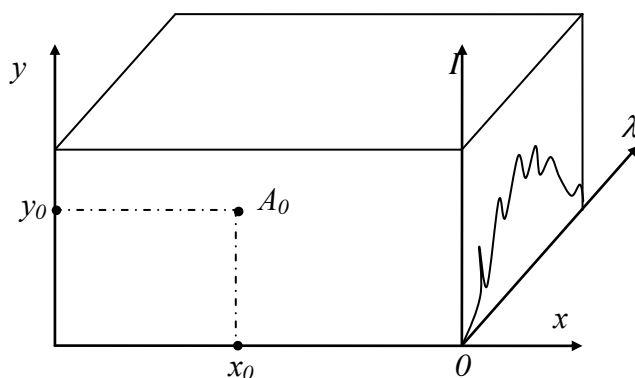
Tədqiqat işinin strukturu və həcmi:

Dissertasiya işi giriş, 4 fəsildən, nəticədən, 123 adda istifadə edilmiş ədəbiyyat siyahısından ibarətdir və 31 şəkil, 5 cədvəldən və ümumilikdə isə dissertasiya işi 223895 işarədən ibarətdir.

I FƏSİL. MAYE - KRİSTAL SÜZGƏCLİ ÇOXSPEKTRAL İNFORMASIYA - ÖLÇMƏ SİSTEMLƏRİNDƏN İSTİFADƏNİN SƏMƏRƏLİLİYİNİN ARTIRILMASI PRİNSİPLƏRİ

1.1. Maye-kristal süzgəcli hiperspektral günəş fotometrlərinin həssaslığının qiymətləndirilməsinin analitik metodu

Adətən hiperspektral ölçmələr hər bir nöqtəsi bir spektral və iki məkan koordinatlarını özündə əks etdirən hiperspektral kub şəklində formalaşır [50 s. 50-64] [27, s. 14-20]. Çoxölçülü sahənin hər bir nöqtəsi hiperspektrometr daşıyıcısının hərəkəti zamanı dinamik dəyişən, şüalanan və ya əks olunan radiasiyanın spektral intensivliyi ilə xarakterizə olunur (qrafik 1.1.1). Hiperkubun formalaşması zamanı mexaniki yolla dəyişdirilən diskret interferensiya süzgəcləri əvəzinə elektron tənzimlənən maye-kristal süzgəclərdən istifadə etmək olar.



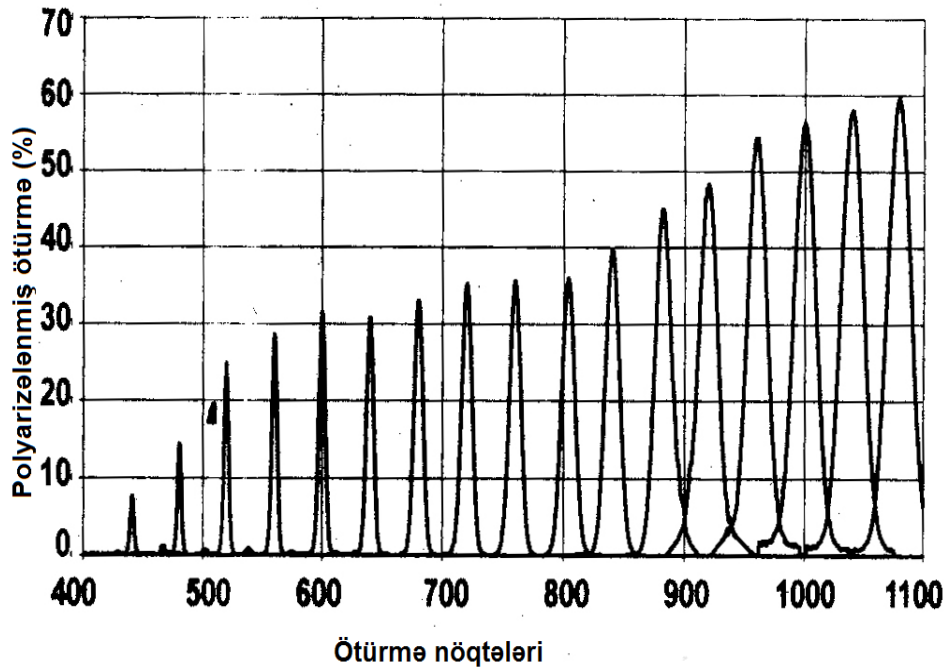
Qrafik 1.1.1. Hiperspektral ölçmələr zamanı hiperkubun formalaşması:
 A_0 - məkan nöqtəsi, (x_0, y_0) - nöqtənin koordinatları, λ - dalğa uzunluğu, I - əks
olunan radiasiya.

Nümunə kimi $\{I, \lambda\}$ müstəvisində koordinatları (x_0, y_0) olan A_0 nöqtəsinin əksətmə spektrinin formalaşdırılması nəzərdən keçirilmişdir.

Maye-kristal süzgəcin buraxma qabiliyyəti süzgəcdən keçən polyarlaşmış

işığın faiz nisbət ilə təyin edilir və elə yönəldilir ki, maksimal buraxmaya nail olunsun [115]. Süzgəcin giriş elementi xətti polarizator olduğu halda, təsadüfi polyarlaşmış işıq buraxma xətti işıq buraxmasının yarısına bərabər olacaq. Bu zaman süzgəcin buraxma qabiliyyəti dalğa uzunluğundan asılıdır [2, s. 16-20], [14, s.49-54].

Qeyd olunduğu kimi [9, s.10], maye-kristal süzgəcdə buraxma əyrisinin profili Gauss əyrisinə oxşardır. Bu halda qrafik 1.1.2-də göstərildiyi kimi amplitudanın 50 % səviyyəsində buraxma zolağının eni dalğa uzunluğunun artması ilə genişlənir. Məsələn, mənbə [114]-a əsasən 550 nm dalğa uzunluğunda buraxma zolağının eni 5 nm, 1300 nm dalğa uzunluğunda isə 6 nm olmuşdur.



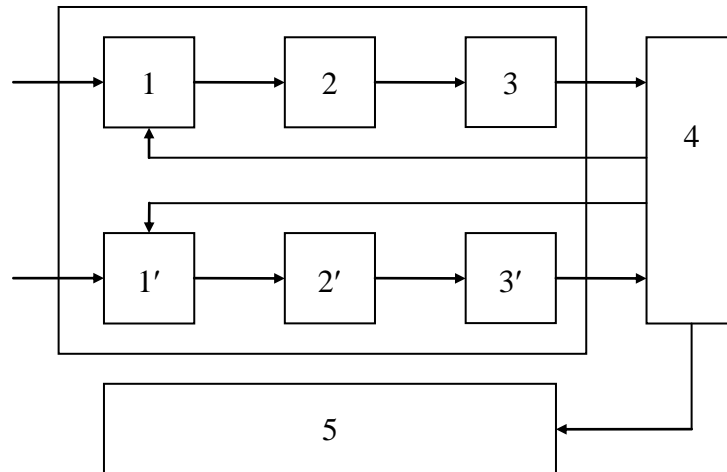
Qrafik 1.1.2. 400-1100 nm dalğa uzunluğu diapazonunda TOF-VIS tipli maye-kristal süzgəclərin buraxma əyriləri

Digər müəlliflərin araşdırmalarında göstərilmişdir ki, Vari Spec Model VIS2 tipli maye-kristal süzgəci 400-720 nm dalğa uzunluğu diapazonunda, nominal buraxma zolağının eninin 30 nm və buraxma pikinin dalğa uzunluğunun 4 nm dəqiqliyi ilə 80 müxtəlif dalğa uzunluqlarını seçməyə imkan verir [35] [101, s. 2301-2312].

Qeyd edilməlidir ki, hiperspektrometrlərin indiki texniki inkişafı 1000-dən 2000-ə qədər spektral kanalların sayı ilə xarakterizə olunur və bu miqdar göstəricisinə görə maye-kristal süzgəclər onlarla rəqabət apara bilmir.

Bundan başqa, Yer səthinin monitorinqinin borddakı maye-kristal süzgəcli qurğular vasitəsilə həyata keçirildiyi zaman daşıyıcının sürətli hərəkəti nəzərə alınmaqla maye-kristal süzgəclərin 150 ms-ə çatan çevirmə ətalətinə malik olması məkan ayırdetməsini əhəmiyyətli dərəcədə məhdudlaşdırır.

Son illərdə hiperspektral günəş fotometrliyinin yaradılması barədə çoxsaylı tədqiqatlar aparılmışdır [64], [93], [106, s.8-17]. Hazırkı bölmədə isə maye-kristal süzgəcli günəş fotometrliyinin spektral həssaslığı təhlil edilmiş və bu qurğunun optimal iş rejiminə malik olduğu göstərilmişdir. Maye-kristal süzgəcli hiperspektral günəş fotometrliyinin funksional sxemi şəkil 1.1.1-də təqdim olunmuşdur.



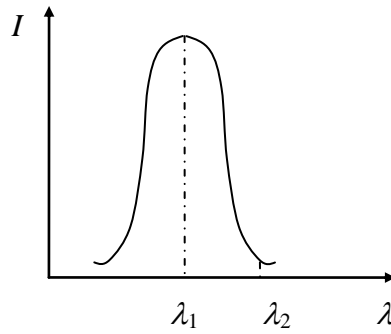
Şəkil 1.1.1. Hiperspektral günəş fotometrliyinin funksional sxemi: 1, 1' – maye-kristal süzgəclər, 2, 2' – ilkin gücləndiricilər, 3, 3' – fotoqəbuledicilər, 4 – dayaqdönmə qurğusu, 5 – idarə olunan hesablama prosessoru

Günəş fotometrliyinin iş prinsipi qısaca aşağıdakı kimidir. Tədqiq edilən qazın optik qalınlığının fotometr vasitəsilə ölçmələri iki λ_1 və λ_2 dalğa uzunluqlarında yerinə yetirilir (qrafik 1.1.3).

Buqer-Ber qanununa əsasən fotometrin girişində Günəş şüasının $I(\lambda)$ intensivliyi aşağıdakı ifadə ilə təyin edilir:

$$I(\lambda) = I_0(\lambda) \exp \left\{ -m \left[\tau_r(\lambda) + \tau_{aer}(\lambda) + \tau_g(\lambda) \right] \right\}. \quad (1.1.1.)$$

Burada $I_0(\lambda)$ - atmosferdən kənar λ dalğa uzunluğunda şüanın intensivliyi, m - optik hava kütləsi, $\tau_r(\lambda)$ - Reley səpələnməsinin optik qalınlığı, $\tau_{aer}(\lambda)$ - atmosfer aerosolunun optik qalınlığı, $\tau_g(\lambda)$ - tədqiq edilən qazın optik qalınlığıdır.



Qrafik 1.1.3. Tədqiq edilən qazın optik qalınlığının fotometrik ölçmələrinin aparılmasında λ_1 və λ_2 dalğa uzunluqlarının seçilməsi: λ_1 - qazın udulma xəttinin mərkəzi dalğa uzunluğu, λ_2 - udulma olmadığı halda ən yaxın dalğa uzunluğudur

(1.1.1) ifadəsini λ_1 və λ_2 dalğa uzunluqları üçün yazsaq, alarıq:

$$\Delta \tau_g = \tau(\lambda_1) - \tau(\lambda_2) \quad (1.1.2)$$

(1.1.2) ifadəsini intensivliklər üçün yazsaq

$$\Delta \tau_g = \frac{1}{m} \left[\ln \frac{I_0(\lambda_1)}{I_0(\lambda_2)} \frac{I(\lambda_2)}{I(\lambda_1)} \right] - [\tau_r(\lambda_1) - \tau_r(\lambda_2)] - [\tau_{aer}(\lambda_1) - \tau_{aer}(\lambda_2)] \quad (1.1.3)$$

olduğunu alarıq.

Beləliklə, ikidalğalı ölçmə metodu tətbiq edilmiş hiperspektral Günəş fotometri ilə ölçülən qazın optik qalınlığı (1.1.3) düsturu ilə təyin edilə bilər.

Fotometrlerin optik-elektron qovşağının işinin effektivliyinin tədqiqi zamanı seçilmiş dalğa uzunluğunda spektral həssaslığın qiymətləndirilməsi mühüm məsələdir və o aşağıdakı kimi təyin edilir:

$$S = \frac{dY(\lambda)}{d\lambda} . \quad (1.1.4)$$

Burada $Y(\lambda)$ - fotometrin çıxışında λ dalğa uzunluğunda çıxış siqnalıdır.

S -in təklif edilən hesablama metodunu şərh edək. Hər şeydən əvvəl qeyd etmək lazımdır ki, fotometrin kanallarının birinin çıxışında siqnalın formalaşması aşağıda göstərilən faktorların təsiri altında baş verir [13, s.53-56]:

1. Birinci yaxınlaşmada süzgəcin buraxma xətlərinin konturları Qauss əyriləri formasındadır (qrafik 1.1.2).

2. Süzgəcin buraxma xətləri seriyasının bürüyəni bir qədər mürəkkəb xarakterə malikdir və birinci yaxınlaşmada eksponensial funksiya ilə aproksimasiya edilə bilər (qrafik 1.1.2).

3. $\lambda > 0,5$ mkm diapazonda mütləq qara cismin (MQC) şüalanma intensivliyinin temperaturdan və dalğa uzunluğundan asılı olmasını xarakterizə edən Plank funksiyası mənfi mailliyə malik olan xətti funksiya ilə aproksimasiya edilə bilər.

Yuxarıda göstərilənləri nəzərə alaraq $Y_{max}(\lambda)$ ifadəsini aşağıdakı kimi qiymətləndirə bilərik:

$$Y(\lambda) = f_1(\lambda) \cdot f_2(\lambda) \quad (1.1.5)$$

Burada, $f_1(\lambda)$ dalğa uzunluğu $\lambda > 0,5$ mkm olduqda, Günəş üçün Plank funksiyası seriyalarının bürüyənini xarakterizə edən funksiyaadır.

Yuxarıda göstərilənləri nəzərə almaqla $f_1(\lambda)$ və $f_2(\lambda)$ funksiyaları üçün aşağıdakı yaxınlaşmaları qəbul edək:

$$f_1(\lambda) = e^{d\lambda}; \quad d = const . \quad (1.1.6)$$

$$f_2(\lambda) = a - b \cdot \lambda; \quad a, b = const . \quad (1.1.7)$$

(1.1.5), (1.1.6) və (1.1.7) ifadələrini nəzərə almaqla yazı bilərik:

$$Y(\lambda) = e^{d\lambda} \cdot (a - b\lambda) . \quad (1.1.8)$$

Bunları (1.1.4) ifadəsində nəzərə alsaq

$$S = \frac{dY(\lambda)}{d\lambda} = e^{d\lambda} [da - db\lambda - b] \quad (1.1.9)$$

olduğunu alırıq.

Günəş fotometrinin həssaslığının ekstremumunu tədqiq edək.

$$S' = d \cdot e^{d\lambda} [da - db\lambda - b] - d \cdot b \cdot e^{d\lambda} = 0 . \quad (1.1.10)$$

(1.1.10) ifadəsindən alırıq:

$$\lambda = \frac{da - 2b}{db} = \frac{a}{b} - \frac{2}{d} . \quad (1.1.11)$$

Ekstremumun tipini müəyyənləşdirmək üçün (1.1.9)-un ikinci tərtib törəməsini hesablayaq:

$$S'' = d^2 \cdot e^{d\lambda} (da - db\lambda - 3b) . \quad (1.1.12)$$

$$da - ab\lambda - 3b < 0 .$$

(1.1.12) ifadəsindən maksimumun aşağıda göstərilən şərtini alırıq:

$$\lambda > \frac{a}{b} - \frac{3}{d} .$$

Beləliklə, maye-kristal süzgeçli günəş fotometri dalğa uzunluğunun yuxarıda göstərilən şərtini ödəyən qiymətlərində maksimal həssaslığa malikdir.

Bununla da günəş fotometrlərində aşkar edilmiş maksimal həssaslıq faktı günəş-fotometrik ölçmələrin rejim göstəricilərinin seçimi zamanı nəzərə alınmalıdır.

Beləliklə, tənzimlənən maye-kristal süzgeçlərin üstünlükləri və çatışmazlıqları, onların hiperspektrometrdə tətbiqi imkanları təhlil edilmiş, günəş fotometrlərində bu

süzgəclərdən istifadənin məqsədəuyğunluğu təklif olunmuşdur. Maye-kristal süzgəcli günəş fotometrlerinin həssaslığına təsir edən əsas faktorlar təhlil edilmişdir. Eynilə göstərilmişdir ki, maye-kristal süzgəcli günəş fotometrinin həssaslığı dalğa uzunluğunun işçi diapazonunda tipik maksimuma malikdir və bu da günəş fotometrik ölçmələrin rejim parametrlərinin seçimi zamanı nəzərə alınmalıdır.

1.2. Multispektral ölçmələrin dəqiqliyinin artırılmasında çoxfunksional maye-kristal süzgəclərdən istifadə prinsipləri

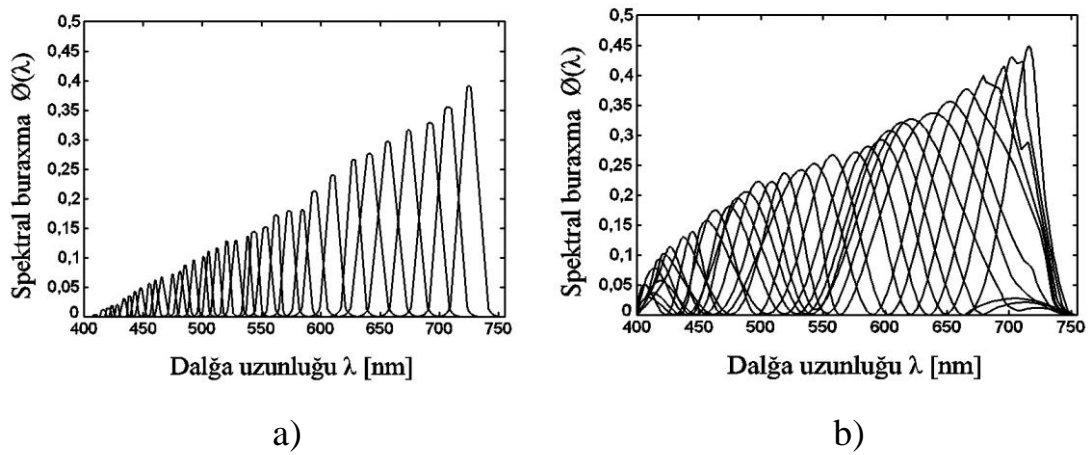
Məlumdur ki, əksətmə spektroskopiyası əsasında yaradılan multispektral ölçmə sistemləri müxtəlif təbii obyektlərin məkan paylanması tədqiqində geniş istifadə olunur [39, s. 1231-1240], [59, s.2532-2548], [56, s.47-57], [73, s.454-457], [91, s.7902-7915].

Hal-hazırda multispektral kolorimetrik sistemlərdə diskret ensiz zolaqlı süzgəclər və ya yenidən köklənə bilən maye-kristal süzgəclər daha çox tətbiq edilir. Bununla belə rəng ölçmələrində və rənglərin əks etdirməsinin öyrənilməsində klassik istiqamətlərdən biri də RGB kolorimetriyasıdır ki, burada RGB kameralarından alınan siqnallar bu və ya digər üsulla emal edilir və multispektral təsvirlərin operativ və effektiv sintezləşdirilməsini yerinə yetirir. *RGB siqnallar əsasında yaradılan multispektral təsvirlərin yekun formalaşması zamanı müxtəlif metodlardan, o cümlədən psevdo-inversiya [59, s.2532-2548], sonlu-ölçü modelləşdirmə [39, s. 1231-1240], xətti qiymətləndirmə [73, s.454-457], Viner qiymətləndirmə və s. metodlarından [111, s. 233-242] istifadə olunur.*

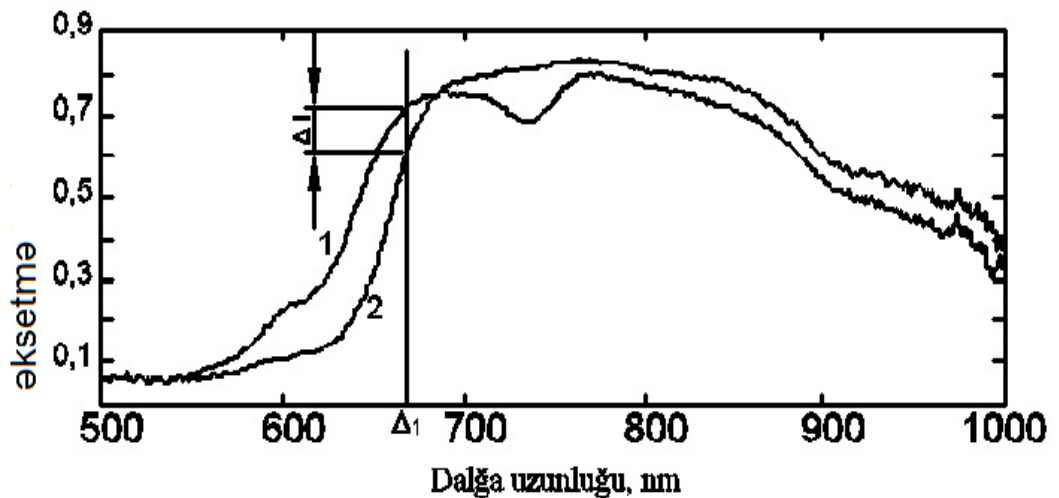
Hal-hazırda CRI Inc şirkətin istehsal etdiyi Vari Spec növlü çoxfunksional tənzimlənən maye-kristal süzgəclərdən həm RGB, həm də multispektral kolorimetrik sistemlərdə istifadə edilə bilər [60, s.47-57]. Bu süzgəclərin üstün xüsusiyyətlərindən biri də onların 400-700 nm buraxma zolağında elektron idarə oluna bilməsidir. Bu halda süzgəcin texnoloji parametrlərdən asılı olaraq buraxma zolağının eni 5-dən 30 nm-ə qədər qiymət ala bilər (qrafik 1.2.1). Yuxarıda göstərilən çoxfunksional

süzgəclər əsasən müxtəlif təyinatlı informasiya-ölçmə sistemlərinin yaradılmasında geniş tətbiq olunur.

Məsələn, [65, s.34-37]-də göstərilədiyi kimi, *becərilən kənd təsərrüfatı məhsullarının yetişməsinə nəzarət edən informasiya-ölçmə sistemlərinin işi bu məhsulların əksetmə spektrinin tədqiqinə əsaslanır*. Bu halda ölçmələrin kolorimetrik dəqiqliyinin təmin olunması məsələsi mühüm sual olaraq qarşıya çıxır. Məsələn, $\lambda_1 = 665$ nm dalğa uzunluğunda yetişməmiş məhsulun əksetmə spektri, yetişmiş məhsulun spektral amplitudunun qiymətindən bir o qədər də fərqlənmir (qrafik 1.2.2).



Qrafik 1.2.1. Vari Spec süzgəclərin buraxma zolaqlarının diaqramı: a) ensiz buraxma zolaqlı süzgəc, b) geniş buraxma zolaqlı süzgəc



Qrafik 1.2.2. $\lambda_1 = 665$ nm dalğa uzunluğunda məhsulların əksetmə spektri: 1- yetişməmiş, 2-yetişmiş kənd təsərrüfatı məhsullarının spektral fərqləri

RGB kolorimetriyasında şablon funksiyalar olan tristimulus funksiyalarının nəzəri və praktiki formalarının oxşar olmaması səbəbindən yaranan təhrifləri, müxtəlif metameriya təzahürlərini və ayrı-ayrı təsiredici faktorların spektral gedişini nəzərə alsaq, RGB kolorimetriya ideyasının özü intellektual emalın (insan beyni) güclü sistemi olmadan yüksək dəqiqlikli ölçmələr üçün praktiki olaraq yararsız olardı [94, s. 2491-2493]. Mürəkkəb fizioloji proseslərə mexaniki oxşatma prinsip etibari ilə istənilən nəticələri vermədiyi halda, ölçmələrin nəticələrinin emal funksiyalarını sadələşdirmək məqsədəuyğundur və bu zaman kolorimetrik ölçmələrin RGB texnologiyasından imtina etmək lazımdır. Yuxarıda qeyd olunanları nəzərə alsaq, maye-kristal süzgəclərin daha perspektiv tətbiq sahəsi kimi informasiya-ölçmə texnikasının geniş və dar diapazonlu monoxromatik sistemlərini göstərmək olar.

Bununla belə, birtərsəmspektral cihazın köməyi ilə kənd təsərrüfatı sahələrinin monitorinqində atmosfer aerolunun və su buxarlarının təsirinin nəzərə alınması və ya kompensasiyası vacibdir. Çoxfunksional maye-kristal süzgəclərin tətbiqində, çoxdalğalı spektral ölçmələrin nəticələrinə su buxarlarının təsirinin qiymətləndirilməsi və kompensasiyası məsələlərinə baxaq:

İlk növbədə qeyd edək ki, 685-705 nm dalğa uzunluqları ilə əhatə olunmuş dar spektral zolaqda su buxarlarının udulma spektrinin kontinumunun təsirinin kompensasiyasına həsr edilmiş [109, s. 1-20] işində göstərildiyi kimi, su buxarlarının kontinual udma spektrinin amplitudu böyük qiymətə çata bilər və bu da sistemin çıxışında siqnalı əhəmiyyətli dərəcədə zəiflədə bilər. Bu cür təhriflər nəzarət edilən kənd təsərrüfatı sahələrinin məhsuldarlığı haqqında qeyri-obyektiv fikir yarada bilər. *685-705 nm dalğa uzunluqlarında su buxarlarının və oksigenin (O_2) udma spektrinin cəmi düz xətlə aproksimasiya oluna bilər [109, s. 1-20] (qrafik 1.2.3).*

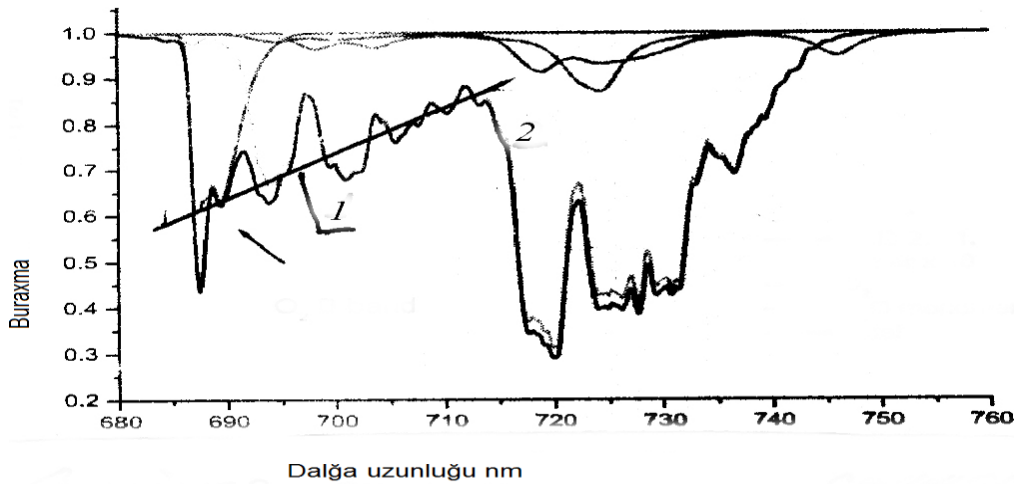
Baxılan halda udmanın cəm spektrini

$$\tau_{\Sigma}(\lambda) = \tau_0 + k \cdot \lambda. \quad (1.2.1)$$

kimi ifadə edə bilərik.

$$\text{Burada } \tau_0 = \tau_{\Sigma}^*(\lambda), \lambda = 685 \text{ olduqda; } k = \arctg \left[\frac{\tau^*(705) - \tau^*(685)}{20} \right] \text{ (* işarəsi}$$

ən kiçik kvadratlar metodu üzrə hesablanmış qiymətləri ifadə edir).



Qrafik 1.2.3. 685-705 nm dalğa uzunluqlarında su buxarlarının və O_2 -nin udmasının cəm spektrinin xətti yaxınlaşması: 1-xətti aproksimasiya, 2-udmanın cəm spektri

Yuxarıda qeyd olunanları nəzərə alaraq, bort spektrometrinin çıxışında spektral ölçmə signalını səpələnmə effektlərini nəzərə almadan aşağıdakı kimi hesablamaq olar [7, s. 334-336]:

$$I_1(\lambda) = I_0(\lambda) e^{-[\tau_a(\lambda) + \tau_0 + k\lambda]} \quad (1.2.2)$$

Burada $I_0(\lambda)$ - xüsusi olaraq yetişdirilmiş kənd təsərrüfatı məhsulundan əks olunan ilkin signal, $\tau_a(\lambda)$ - aerosolun optik qalınlığıdır.

$I_0(\lambda)$ qiymətini təyin etmək üçün aralıq çevirmə metodundan istifadə etmək olar. 685-705 nm dalğa uzunluğu diapazonunda üç dalğa uzunluqlarını (λ_1, λ_2 və λ_3) seçərək aşağıdakı qiymətləri almaq olar:

$$I_1(\lambda_1) = I_0(\lambda_1) e^{-[\tau_a(\lambda_1) + \tau_0 + k\lambda_1]} \quad (1.2.3)$$

$$I_1(\lambda_2) = I_0(\lambda_2) e^{-[\tau_a(\lambda_2) + \tau_0 + k\lambda_2]} \quad (1.2.4)$$

$$I_1(\lambda_3) = I_0(\lambda_3) e^{-[\tau_a(\lambda_3) + \tau_0 + k\lambda_3]} \quad (1.2.5)$$

Aralıq çevirmə funksiyasını belə təyin edək:

$$z = \frac{I_1(\lambda_1)^{k_1} \cdot I_1(\lambda_3)^{k_2}}{I_1(\lambda_2)} \quad (1.2.6)$$

(1.2.3), (1.2.4), (1.2.5), (1.2.6) ifadələrini nəzərə almaqla yazıla bilər:

$$z = \frac{I_0^{k_1}(\lambda_1) \cdot I_0^{k_2}(\lambda_3) \cdot e^{-\{[k_1\tau_a(\lambda_1) + k_2\tau_a(\lambda_3) - \tau_a(\lambda_2)] + \tau_0(k_1 + k_2 - 1) + k(k_1\lambda_1 + k_2\lambda_3 - \lambda_2)\}}}{I_0(\lambda_2)} \quad (1.2.7)$$

(1.2.7) ifadəsindən görüldüyü kimi, k_1 və k_2 əmsalları aşağıdakı mülahizələr çərçivəsində təyin edilə bilər:

İlk növbədə fərz edək ki, aerosolun vəziyyəti sabit, lakin su buxarlarının ümumi miqdarı dəyişkəndir. Bu halda k_1 və k_2 əmsalları aşağıda göstərilən tənliklər sisteminin həlli ilə təyin edilir:

$$\left. \begin{aligned} k_1 + k_2 &= 1 \\ k_1\lambda_1 + k_2\lambda_3 &= \lambda_2 \end{aligned} \right\} \quad (1.2.8)$$

Su buxarlarının ümumi miqdarının dəyişmədiyini, ancaq aerosolun vəziyyətinin dəyişkənliyini qəbul etsək, k_1 və k_2 əmsallarının qiymətlərini aşağıda göstərilən tənliklər sistemlərindən birinin həlli ilə təyin edə bilərik:

$$\left. \begin{aligned} k_1\tau_a(\lambda_1) + k_2\tau_a(\lambda_3) &= \tau_a(\lambda_2) \\ k_1 + k_2 &= 1 \end{aligned} \right\} \quad (1.2.9)$$

$$\left. \begin{aligned} k_1 \tau_a(\lambda_1) + k_2 \tau_a(\lambda_3) &= \tau_a(\lambda_2) \\ k_1 \lambda_1 + k_2 \lambda_3 &= \lambda_2 \end{aligned} \right\} \quad (1.2.10)$$

Bundan sonra $I_0(\lambda_i)$, $i = \overline{1,3}$ qiymətini hesablamaq üçün (1.2.7) tənliyində i -ə görə rotasiya yerinə yetirilir, qalan iki variant üçün k_1 və k_2 hesablanır və nəhayət aşağıdakı tənliklər sistemi qurulur:

$$\left. \begin{aligned} z_1 &= f [I_0(\lambda_1), I_0(\lambda_2), I_0(\lambda_3), k_1^{(1)}, k_2^{(1)}] \\ z_2 &= f [I_0(\lambda_1), I_0(\lambda_2), I_0(\lambda_3), k_1^{(2)}, k_2^{(2)}] \\ z_3 &= f [I_0(\lambda_1), I_0(\lambda_2), I_0(\lambda_3), k_1^{(3)}, k_2^{(3)}] \end{aligned} \right\} \quad (1.2.11)$$

Burada $k_1^{(j)}, k_2^{(j)}$; $j = \overline{1,3}$ rotasiya zamanı k_1 və k_2 -nin hesablanmış qiymətləridir. (1.2.11) tənliklər sisteminin həlli tədqiq edilən kənd təsərrüfatı məhsullarından əks olunan çıxış siqnallarını müəyyənləşdirməyə və onların vəziyyətlərini dəqiq qiymətləndirməyə imkan yaradır.

İndi isə 400-700 nm dalğa uzunluqlarının geniş zolağında spektrometrik ölçmə nəticələrinin təhriflərinə səbəb olan aerosol nəmlənməsinin təsirinin kompensasiyası məsələsinə baxaq.

Məlumdur ki, aerosolun nəmlənməsi onların ölçülərinin və atmosfer aerosolunun optik qalınlığının artmasına səbəb olur [19, s.31-36]. Bu halda aerosolun optik qalınlığının dəyişikliyi xətti qanunla approksimasiya oluna bilər, yəni

$$\tau_{aer}(\lambda_i) = \tau_{aer_0}(\lambda_i) + k_i RH; \quad i = \overline{1,3}. \quad (1.2.12)$$

Burada $\tau_{aer_0}(\lambda_i)$ $RH = RH_0$ olduğu zaman aerosolun optik qalınlığı, $\tau_{aer}(\lambda_i)$ - nisbi rütubətliyin cari qiymətində aerosolun optik qalınlığı, RH - nisbi rütubətlik, k_i - sabit əmsal olub aşağıdakı kimi müəyyən edilir:

$$k_i = \arctg \left[\frac{\tau_{aer}(\lambda_i) - \tau_0(\lambda_i)}{RH - RH_0} \right]. \quad (1.2.13)$$

Yuxarıdakılara nəzərən, həmçinin səpələnmə effektlərini hesaba almadan, bort spektrometrinin çıxışında spektral ölçmə signalını belə müəyyən edə bilərik:

$$I_1(\lambda) = I_0(\lambda) e^{-[\tau_{aer0}(\lambda) + k_1 RH]}. \quad (1.2.14)$$

$I_1(\lambda)$ -ni təyin etmək üçün aralıq çevirmə metodundan istifadə edəcəyik [96].

400-700 nm diapazon intervalında üç dalğa uzunluğu (λ_1, λ_2 və λ_3) seçib aşağıda göstərilən qiymətləri almaq olar:

$$I_1(\lambda_1) = I_0(\lambda_1) e^{-[\tau_{aer0}(\lambda_1) + k_1 RH]}. \quad (1.2.15)$$

$$I_1(\lambda_2) = I_0(\lambda_2) e^{-[\tau_{aer0}(\lambda_2) + k_2 RH]}. \quad (1.2.16)$$

$$I_1(\lambda_3) = I_0(\lambda_3) e^{-[\tau_{aer0}(\lambda_3) + k_3 RH]}. \quad (1.2.17)$$

(1.2.6) aralıq çevirmə funksiyasını və (1.2.15), (1.2.16), (1.2.17) ifadələrini nəzərə alsaq, yaza bilərik:

$$z_1 = \frac{I_0(\lambda_1)^{d_1} \cdot I_0(\lambda_3)^{d_2}}{I_0(\lambda_2)} \cdot e^{-\left\{ [d_1 \cdot \tau_{aer0}(\lambda_1) + d_2 \cdot \tau_{aer0}(\lambda_3) - \tau_{aer}(\lambda_2)] + RH \left[\frac{k_1 d_1}{\tau_{aer0}(\lambda_1)} + \frac{k_2 d_2}{\tau_{aer0}(\lambda_3)} - \frac{k_3}{\tau_{aer}(\lambda_2)} \right] \right\}}. \quad (1.2.18)$$

(1.2.18) ifadəsindən görüldüyü kimi, d_1 və d_2 əmsalları aşağıda göstərilən tənliklərin həlli ilə müəyyənləşdirilir:

$$d_1 \tau_{aer0}(\lambda_1) + d_2 \tau_{aer0}(\lambda_3) = \tau_{aer}(\lambda_2). \quad (1.2.19)$$

$$\frac{d_1 k_1}{\tau_{aer0}(\lambda_1)} + \frac{d_2 k_2}{\tau_{aer0}(\lambda_3)} = \frac{k_3}{\tau_{aer}(\lambda_2)}. \quad (1.2.20)$$

Deməli $\tau_{ae\eta_0}(\lambda_1), \tau_{ae\eta_0}(\lambda_2)$ və $\tau_{ae\eta_0}(\lambda_3)$ -ün məlum qiymətlərində d_1 və d_2 -ni təyin etmək imkanı yaranır.

Bundan sonra, birinci baxılan məsələnin həllinə uyğun i -ə görə (1.2.6) ifadəsinin rotasiyası yerinə yetirilir və hər bir hal üçün yuxarıda göstərilən qaydada d_1 və d_2 hesablanır. Nəticədə həlli $I_0(\lambda_1), I_0(\lambda_2)$ və $I_0(\lambda_3)$ -ü təyin etməyə imkan yaradan (1.2.11)-ə oxşar tənliklər sistemini alırıq, yəni kənd təsərrüfatı məhsulundan şüalanan optik radiasiyanın intensivliyini təyin edirik.

Beləliklə göstərilmişdir ki, multispektral informasiya-ölçmə sisteminin ölçmə dəqiqliyinin təmin edilməsi üçün atmosferin su buxarlarının və aerosolunun zərərli təsirləri haqqında klassik təsəvvürlərə əsasən dar zolaqlı (685-705 nm) və geniş zolaqlı (400-700 nm) ölçmələrin aparılması zamanı çox da az əhəmiyyət kəsb etməyən su buxarlarının kontinual (fasiləsiz) udmasının və atmosfer aerosolunun rütubətliyinin yaratdıqları qeyri-müəyyənliklərin nəzərə alınması zəruridir. Göstərilən qeyri-müəyyənliklərin aradan qaldırılması üçün çoxfunksiyalı maye-kristal süzğəclərin köməyi ilə ensiz zolaqlı siqnalların formalaşması zamanı məlum aralıq çevirmə metodu tamamilə yararlıdır.

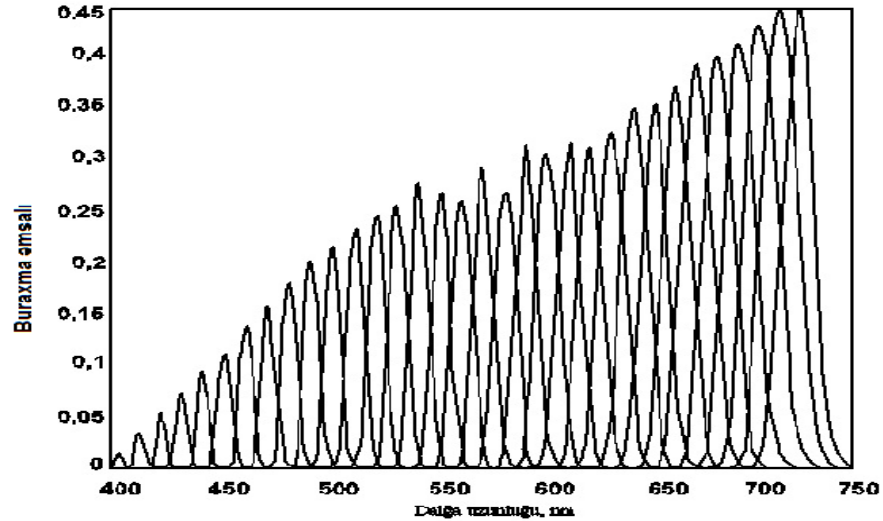
Bununla da elektron-idarə olunan maye-kristal süzğəclərin istifadəsi üzrə tövsiyələr hazırlanmış və müvafiq məlumat sistemləşdirilmişdir. 685-705 nm dar spektral diapazonda su buxarlarının kontinual udmasını və O_2 -nin mənfi təsirinin olduğunu nəzərə almaqla, multispektral ölçmələrin dəqiqliyinin artırılması məsələsi formalaşdırılmış və həll edilmişdir. 400-700 nm geniş spektral diapazonda havanın rütubətliyinin azalması və ya artması nəticəsində atmosfer aerosolunun nəmlənməsinin və ya qurumasının mənfi təsirini nəzərə almaqla multispektral ölçmələrin dəqiqliyinin artırılması üçün metodika təklif edilmiş və müvafiq hesablamalar aparılmışdır.

1.3. Pilotsuz uçuş aparatlarının (PUA) qrup uçuşlarında maye-kristal süzgəcli hiperspektrometrlər vasitəsilə aparılan ölçmələrin optimallaşdırılması

Məlumdur ki, *müxtəlif su hövzələrinin, torpaq sahələrinin və başqa obyektlərin çirklənmə dərəcələri hal-hazırda hiperspektral cihazlar və sistemlər tətbiq etməklə araşdırılır* [26,s, 667-670], [31, s.194-201], [51, s.4033-4040]. Bu məqsədlə ALI / EO – 1, CHRIS / PROBA, ASTER / TERRA, HYPERION / EO – 1, Landsat ETM və digər peyklərdə quraşdırılmış hiperspektral sistemlərdən istifadə olunur. Göründüyü kimi, bort monitoring sistemlərinin köməyi ilə müxtəlif obyektlərin çirklənmə dərəcəsinin tədqiqi zamanı istifadə edilən sistemlərin məkan ayırdetmə qabiliyyəti kifayət qədər yüksək olmalıdır. Belə ki, hiperspektrometr istehsalçıları tərəfindən bir pikselə uyğun gələn həm çox sayda spektral kanalların, həm də yüksək ayırdetmə qabiliyyətinə malik müvafiq sistemlərin yaradılması istər-istəməz energetik məhdudiyyətlərlə üzləşir. Bütün bunlar isə sonda hiperspektral siqnalların keçdiyi bütün fiziki mühitin küy xüsusiyyətləri ilə təyin edilir. Belə halda yeni prinsiplərin, hiperspektral ölçmə üsullarının və spektral kanalların işlənilməsində yeni optik elementlərin tətbiqinin mümkünlüyü istiqamətində axtarışların aparılması məqsəduyğun hesab edilir [85, s. 7442-7455]. Yeni optik elementli hiperspektral kanalların yaradılmasının perspektiv istiqamətlərindən biri də elektron üsulla idarə olunan çoxlu sayda ensiz zolaqlı spektral kanalları formalaşdırmağa imkan verən tənzimlənən maye-kristal süzgəclərin tətbiqindən ibarətdir [28,s, 667-670], [58]. Multispektral və hiperspektral informasiya-ölçmə sistemlərində maye-kristal süzgəclərin geniş tətbiqini məhdudlaşdıran əsas çatışmamazlıqlar aşağıdakılardan ibarətdir:

- spektral kanalların çevrilmə müddətinin bir neçə millisaniyə və daha yüksək olması;
- maye-kristal süzgəclərin spektral kanallarının çıxış siqnallarının dalğa uzunluqlarına görə qeyri-bərabər paylanması (qrafik 1.3.1).

Maye-kristal süzğəclərin elektron üsulla tənzimlənməsi onun idarəetmə girişinə uyğun gərginliyin verilməsi ilə həyata keçirilir [120, s. 609-640]. Bu halda müstəvi polarizasiya bucağının dəyişdirilməsi siqnalın enerjisinin 5% itkisi ilə müşayiət olunur.



Qrafik 1.3.1. Tənzimlənən maye-kristal süzğəclərin buraxma əmsallarının dalğa uzunluqlarından asılılığı

Həmin araşdırmalarda göstəriləyi kimi birtəbəqəli maye-kristal süzğəclərdə süzğəcin buraxma zolağı (T) və dalğa uzunluğu (λ) arasında aşağıdakı asılılıq mövcuddur:

$$T(\lambda) = \cos^2\left(\frac{2\pi d \Delta n}{\lambda}\right). \quad (1.3.1)$$

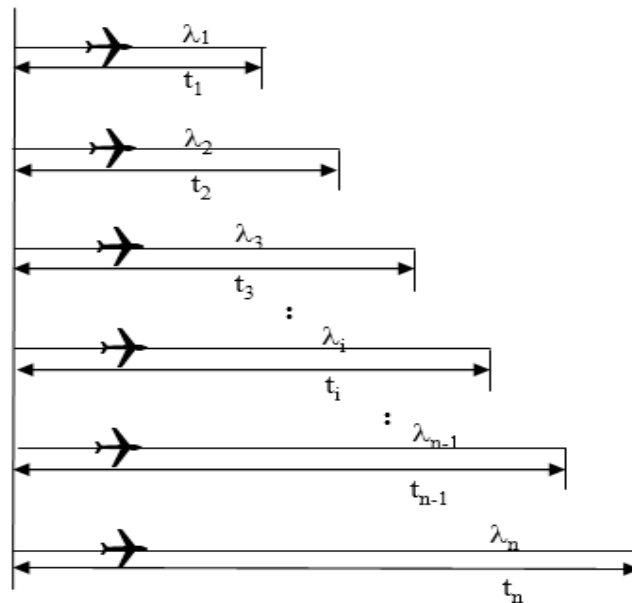
Burada d -təbəqənin qalınlığı, $\Delta n = (n_0 - n_e)$ - süzğəcin giriş və çıxış siqnalları arasındakı fazalar fərqi, $\pi \approx 3,14$.

Göründüyü kimi, çoxspektral informasiya-ölçmə sistemlərində qısa dalğa uzunluqlarında birtəbəqəli maye-kristal süzğəclərin tətbiqi zamanı siqnalın enerjisinin zəifləməsi bu halın aradan qaldırılması üzrə tədbirlərin görülməsi zərurətini qarşıya çıxarır.

Hiperspektral informasiya-ölçmə sistemlərinin layihələndirilməsi zamanı maye-kristal süzgeçlərdə göstərilən çatışmazlıqların aradan qaldırılmasının effektiv metodlarından biri də spektral ölçmələri həyata keçirən daşıyıcıların qrup uçuş prinsipindən istifadə etməkdən ibarətdir[1, s. 1-6].

Məlum olduğu kimi, daşıyıcıların ayrı-ayrılıqda uçuşları zamanı həlli mümkün olmayan mürəkkəb məsələlər multisensorlu ölçmələri yerinə yetirən daşıyıcıların qrup halında uçuşları vasitəsilə daha səmərəli həll edilir. Kompleks ekoloji monitoring məsələlərinin həllində və multisensor (qrup halında) ölçmələrdən istifadə yerüstü obyektlərin borddan yerinə yertirilən monitoringin nəticələrinin informativliyini yüksəltməyə və belə sistemlərin optimal iş rejimini seçməyə imkan verir.

Bununla yanaşı asinxron uçuş rejimində eyni trayektoriya üzrə çoxlu sayda PUA-dan qrup halında istifadə olunması maye-kristal süzgeçlərdə spektral kanalların çevrilməsinin ətalətliliyini dəf etməyə və süzgecin çıxışında spektral siqnalların qeyri-bərabər paylanmasının kompensasiyası üzrə tədbirlərin görülməsinə imkan yaradır.



Şəkil 1.3.1. Eyni trayektoriya üzrə hiperspektral ölçmələri yerinə yetirən PUA-ların qrup halında asinxron uçuş sxemi: t_i - eyni trayektoriyayı keçmə müddəti, λ_i - i -ci PUA yerləşdirilən i -ci spektral kanalın dalğa uzunluğudur

Əgər ümumi halda atmosferin buraxma əmsalını $T_{1\lambda}$ kimi işarə etsək yaza bilərik:

$$I_b(\lambda) = T_{1\lambda} \cdot I_\lambda . \quad (1.3.2)$$

Burada I_λ - dalğa uzunluğu λ olan kanalın giriş siqnalı, $I_b(\lambda)$ - həmin kanalın çıxış siqnalıdır.

I_λ -nın spektral kanalın fəaliyyət müddətindən, yəni zamandan asılılığını aşağıdakı kimi göstərək:

$$I_\lambda = I_\lambda(t) . \quad (1.3.3)$$

Burada t - PUA-nın verilmiş trayektoriyanı keçmə müddətidir.

t müddəti ərzində sistemdən alınan informasiya miqdarını aşağıdakı qaydada müəyyən edək:

$$M_1 = \frac{t}{\Delta t} \log_2 \frac{T_{1\lambda} I_\lambda(t)}{\Delta S} . \quad (1.3.4)$$

Burada ΔS - sistemin küy siqnalıdır.

Əgər t_i ($i = \overline{1, n}$) müddətiylə PUA-nın uçuş seriyasının keçirilməsini nəzərə alsaq, onda bütün uçuşlardan alınan informasiyanın ümumi miqdarını aşağıdakı kimi hesablaya bilərik:

$$M_{I\Sigma} = \sum_{i=1}^n \frac{t_i}{\Delta t} \log_2 \frac{T_{s\lambda} \cdot I_\lambda(t)}{\Delta S} . \quad (1.3.5)$$

(1.3.5) ifadəsini kəsilməz formada yazsaq alarıq:

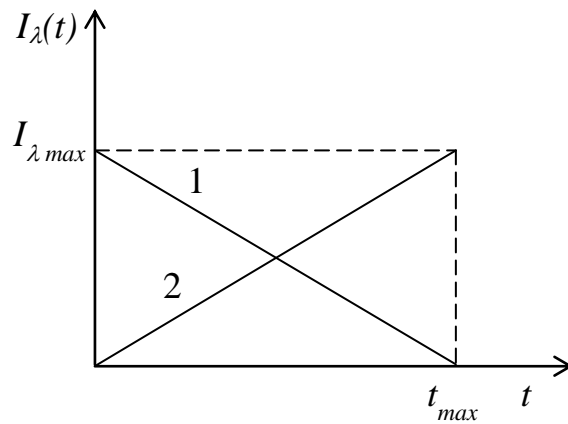
$$M_2 = \int_0^{t_m} \frac{t}{\Delta t} \log_2 \frac{T_{s\lambda} \cdot I_\lambda(t)}{\Delta S} dt . \quad (1.3.6)$$

İlk növbədə binar məhdudlaşdırıcı şərti nəzərdən keçirək.

Həmin şərtə görə funksiya yalnız artan və ya azalan formaya malik ola bilər (qrafik 1.3.2). Bu halda funksiya aşağıda göstərilən məhdudlaşdırıcı integral şərt tətbiq edilir:

$$\int_0^{t_m} I_\lambda(t) dt = c. \quad (1.3.7)$$

(1.3.7) ifadəsində istifadə olunan məhdudlaşdırıcı şərti daha ətraflı araşdırmaq üçün $I_\lambda(t)$ funksiyasına tətbiq edilən məhdudluq şərtlərinə baxaq.



Qrafik 1.3.2. $I_\lambda(t)$ funksiyasının binar məhdudluq şərtində mümkün tipləri:

$$1) I_\lambda(t) = I_{\lambda_{\max}} - I'_{\lambda,t} \cdot t ; \quad 2) I_\lambda(t) = I'_{\lambda,t} \cdot t$$

(1.3.6) və (1.3.7) ifadələrini nəzərə almaqla şərtsiz variasiya optimallaşdırmanın tam funksionalını aşağıdakı kimi formalaşdırmaq:

$$M_3 = \int_0^m \frac{t}{\Delta t} \log_2 \frac{T_{1\lambda} \cdot I_\lambda(t)}{\Delta S} dt + \gamma \left[\int_0^m I_\lambda(t) dt - c \right]. \quad (1.3.8)$$

Burada γ - Laqranj əmsalıdır.

Eyler metoduna əsasən $I_\lambda(t)$ optimal funksiyası aşağıdakı şərti ödəməlidir:

$$\frac{d \left\{ \frac{t}{dt} \log_2 \frac{T_{1\lambda} \cdot I_\lambda(t)}{\Delta S} + \gamma \cdot I_\lambda(t) \right\}}{dI_\lambda(t)} = 0 . \quad (1.3.9)$$

(1.3.8) və (1.3.9) ifadələrini nəzərə almaqla yazıla bilər:

$$\frac{t}{I_\lambda(t) \cdot (\ln_2) \cdot \Delta t} + \gamma = 0 . \quad (1.3.10)$$

(1.3.7) və (1.3.9) ifadələrindən istifadə etməklə tapırıq:

$$\gamma = \frac{-t}{I_\lambda(t) \cdot \ln_2 \cdot c} . \quad (1.3.11)$$

(1.3.10) və (1.3.11) ifadələrini nəzərə almaqla $I_\lambda(t)$ -nin qiymətini

$$I_\lambda(t) = \frac{2t \cdot c}{t_m^2} . \quad (1.3.12)$$

kimi müəyyənləşdiririk.

$I_\lambda(t)$ funksiyasına görə (1.3.10) ifadəsinin törəməsi həmişə mənfi olduğundan, (1.3.8) funksionalı maksimal qiymət alır. Deməli optimal funksiya kimi

$$I_\lambda(t) = I'_{\lambda,t} \cdot t \quad (1.3.13)$$

ifadəsi qəbul edilir.

Beləliklə, qəbul edilmiş məhdudlaşdırıcı şərt daxilində (1.3.13) ifadəsi optimal funksiyadır. (1.3.13) funksional asılılığının reallaşdırılması bütün giriş siqnallarına uyğun olaraq sistemin informasiya xarakteristikalarını optimallaşdırmağa və sistemin fəaliyyətinin ümumi effektivliyini yüksəltməyə imkan yaradır.

Bununla da tənzimlənən maye-kristal süzgəclərin tətbiqi ilə eyni uzunluqlu trayektoriya üzrə asinxron uçuşları həyata keçirən PUA qrupları əsasında hiperspektral informasiya-ölçmə sistemlərinin yaradılması məsələləri təhlil edilmişdir

və bu halda hər bir PUA qeyd edilmiş dalğa uzunluqlarında spektral ölçməni həyata keçirir. Göstərilmişdir ki, tənzimlənən maye-kristal süzğəclərin dalğa uzunluqlarına görə buraxma qabiliyyətinin artırılması PUA vasitəsi ilə həyata keçirilən müxtəlif müddətli spektrometrik ölçmə seriyalarında süzğəclərin giriş signalının zamana görə dəyişikliyinə qanunauyğunluğunun tapılmasının optimallaşdırılması məsələsini həll etməyə imkan verir. Məhdudlaşdırıcı şərt tətbiq edilməklə optimallaşdırma məsələsi formalaşdırılmış və həll edilmişdir. Həmçinin bu həll maye-kristal süzğəcin giriş signalının zamandan asılılıq funksiyasının ən məqsədəuyğun ifadəsini hesablamağa imkan vermişdir.

1.4. Opto-elektron süzğəclərlə birgə iş zamanı yükəlaqəli cihazlar bazasında yaradılan fotoqəbuledicilərin kalibrlənməsi məsələləri

Hazırda bortda yerləşdirilən çoxspektral informasiya-ölçmə sistemləri yerüstü ölçü sistemləri ilə birgə fəaliyyət göstərirlər [98]. Bu sistemlərdə həm tənzimlənən maye-kristal süzğəclərdən, həm də akustik-optik tənzimlənən süzğəclərdən geniş istifadə olunur. Akustik-optik tənzimlənən süzğəclər tellur-dioksid (TeO_2) tərkibli bərkcisimli qurğu və ya çeviriciyə yerləşdirilmiş kvars tipli kristaldır. Radiotezlikli signalın çeviriciyə təsiri nəticəsində kristal vasitəsilə yayılan yüksək tezlikli akustik dalğalar yaranır, bununla da sınıma əmsalının dəyişməsi baş verir və müəyyən uzunluqlu dalğanın keçməsinə gətirib çıxarır. Məlumdur ki, *buraxılan dalğa uzunluqlarının eni dalğa uzunluğu artdıqca, daha da genişlənir* [98]. *Akusto-optik çeviricilərdən fərqli olaraq, maye-kristal çeviricilər xətti polyarizatorların və maye kristalların kombinasiyaları əsasında hazırlanır.*

Spektral kanallara daxil olan işığın bölünməsi üçün hansı metoddan istifadə olunmasından asılı olmayaraq həm hiperspektrometrlərdə, həm də multispektrometrlərdə yükəlaqəli cihazlar (YƏC) şəklində fotodetektorlardan istifadə olunur. YƏC tipli cihazlar yüksək kvant effektivliyinə malikdir, yəni onlar hər bir fotonun düşməsi vaxtı yaranan çoxlu miqdarda yükləri generasiya etmək qabiliyyətinə malikdirlər. Bununla yanaşı YƏC tipli cihazlarda foton və istilik

küyləri, həm də sayma küyləri mövcuddur. Hiperspektral və multispektral cihazlarda bu küylərin nəzərə alınması daha çox əhəmiyyət kəsb edir. Belə ki, bu qurğularda vahid spektral kanala düşən spektral enerji kifayət qədər aşağıdır.

Mənbə [82, s.76-79]-ə uyğun olaraq YƏC fotodetektorunun çıxışındakı siqnal aşağıdakı düsturla hesablanı bilər:

$$U_{\text{çix}} = (F \cdot A_e + N)T + C. \quad (1.4.1)$$

Burada F -fotonların giriş seli (detektorun girişindəki fotonların bir saniyə müddətindəki sayı), A_e -kvant effektivliyi, D - termik (istiliyin yaratdığı) küylər, C - sayma küyləri, T -ekspozisiya vaxtıdır.

Temperatur küyləri YƏC sərhəddində termal-generasiyalı elektronların əmələ gəlməsi səbəbindən, həmçinin “zatvor” (çaxmaq) bağlı olduqda da yaranırlar. İstilik və qaranlıq cərəyanlarını “zatvor”un bağlı vəziyyətində, yəni $F=0$ olduqda, T_0 inteqrallama zaman müddətində fotometrik təsvirin alınması yolu ilə aradan qaldırmaq olar. Nəticədə, qaranlıq təsvirə uyğun olaraq çıxış siqnalı aşağıdakı kimi formalaşır:

$$A_D = N \cdot T_0 + C. \quad (1.4.2)$$

Müasir YƏC matrislərində C sayma küyləri nəzərə çarpmayan dərəcədə az olduğundan, C -nin təsirini nəzərə almamaq da olar. Bu halda

$$N = \frac{A_D}{T_0}. \quad (1.4.3)$$

Bu detektorun çıxış siqnalından “qaranlıq” təsvir siqnalını xaric etməyə imkan verir. Nəticədə

$$F \cdot A_e \cdot T = U_{\text{çix}} - \frac{T}{T_0} \cdot A_D \quad (1.4.4)$$

olduğunu alırıq.

Bu halda fotonların giriş seli aşağıdakı kimi hesablanır:

$$F = \frac{1}{A_e \cdot T} \left(U_{\text{çix}} - \frac{T}{T_0} \cdot A_D \right). \quad (1.4.5)$$

Beləliklə, “qaranlıq” təsvirin xaric edilməsi küylərə münasibətdə qurğuların kalibrləməsini effektiv yerinə yetirməyə imkan verir.

T_0 inteqrallama zaman ölçüsünün seçiminin T ekspozisiya zaman ölçüsündən asılı olmadığını göstərək.

T_{\max} ekspozisiya zaman müddətində fotonların inteqral ölçüsünü aşağıdakı ifadəyə görə müəyyən edə bilərik:

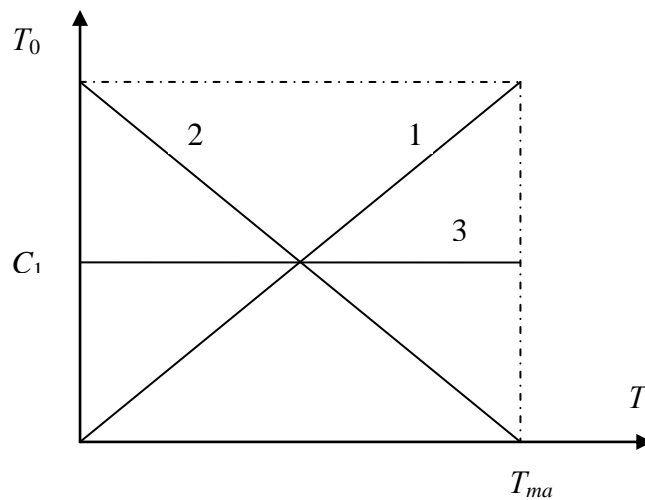
$$F_0 = \int_0^{T_{\max}} \frac{1}{A_e \cdot T} \left(U_{\text{çux}} - \frac{T}{T_0} \cdot A_D \right) dT. \quad (1.4.6)$$

Bununla əlaqədar optimallaşdırma məsələsinə baxaq.

$T_0 = T_0(T)$ asılılığının optimal forması F_0 maksimal qiymətə çatdığı zaman müəyyən edilməlidir. Bu məsələnin həlli üçün aşağıdakı fərziyyələrə əsaslanaraq məhdudlaşdırıcı şərtləri formalaşdıraraq:

- 1). $T_0 = T_0(T)$ funksiyası T -nin xətti artan funksiyasıdır.
- 2). $T_0 = T_0(T)$ funksiyası T -nin xətti azalan funksiyasıdır.
- 3). $T_0 = T_0(T)$ funksiyasında $T_0 = C_1 = \text{const}$ şərti ödənilir, yəni T_0 və T arasında funksional asılılıq mövcud deyil.

Yuxarıda qeyd edilən fərziyyələrin qrafik təsviri qrafik 1.4.1-də göstərilmişdir.



Qrafik 1.4.1. T_{\max} və T_0 arasında funksional asılılığın mövcudluğu haqqında ilk fərziyyənin qrafik təsviri: 1 – (1) şərtinə görə, 2– (2) şərtinə görə, 3– (3) şərtinə görə funksional asılılığın qrafiki

Qrafiklərdən görüldüyü kimi (qrafik 1.4.1), bütün yuxarıda göstərilən ilk fərziyyələri əhatə edən vahid məhdudlaşdırıcı şərt $T_0 = T_0(T)$ funksiyası aşağıda göstərilən şəkildə ifadə oluna bilər:

$$F_1 = \int_0^{T_{\max}} T_0(T) dT = C, \quad C = \text{const} \quad (1.4.7)$$

(1.4.6) və (1.4.7) ifadələrini nəzərə alaraq şərtsiz variyasiyanın optimallaşdırma məsələlərini formalaşdırmaq olar.

$$F_2 = F_0 + \lambda \cdot F_1 = \int_0^{T_{\max}} \left[\frac{1}{A_e \cdot T} \left(U_{\text{çux}} - \frac{T}{T_0} \cdot A_D \right) + \lambda \cdot T_0(T) \right] dT. \quad (1.4.8)$$

Burada λ -Laqranj vuruğudur.

$T_0 = T_0(T)$ funksiyasının optimal növünü təyin etmək üçün Eyler qaydasından istifadə etmək olar. Bu halda aşağıdakı şərt təmin edilməlidir:

$$\frac{d \left\{ \frac{1}{A_e \cdot T} \left[U_{\text{çux}} \frac{T \cdot Dd}{T_0(T)} \right] + \lambda \cdot T_0(T) \right\}}{dT_0(T)} = 0. \quad (1.4.9)$$

(1.4.7) və (1.4.9) ifadələrindən alırıq:

$$T_0(T) = \sqrt{\frac{A_D}{\gamma \cdot A_0}}. \quad (1.4.10)$$

Burada

$$\gamma = \left[\frac{1}{C} \int_0^{T_{\max}} \sqrt{\frac{A_D}{A_0}} dT \right]. \quad (1.4.11)$$

(1.4.10) və (1.4.11) ifadələrindən görüldüyü kimi, T_0 funksiyası T dəyişənindən asılı deyil, yəni yuxarıda göstərilən ilk fərziyyələr özünü tam doğruldu.

Beləliklə göstərilmişdir ki, YƏC tipindən olan fotoqəbuledicilərin əsas kalibrənmə parametri T_0 inteqrallama vaxtıdır ki, o da T ekspozisiya müddəti ilə

funksional əlaqədə deyil. Alınmış nəticə daha çox kiçik cərəyana görə YƏC fotoqəbuledicilərin operativ kalibrlənməsini yerinə yetirməyə imkan verir, bu da multispektral qurğularda fotoqəbuledicinin istifadə effektivliyinin yüksəlməsinə səbəb olur.

Bununla da aparılmış tədqiqatların nəticələrinə əsasən hökm etmək olar ki, multispektral cihazlarda YƏC tipli fotoqəbuledicilərin effektiv fəaliyyətini, “qaranlıq” cərəyanlara nəzərən onların inteqrallanmasını, müəyyən fiksə edilmiş vaxtda kalibrlənməsini faydalı ekspozisiya signalından sonra alınan inteqrallanmış signalın xaric edilməsi yolu ilə təmin etmək olar. Eynilə göstərilmişdir ki, ekspozisiya müddətində fotonların qiymətini fotoqəbuledicinin fəaliyyətinin optimal rejimində, ekspozisiya və istilik cərəyanlarının inteqrallama vaxtları arasında fərz edilən hər hansı funksional əlaqələrin olmaması rejimində müəyyənləşdirmək mümkündür.

I fəslin nəticələri

1. Maye-kristal süzgəcli günəş fotometrlərinin həssaslığına təsir edən əsas faktorlar analiz edilərək göstərilmişdir ki, həmin fotometrin həssaslığı dalğa uzunluğunun işçi diapazonunda tipik minimuma malikdir ki, bu da günəş-fotometriya ölçülərinin rejim parametrlərinin seçimində nəzərə alınmalıdır.

2. Su buxarlarının və O_2 -nin kontinual udmasının mənfi təsirlərini nəzərə almaqla 685-705 nm dar spektral diapazonda, həmçinin havanın rütubətliyinin yüksəlməsi və ya azalması nəticəsində atmosfer aerosolunun nəmlənməsi və ya qurumasını nəzərə alaraq, 400-700 nm geniş spektral diapazonda multispektral ölçmələrin dəqiqliyinin artırılması məsələsi formalaşdırılmış və həll edilmişdir.

3. Tənzimlənən maye-kristal süzgəclərin tətbiqiylə eyni uzunluqlu trayektoriya üzrə asinxron uçuşları həyata keçirən PUA qrupları (hər bir PUA qeyd edilmiş dalğa uzunluqlarında monospektral ölçməni yerinə yetirir) əsasında hiperspektral məsafədən zondlama sistemlərinin yaradılması məsələləri təhlil edilmişdir.

4. Qeyd edilmişdir ki, multispektral cihazlarda YƏC tipli fotoqəbuledicilərin fəaliyyətinin effektivliyini kiçik cərəyanlara münasibətdə onların inteqrallanması, müəyyən fiksə edilmiş vaxtda kalibrlənməsi və faydalı ekspozisiya siqnalından sonra alınan inteqrallaşdırılmış siqnalın xaric edilməsi yolu ilə artırmaq olar. Göstərilmişdir ki, ekspozisiya vaxtı ərzində fotonların qiymətini fotoqəbuledicinin fəaliyyətinin optimal rejimində, ekspozisiya və istilik cərəyanlarının inteqrallama vaxtları arasında fərz edilən hər hansı funksional əlaqələrin olmaması şərti daxilində müəyyənləşdirmək olar.

II FƏSİL. DƏNİZ MÜHİTİNİN HİDROFİZİKİ PARAMETRLƏRİNİN ÇOXSPEKTRAL ÖLÇMƏ METODLARININ TƏKMİLLƏŞDİRİLMƏSİ

2.1. Dəniz suyunda xlorofilin konsentrasiyasının təyininin yeni hiperspektral ölçmə metodu

Məlumdur ki, dəniz və okean səthinin rəngi onun sularının çirklənmə dərəcəsini əks etdirir. Hal-hazırda dəniz suyunun rənginin təyində multispektral və hiperspektral ölçmə vasitələrindən geniş istifadə olunur [23, s. 59-63]. Belə vasitələrdən biri də dəniz sularının rəngini ölçən *SeaWiFS* qurğusudur.

Suyun rəngini spektral ölçən həmin qurğu 1997-ci ilin oktyabrında orbitə buraxılan Sea Star peykində yerləşdirilmişdir və bu peyk indiyə qədər fəaliyyət göstərir. Peykin əsas texniki göstəriciləri aşağıdakı kimidir [77, s.5]:

- ayırdetmə qabiliyyəti - 1 km;
- spektral kanallarının sayı-8 (görünən oblastda-6, yaxın İQ oblastda-2)
- spektral kanalların zolağının eni - 20 nm.

SeaWiFS qurğusunun ümumi ölçmə metodologiyasında dəniz suyunun əksətmə spektri- $R(\lambda)$ kvazi (birdəfəlik) səpələnmə ilə modelləşdirilmişdir [77, s.5]. Bu metodikada flüoressensiya və Raman səpələnmə effektləri nəzərə alınmur. Dəniz suyunun əksətmə spektri aşağıdakı kimi təyin edilir:

$$R(\lambda) = k \cdot \frac{b_b(\lambda)}{a(\lambda) + b_b(\lambda)} . \quad (2.1.1)$$

Burada $b_b(\lambda)$ - əks səpələnmə əmsalı, $a(\lambda)$ - dəniz suyunun absorbsiya (udulma) əmsalı, k - dalğa uzunluğundan asılı olmayan parametrdir.

Dəniz suyunda xlorofilin miqdarının ölçülməsi üçün istifadə edilən *SeaWiFS* qurğusunun ölçmə metodikası aşağıdakı kimidir:

Qurğuda 4 kanaldan (2, 3, 4 və 5) istifadə edilir. Kanal 5 (555 nm) dayaq kanalı kimi istifadə olunur. Əks olunan r_i, r_j siqnallarının nisbətləri aşağıdakı kimi

hesablanır:

$$R_{i,j} = \frac{r_i}{r_j}; i=2,3,4; j=5 \quad (2.1.2)$$

Xlorofilin konsentrasiyasını təyin etmək üçün aşağıdakı ifadədən istifadə olunur:

$$\log_{10}(Chl - a_n) = a_0 + a_1L + a_2L^2 + a_3L^3.$$

Burada $L = \log_{10}(R_{max})$, $R_{max} = \{R_{i,5}\}$, $i = \overline{(2,3,4)}$ çoxluğunda R_i -nin maksimal qiyməti, a_i əmsaldır və aşağıdakı qiymətləri alır:

$$a_0 = 0,4708; a_1 = -3,8469; a_2 = 4,5338; a_3 = -2,4434; a_4 = -0,0414$$

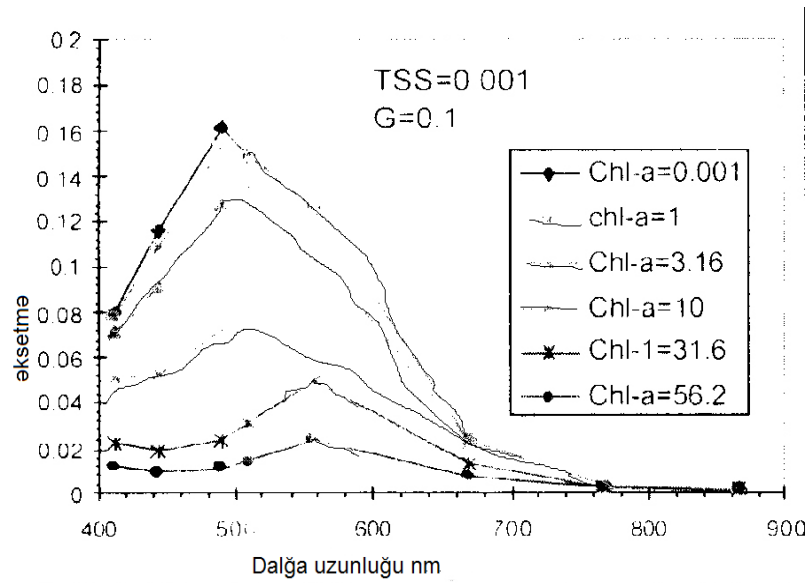
Aparılan tədqiqatlara əsasən aşağıdakı nəticəyə gəlmək olar [77, s.5]:

1. Xlorofilin konsentrasiyası artan zaman əks olunan siqnal azalır.
2. Suda üzvi maddələrin və mineral hissəciklərin olması aparılan ölçmələrin nəticələrinə əhəmiyyətli dərəcədə təsir göstərir. Həmin ölçmələrin nəticələri qrafik təqdim olunmuşdur (qrafik 2.1.1). Bu qrafiklərdə üzvi maddələrin konsentrasiyası $G=0,1 m^{-1}$, xlorofilin konsentrasiyası mq/m^3 , mineral hissəciklərin konsentrasiyası (TSS) q/m^3 ilə ifadə olunmuşdur.

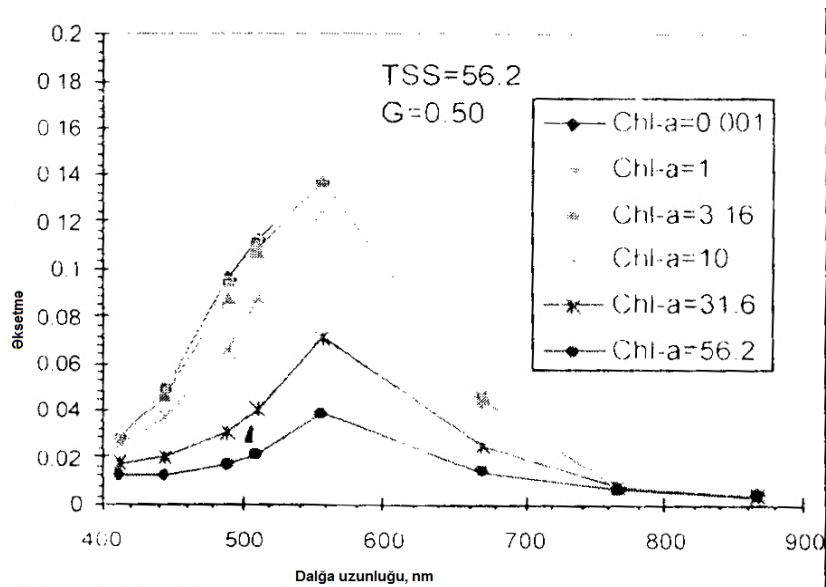
Qrafik 2.1.1-də təqdim edilən qrafiklərdən görüldüyü kimi, suda həll olan yüksək konsentrasiyalı üzvi maddələr və mineral hissəciklər olduğu halda xlorofilin kiçik konsentrasiyasında maksimumlar uzun dalğalar tərəfə yerini dəyişir [66]. Bu zaman əks olunan siqnalın artması ilə Chl konsentrasiyasının azalmasının ümumi qanunauyğunluğu saxlanılır.

Qrafik 2.1.1a-da göstərilmiş qrafiklərə diqqətlə nəzər saldıqda görünür ki, xlorofilin kiçik konsentrasiyasında (yəni yuxarı ayrılarda) 700-800 nm dalğa uzunluqlarında ordinat oxunda qiymətlərin tam yaxınlaşması müşahidə olunur. Bu xüsusiyyət göstərilmiş dalğa uzunluqlarında suda az konsentrasiyalı xlorofilin spektral ölçmə nəticələrinin etibarlılığını sual altında qoyur. Məsələnin ətraflı

öyrənilməsi üçün [36,s.13-14] və [89] işlərində alınmış nəticələr hərtərəfli araşdırılmış və müqayisə aparılmışdır.



a)



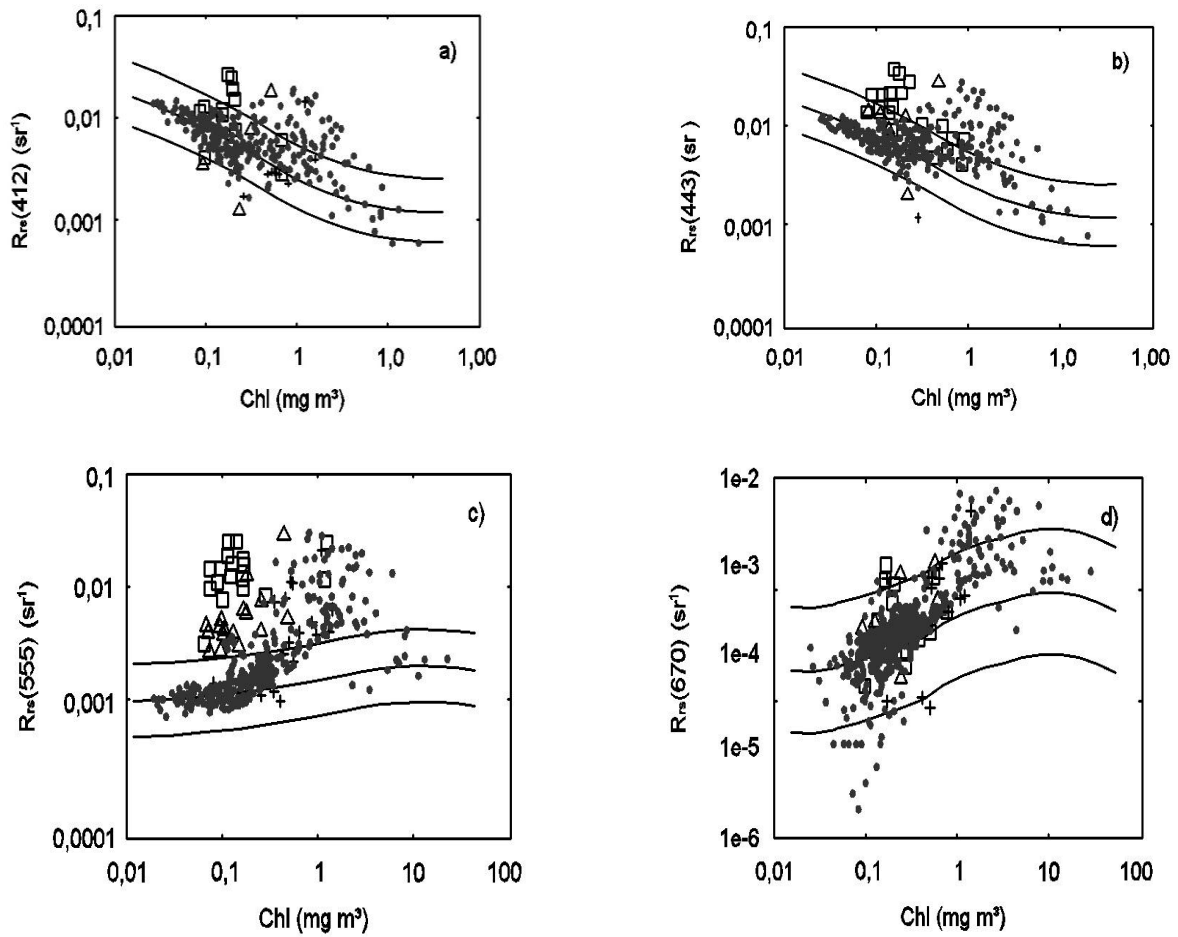
b)

Qrafik 2.1.1. Əksətimə signalının dalğa uzunluqlarından asılılığı [67, s.64-70]:

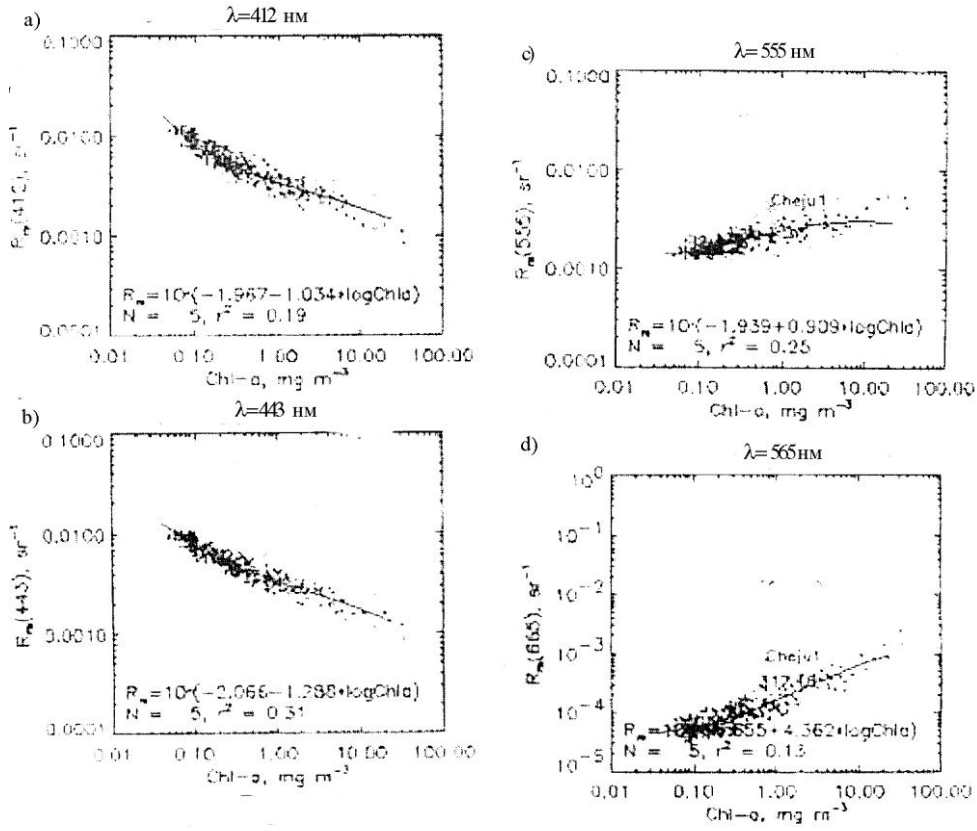
a) suda müxtəlif konsentrasiyalı üzvi maddələr və mineral hissəciklər olduğu halda, b) suda yüksək konsentrasiyalı üzvi maddələr və mineral hissəciklər olduğu halda

Göstəridiyi kimi [36,s.13-14], 450-600 nm diapazonda ölçmələrin dəqiqliyi 555 nm dalğa uzunluqlu signalın dəniz dibindən əks olunması hesabına sürətlə azalır (qrafik 2.1.2). Bu da son nəticədə $r_i/r(555)$ nisbətinin hesablanması yolu ilə xlorofilin miqdarının qiymətləndirilməsi metodikası əsasında alınan nəticələrin etibarlılığını şübhə altına alır.

Göründüyü kimi 510 nm, 670 nm və 550 nm dalğa uzunluqlarında əks olunan signalın xlorofilin konsentrasiyasından asılı olaraq artması, 412-490 nm dalğa uzunluqlarında isə azalma tendensiyaları müşahidə edilir (qrafik 2.1.2). Qeyd etmək lazımdır ki, mənbə [89]-də də analoji nəticələr əldə olunmuşdur (qrafik 2.1.3).



Qrafik 2.1.2. Müxtəlif dalğa uzunluqlarında xlorofildən əks olunan signalın xlorofilin konsentrasiyasından asılılıq əyriləri [36,s.13-14],: a) 412 nm dalğa uzunluğunda, b) 443 nm dalğa uzunluğunda, c) 555 nm dalğa uzunluğunda, d) 670 nm dalğa uzunluğunda



Qrafik 2.1.3. Müxtəlif dalğa uzunluqlarında əks olunan siqnalın xlorofilin konsentrasiyasından asılılıq əyriləri: [89], [36,s.13-14],: a) $\lambda = 412\text{nm}$, b) $\lambda = 443\text{nm}$, c) $\lambda = 555\text{nm}$, d) $\lambda = 565\text{nm}$

Beləliklə, alınan təcrübi nəticələr 650 -700 nm dalğa uzunluqlarında (2.1.2) nisbətinin qiymətləndirilməsi yolu ilə xlorofilin konsentrasiyasının ölçülməsi üsulunun praktiki yararsız olduğunu təsdiq edir [36,s.13-14], [89]. Buna görə də xlorofilin konsentrasiyasının dəniz səthindən əks olunan siqnallardan istifadə etməklə ölçülməsinə əsaslanan yeni metodun təklif olunması məqsədəuyğun hesab edilmişdir.

Dəniz suyunda xlorofilin konsentrasiyasının qiymətləndirilməsinin additiv-parametrik-ekstremal metodunu nəzərdən keçirək və təklif edilən metodun nəzəri əsaslarını şərh edək.

Fərz edək ki, arqumenti x olan iki əks fazlı xətti funksiya mövcuddur:

$$y_1 = f_1(x), \quad (2.1.3)$$

$$y_2 = f_2(x). \quad (2.1.4)$$

(2.1.3) və (2.1.4) ifadələri xətti və əks fazalı olduğuna görə həmişə aşağıdakı bərabərlik doğrudur:

$$k_1 y_1 + y_2 = C = \text{const}, \quad k_1 = \text{const}. \quad (2.1.5)$$

(2.1.5) ifadəsini bu cür yazmağa bilərik:

$$(k_1 y_1 + y_2)^2 = C^2 = C_1 = \text{const}. \quad (2.1.6)$$

(2.1.6) ifadəsini aşağıdakı kimi də yazmaq olar:

$$(k_1^2 y_1^2 - k_1 y_1 y_2 + y_2^2) + (3k_1 y_1 y_2) = C. \quad (2.1.7)$$

Funksional analiz nəzəriyyəsiindən məlum olduğu kimi (2.1.5) tipli məhdudlaşdırıcı şərt daxilində $k_1 y_1 = y_2$ olduqda $k_1^2 y_1^2 - k_1 y_1 y_2 + y_2^2$ ifadəsi minimuma çatır. Lakin (2.1.7) ifadəsinə əsasən bu zaman $3k_1 y_1 y_2$ maksimum qiymətə çatır.

Beləliklə, sübut edilir ki, (2.1.3) və (2.1.4) tipli xətti funksiyalar üçün (2.1.5) məhdudlaşdırıcı şərt daxilində $3k_1 y_1 y_2$ hasilini maksimuma çatır.

Buna görə də (2.1.7) ifadəsinə əsasən x qiymətini

$$k_1 \cdot f_1(x) = f_2(x) \quad (2.1.8)$$

şerti daxilində

$$y_0 = k_1 f_1(x) \cdot f_2(x) \quad (2.1.9)$$

ifadəsində göstərilən hasilin maksimuma çatması əsasında hesablamaq olar.

Bununla da təklif edilən metodun mənbə [89]-də verilmiş nəticələrə konkret necə tətbiq ediləcəyini göstərmək mümkün olmuşdur.

Mənbə [39,s.1231-1240] -ə əsasən 412 nm və 443 nm dalğa uzunluqlarında $f_1(x)$ asılılığı aşağıdakı funksiya ilə aproksimasiya olunur.

$$f_1(x) = 10^{(-a_1 - b_1 \cdot \ln x)}. \quad (2.1.10)$$

Burada x -xlorofilin konsentrasiyasıdır.

Bu zaman 555 nm və 565 nm dalğa uzunluqlarında $f_2(x)$ asılılığı aşağıdakı funksiya ilə approksimasiya olunur [39,s.1231-1240].

$$f_2(x) = 10^{(-a_2 + b_2 \cdot \ln x)}. \quad (2.1.11)$$

Qrafik 2.1.3 a, b, c, d-də göstərilmiş əyriyədə argument kimi $\ln x$, funksiya kimi isə (2.1.10) və (2.1.11) ifadələrinin qüvvət üstləri əks etdirilmişdir. Əyriyə özləri isə düz xəttə yaxın olduqları üçün, (2.8) şərti aşağıdakı kimi yazıla bilər:

$$k_1(-a_1 - b_1 \cdot z) = (-a_2 + b_2 \cdot z). \quad (2.1.12)$$

Burada $z = \ln x$

(2.1.12) ifadəsindən tapırıq

$$z = -\frac{k_1 a_1 - a_2}{k_1 b_1 + b_2}. \quad (2.1.13)$$

$z = \ln x$ olduğunu nəzərə alsaq, (2.13) ifadəsindən tapırıq:

$$x_{opt} = 2^{-\left(\frac{k_1 a_1 - a_2}{k_1 b_1 + b_2}\right)}. \quad (2.1.14)$$

Beləliklə, alınan (2.1.14) ifadəsi 400-600 nm intervalında iki bir-birindən xeyli uzaqlaşdırılmış dalğa uzunluğunda aparılmış ölçmələr əsasında xlorofilin konsentrasiyasının optimal (x_{opt}) qiymətini hesablamağa imkan verir. Bu halda $k_1 f_1(x) \cdot f_2(x)$ hasilinin qiymətinin maksimuma çatması yoxlanılır. Bununla da dəniz suyunda xlorofilin konsentrasiyasının təklif edilən ölçülmə metodikası aşağıdakı mərhələləri əhatə edir:

1. 400-600 nm intervalının kənar nöqtələrində ölçmələr aparılır və $k(-a_1 - b_1 z)$ və $(-a_2 + b_2 z)$ funksiyaları təyin edilir.

2. (2.1.14) funksiyasının qiyməti k_1 parametri və k_1 qiymətinə maksimum yaxın olan $\{k_i\}; i = \overline{1, n}$ qiymətlər çoxluğu üçün hesablanır .

3. k_{1i} -nin hər bir qiyməti üçün dəniz səthinin başqa yaxın nöqtələrində ölçmələr yolu ilə $\{x_{opt_j}\}$, $j = \overline{1, m}$ qiymətləri üçün $k_1 f_1(x) \cdot f_2(x)$ hasilinin maksimum qiymət alması şərti yoxlanılır.

4. x həqiqi qiyməti kimi, elə x_{opt_j} qiyməti götürülür ki, bu zaman k_{1i} qiyməti k_1 -ə maksimum yaxınlaşdığı halda, $k_1 f_1(x) \cdot f_2(x)$ hasili maksimum qiymətə çatsın.

Beləliklə aparılan tədqiqatların əsas nəticələrinə görə deyə bilərik ki, *SeaWiFS* layihəsində xlorofilin konsentrasiyasının ölçülmə metodikasının analizinə görə 500-600 nm dalğa uzunluğunda dəniz suyunun optik şüalarının yüksək buraxma qabiliyyətinə malik olması, xlorofilin konsentrasiyasının əks olunan siqnalların nisbətləri əsasında alınan qiymətinin qeyri-informativ və qeyri-dəqiq olmasına səbəb olur. Deyilənləri nəzərə alaraq xlorofilin konsentrasiyasının ölçmələrinin etibarlılığının artırılması üçün yeni metod təklif edilmişdir. Bu metodda nəticənin etibarlılığı iki müxtəlif dalğa uzunluğunda əks olunan siqnalın xlorofilin konsentrasiyasının loqarifmindən qüvvət üstü aslılığının xətti approksimasiyası olan iki funksiyanın hasilinin maksimumla nəticələnməsi kimi əlavə əlamətlə təsdiqlənir.

2.2. RGB kolorimetriyası ilə dəniz suyunun rənginin təyində dəqiqliyin artırılmasının adaptiv ölçmə metodu

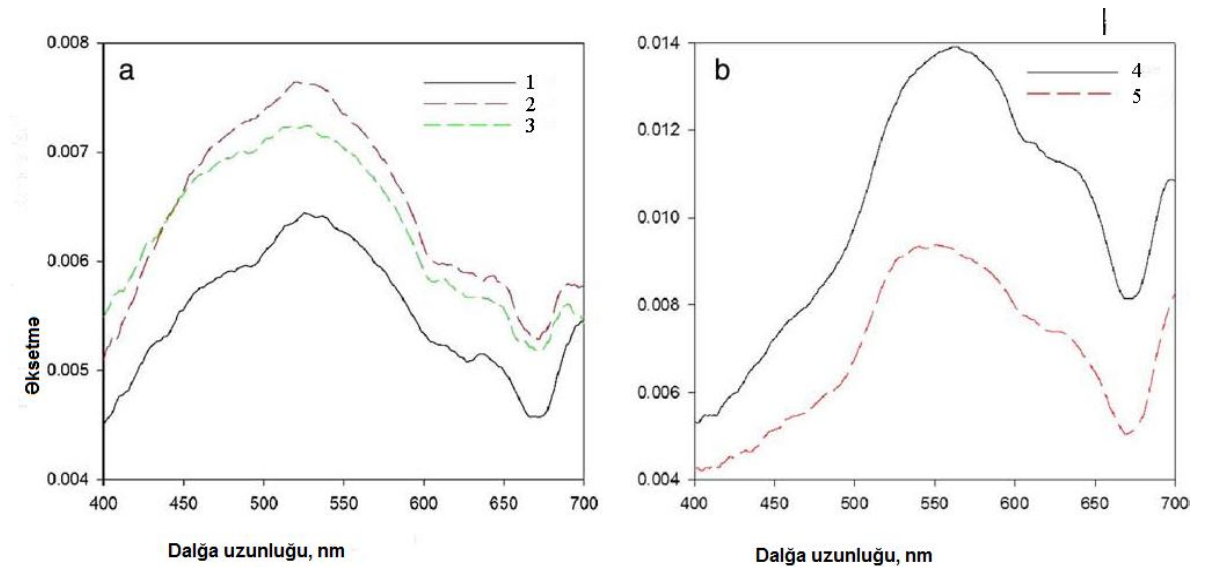
Məlum olduğu kimi, dəniz suyunun rəngi su sütununda həll olmuş və ölçülmüş məhlulun konsentrasiyası, optik xassələri, onların müşahidəçinin qəbul etdiyi informativ optik radiasiya selinə təsirləri ilə sıx bağlıdır [42, s.174-183].

Bu maddələrin ən əhəmiyyətliləri fitoplanktonlar, yosunlardan fərqli olan xırda hissəciklər, xromoforlu məhlul şəklində olan üzvi maddələr (SDOM) və suyun özüdür. Ümumiyyətlə, SDOM görünən qısa dalğa oblastında su səthindən əks olunan radiasiyanı azaldır, udulmanı və siqnalın ümumi zəifləməsini artırır. Həmçinin fitoplanktonlar suyun rəngini dəyişə, radiasiyanın zəifləməsini və səpələnməsini artırma bilər.

İnsan gözü ilə qəbul edilən suyun rəngini [42, s.174-183], CIE (Commission International l'Eclairage) tərəfindən müəyyənləşdirilmiş rəng uyğunluğu funksiyalarından istifadə etməklə, radiometrik ölçmələrin nəticələrini kolorimetrik koordinatlar sistemində çevirməklə müəyyən etmək olar.

Daha sonra suyun səthindən əks olunan L_w radiasiyasının qiymətindən və 400-700 nm spektral zolağında inteqrallanmış tristimulus funksiyalarından (RGB rənglərinin şablon funksiyalarından) istifadə etməklə CIE sistemindəki X, Y, Z rəng komponentləri hesablanır. İlk RGB rəng qiymətləri xromatik koordinatlar və standart kompüter monitorunun ağ dayaq rəngi əsasında matris çevirmələri aparmaq yolu ilə təyin olunur.

Qrafik 2.2.1-də yüksək eutrofikasiya dərəcəsiylə səciyyələnən Tayxu (Çin) gölünün müxtəlif zonalarından əks olunan radiasiyanın eksperimental yolla əldə edilmiş spektrləri göstərilmişdir [42, s.174-183].



Qrafik 2.2.1. Tayxu gölünün beş müxtəlif zonasından əks olunma spektrlərinin dalğa uzunluğundan asılılığı [32, s.1512-1520]: a) çirklənmə dərəcələrinə görə: 1- zəif çirklənmiş, 2-orta səviyyədə çirklənmiş, 3-yüksək səviyyədə çirklənmiş; b) çirklənmənin maksimal və minimal səviyyələrinə görə: 4-ifrat dərəcədə çirklənmiş su, 5-nisbətən təmiz su

Qrafik 2.2.1- də təqdim edilən spektral ayrılardan görüldüyü kimi 500-550 nm diapazonda əks olunan spektrlər əsasən geniş piklərlə, 650-750 nm intervalında isə güclü zəifləmələrlə səciyyələnirlər.

Bununla belə su səthindən əks olunan radiasiyanın ölçmələrinin aparılması zamanı bir sıra xüsusi korreksiyaları yerinə yetirmədən dəniz suyunun həqiqi rəngini aşkar etmək mümkün olmur. Məsələn, *mənbə* [42, s.174-183], [6, s.26-30] -ə əsasən *bir çox faktorların, məsələn su səthinin dalğalanma dərəcəsinin, buludluluğun, Günəşin vəziyyətinin və s. nəzərə alınmaması əslində yaşıl rəngdə olan suyun uzaqdan (bortdan) qara rəngdə görünməsinə gətirib çıxara bilər.*

Belə faktorlardan biri də küləkdir. Bununla əlaqədar baxılan bölmədə göstərilmişdir ki, küləyin təsirindən dəniz səthinin qeyri-bərabər dalğalanma dərəcəsinin hesaba alınmaması, dəniz suyunun rənginin təyinində təhriflərə gətirib çıxarır. Küləyin təsirindən yaranan rəng təhriflərinin aradan qaldırılması üçün rəng komponentlərinin adaptiv (uyğunlaşan) ölçmə metodu təklif edilmişdir.

[37, s.208-221] *işində göstərildiyi kimi radiasiyanın dəniz səthindən əks olunma əmsalı - ρ_w aşağıdakı kimi təyin edilir:*

$$\rho_w = \pi \frac{L_u^+(\lambda) - \rho_{as} \cdot L_{sky}(\lambda)}{E_d^+(\lambda)}. \quad (2.2.1)$$

Burada $L_u(\lambda)$ - su səthinin şüalanması, $L_{sky}(\lambda)$ - səmanın şüalanması, $E_d(\lambda)$ - düşən şüalanma, ρ_{as} - "hava – su" sərhəd zonasından əks olunma əmsalıdır.

Mənbə [84, s.7442-7455] -a əsasən ρ_{as} əmsalı və küləyin sürəti arasında aşağıdakı ifadə doğrudur:

$$\rho_{as} = 0,026 + 0,001W + 0,0000W^2. \quad (2.2.2)$$

Burada W -küləyin sürətidir.

Göründüyü kimi, küləyin sürətinin zamana görə dəyişməsi dəniz səthinin müxtəlif dərəcədə dalğalanmasına gətirib çıxaracaq, bu da labüd olaraq istifadə edilən kolorimetrik sistemin çıxışında dəniz suyunun formalaşmış rənginin təhrifinə səbəb olacaqdır [15, s.19-22], [20, s.81-85].

Küləyin sürətinin zamana görə dəyişikliyinin səbəb olduğu rəng təhriflərini aradan qaldırmaq üçün bu bölmədə R (qırmızı), G (yaşıl), B (göy) rəng komponentlərinin çoxkanallı adaptiv ölçü metodu təklif edilmişdir. Bu metodun mahiyyəti aşağıdakılardan ibarətdir:

$\rho_{as}; W; \rho_w; L_u^+; L_{sky}; E_d^+$ parametrlərinin zamana görə dəyişkənliklərini nəzərə alsaq (2.2.1) və (2.2.2) ifadələri aşağıdakı kimi təqdim oluna bilər:

$$\rho_w(t) = \frac{L_u^+(t) - \rho_{as}(t) \cdot L_{sky}}{E_d^+(t)}, \quad (2.2.3)$$

$$\rho_{as}(t) = 0,026 + 0,0001W(t) + 0,00006W(t)^2. \quad (2.2.4)$$

(2.2.4) ifadəsini (2.2.3)-də nəzərə alsaq yazı bilərik:

$$\rho_w(t) = \frac{L_u^+(t) - L_{sky}(t) \cdot 0,026 - L_{sky}(t) \cdot W(t) - L_{sky}(t) \cdot 0,00006W^2(t)}{E_d^+(t)}. \quad (2.2.5)$$

Rəng komponentlərinin (R, G, B) ayrı-ayrılıqda ölçülməsi prosesinə baxaq.

Bütün bu komponentlərin ölçülmə prinsipi eyni olduğu üçün, rənglərdən birinin ölçülmə dəqiqliyinə baxmaq kifayətdir.

Aydındır ki, seçilən i rəng komponentin zamana görə sabitlik şərti aşağıdakı kimi yazıla bilər:

$$\frac{L_{sky}(t)_i}{E_d^+(t)_i} [0,026 + 0,0001W(t) + 0,00006W^2(t)] = a. \quad (2.2.6)$$

Burada a kəmiyyəti $\rho_w(t)$ -nin müvafiq rəng üçün qiymətidir.

(2.2.6) ifadəsindən RGB rəng sistemində i komponentinin analitik üsulla ölçülməsi şərtini müəyyən etməyə imkan verən aşağıdakı kvadrat tənliyi alırıq:

$$W^2(t) + 1,66W(t) - \frac{a \cdot E_d^+(t) - 0,026}{0,00006} \frac{L_{sky}(t)_i}{E_d^+(t)_i} = 0. \quad (2.2.7)$$

(2.2.7) tənliyinin həllindən alırıq:

$$W(t) = -0,83 + \sqrt{0,83^2 + \left[\frac{a \cdot E_d^+(t)_i - 0,026}{L_{sky}(t)_i} \right]}. \quad (2.2.8)$$

Beləliklə, alınan (2.2.8) ifadəsi bizə R, G və B rəng komponentlərinin ayrı-ayrılıqda ölçmələrinin stabilliyini pozan küləyin təsirini tamamilə aradan qaldırmaq üçün aşağıdakı alqoritmi tərtib etməyə imkan verir.

1. $W(t)$ küləyin sürətinin fasiləsiz ölçülməsi həyata keçirilir.
2. R, G və B komponentləri üçün ayrı-ayrılıqda $E_d^+(t)_R; E_d^+(t)_G; E_d^+(t)_B$ və $L_{sky}(t)_R; L_{sky}(t)_G; L_{sky}(t)_B$ ölçmələri həyata keçirilir.
3. R, G və B komponentləri üçün a -nın müvafiq rənglərə görə verilən qiymətlərində

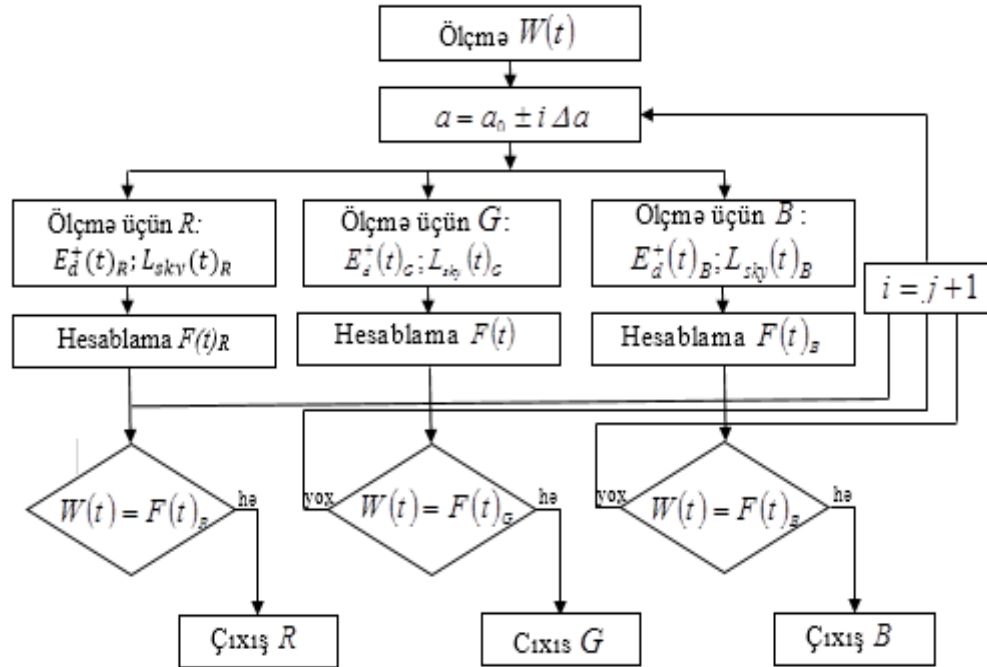
$$F(t)_i = -0,83 + \sqrt{0,83^2 + \left[\frac{a \cdot E_d^+(t)_i - 0,026}{L_{sky}(t)_i} \right]}; \quad i = (\overline{R, G, B})$$

funksiyasının qiyməti zamana görə fasiləsiz hesablanır.

4. Elə t_i zaman anları təyin edilir ki, a müvafiq rəng üçün verilən qiymətlərində $W(t) = F(t)$ bərabərliyi ödənilsin. Əgər bu şərt ödənilmirsə, şərti rəng ölçmə rejiminə keçilir və a -nın qiyməti eyni artım qədər dəyişdirilir, yəni R, G, B komponentləri elə zaman anında və müvafiq rəngə uyğun a -nın elə qiymətində ölçülür ki, $W(t) = F(t)$ bərabərliyi şərti bu komponentlər üçün ayrı-ayrılıqda ödənilmiş olsun.

5. Yuxarıda göstərilənlərə görə məlum olmuşdur ki, yuxarıda deyilənlər nəzərə almaqla, R rəng komponenti t_R zaman anında, G rəng komponenti t_G zaman anında, B rəng komponenti isə t_B zaman anında ölçülməlidirlər.

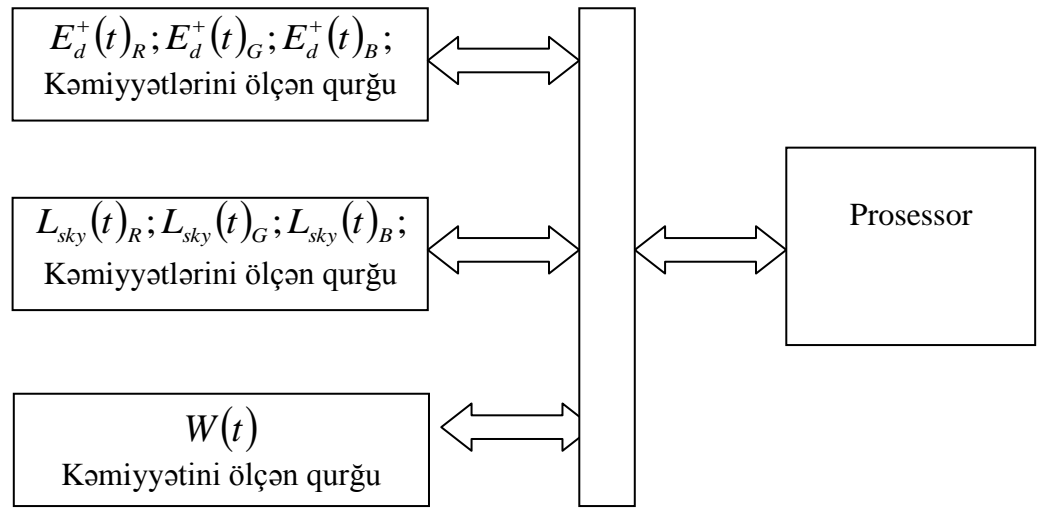
Dəniz suyunun rənginin ölçülməsinin təklif edilən metodunun blok-sxemi şəkil 2.2.1-də göstərilmişdir.



Şəkil 2.2.1. Təklif edilən ölçmə metodunun alqoritminin blok-sxemi

Təklif edilən metodun reallaşdırma alqoritminin blok-sxemindən görüldüyü kimi, bu metodda müvafiq rəng üçün a -nın verilən qiymətlərində $W(t) = F(t)$ şərti bütün rənglər üçün ayrı-ayrılıqda yerinə yetirilməlidir. Qeyd etmək lazımdır ki, təklif edilən metodun praktiki reallaşdırılması, ölçmələrin aparılması küləyin sürətindən asılı olması səbəbindən faktiki olaraq üçkanallı adaptiv ölçü cihazının hazırlanması zərurətini qarşıya çıxarır [49, s. 887-896]. Bu metod küləyin sürətini ölçən cihazı informasiya-ölçmə kompleksinin ümumi blok-sxeminə əlavə etməyi tələb edir.

Dəniz suyunun rənginin adaptiv ölçmə kompleksinin ümumi blok-sxemi şəkil 2.2.2- də göstərilmişdir.



Şəkil 2.2.2. Dəniz suyunun rənginin adaptiv informasiya-ölçmə kompleksinin blok-sxemi

Aparılmış araşdırmalardan belə nəticəyə gəlmək olur ki, küləyin sürətinin dəyişkənliyinə görə dəniz səthinin dalğalanmasının müxtəlif dərəcədə olması faktorının nəzərə alınmaması, tədqiq edilən obyektin ölçülən rənginin təhriflərinə gətirib çıxara bilər [98, s. 240]. Bunula əlaqədar yaranan belə rəng təhriflərini aradan qaldırmağa imkan verən rəng komponentlərinin adaptiv ölçmə metodu təklif edilmiş və müvafiq əməliyyat alqoritmi işlənilmişdir.

2.3. Dəniz suyunun rənginin bortdan hiperspektral ölçmə üsulunun optimallaşdırılması

Hal-hazırda rəngli təsvirləri formalaşdıran kolorimetrik sistemlər geoloji kəşfiyyatda, sahil zonalarının monitorinqində, müxtəlif obyektlərin tanınmasında və eyniləşdirilməsində geniş istifadə olunur. Kolorimetrik informasiya-ölçmə sistemlərinin tətbiqinin vacib sahələrindən biri də dəniz suyunun rənginə nəzarət məsələləridir.

Aydındır ki, hiperspektral ölçmə vasitələri ilə dəniz suyunun rənginin bortdan ölçülməsi zamanı atmosferin təsirinin aradan qaldırılması üçün bir sıra tədbirlər

görülməlidir. Göstərilən məsələnin həllinin alqoritmik olaraq aşağıdakı dörd mərhələdə həyata keçirildiyi məlumdur [53, s. 1631-1636], [54, s.443-452] .

1. "Atmosfer-okean" sisteminin ümumi radiasiyasının ölçülməsi.
2. Atmosferdə aerosolun vəziyyətinin öyrənilməsi.
3. "Yolun işıqlanması" tipli (path radiance) radiasiyanın hesablanması.
4. Ümumi radiasiya və "yolun işıqlanması" tipli radiasiya arasında fərqi hesablanması.

Bu halda alt qatı atmosfer aerosolundan, üst qatı isə müxtəlif atmosfer qazları qarışığından ibarət olan, sadələşdirilmiş ikiqatlı atmosfer modeli qəbul edilir [48, s.887-896], [53, s. 1631-1636], [54, s.443-452]. *Dəniz suyunun rənginin ölçülməsinin oxşar alqoritminin nəzəri əsasları ABŞ-ın Florida ştatının Mayami Universitetində Q. Qordonun rəhbərliyi altında hazırlanmış və SeaWiFS layihəsində istifadə edilmişdir* [53, s. 1631-1636], [54, s.443-452].

Baxılan halda yuxarıda göstərilən alqoritmin müəyyən modifikasiyası təklif edilmişdir. Təklifin əsas mahiyyəti ondan ibarətdir ki, ilk dəfə olaraq atmosfer-okean sisteminin üzərində radiasiyanın bir nöqtəvi ölçmələri deyil, optimal rejimdə çoxsaylı nöqtəvi ölçmələrin həyata keçirilməsi tələb olunur. Bu halda optimallığın meyarı kimi məhdudlaşdırıcı inteqral şərti ilə birlikdə xüsusi tərtib edilmiş informasiya funksionalı da istifadə edilməlidir.

İlk öncə "atmosfer-okean" sisteminin üzərində ümumi radiasiyanın bort ölçmələrinə aid olan bəzi nəzəri məsələləri şərh edək.

Atmosfer qazlarının udulma xətlərinin olmadığı dalğa uzunluqları üçün "okean-atmosfer" sisteminin üzərində ümumi radiasiya aşağıdakı ifadə ilə təyin edilir [48, s.887-896]:

$$L_{obs} = L_0 + L_{sfc} \cdot t'_u + L_w \cdot t_u. \quad (2.3.1)$$

Burada L_{obs} - "okean-atmosfer" sisteminin üzərində ümumi radiasiya, L_0 - atmosferin səpələnmiş radiasiyası, L_{sfc} - okeanın səthindən əks olunan radiasiya, L_w - səthaltı qatdan səpələnmiş radiasiya, t'_u - radiasiyasının L_{sfc} qiyməti üçün hesablanmış

atmosferin buraxma əmsalı, t_u - radiasiyasının L_w qiyməti üçün hesablanmış buraxma əmsalıdır.

$$L_{am+sfc} = L_0 + L_{sfc} \cdot t'_u \quad (2.3.2)$$

olduğunu qəbul etsək, onda (2.3.1) və (2.3.2) ifadələrindən alarıq:

$$L_{obs} = L_{am+sfc} + L_{sfc} \cdot t'_u . \quad (2.3.3)$$

Atmosfer aerosolunun optik xüsusiyyətləri sahilboyu zonalarda güclü dəyişikliklərə məruz qalırlar. Bu halda aerosol strukturunda ilk baxışdan kiçik görünən dəyişikliklər, son nəticədə ölçülən radiasiyanın qiymətində əhəmiyyətli dəyişikliklərə gətirib çıxarır. Mənbə [48, s.887-896]-da qarışıq aerosolun dörd tipik modelinə baxılmışdır (cədvəl 2.3.1).

Cədvəl 2.3.1

Qarışıq aerosolun dörd tipik modeli edilir [41, s.887-896]

<i>Nö</i>	<i>Aerosolun növü</i>	<i>Kiçik dispers troposfer aerosolu, %</i>	<i>İri dispers aerosolu, %</i>
<i>1</i>	<i>1-ci növ (dəniz aerosolu)</i>	<i>99,0</i>	<i>1,0</i>
<i>2</i>	<i>2-ci növ</i>	<i>99,5</i>	<i>0,5</i>
<i>3</i>	<i>3-cü növ</i>	<i>99,8</i>	<i>0,2</i>
<i>4</i>	<i>4-cü növ (troposfer aerosolu)</i>	<i>100</i>	<i>0,0</i>

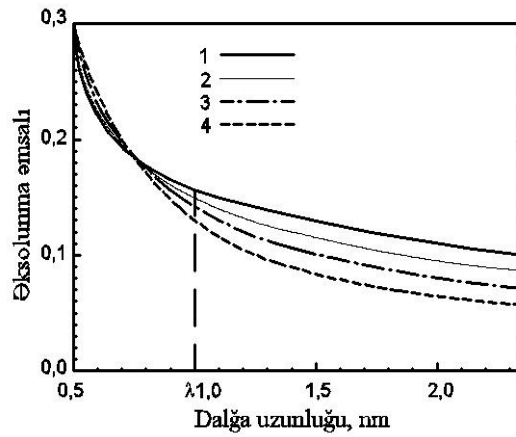
Qeyd etmək lazımdır ki, kiçik dispers troposfer aerosoluna diametri 0,1 mkm-dan kiçik olan aerosollar aiddir [54, s.444-452]. İri dispers aerosolların diametri isə 0,3 mkm-dən böyük olur. Bununla belə kiçik dispers aerosolun 70 % -i suda həll olan aerosoldan və 30 %-i isə toz aerosolundan ibarətdir. İri dispers aerosol tamamilə dəniz duzunun hissəciklərindən ibarətdir.

Qrafik 2.3.1-də $RH = 50\%$ nisbi rütubətlik şəraitində cədvəl 2.3.1-də qeyd edilmiş dörd tip aerosol üçün dalğa uzunluğunun funksiyası kimi $\rho_{atm+sfc}^*$ əksətmə

əmsalının model qiymətinin qrafikləri göstərilmişdir. Bu halda $\rho_{atm+sfc}^*$ əksətmə əmsalı aşağıdakı qayda ilə təyin edilir [9, s.9-13]:

$$\rho_{atm+sfc}^* = \frac{\pi L_{atm+sfc}}{\mu_0 E_0}; \quad \mu_0 = \cos \theta_0$$

Burada θ_0 - Günəş şüasının zenit bucağı (qrafik 2.3.2), E_0 - Günəşin zenit bucağı sıfıra bərabər olduqda, atmosferin yuxarı sərhəddinə düşən radiasiyadır.



Qrafik 2.3.1. Dörd tip aerosol üçün 50 % nisbi rütubətdə $\rho_{atm+sfc}^*$ əksətmə əmsalının dalğa uzunluğundan asılılıq ayrılıqları [54, s.444-452]: 1 - iri dispers aerosolun tərkibi 1 %, 2 - kiçik dispers aerosolun tərkibi 0,5 %, 3 - iri dispers aerosolun tərkibi 0,2 %, 4 - kiçik dispers aerosolun tərkibi 0 % -dir, λ_m - dalğa uzunluğunun sərhəd qiymətidir

Dəniz suyunun rənginin bordan hiperspektral ölçmələrinin təklif edilən optimallaşdırılma üsuluna baxaq [18, s.15-19]. Hesab edək ki, ölçmələr dəniz ərazisinin bir neçə nöqtəsində və bir neçə dalğa uzunluqlarında aparılmalıdır. Əgər λ_i dalğa uzunluğunda əksətmə əmsalının ölçülmüş qiymətini $\rho(\lambda_i)$ işarə etsək, onda belə ölçmələr zamanı alınan nəticələrin mümkün qradiasiyalarının miqdarını

$\rho(\lambda_i)/\Delta\rho$ kimi təyin edə bilərik ($\Delta\rho$ əksetmə əmsalının qiymətinin təyini zamanı yarana bilən minimum təhriflərdir).

Daha sonra qəbul edək ki, λ_i dalğa uzunluğunda dəniz ərazisində ölçmələr aparılan nöqtələrin miqdarı λ_i qiymətindən asılıdır, yəni aşağıdakı funksional asılılıq mövcuddur:

$$N_i = f(\lambda_i); \quad N_1 = f_1\left(\frac{\lambda}{\Delta\lambda}\right) = \frac{\lambda}{\Delta\lambda}.$$

Bu zaman $f(\lambda_i)$ funksiyasının ancaq aşağıdakı iki tipdə olması güman edilir:

$$N_1 = f_1\left(\frac{\lambda}{\Delta\lambda}\right) = \frac{\lambda}{\Delta\lambda}, \quad (2.3.4)$$

$$N_2 = f_2\left(\frac{\lambda}{\Delta\lambda}\right) = C_1 - \frac{\lambda}{\Delta\lambda}; \quad C_1 = const \quad (2.3.5)$$

Qrafik 2.3.1-də göstərilmiş qrafikləri nəzərə almaqla əlavə məhdudlaşdırıcı şərt daxil edilir.

$$\int_0^{\lambda_{max}} \rho(\lambda) d\lambda = C_2. \quad (2.3.6)$$

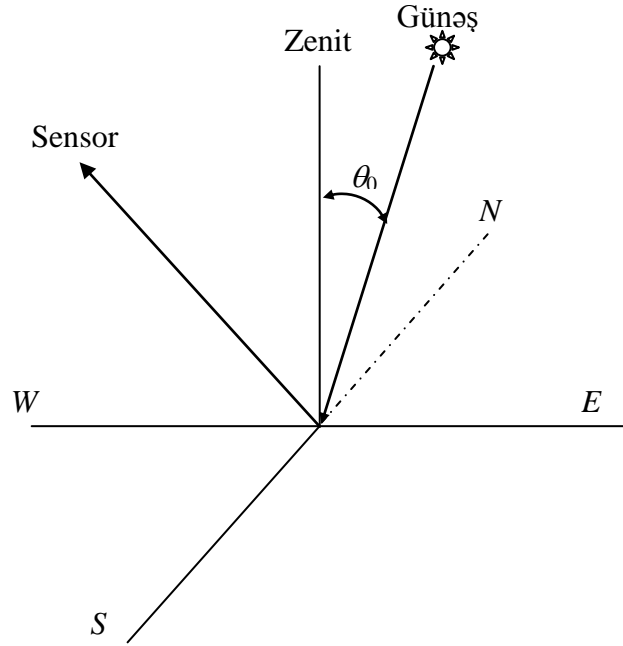
Burada $C_2 = const$, λ_{max} - qrafik 2.3.1 -də göstərilmiş əyriyə aid edilməklə, absis oxu üzərində seçilmiş xüsusi nöqtədir.

λ_i dalğa uzunluğunda ölçmələrin aparılması zamanı əldə oluna biləcək informasiyanın miqdarını müəyyən nöqtələr çoxluğunda aşağıdakı kimi qiymətləndirək:

$$M(\lambda_i) = f\left(\frac{\lambda_i}{\Delta\lambda}\right) \cdot \log_2 \frac{\rho(\lambda_i)}{\Delta\rho}. \quad (2.3.7)$$

Bütün dalğa uzunluqlarına görə alınan informasiya miqdarı aşağıdakı kimi hesablanıla bilər:

$$M_{\Sigma} = \sum_{i=1}^n M(\lambda_i) = \sum_{i=1}^n f\left(\frac{\lambda_i}{\Delta\lambda}\right) \cdot l o g_2 \frac{\rho(\lambda_i)}{\Delta\rho} . \quad (2.3.8)$$



Qrafik 2.3.2. Sensorun, Günəşin və coğrafi koordinatların qarşılıqlı mövqələrini əks etdirən qrafik təsvir

(2.3.8) ifadəsini kəsilməz şəkildə aşağıdakı kimi yazıla bilər:

$$M_{\Sigma,n} = \int_0^{\lambda_{max}} f\left(\frac{\lambda}{\Delta\lambda}\right) \cdot l o g_2 \frac{\rho(\lambda)}{\Delta\rho} d\lambda . \quad (2.3.9)$$

(2.3.6) və (2.3.9) ifadələrini nəzərə almaqla şərtsiz variasiya optimallaşdırma funksionalını tərtib edə bilərik:

$$F_1 = \int_0^{\lambda_{max}} f_1\left(\frac{\lambda}{\Delta\lambda}\right) l o g_2 \frac{\rho(\lambda)}{\Delta\rho} d\lambda + \gamma [\int_0^{\lambda_{max}} \rho(\lambda) d\lambda - C_2] . \quad (2.3.10)$$

Burada γ -Laqranj vuruğudur.

(2.3.4) funksiyasına tətbiq edilən (2.3.10) optimallaşdırma kriteriyası aşağıdakı şəkli alır:

$$F_1 = \int_0^{\lambda_{\max}} \frac{\lambda}{\Delta\lambda} \log \frac{\rho(\lambda)}{\Delta\rho} d\lambda + \gamma \left[\int_0^{\lambda_{\max}} \rho(\lambda) d\lambda - C_2 \right] \quad (2.3.11)$$

(2.3.5) funksiyasına tətbiq edilən (2.3.10) optimallaşdırma kriteriyası aşağıdakı kimi olar:

$$F_2 = \int_0^{\lambda_{\max}} \left(C_1 - \frac{\lambda}{\Delta\lambda} \right) \log \frac{\rho(\lambda)}{\Delta\rho} d\lambda + \gamma \left[\int_0^{\lambda_{\max}} \rho(\lambda) d\lambda - C_2 \right]. \quad (2.3.12)$$

(2.3.11) funksionalını maksimum qiymətə çatdıran $\rho(\lambda)$ funksiyasını hesablayaq. Bunun üçün Eylər metodundan istifadə edilmişdir. Həmin metoda görə $\rho(\lambda)$ optimal funksiyası aşağıdakı şərti ödəməlidir:

$$\frac{d \left[\frac{\lambda}{\Delta\lambda} \cdot \log \frac{\rho(\lambda)}{\Delta\rho} + \gamma \cdot \gamma(\lambda) \right]}{d\rho(\lambda)} = 0. \quad (2.3.13)$$

(2.3.13) ifadəsindən tapırıq:

$$\frac{\lambda}{\Delta\lambda} \cdot \frac{1}{\rho(\lambda) \cdot \ln 2} + \gamma = 0. \quad (2.3.14)$$

(2.3.14) və (2.3.6) ifadələrini nəzərə almaqla Laqranj vuruğunun qiymətini hesablayaq:

$$\gamma = - \frac{\lambda_{\max}^2}{2 \cdot \Delta\lambda \cdot C_2 \cdot \ln 2}. \quad (2.3.15)$$

(2.3.14) və (2.3.15) ifadələrini nəzərə almaqla $\rho(\lambda)_{opt.1}$ optimal funksiyasını tapmaq:

$$\rho(\lambda)_{opt.1} = \frac{2 \cdot C_2 \cdot \lambda}{\lambda_{max}^2}. \quad (2.3.16)$$

Alınmış ifadədən görüldüyü kimi, (2.3.11) optimallaşdırma kriteriyası (2.3.16) funksional asılılığı təmin edildiyi zaman maksimuma çatır. Lakin qrafik 2.3.1-də təqdim edilən əyriyədən görüldüyü kimi, (2.3.16) ifadəsi $\rho(\lambda)$ və λ arasındakı asılılığı prinsip etibarilə təmin edə bilmir. Buradan belə nəticəyə gəlmək olar ki, ölçülər sisteminin optimallaşdırılması kriteriyası kimi (2.3.12) funksionalı götürülməlidir.

(2.3.12) funksionalını maksimal qiymətə çatdıran $\rho(\lambda)$ funksiyasını hesablayaq. Eylər metoduna əsasən yazıb bilirik:

$$\frac{d \left[\left(C_1 - \frac{\lambda}{\Delta \lambda} \right) \cdot \log_2 \frac{\rho(\lambda)}{\Delta \rho} + \gamma \cdot \rho(\lambda) \right]}{d\rho(\lambda)} = 0. \quad (2.3.17)$$

(2.3.17) ifadəsindən alırıq:

$$\left(C_1 - \frac{\lambda}{\Delta \lambda} \right) \cdot \frac{1}{\rho(\lambda) \cdot \ln 2} + \gamma = 0. \quad (2.3.18)$$

(2.3.18) və (2.3.6) ifadələrini nəzərə almaqla Lagranj vuruğunun qiymətini hesablayaq:

$$\gamma = \frac{\lambda_{max}^2}{2 C_2 \cdot \Delta \lambda \cdot \ln 2} - \frac{C_1 \cdot \lambda_m}{C_2 \cdot \ln 2}. \quad (2.3.19)$$

(2.3.19) və (2.3.19) ifadələrini nəzərə almaqla $\rho(\lambda)_{opt.2}$ optimal funksiyasını tapırıq:

$$\rho(\lambda)_{opt.2} = \frac{C_1 - \frac{\lambda}{\Delta\lambda}}{\frac{C_1 \lambda_{max}}{C_2} - \frac{\lambda_{max}^2}{2C_2 \cdot \Delta\lambda}}. \quad (2.3.20)$$

Alınmış (2.3.20) ifadəsindən görüldüyü kimi, ρ və λ arasında əks asılılıq mövcuddur ki, bu da prinsip etibarilə qrafik 2.3.1-də göstərilən əyrilərin xarakterinə uyğundur. Bu fakt bizə belə bir nəticə çıxarmağa imkan verir ki, dəniz suyunun rəngini ölçən hiperspektral ölçmə sisteminin optimal rejimi (2.3.5) və (2.3.20) funksional asılılıqları ilə xarakterizə oluna bilər.

Bununla da aydın olur ki, dəniz suyunun rənginin hiperspektral ölçmə sistemi (2.3.5) və (2.3.20) şərtləri daxilində (2.3.12) kriteriyasına görə optimallaşdırıla bilər.

Beləliklə, dəniz suyunun rənginin ölçülməsi üçün *SeaWiFS* layihəsində tətbiq edilən alqoritmin təkmilləşdirilməsi təklif edilmişdir. Bu təkmilləşdirmədə belə bir əlavə tələb qoyulur ki, atmosfer-okean sistemi üzərində cəm radiasiya optimal rejimdə dəniz ərazisində olan bir neçə nöqtədə aparılmalıdır. Dəniz ərazisinin bir neçə nöqtəsində suyun rənginin ölçülməsinin optimallaşdırılması məsələsi formalaşdırılmış və həll edilmişdir. Bu həll əsasında optimal rejimdə dalğanın uzunluğu və ölçülərin miqdar göstəriciləri arasında əks asılılığın mövcudluğu, yəni qısa dalğalarda çox, uzun dalğalarda isə daha az miqdarda ölçmələrin keçirilməli olduğu müəyyənləşdirilmişdir.

2.4. Bort monoxromatik ölçmələri əsasında obyektlərin spektral xüsusiyyətlərinin təyininin optimallaşdırılması məsələləri

Məlum olduğu kimi əlverişsiz hava şəraitində alınan müxtəlif təbii səhnə təsvirləri aşağı keyfiyyət göstəricisinə, kiçik parlaqlığa və xüsusi halda, aşağı kontrasta malikdirlər. Atmosferdə işığın güclü səpələnməsi təsvirlərin keyfiyyətinin belə pisləşməsinin əsas səbəblərindən biridir. Yuxarıda qeyd olunanlar həm çoxrəngli, həm də monoxromatik (ağ-qara) təsvirlərə aiddir.

Qeyd etmək lazımdır ki, hava şəraitinin təsvirlərin rənginə, keyfiyyətinə və kontrastına təsirinə çoxsaylı elmi ədəbiyyat həsr edilmişdir. Məsələn, [74, s.704], [123, s.3064-3072]-da atmosferin təsirindən təhrif olunmuş təsvirlərin keyfiyyətini atmosferin ötürücü modulyasiya funksiyasını, həmçinin, təsvir olunmuş səhnəyə qədər məsafənin aprior qiymətini daxil etmək yolu ilə artırılması məsələlərinə baxılmışdır. [92, s.167-179], [112, s.788-791] işlərində hava şəraiti haqqında məlumatlardan istifadə etmədən səhnənin kontrastının bərpası metodu təklif edilmişdir. [88, s. 598-605], [90] işlərində müəlliflər atmosfer səpələnməsinin dixromatik modelindən istifadə etməklə, müxtəlif hava şəraitində rəngin dəyişkənlik məsələlərini təhlil etmişlər.

Bununla belə, mürəkkəb hava şəraitində rəngin təhrifi məsələləri monoxromatik optik siqnalların zəifləməsi və səpələnməsi məsələləriylə sıx bağlıdır ki, bu da monoxromatik təsvirlərin formalaşması göstəricilərinin optimal münasibətinin müəyyənləşdirilməsinin aktuallığını və əhəmiyyətini bir daha sübut edir.

Bu bölmədə ölçü kanallarının xarakteristikaları və atmosferin təsir göstəriciləri arasında optimal münasibətin tapılması, ölçülən obyektlərə qədər məsafənin düzgün seçilməsi məsələlərinə baxılmış və obyektlərin işıqlanma şərtlərinə aid olan iki optimallaşdırma məsələsi formalaşdırılaraq həll edilmişdir.

İlk öncə təsviri əldə edilən səhnə və müşahidəçi arasında məsafənin optimal seçiminin şərtlərini təhlil edək. Optik şüalar tədqiq edilən səhnədən müşahidəçiyə qədər olan məsafədə aşağıdakı qanun üzrə zəifləyir [82, s. 76-79], [83, s. 128-131]:

$$E_{at}(d, \lambda) = \frac{E_{\infty}(\lambda) \cdot r(\lambda) \cdot e^{-\beta(\lambda)d}}{d^2}. \quad (2.4.1)$$

Burada d - tədqiq edilən səhnənin dərinliyi, yəni tədqiq edilən səhnədən müşahidəçiyə qədər olan məsafə, λ - dalğa uzunluğu, $\beta(\lambda)$ - atmosferin səpələnmə əmsalı, $\beta(\lambda) \cdot d$ - tədqiq edilən səhnənin optik qalınlığı, E_{∞} - üfünün parlaqlığı, r - tədqiq edilən obyektin əks olunma xüsusiyyətlərini xarakterizə edən əmsaldır.

Baxılan halda radiasiyanın ikinci komponenti havanın işıqlanmasıdır. Bu göstərici obyektlərdən işığın əks olunması ilə müəyyən edilir. [83, s. 128-131] -ə əsasən radiasiyanın ikinci komponenti aşağıdakı kimi təyin olunur:

$$E_a(d, \lambda) = E_\infty(\lambda)(1 - e^{-\beta(\lambda)d}). \quad (2.4.2)$$

Onda radiasiyanın cəm itkisini

$$\Delta E = E_\infty(\lambda) - E_{at}(d, \lambda) - E_a(d, \lambda) \quad (2.4.3)$$

kimi təyin edə bilərik.

(2.4.1-2.4.3) ifadələrini nəzərə almaqla yazmağa bilərik:

$$\Delta E = E_\infty(\lambda) - \frac{E_\infty(\lambda) \cdot r(\lambda) e^{-\beta(\lambda)d}}{d^2} - E_\infty(\lambda)(1 - e^{-\beta(\lambda)d}). \quad (2.4.4)$$

(2.4.4) ifadəsini aşağıdakı şəkildə də yazmaq olar:

$$\Delta E = E_\infty(\lambda) e^{-\beta(\lambda)d} \left(1 - \frac{r(\lambda)}{d^2} \right). \quad (2.4.5)$$

Törəmələri hesablamaqla (2.4.5) ifadəsinin ekstremumunu tədqiq edək. (2.47)-nin birinci tərtib törəməsini hesablayıb alınmış nəticəni sifirə bərabərləşdirsək, aşağıdakı ifadəni yazmağa bilərik:

$$d^2 - r(\lambda) = -\frac{r(\lambda)}{\beta(\lambda) \cdot d}. \quad (2.4.6)$$

(2.4.6) tənliyinin şərti qrafik həlli şəkil 2.9-da göstərilmişdir. Burada

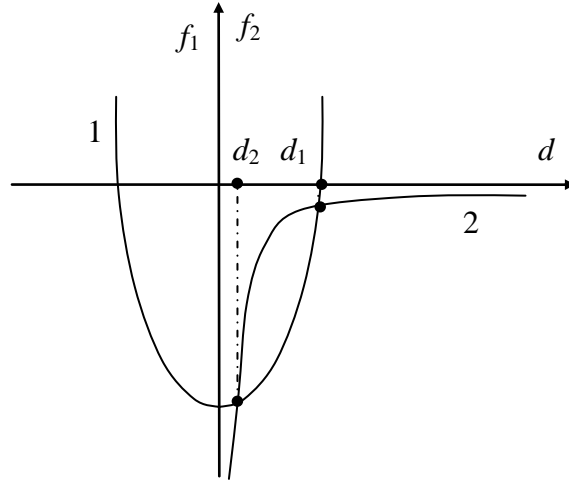
$$f_1 = d^2 - r(\lambda), \quad (2.4.7)$$

$$f_2 = -\frac{r(\lambda)}{\beta(\lambda) \cdot d}. \quad (2.4.8)$$

işarələmələri qəbul edilmişdir.

Evristik təsəvvürlərdən aydın olur ki, d_1 və d_2 -nin təyini zamanı (2.4.5) ifadəsi minimal qiymətə çatır. Beləliklə, belə nəticəyə gəlmək olar ki, f_1 və f_2

funksiyalarının əyrilərinin d_1 , d_2 təmas nöqtələri və ya ən azı bir təmas nöqtəsi mövcuddur ki, burada da ümumi radiasiya itkiləri minimal qiymətə çatır.



Qrafik 2.4.1 Müşahidəçi və çəkiliş səhnəsi arasındakı məsafəni müəyyənləşdirən (2.4.6) tənliyinin qrafik həlli: 1- f_1 funksiyasının qrafiki, 2- f_2 funksiyasının qrafiki.

Qoyulan xüsusi məhdudlaşdırıcı şərti nəzərə almaqla, təsvirin pikselinin maksimal parlaqlığına nail olmaq üçün hava şəraitindən asılı olaraq monoxromatik kameranın spektral xarakteristikasının korreksiyasının həyata keçirilməsinə həsr edilmiş ikinci optimallaşdırma məsələsinə baxaq.

Baxılan optimallaşdırma məsələsi üçün əsas olaraq təsvirin pikselinin parlaqlığını müəyyən edən aşağıdakı tənlik seçilmişdir [87, s. 186-193]:

$$E = I_{\infty} \cdot p \cdot e^{\beta d} + I_{\infty} (1 - e^{\beta d}). \quad (2.4.9)$$

Burada, I_{∞} - səmanın işıqlanma intensivliyi, p - səmanın işıqlanmasının normallaşdırılmış spektrindən, obyektin tədqiq edilən nöqtəsinin əksətdirmə qabiliyyətindən və monoxromatik kameranın spektral reaksiyasından asılı olan parametrdir, β - hava şəraitini müəyyən edən parametrdir.

Daha sonra istifadə edilən məhdudlaşdırıcı şərt kimi β parametri, yəni hava şəraiti dəyişdikdə, kameranın spektral xarakteristikasının dəyişikliyinə aid edilən müəyyən məhdud resursun olduğu güman edilir. Başqa sözlə, aşağıdakı funksiya üçün müəyyən məhdudiyyətin mövcudluğu güman olunur:

$$p = f(\beta). \quad (2.4.10)$$

Göstərilən məhdudiyyəti inteqral şəklində ifadə etmək olar, yəni,

$$\int_0^{\beta_m} f(\beta) d\beta = C_1, \quad C_1 = const. \quad (2.4.11)$$

bərabərliyi doğrudur.

Aşkardır ki, (2.4.10) və (2.4.11) ifadələri əsasında aşağıdakı məhdudiyyətin olmasını hökm etmək olar:

$$\int_0^{p_{max}} f^{-1} dp = C_2, \quad C_2 = const \quad (2.4.12)$$

Burada

$$f^{-1} = \beta(p). \quad (2.4.13)$$

Beləliklə, (2.4.9) – (2.4.13) ifadələrini nəzərə alaraq, aşağıda göstərilən şərtsiz variyasiya optimallaşdırma tənliyini ala bilərik:

$$F = \int_0^{p_{max}} [I_{\infty} \cdot p \cdot e^{-\beta(p)d} + I_{\infty} (1 - e^{-\beta(p)d})] dp + \lambda [\int_0^{p_{max}} \beta(p) dp - C_2]. \quad (2.4.14)$$

Burada λ -Anqstrem vuruğudur.

$\beta(p)$ optimal funksiyanın hesablanması üçün Eyler metodundan istifadə edək. Həmin metoda görə aşağıdakı şərt təmin olunmalıdır:

$$\frac{d \{ I_{\infty} \cdot p \cdot e^{-\beta(p)d} + I_{\infty} [1 - e^{-\beta(p)d}] + \lambda \cdot \beta(p) \}}{d \beta(p)} = 0. \quad (2.4.15)$$

Buradan alırıq:

$$-I_{\infty} \cdot p \cdot d \cdot e^{-\beta(p)d} - I_{\infty} \cdot d \cdot e^{-\beta(p)d} + \lambda = 0. \quad (2.4.16)$$

(2.4.16) ifadəsindən

$$e^{-\beta(p)d} (I_{\infty} \cdot p \cdot d + I_{\infty} \cdot d) = \lambda \quad (2.4.17)$$

olduğunu alırıq.

(2.4.17) ifadəsini loqarifmləməklə, alırıq:

$$-\beta(p) \cdot d + \ln [I_{\infty} \cdot p \cdot d + I_{\infty} \cdot d] = \ln \lambda. \quad (2.4.18)$$

Buradan

$$\beta(p) = \frac{1}{d} \ln \left[\frac{I_{\infty} \cdot p \cdot d + I_{\infty} \cdot d}{\lambda} \right] \quad (2.4.19)$$

kimi təyin olunur.

(2.4.19) və məhdudlaşdırıcı şərtlərini nəzərə aldıqda

$$\int_0^{p_{max}} \beta(p) dp = C, \quad C = const \quad (2.4.20)$$

bərabərliyi doğrudur.

Onda

$$\int_0^{p_{max}} \frac{1}{d} \ln \left[\frac{I_{\infty} \cdot p \cdot d + I_{\infty} \cdot d}{\lambda} \right] dp = C \quad (2.4.21)$$

olar. (2.63) ifadəsindən yazmaq olar:

$$\int_0^{p_{max}} \frac{1}{d} \ln [I_{\infty} \cdot p \cdot d + I_{\infty} \cdot d] dp + \int_0^{p_{max}} \frac{1}{d} \ln \lambda dp = C. \quad (2.4.22)$$

(2.4.22) ifadəsindən tapırıq:

$$\ln \lambda = \frac{d}{p_{max}} \left\{ C - \int_0^{p_{max}} \frac{1}{d} \ln [I_{\infty} \cdot p \cdot d + I_{\infty} \cdot d] dp \right\} \quad (2.4.23)$$

və ya

$$\lambda = \text{ex } p \cdot \left\{ \frac{d}{p_{max}} \left[C - \int_0^{p_{max}} \frac{1}{d} \ln(I_{\infty} \cdot p \cdot d + I_{\infty} \cdot d) \right] dp \right\}. \quad (2.4.24)$$

(2.4.17) -u nəzərə almaqla

$$\beta(p) = \frac{\ln[I_{\infty} \cdot p \cdot d + I_{\infty} \cdot d] - \frac{d}{p_{max}} \left\{ C - \int_0^{p_{max}} \frac{1}{d} \ln[I_{\infty} \cdot p \cdot d + I_{\infty} \cdot d] dp \right\}}{d} \quad (2.4.25)$$

kimi təyin olunur.

Beləliklə, $\beta(p)$ -nin tapılmış (2.4.25) analitik ifadəsi (2.4.14) funksionalının ekstremal qiymətini təmin edir. Ekstremumun tipinin müəyyənləşdirilməsi üçün (2.4.16) ifadəsinin sol tərəfinin törəməsini hesablamaq və onun müsbət qiymət aldığını göstərmək kifayətdir.

Beləliklə, (2.4.25) ifadəsi ilə təyin edilən $\beta(p)$ funksiyası F funksionalının minimal qiymətini təmin edir. Buradan belə məntiqi nəticəyə gəlmək olar ki, təcrübədə (2.4.25) -dən əhəmiyyətli dərəcədə fərqlənən $\beta(p)$ asılılığını tətbiq etmək daha məqsəduyğundur.

Bununla da baxılan bölmədə bort spektral ölçmə metodu ilə tədqiq edilən obyektlərin rənginə hava şəraitinin təsirinə dair məlum tədqiqat işlərinin qısa icmalı verilmiş, monoxromatik kameradan istifadə olunan halda təsvir edilən səhnə ilə müşahidəçi arasındakı məsafənin optimal seçim məsələsi formalaşdırılmış və həll edilmişdir. Hava şəraitindən asılı olaraq monoxromatik kameranın spektral xarakteristikasının optimal korreksiya məsələsinin analitik həlli təqdim olunmuşdur.

II fəslin nəticələri

1. *SeaWiFS* layihəsində xlorofilin konsentrasiyasının ölçülmə metodikasının analizi əsasında göstərilmişdir ki, 500-600 nm dalğa uzunluğunda dəniz suyunun optik şüaları yüksək buraxma qabiliyyətinə malik olması səbəbindən, xlorofilin

konsentrasiyasının əks olunan siqnalların münasibətlərinə görə qiymətləndirilməsinin nəticələri az informativ və həqiqətə uyğun olmaya bilər.

Xlorofilin konsentrasiyasının ölçmə nəticələrinin etibarlılığının artırılması üçün ölçmələrin iki dalğa uzunluğunda əks olunan siqnalların intensivliyini nəzərə alan yeni metod təklif edilmişdir.

2. Küləyin sürətinin dəyişməsi ilə dəniz səthinin müxtəlif dalğalanma dərəcəsi faktorunun nəzərə alınmamasının tədqiq edilən obyektin ölçülmüş rənginin təhrifinə gətirib çıxara biləcəyi göstərilmiş, həmin təsirin aradan qaldırılmasına imkan verən rəng komponentlərinin adaptiv ölçmə metodu və müvafiq alqoritm təklif edilmişdir.

3. Dəniz suyunun rənginin ölçülməsi üçün əlavə tələblərin daxil edilməsi ilə ərazinin bir neçə nöqtəsində “atmosfer-dəniz” sistemi üzərində cəm radiasiyanın optimal ölçmə nəticələri əsasında qiymətləndirilməsinə imkan verən və Sea WiFS layihəsində tətbiq edilən alqoritmin təkmilləşdirilməsi təklif edilmişdir.

Rəngin ölçülməsi zamanı əldə edilən informasiyanın optimallaşdırılması məsələsinin analitik həlli təqdim edilmiş, qısa dalğalarda çox miqdarda, uzun dalğalarda isə az miqdarda ölçmələrin keçirilməsinin məqsədəuyğunluğu əsaslandırılmışdır.

4. Monoxromatik kameradan istifadə edildikdə çəkiliş sahəsi və müşahidəçi arasındakı məsafənin optimal seçimi, hava şəraitindən asılı olaraq kameranın spektral xarakteristikasının korreksiya məsələləri formalaşdırılmış və həll edilmişdir.

III FƏSİL. YERÜSTÜ OBYEKTŁƏRİN SPEKTROFOTOMETRİK ÖLÇMƏ NƏTİCƏLƏRİNİN İNFORMATİVLİYİNİN ARTIRILMASINDA ATMOSFER AEROZOLUNUN TƏSİRİNİN NƏZƏRƏ ALINMASI

3.1. Müxtəlif əksətmə əmsallarına malik yerüstü obyektlərin spektral ölçmə nəticələrinin informativliyinə atmosfer aerosolunun təsirinin qiymətləndirilməsi

Yerin bortdan spektral ölçmə nəticələrinin təhriflərinin lazımi korreksiyasının yerinə yetirilməsi yüksək ayırdetmə qabiliyyətinə malik təsvirlərin formalaşması üçün vacib mərhələ hesab edilir. Belə ki, atmosferin təsirinin, xüsusilə də atmosfer aerosolunun təsirinin lazımi korreksiyasını atmosfer komponentlərinin mikrofiziki və optik xüsusiyyətləri haqqında kifayət qədər informasiya əldə olunduğu zaman həyata keçirmək olar [47, s. 123].

Qeyd edildiyi kimi [75, s.1-5], görünən dalğa diapazonunda yerüstü obyektlərin əksətdirmə xüsusiyyətlərinin geniş inetrvalda dəyişikliklərinə görə aerosolun xarakteristikalarının bort verilənləri əsasında təyin edilməsi kompleks məsələdir. Yerüstü obyektlərin əksətdirmə əmsalının kiçik qiymətlərində bort spektrometrinin girişində siqnalın böyük hissəsini atmosfer komponentlərindən əks olunan siqnal təşkil edir [22, s.28-33]. Atmosfer aerosolunun bortdan tədqiqatı üçün Yer səthində xüsusi olaraq tünd piksellər seçilir ki, bu da qismən spektrin qırmızı və göy diapazonlarında bitkilərin az əks olunması ilə izah olunur. Yer səthində qara olmayan obyektlər üzərində aerosolun tədqiqi məsələsinin həlli üçün korrelyasiya metodu işlənilmişdir. Bu metoda görə görünən diapazonda əks olunmanın xarakteristikalarını, əksətdirmə siqnallarının görünən və qırsadalğalı infraqırmızı diapazonlar arasındakı korrelyasiya əlaqələrini hesablamaqla təyin etmək olar [70, s.1286-1298].

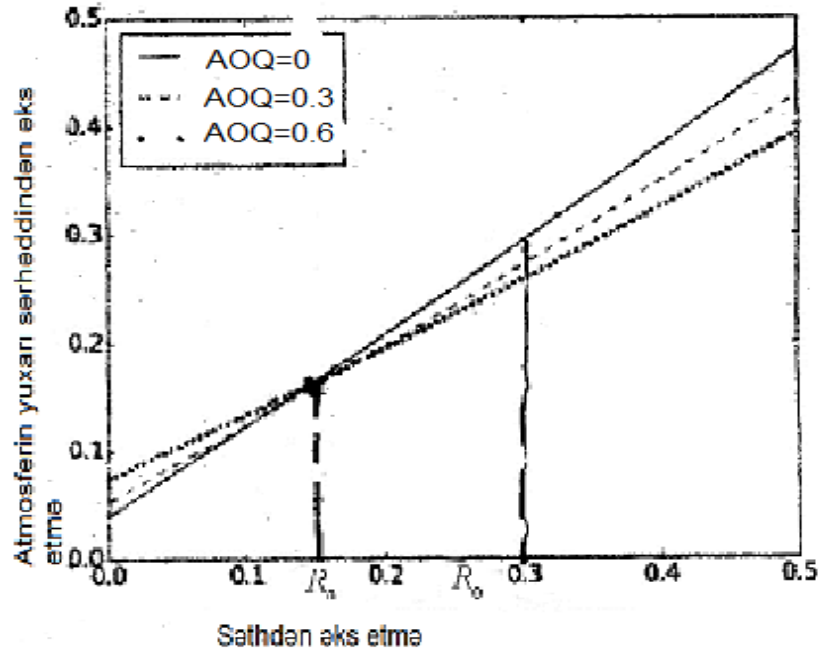
Bununla yanaşı, belə hökm etmək olar ki, aerosolun təsirinin nəzərə alınması məsələsini başqa yolla, aerosolun və yerüstü obyektlərin göstəricilərinin optimal münasibətlərini təyin etməklə həll etmək olar [113, s. 9-36].

Qeyd edildiyi kimi, bəzi informasiyanın etibarlılığına və dəqiqliyinə aerosolun təsirinin nəzərə alınması problemini qismən də olsa bəzidən multispektral və multizaman ölçmələrinin aparılması yolu ilə həll etmək mümkündür [57, s. 2668-2691]. Multispektral metodlar səthin əksölünmə ölçmələri arasında sabit qarşılıqlı əlaqənin mövcud olduğunu, multizaman metodlar isə səthdən əks olunmanın sabit xarakteristikalarına malik olmasını tələb edir. Bu iki metodun kombinasiyası daha dəqiq və etibarlı qiymətlər almağa imkan verir. Sonda alınmış həmin qiymətlər AERONET məlumatları ilə müqayisə edilir [52, s. 1-16]. Bu metod müəyyən məhdudiyyətlərə malikdir və səthdə bitkilərin olmadığı halda dinamik proseslərin baş verməsi səbəbindən əksölünmə xarakteristikaları dəyişdikdə yarırsız hesab edilir.

Hal-hazırda texniki ədəbiyyatlarda [57, s. 2668-2691] göstəriləndiyi kimi, *Landsat-8 və Sentinel-2 peykləri üzrə atmosfer korreksiyası yerinə yetirildiyi zaman səthin əksətdirmə göstəricilərinin dəqiqliyinə tələblər qoyulmur*. Bu da onunla bağlıdır ki, yuxarıda göstərilən peyklər geniş tətbiq sahələrinə malikdirlər və onlardan torpaq örtüyü xəritələrinin tərtibi, dəyişikliklərin aşkar edilməsi, biofiziki parametrlərin monitorinqi (LAI, NDVI və s.), ağacların biokütləsinə nəzarət, sahil sularının monitorinqi və s. üçün istifadə etmək olar. Mənbə [57, s. 2668-2691]-də *atmosfer aerosolunun optik qalınlığının təyini xətasının funksiyası kimi səthin əksətmə göstəricisinin təyini xətası götürülmüşdür*.

Bunun üçün səthin əksətmə əmsalının verilən $0 \div 0,5$ aralığındakı real qiymətləri üçün AOQ-a səthin müxtəlif qiymətlərini verməklə atmosferin yuxarı sərhəddindən əksölünmə əmsalının qiymətləri hesablanmışdır. Sonra AOQ-ın verilən qiymətləri üçün atmosfer korreksiyasını daxil edərək səthin yeni əksölünmə əmsalının qiymətləri hesablanmışdır. Müəyyən edilmişdir ki, əksölünmə əmsalının bu qiymətləri arasında orta kvadratik fərq səthin R_0 əksölünmə əmsalının bəzi qiymətlərində minimuma çatır və bu halda atmosferin yuxarı sərhəddindən əksölünmənin qiyməti aerosolun optik qalınlığından asılı olmur (qrafik 3.1.1).

Yuxarıda göstərilənlər nəzərə alınmaqla baxılan halda AOQ-ın və səthin əksölünmə əmsalının qiymətlərindən asılı olaraq atmosferin yuxarı sərhəddindən əksölünmə əmsalının ölçmə nəticələrinin informativliyinin artırılmasının optimallaşdırılması məsələsi şərh edilmişdir.



Qrafik 3.1.1. Optik qalınlığın müxtəlif qiymətlərində atmosferin yuxarı sərhəddindən əksölünmə əmsalının səthin əksölünmə əmsalından asılılığı

Atmosferin yuxarı sərhəddində əksölünmə əmsalını R_{TOA} ilə işarə edək. $R_{TOA} = f(R)$ funksiyasını (R - Yer səthindən əksölünmə əmsalıdır) xətti çoxhədli şəkildə təqdim etsək, alarıq:

$$R_{TOA} = f_0 + f'_R \cdot R. \quad (3.1.1)$$

$f(R)$ funksiyasının qrafik 3.1.1-də göstərilmiş qrafiklərini nəzərə almaqla məhdudiyət şərtini aşağıdakı kimi formalaşdırmaq olar:

$$F_1 = \int_0^{R_\lambda} (f_0 + f'_R \cdot R) dR = C; \quad C = const. \quad (3.1.2)$$

Burada R_λ ilə R -in maksimal qiyməti işarə edilmişdir.

Müxtəlif səth obyektləri üçün əksətmə əmsallarının ölçülməsinin təkrar yerinə yetirildiyini və əksətmə əmsalı R_x olan obyektlərin $k \cdot R_x$ ($k = const$) dəfə ölçüldüyünü nəzərə alsaq, belə ölçmələrdən əldə edilən informasiyanın miqdarını aşağıdakı kimi qiymətləndirmək olar:

$$F_2 = \int_0^{R_\lambda} k \cdot R \cdot l o g_2 (f_0 + f'_R \cdot R) dR. \quad (3.1.3)$$

(3.1.2) və (3.1.3) ifadələrini nəzərə almaqla optimallaşdırma məsələsinin variasiya funksionalını belə formalaşdırmaq olar:

$$F_2 = \gamma \cdot \int_0^{R_\lambda} (f_0 + f'_R \cdot R) dR + \int_0^{R_\lambda} k \cdot R \cdot l o g_2 (f_0 + f'_R \cdot R) dR. \quad (3.1.4)$$

Burada γ -Lagranj vuruğudur.

F_2 funksionalını ekstremal qiymətə çatdırıb bilən

$$f'_R = \varphi(R), \quad (3.1.5)$$

funksiyasını nəzərdən keçirək.

(3.1.5) funksiyasının fiziki mənasını aşağıdakı kimi izah edəcəyik. Birmənalı şəkildə

$$f'_R = \psi(\tau_{aer}) \quad (3.1.6)$$

asılılığının mövcud olduğuna görə yazıb bilirik:

$$\psi(\tau_{aer}) = \varphi(R) \quad (3.1.7)$$

və ya

$$\tau_{aer} = \psi^{-1}[\varphi(R)]. \quad (3.1.8)$$

Burada τ_{aer} atmosfer aërozolunun optik qalınlığıdır.

Baxılan optimallaşdırma məsələsi kontekstində (3.1.8) ifadəsinin mənası ondan ibarətdir ki, τ_{aer} -in məlum qiymətlərində həmişə elə $k \cdot R$ ölçmə miqdarı mövcud olur ki, əksətmə əmsalı R olduğu halda, (3.1.4) funksionalı maksimal qiymətə çatsın.

(3.1.5) funksiyanın ümumi görünüşünü tapmaq üçün Eylər metodundan istifadə edək. Bu metoda görə axtarılan optimal funksiya aşağıdakı şərti ödəməlidir:

$$\frac{d\{\gamma \cdot [f_0 + f'_R \cdot R] + k R \log_2 [f_0 + f'_R \cdot R]\}}{d f'_R} = 0. \quad (3.1.9)$$

(3.1.4) və (3.1.9) ifadələrini nəzərə almaqla alırıq:

$$\gamma + \frac{k R}{(\ln 2)[f_0 + f'_R \cdot R]} = 0. \quad (3.1.10)$$

(3.1.10) ifadəsindən alırıq

$$f_0 + f'_R \cdot R = -\frac{k R}{(\ln 2)\gamma}. \quad (3.1.11)$$

(3.1.2) və (3.1.11) ifadələrindən

$$F_1 = -\int_0^{R_\lambda} \frac{k R}{(\ln 2) \cdot \gamma} dR = -\frac{k(R_\lambda^2)}{2 \cdot (\ln 2) \cdot \gamma} \quad (3.1.12)$$

olduğunu alırıq.

(3.1.12) ifadəsindən Lagranj vuruğunu hesablayaq:

$$\gamma = -\frac{k \cdot R_\lambda^2}{2(\ln 2) \cdot \gamma} = C. \quad (3.1.13)$$

(3.1.10) və (3.1.13) ifadələrinə nəzərən alırıq:

$$\frac{R_\lambda}{2(\ln 2) \cdot C} = \frac{R}{[f_0 + f'_R \cdot R]}. \quad (3.1.14)$$

(3.1.14) ifadəsindən tapırıq:

$$f_0 + f'_R \cdot R = \frac{2C \cdot R}{R_\lambda^2} \quad \text{və ya} \quad f'_R = \frac{2C}{R_\lambda^2} - \frac{f_0}{R} \quad (3.1.15)$$

Ekstremumun tipini yoxlamaq üçün

$$\frac{d^2 \{ \gamma [f_0 + f'_R \cdot R] + k R l o g_2 [f_0 + f'_R \cdot R] \}}{d(f'_R)^2}. \quad (3.1.16)$$

ifadəsini hesablamaq kifayət edir.

Hesablama nəticəsində (3.1.16) ifadəsinin həmişə mənfi qiymət almasına əmin olmaq o qədər də çətin deyil.

Beləliklə, (3.1.15) ifadəsinin mənası ondan ibarətdir ki, f'_R -in müəyyən qiymətlərinə uyğun gələn τ_{aer} -in konkret qiymətlərində ölçmələrin optimal sayı aşağıdakı kimi hesablanmalıdır:

$$N = \frac{\frac{2C}{R_\lambda^2} - f'_R}{k f_0}. \quad (3.1.17)$$

Belə optimal ölçmələr zamanı əldə edilə bilən informasiyanın ümumi miqdarını aşağıdakı kimi hesablamaq olar:

$$M = \int_0^{R_\lambda} k R \cdot l o g_2 \left[f_0 + \left(\frac{2C}{R_\lambda^2} - \frac{f_0}{R} \right) \cdot R \right] dR = \int_0^{R_\lambda} k R l o g_2 \frac{2C R}{R_\lambda^2} dR. \quad (3.1.18)$$

$\tau_{aer} = k_1 \cdot f'_R; R'_i$, $k_1 = const$ asılılığı olduğu halda, əksətmə əmsalının peyk vasitələrinin köməyi ilə ölçmələrinin yerinə yetirilməsi zamanı aşağıdakı şərtlərə riayət edilməlidir:

$$\frac{\tau_{aer}}{k_1} = \frac{2C}{R_\lambda^2} - \frac{f_0}{R}, \quad (3.1.19)$$

$$N = k \cdot f'_R = k \cdot \frac{\tau_{aer}}{k_1}. \quad (3.1.20)$$

(3.1.19) və (3.1.20) ifadələri aparılan tədqiqatların əsas nəticəsini formalaşdırmağa imkan verir: aerozolun τ_{aer} optik qalınlığında $C; R_\lambda; f_0; k_0; k_1$ kəmiyyətlərinin qiymətləri məlum olduqda, həmçinin (3.1.2)

məhdudlaşdırıcı şərti ödənildikdə, R əksətmə əmsalının optimal ölçmə miqdarını (3.1.20) ifadəsinə görə hesablamaq olar.

Beləliklə də aparılmış tədqiqatlar əsasında göstərilmişdir ki, aerosolun optik qalınlığı və həmçinin, $k_1 = \frac{\tau_{aer}}{f'_R}$ əmsalı haqqında məlumatlar olduğu halda, atmosferin yuxarı sərhəddindən R əksətmə əmsalının ölçmələrinin optimal miqdarını $N = k \cdot \frac{\tau_{aer}}{k_1}$, ($k = const$) kimi təyin etmək olar və əldə edilən informasiyanın ümumi miqdarı k vuruğuna malikdir.

3.2. Bitkilərin normallaşdırılmış diferensial sululuq indeksinin təyində ölçmələrin dəqiqliyinə aerosolun təsirinin nəzərə alınması

Bitkilərin tərkibindəki suyun miqdarının qiymətləndirilməsi üçün adətən müxtəlif diferensial indekslərdən istifadə edilir. Onlardan ən geniş yayılanlarından biri də normallaşdırılmış diferensial infraqırmızı indeksdir. Bu indeks aşağıdakı kimi təyin edilir [68, s. 11-18]:

$$NDII = \frac{R_{850} - R_{1650}}{R_{850} + R_{1650}}.$$

Burada R_{850} - dalğa uzunluğunun $\lambda=850$ nm qiymətində, R_{1650} - isə dalğa uzunluğunun $\lambda=1650$ nm qiymətində bitkinin əksətmə əmsalıdır.

Mənbə [68, s. 11-18]-də göstəriləyi kimi bitkilərin çətirindəki suyun ekvivalent miqdar indeksi olan EWT və NDII indeksi arasında aşağıdakı reqressiya tənliyi doğrudur:

$$EWT = 0,224 + 1,09 NDII. \quad (3.2.1)$$

Beləliklə (3.2.1) ifadəsinə əsasən NDII indeksinin bortdan təyini bitkilərin tərkibindəki suyun miqdarını qiymətləndirməyə imkan verir [16, s. 81-85]. Bu halda

göstərilmiş dalğa uzunluqları Landsat 5 TM peykinin 4-cü və 5-ci kanallarına, həmçinin MODIS peykinin 2-ci və 6-cı kanallarına uyğun gəlir.

Araşdırmalarda göstərilədiyi kimi bitkilərin tərkibində olan su miqdarının dəqiq təyin edilməsi torpaqların irriqasiyası, yanğın riskinin qiymətləndirilməsi və həmçinin tarlaların quraqlıq dərəcəsinin qiymətləndirilməsi üçün böyük əhəmiyyət kəsb edir [67, s. 64-70]. Yuxarıda göstərilənlər yerinə yetirilən atmosfer ölçmə nəticələrinə atmosfer aerosolunun təsirlərini nəzərə almaqla, NDVI indeksinin qiymətləndirilməsinin yeni üsul və metodikasının hazırlanmasının aktuallığını bir daha təsdiq edir.

Atmosfer qazlarının udulma xətlərinin olmadığı halda qeyd edilmiş dalğa uzunluğunda bitki örtüyündən əks olunan şüalanmanın bort ölçmələrinin aparılması məsələsinə baxaq [8, s.398-400], [11,s.27-30], [12,s.53-56].

Birinci yaxınlaşmada diffuziya radiasiyasını nəzərə almadan bort spektrometrinin çıxışındakı siqnalı aşağıdakı kimi müəyyən edə bilərik:

$$I_b = I_0(\lambda)e^{-2\tau_{aer}(\lambda)}. \quad (3.2.2)$$

Burada I_b - spektrometrin girişindəki siqnal, $I_0(\lambda)$ - λ dalğa uzunluğunda günəş sabitinin qiyməti, $\tau_{aer}(\lambda)$ - aerosolun optik qalınlığıdır.

Məlumdur ki, atmosfer aerosolunun optik qalınlığı havanın rütubətliyinin təsirindən dəyişir [119, s.105-109]. Bu halda, aerosolun optik qalınlığının atmosferdə su buxarlarının ümumi miqdarından - W_{at} asılılığının polinomial approksimasiyasını qəbul etsək ΔW_{at} artımı üçün yazmaq olar [119, s.105-109]:

$$\tau_{aer}(\Delta W_{at}) = \tau_{aer0} + a_1 \Delta W_{at} + a_2 \Delta W_{at}^2. \quad (3.2.3)$$

Burada τ_{aer0} - ümumi artım olmadıqda, yəni $\Delta W_{at} = 0$ şərti ödənildikdə, τ_{aer} -in qiyməti, a_1 və a_2 -sabit əmsallardır.

(3.2.2) və (3.2.3) ifadələrini nəzərə almaqla yaza bilərik:

$$I_b = I_0(\lambda) e^{-2[\tau_{aer0} + a_1 \Delta W_{at} + a_2 \Delta W_{at}^2]} . \quad (3.2.4)$$

$2[\tau_{aer0} + a_1 \Delta W_{at} + a_2 \Delta W_{at}^2]$ kəmiyyətinin kiçik qiymətlərində (3.2.4) ifadəsini aşağıdakı kimi təqdim etmək olar:

$$\begin{aligned} I_b(\lambda) &= I_0(\lambda) (1 - 2[\tau_{aer0} + a_1 \Delta W_{at} + a_2 \Delta W_{at}^2]) = \\ &= I_0(\lambda) - I_0(\lambda) \cdot 2[\tau_{aer0} + a_1 \Delta W_{at} + a_2 \Delta W_{at}^2] . \end{aligned} \quad (3.2.5)$$

(3.2.5) ifadəsindən R əksətmə əmsalının hesablanması üçün aşağıdakı ifadəni almaq olar:

$$\begin{aligned} R &= \frac{I_b(\lambda)}{I_0(\lambda)} = 1 - 2[\tau_{aer0} + a_1 \Delta W_{at} + a_2 \Delta W_{at}^2] = (1 - 2\tau_{aer0}) - 2a_1 \Delta W_{at} - 2a_2 \Delta W_{at}^2 = \\ &= d_1(\lambda) - d_2(\lambda) \Delta W_{at} - d_3(\lambda) \Delta W_{at}^2 \end{aligned} \quad (3.2.6)$$

$$\text{Burada } d_1(\lambda) = 1 - 2\tau_{aer0}; \quad d_2(\lambda) = 2a_1; \quad d_3(\lambda) = 2a_2$$

Beləliklə, bitkilərin R əksətmə əmsalını mənfi multiplikativ, kvadrat və additiv toplananlardan ibarət üçhədli şəkildə təqdim etmək olar.

Bu halda $NDII$ indeksini aşağıdakı kimi təyin edə bilərik:

$$NDII(\Delta W_{at}) = \frac{d_1(850) - d_1(1650) - \Delta W_{at} [d_2(850) - d_2(1650)] - \Delta W_{at}^2 [d_3(850) - d_3(1650)]}{d_1(850) + d_1(1650) - \Delta W_{at} [d_2(850) + d_2(1650)] - \Delta W_{at}^2 [d_3(850) + d_3(1650)]} . \quad (3.2.7)$$

Aşağıdakı işarələmələri qəbul edək:

$$\begin{aligned} d_2(850) - d_2(1650) &= b_1, \\ d_2(850) + d_2(1650) &= b_2, \\ d_3(850) - d_3(1650) &= b_3, \\ d_3(850) + d_3(1650) &= b_4. \end{aligned} \quad (3.2.8)$$

İndi isə atmosfer aerozolunun nəmlənməsinin $NDII$ indeksinin ölçmə nəticəsinə necə təsir etməsi məsələsinə baxaq. Belə nəmlənmənin bortdan spektral

ölçmə metodu ilə alınan *NDII* indeksinin qiymətinin artmasına və ya azalmasına səbəb olacağını aydınlaşdırmaq üçün aşağıdakı işarələmələri qəbul edək:

$$\begin{aligned} X &= d_1(850) - d_1(1650), \\ Y &= d_1(850) + d_1(1650). \end{aligned} \quad (3.2.9)$$

(3.2.7), (3.2.8) və (3.2.9) ifadələrinə uyğun olaraq aşağıdakı bərabərsizliklərin yerinə yetirilmə şərtlərini müəyyənləşdirək:

$$NDII(\Delta W_{at}) < NDII, \quad (3.2.10)$$

$$NDII(\Delta W_{at}) > NDII. \quad (3.2.11)$$

(3.2.7) və (3.2.10) ifadələrini nəzərə almaqla yazıla bilər:

$$\frac{Y}{X} > \frac{b_2 \Delta W_{at} + b_4 \Delta W_{at}^2}{b_1 \Delta W_{at} + b_3 \Delta W_{at}^2}. \quad (3.1.12)$$

Baxılan halda

$$b_2 \Delta W_{at} \gg b_4 \Delta W_{at}^2 \quad (3.2.13)$$

$$b_1 \Delta W_{at} \gg b_3 \Delta W_{at}^2$$

şərtləri ödənilərsə, onda aşağıdakı bərabərsizlik doğru olar.

$$\frac{X}{Y} < \frac{b_1}{b_2}. \quad (3.2.14)$$

(3.2.7) və (3.2.11) ifadələrini nəzərə almaqla yazıla bilər:

$$\frac{Y}{X} < \frac{b_2 \Delta W_{at} + b_4 \Delta W_{at}^2}{b_1 \Delta W_{at} + b_3 \Delta W_{at}^2}. \quad (3.2.15)$$

(3.2.13) şərti ödəniləndiyi halda (3.2.15) ifadəsindən alırıq:

$$\frac{X}{Y} > \frac{b_1}{b_2}. \quad (3.2.16)$$

Beləliklə, (3.2.15) şərtinin ödənilməyi halda $NDII(\Delta W_{at})$ kimi göstərilmiş $NDII$ -nin real qiyməti $\Delta W_{at} = 0$ olduqda $NDII$ -nin qiymətindən kiçik olur. Həmçinin (3.2.16) şərtinin ödənilməyi halda $\Delta W_{at} = 0$ olduqda, $NDII(\Delta W_{at})$ -nin qiyməti $NDII$ qiymətindən böyük olur. Buradan belə nəticəyə gəlmək olar ki, ətraf mühitin şəraitindən asılı olaraq aerosolun nəmlənməsinə gətirib çıxaran havanın rütubətliyinin artması $NDII$ indeksinin qiymətinin əksişərəli təhriflərinə gətirib çıxara bilər.

Yuxarıda göstərilənlərdən belə nəticəyə gəlmək olar ki, ölçmələrin dəqiqliyinə atmosfer aerosolunun təsirinin maksimal kompensasiyası zəruridir. Göstərilən nəticə irriqasiya (süni suvarma) işlərinin planlaşdırılmasında və kənd təsərrüfatı bitkilərinin vəziyyətinin monitorinqinin optimallaşdırılmasında mühüm əhəmiyyət kəsb edir [26, s. 38-44].

Sonda aparılan tədqiqatların əsas nəticəsi olaraq deyə bilərik ki, bitki sahəsinin bordan fotometrik ölçülməsi nəticəsində bitkilərin sululuq dərəcəsi indeksinin əldə edilmiş real qiyməti aerosolun nəmlənməsi səbəbindən havanın rütubətindən asılı olaraq dəyişir [17, s. 105-109]. Eynilə göstərilmişdir ki, aerosolun təsirindən sululuq dərəcəsi indeksinin ölçülmüş qiymətinin xətası həm müsbət, həm də mənfi qiymət ala bilər ki, bu da atmosfer aerosolunun təsirinin kompensasiyası üzrə tədbirlərin görülməsi zərurətini qarşıya çıxarır.

3.3. Atmosferin yuxarı sərhəddində əks olunan radiasiyanın yüksək informativliklə ölçülməsi üçün kiçik dispersli aerosolun miqdarının qrafoanalitik təyini metodu

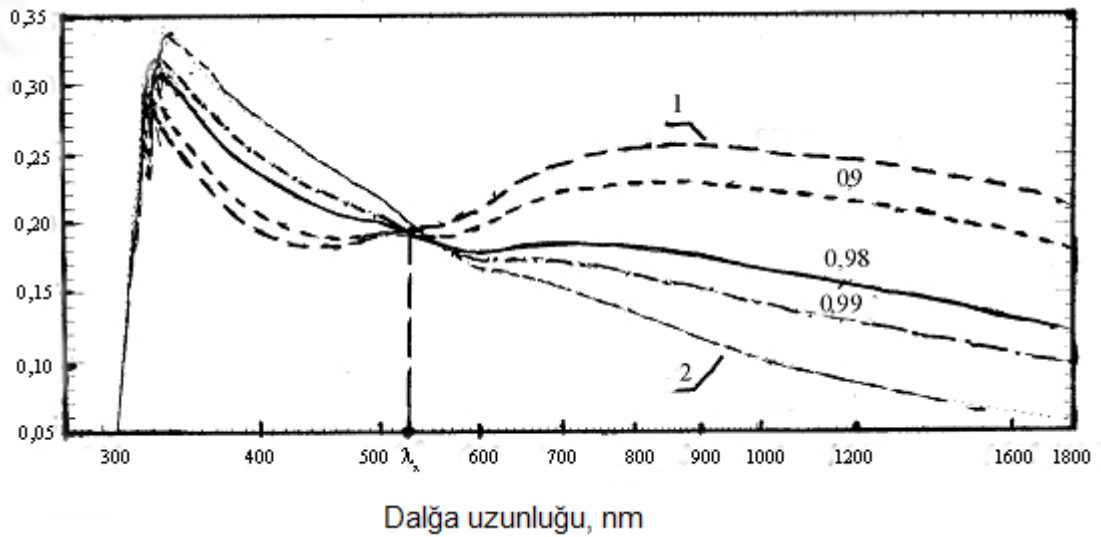
Mənbə [116, s.97-106]-də qeyd edildiyi kimi, sahilboyu ərazilərin üzərində atmosfer aerosolunun optik qalınlığının ölçülməsi məqsədi ilə atmosferin yuxarı sərhəddindən əks olunma ölçmələrinin aparılması metodu müxtəlif bort informasiya-ölçmə sistemlərində tətbiq olunur. Məsələn, ENVISAT ESA peyklərində yerləşdirilən MERIS və SCIAMACHY spektrometrləri atmosferin yuxarı

sərhəddindən əks olunan optik radiasiyanın ölçülməsinə imkan versə də belə ölçmələrin nəticələri aşağı etibarlılığa malik olurlar [66, s. 1367- 2630]. Qeyd edilməlidir ki, bu məlumatların korreksiyası üçün MERIS qurğusundan alınan ölçmə informasiyasından istifadə olunur [76, s. 475-477].

300 nm-dən aşağı dalğa uzunluğunda ozon optik radiasiyanı udduğuna görə, atmosfer şəffaf olmur [41]. 300 nm-dan böyük dalğa uzunluqlarında atmosferin yuxarı sərhəddindən əvvəlcə əksətmə piki gəlir, sonra 310 nm-400 nm intervalında Xaqqins udulma zolağına görə əksətmə kəskin azalır. Həmçinin, Reley səpələnməsi səbəbindən 330 nm-dan yuxarı dalğa uzunluğunda radiasiyanın λ^{-4} qanununa uyğunluğu ilə kəskin azalması müşahidə olunur. Bu halda atmosfer aerosolunun müxtəlif fraksiyalı tərkib hissələri atmosferin yuxarı sərhəddindən əksətmə signalına müxtəlif cür təsir edir. Mineral aerosollar 400 nm-dən aşağı dalğa uzunluğu intervalında ultrabənövşəyi (UB) radiasiyasını güclü udma xüsusiyyətinə malikdirlər. 400 nm-dan yuxarı dalğa uzunluqlarında mineral aerosollar əsasən radiasiyanı səpələyir. Bunlara uyğun olaraq 400 nm-dən aşağı dalğa uzunluqlarında mineral aerosollarla çirklənmiş atmosfer təmiz atmosfərə nisbətən daha az əksətdirmə qabiliyyətinə malik olurlar. Lakin 400 nm-dan yuxarı dalğa uzunluqlarında mineral aerosollarla çirklənmiş atmosfer təmiz atmosfərə nisbətən daha çox əksətdirmə qabiliyyətinə malikdir [3, s.64-69], [4, s.30-36].

Digər müəlliflər tərəfindən qeyd edildiyi kimi 350-570 nm dalğa uzunluğu intervalında real ölçmə nəticələri radiasiyanın əksətdirmə əmsalının model qiymətlərindən bir qədər aşağı, 600 nm dalğa uzunluğunda isə yüksəkdir [41]. Mineral aerosol hissəciklərinin ölçüləri nə qədər böyük olarsa, UB diapazonda bir o qədər çox udulma və 600–650 nm dalğa uzunluqlarında bir o qədər çox səpələnmə müşahidə olunur. Bütün bunlar qrafik 3.3.1-də göstərilmişdir.

Qrafik 3.3.1-dəki əyriyədən göründüyü kimi, dalğa uzunluğunun artımı ilə aerosolun xırda dispers fraksiyası əksətmə əyrisinin artmasına səbəb olur, bununla belə, 500 nm-dan yuxarı dalğa uzunluqlarında iri dispers fraksiya üstünlük təşkil etməyə başlayır.



Qrafik 3.3.1. Əks olunmuş radiasiyanın dalğa uzunluqlarından və aerosolun fraksiya tərkibindən asılılığının modelləşdirilmiş ayrıləri [41]: 1 – iri dispers fraksiya, 2 – xırda dispers fraksiya (həmçinin, xırda dispers fraksiyanın tərkibinin çəki əmsalları rəqəmlərlə göstərilmişdir)

Yuxarıda göstərilənləri nəzərə almaqla atmosferin yuxarı sərhəddindən əks olunan siqnalın informativliyinin artırılmasının optimallaşdırılması məsələsinə baxaq. Optimallaşdırma məsələsini aşağıdakı qaydada formalaşdırmaq olar: atmosfer aerosolunun ümumi balansında xırda dispers aerosolun xüsusi çəkisi məlum olan halda, qrafik 3.3.1-də göstərilən ayrılərin xarakteri və formalaşdırılmış xüsusi məhdudiyyət şərti nəzərə alınmaqla inteqral-informasiya baxımından optimal hesab edilə bilən ayrinin funksional ifadəsinin tapılması tələb olunur.

Atmosferin yuxarı sərhəddindən əks etmə ölçmələrinin siqnal / küy nisbətini aşağıdakı kimi göstərək:

$$\psi = f(\lambda). \quad (3.3.1)$$

Burada λ -dalğa uzunluğudur.

λ dalğa uzunluğunda yerinə yetirilən ölçmələrin miqdarının λ -ya mütənasib olduğunu fərz etsək, yəni

$$N_\lambda = k \lambda, \quad (3.3.2)$$

olarsa, həmin dalğa uzunluğunda ölçmələrin yerinə yetirilməsi zamanı alınan informasiyanın miqdarını aşağıdakı kimi təyin edə bilərik:

$$M(\lambda) = k \lambda \cdot \log_2 f(\lambda). \quad (3.3.3)$$

$0 \div \lambda_m$ dalğa uzunluğu intervalında ölçmələrin yerinə yetirilməsi zamanı alınan ümumi informasiya miqdarını aşağıdakı kimi təqdim etmək olar:

$$M_u(\lambda) = k \int_{\lambda_{min}}^{\lambda_{max}} \lambda \cdot \log_2 f(\lambda) d\lambda. \quad (3.3.4)$$

Burada $\lambda_{max} = 700 \text{ nm}$; $\lambda_{min} \rightarrow 0$

Qrafik 3.3.1-də göstərilən əyrilərdən görüldüyü kimi, 400-700 nm görünən dalğa uzunluğu diapazonunda həmin əyriləri təxminən düz xətlərlə approksimasiya etmək olar. Bu halda $f(\lambda)$ funksiyasını aşağıdakı şəkildə təqdim etmək olar:

$$f(\lambda) = f_0 + f'_\lambda \cdot \lambda. \quad (3.3.5)$$

(3.3.4) və (3.3.5) ifadələrini nəzərə almaqla

$$f(\lambda) = k \int_{\lambda_{min}}^{\lambda_{max}} \lambda \cdot \log_2 (f_0 + f'_\lambda \cdot \lambda) d\lambda \quad (3.3.6)$$

olduğunu alırıq.

Eyni zamanda qeyd edilməlidir ki, bu əyrilərin xətti approksimasiyası üçün f'_λ -nin qiymətləri müxtəlifdir. f'_λ -nin qiyməti atmosfer aerosolunun ümumi tərkibində aerosolun xırda dispers təşkilçilərinin çəki funksiyasının qiymətini birmənalı olaraq müəyyənləşdirdiyindən, f'_λ funksiyasının dalğa uzunluğundan asılılığını təyin etmək. Bu məqsədlə həll edilən optimallaşdırma məsələsi üçün məhdudlaşdırıcı şərti aşağıdakı şəkildə yaza bilərik:

$$\int_{\lambda_{min}}^{\lambda_{max}} [f(\lambda)] d\lambda = C; \quad C = const. \quad (3.3.7)$$

Qeyd etmək lazımdır ki, (3.3.7) məhdudlaşdırıcı şərtin mənası ($\lambda_{min} \div \lambda_{max}$) intervalında qrafik 3.3.1-də göstərilən əyrilərin altındakı sahələrin C-yə bərabər olmasından ibarətdir. (3.3.4) və (3.3.7) ifadələrini nəzərə almaqla optimallaşdırmanın aşağıdakı inteqral funksionalını formalaşdıraraq:

$$F = k \cdot \int_{\lambda_{min}}^{\lambda_{max}} \lambda \cdot \log_2 [f(\lambda)] d\lambda + \gamma \int_{\lambda_{min}}^{\lambda_{max}} [f(\lambda)] d\lambda. \quad (3.3.8)$$

$f(\lambda)$ optimal funksiyasının tapılması üçün aşağıdakı şərtin ödənilməsini tələb edən Eyler metodundan istifadə edilmişdir:

$$\frac{d\{\lambda \cdot \log_2 [f(\lambda)] + \gamma \cdot [f(\lambda)]\}}{d\varphi(\lambda)} = 0. \quad (3.3.9)$$

(3.3.9) ifadəsindən alırıq:

$$\frac{k \cdot \lambda}{(\ln 2)[f(\lambda)]} + \gamma = 0. \quad (3.3.10)$$

(3.3.10) ifadəsindən yazmaq olar:

$$f(\lambda) = -\frac{k \cdot \lambda}{(\ln 2) \cdot \gamma}. \quad (3.3.11)$$

(3.3.7) və (3.3.11) ifadələrini nəzərə almaqla

$$- \int_{\lambda_{min}}^{\lambda_{max}} \left[\frac{k \lambda}{(\ln 2) \cdot \gamma} \right] d\lambda = C \quad (3.3.12)$$

alırıq.

$\lambda_{min} \rightarrow 0$ şərtini nəzərə almaqla (3.3.12) ifadəsindən alırıq:

$$-\frac{k(\lambda_{max})^2}{\gamma(\ln 2)2} = C. \quad (3.3.13)$$

(3.3.13) ifadəsindən alırıq:

$$\gamma = -\frac{k \cdot (\lambda_{max})^2}{C(\ln 2)}. \quad (3.3.14)$$

Sonda (3.3.11) və (3.3.14) ifadələrindən alarıq:

$$f'(\lambda) = \frac{C}{(\lambda_{max})^2} - \frac{f_0}{\lambda}. \quad (3.3.15)$$

Beləliklə, optimal yəni yüksək informativ rejimdə λ -nın artımı $f(\lambda)$ -nin artımı ilə müşayiət olunmalıdır. Daha doğrusu yüksək dikliyə malik əyrilər və ya yüksək faizli iri dispersiya fraksiya tərkibli aerosol seçilməlidir. Bu halda əmin olmaq olar ki, λ -ya görə (3.3.15) ifadəsinin törəməsi həmişə mənfi qiymət alır. Bu isə onu göstərir ki, (3.3.8) funksionalı (3.3.15) ödənildikdə maksimum qiymətə çatır.

Qeyd etmək lazımdır ki, (3.3.15) funksiyasının fiziki mənası ondan ibarətdir ki, həmin funksional asılılıq təmin edildiyi halda, aparılan ölçmələr yüksək informativliyə malik olurlar. Digər tərəfdən (3.3.15) ifadəsindən və qrafik 3.3.1-dən istifadə etməklə aerosolun ümumi kütləsində xırda dispers aerosolun iştirak payının miqdarını müəyyən etmək olar.

Beləliklə, ümumi aerosol kütləsində yüksək informativ ölçmə rejimini təmin edən xırda dispers aerosolun pay miqdarının təyin edilməsi metodikası təklif edilmişdir. Həmin metodikanın mahiyyəti ondan ibarətdir ki, atmosferin yuxarı sərhəddindən əks olunan radiasiyanın optimal ölçmə rejimini təyin etməyə imkan verən optimallaşdırma məsələsi həll edilməli, həlli ifadə edən analitik təqdimat əsasında müvafiq əyrinin dikliyi hesablanmalıdır. Qrafik 3.3.1-də verilmiş əyrilər λ_{max} - λ_{min} intervalında xətti approksimasiya edilməli, optimallaşdırma məsələsinin həllinə uyğun gələn həmin xətlər seçilməli və müvafiq pay miqdarının kəmiyyət göstəricisi təyin edilməlidir.

3.4. Texnoloji nəzarəti yerinə yetirən kolorimetrik informasiya-ölçmə sistemi siqnallarının optimal emalı üçün atmosfer aerosolunun ümumiləşdirilmiş modeli

Məlum olduğu kimi, texnosferdə təhlükəsizlik problemləri geofiziki və dağ-mədən, filiz saflaşdırma və istehsal müəssisələrində keyfiyyətə texnoloji nəzarət məsələlərini də əhatə edir. Dağ-mədən filiz məhsulunu açıq istehsal edən xeyli müəssisə mövcuddur. Buraya müxtəlif minerallar, ağır və qiymətli metallar və s. hasil edən müəssisələri aid etmək olar.

Kolorimetrik ölçmə sistemləri müxtəlif obyektlərin geofiziki kəşfiyyatının aparılmasında geniş tətbiq edilir. Öz növbəsində kolorimetrik nəzarətin avtomatlaşdırılması, canlı operatorun nəinki maşın görüntü sistemləri ilə, həmçinin kolorimetrik nəzarətin həqiqiliyinin əlavə meyarlarından istifadə edən müxtəlif idarə-hesablama prosessorları ilə əvəz olunması zərurətini də qarşıya qoyur. Belə meyarlardan biri də RGB sistemlərinin rəng komponentləri kanallarının siqnalları arasında mövcud olan korrelyasiyaya nəzarətdir [43,s.1-15], [55, s.325-346], [71], [95, s.21], [104, s.857-860], [118,s.1-6].

Uçuş vasitələrində quraşdırılan bort kolorimetrik ölçmə sistemlərinin rəng təhriflərinin yaranmasında atmosfer aerosolunun rolu yaxşı məlumdur və bu da özünü xüsusən xırda dispers aerosolda göstərir. Spektrlərarası korrelyasiya hesablamalarını yerinə yetirərkən iki müxtəlif dalğa uzunluqlarında aerosolun optik qalınlığının müxtəlifliyini və aerosolun miqdarının minimuma endirilməsi zərurətini nəzərə almaq lazımdır. Qeyd etmək lazımdır ki, kolorimetrik sistemlərdə rənglərarası yüksəkdəqiqlikli korrelyasiya hesablamaları apararkən xüsusi olaraq qeyri-stabilliyi ilə fərqlənən atmosfer aerosolunun rəng təhrif etmə xüsusiyyəti dəqiq nəzərə alınmalıdır. Belə qeyri-sabitliyin əsas səbəblərindən biri də aerosolun nəmlənməsi effektidir, bu da aerosolun optik xarakteristikalarını əhəmiyyətli dərəcədə dəyişdirə bilər [5, s.21-24].

Beləliklə, spektrlərarası korrelyasiya hesablamalarına xüsusi olaraq uyğunlaşdırılmış kompleks aerosol modelinin yaradılmasına ehtiyac yaranır. Bu işə

nəticədə modelin bəzi göstəricilərini, aerosolun nəmlənmə dərəcəsinə uyğun olaraq onun yekun təsirini minimallaşdırılmasının optimallaşdırılmasına imkan verir.

Yuxarıda qeyd olunanları nəzərə almaqla ilk növbədə kolorimetrik ölçmə metodunun elə ən tipik məsələlərinə qısaca baxılmışdır ki, bu məsələlərin həlli üçün spektrlərəarası korrelyasiya hesablamaları zəruri hesab edilir.

Məlum olduğu kimi [43,s.1-15], ABŞ-ın bir çox milli və regional təbii zonaları və parklarında gecə zamanı səmanın vəziyyəti qorunan təbii sərvət kimi nəzərdən keçirilir. Belə yerlərdə səmanın müxtəlif sənaye obyektlərindən və yaşayış evlərindən işıqlanması çox zaman üfüq istiqaməti boyunca təcrid olunmuş işıq günbəzi şəklində özünü göstərir. Küçə işıqlandırılması və belə işıq günbəzləri arasında əlaqənin tədqiqi üçün səmanın antropogen işıqlanması və bu işıqlanmanın modelləşdirilməsi nəticələri arasında korrelyasiya səviyyəsini təyin etmək lazım gəlir. Həmin mənbədə iki tip rəng görmə qabiliyyəti arasındakı fərqlər haqqında məlumat verilir: 1-skotopik, gecə rəngi görmə (burada gözlər qırmızı rənglə müqayisədə göy rəngə daha həssasdır); 2-fotopik və ya mezopik (burada gözlərin spektral həssaslığı əvvəlkinin əksinədir, yəni gözlər göy rənglə müqayisədə qırmızı rəngə daha həssasdır). Aydınır ki, gözlərin skotopik reaksiyası səmanın gecə işıqlanmasının azaldılması probleminin həllində daha yararlıdır.

Mənbə [43,s.1-15] -da fotopik (555 nm) və skotopik (507 nm) yüksək və aşağı təzyiqli natrium lampaları ilə, həmçinin sarı rəngli işıq saçan diodlarla generasiya etdirilən şüaların pik qiymətləri arasında korrelyasiyanın təyin edilməsi və müqayisə aparılması üçün səmanın işıqlanmasının uyğun kolorimetrik ölçmələrinin aparılmasının əhəmiyyəti qeyd edilmişdir.

Çoxspektral emal zamanı istifadə edilən multispektral süzgəclər xətkəsi hər məkan nöqtəsində ancaq bir spektral signal verir və səhnənin təsviri mozaika şəklində alınır [71]. Təsvirlərin mozaikliyini aradan qaldırmaq üçün ayrı-ayrı rənglərin və ya spektral kanalların korrelyasiya asılılıqları haqqında informasiyaya malik olmaq lazımdır.

Digər müəlliflərin [103, s.857-860] göstərdiyi kimi, yüksək ayırdetmə qabiliyyətinə malik olan rəngli təsvirlərin bərpası məsələsini Bayer süzgəcinin

köməyi ilə formalaşdırılmış çoxsaylı aşağı ayırdetmə qabiliyyətinə malik təsvirlərdən, həmçinin spektral kanalların korrelyasiya dərəcəsi haqqında informasiyadan istifadə etməklə həll etmək olar. Bu işdə kanallararası korrelyasiya dərəcəsinin saxlanması şərti ilə, təsvirlərin konturlarının kənarları və küylərin azaldılması yolu ilə yüksək ayırdetmə qabiliyyətinə malik rəngli təsvirlərin bərpası nümunələri göstərilmişdir.

Rəng siqnalları arasında korrelyasiya dərəcəsi haqqında informasiyanın əhəmiyyəti mənbə [95, s.21]-də də qeyd olunmuş və burada rəngli təsvirlərin küylərinin azaldılmasının yeni metodikası təklif edilmişdir. Bu metodda küylərin aradan qaldırılması üçün mərkəzi pikselin ətrafında yerləşən piksellərin siqnallarının səkkiz qradient qiymətləri ilə yanaşı, RGB siqnalları arasında korrelyasiya qiymətləri də istifadə olunur.

Qeyd etmək lazımdır ki, RGB rəng komponentləri arasında korrelyasiya əlaqələrindən, müxtəlif geofiziki və kənd təsərrüfatı obyektlərinin tədqiqində də geniş istifadə olunur. Məsələn, okeanın rənginin, bitki sahələrinin öyrənilməsində belə yanaşma xüsusilə əhəmiyyətlidir. Bütün yuxarıda qeyd olunanlar texnoloji, geofiziki və kənd təsərrüfatı obyektləri üzərində kolorimetrik nəzarətin aparılması zamanı aerosolun güclü dəyişkənliyi şəraitində rəng kanallarının siqnalları arasında küysüz korrelyasiya qiymətinin alınmasının yeni metodlarının sintezinin aktuallığını təsdiq edir.

Beləliklə, bu bölmədə əsas məqsəd atmosfer aerosolunun elə bir modelinin hazırlanmasından ibarətdir ki, bu model filiz mədəninə və geofiziki kolorimetrik kəşfiyyatda, həmçinin ekoloji tədqiqatlarda və kənd təsərrüfatı məhsullarının yetişməsi üçün kolorimetrik nəzarətin aparılmasında avtomatik idarə edilən RGB maşın nəzarəti sistemlərində istifadə edilən hesablamaları minimallaşdırmağa imkan versin.

Nəmlənmiş aerosol şəraitində təklif edilən rəng kanal siqnallarının korrelyasiyasının küysüz hesablama qurğusunun sintezi metodunu şərh etməzdən əvvəl, aerosolun optik qalınlığının Bird modeli əsasında təklif edilmiş modelini nəzərdən keçirək [34, s.461-471]. *Bird modelinə əsasən $\lambda_0=0,5$ mkm-dən aşağı və*

yuxarı olan yalnız iki müxtəlif spektral diapazona baxılır. Aerozolun optik qalınlığı $\tau_{a\lambda}$ aşağıdakı kimi təyin edilir:

$$\tau_{a\lambda} = \beta_i \left(\frac{\lambda}{\lambda_1} \right)^{-\alpha_i}; \quad \lambda_1 = 1 \text{ mkm} \quad (3.4.1)$$

α_i aşağıdakı qaydada təyin edilir:

$$\alpha_i = \alpha_1, \text{ əgər } \lambda < \lambda_0 \text{ olarsa};$$

$$\alpha_i = \alpha_2, \text{ əgər } \lambda > \lambda_0 \text{ olarsa.}$$

β_i aşağıdakı qaydada təyin edilir:

$$\beta_i = \beta_1 = 2^{\alpha_2 - \alpha_1}, \quad \beta \text{ əgər } \lambda < \lambda_0 \text{ olarsa};$$

$$\beta_i = \beta_2 = \beta, \text{ əgər } \lambda > \lambda_0 \text{ olarsa.}$$

Tədqiqatların əsas məsələsi rəngli kanalların siqnallarının aeroxolla küylənməmiş korrelyasiya qiymətlərinin sintezi olduğundan, aeroxolun optik qalınlığının aşağıda göstərilən kombinə olunmuş modeli təklif edilmişdir [9, s.13]:

$$\tau_{\Sigma_1} = \frac{2^{\alpha_2 - \alpha_1} \cdot \beta \cdot \lambda_1^{-\alpha_1} + \beta \cdot \lambda_2^{-\alpha_2}}{2}. \quad (3.4.2)$$

Müxtəlif tip aeroxollar üçün nisbi rütubətliyin ayrı-ayrı qiymətlərində α_1 və α_2 əmsallarının məlum optimal qiymətləri göstərilmişdir (cədvəl 3.4.1) [12, s.53-56].

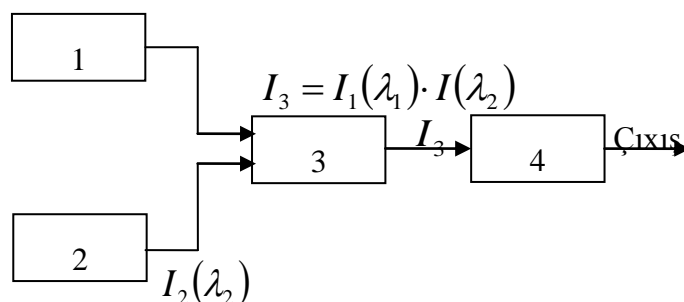
Bortdan ölçmələr aparən kolorimetrik sistemin rəng kanalları arasında korrelyasiyanın optimal hesablayıcısının sintezi üzrə yuxarıda formulə edilmiş məsələnin riyazi həlli üçün aşağıda göstərilən sadələşdirilmiş hesablayıcı modelə baxılmışdır (şəkil 3.4.1).

Belə hesab edilmişdir ki, bortdan ölçmələr aparən kolorimetrin rəng kanal siqnallar, atmosfer aeroxolunun təsirinə məruz qalmışlar. Bu da mütləq rənglərin əks olunmasında təhriflərə gətirib çıxarır.

Cədvəl 3.4.1.

Müxtəlif aerosol növləri üçün Bird modelinin fərqli rütubətlik şəraitində təyin edilmiş əmsalları

Nisbi rütubətlik, %	Kənd aerosolu		Şəhər aerosolu		Dəniz aerosolu		Troposfer aerosolu	
	α_1	α_2	α_1	α_2	α_1	α_2	α_1	α_2
0	0,933	1,444	0,822	1,167	0,468	0,626	1,010	2,389
70	0,928	1,428	0,838	1,186	0,378	0,508	1,005	2,357
90	0,844	1,377	0,779	1,256	0,232	0,246	0,911	2,130
95	0,804	1,371	0,705	1,252	0,195	0,175	0,864	2,058



Şəkil 3.4.1. Korrelyasiya hesablayıcısının sadələşdirilmiş modeli: 1 – λ_1 dalğa uzunluqlu birinci spektral siqnal formalaşdırıcısı, 2 – λ_2 dalğa uzunluqlu ikinci spektral siqnal formalaşdırıcısı, 3 – çoxaldıcı (emal qurğusu); 4 – inteqrator

$I_1(\lambda_1)$ və $I_2(\lambda_2)$ siqnalları aşağıdakı qaydada təyin edilir:

$$I_1(\lambda_1) = I_0(\lambda_1) \cdot e^{-\tau_a(\lambda_1)}. \quad (3.4.3)$$

$$I_2(\lambda_2) = I_0(\lambda_2) \cdot e^{-\tau_a(\lambda_2)}. \quad (3.4.4)$$

Burada $I_0(\lambda_1)$ və $I_0(\lambda_2)$ küysüz rəng siqnallarıdır.

Çoxaldıcının çıxışında I_3 siqnalı aşağıdakı qaydada təyin edilir:

$$I_3 = I_0(\lambda_1) \cdot I_0(\lambda_2) \cdot e^{-[\tau_a(\lambda_1) + \tau_a(\lambda_2)]}. \quad (3.4.5)$$

Klassik nəzəriyyəyə görə sintezin proseduru iki mərhələni özündə birləşdirir:

- 1) adekvat modelin yaradılması;
- 2) modelin optimallaşdırılması.

Korrelyasiya hesablayıcısının yuxarıda baxılan modelinin optimallaşdırılması üçün optimallaşdırma kriteriyası kimi aşağıdakı şərt seçilmişdir:

$$\tau_{\Sigma_2} = \tau_a(\lambda_1) + \tau_a(\lambda_2) \rightarrow \min. \quad (3.4.6)$$

$\lambda_1 < 0,5$ mkm; $\lambda_2 > 0,5$ mkm şərtləri daxilində, Bird modelinə əsasən (3.4.6) atmosfer aerosolunun optimallaşdırılması kriteriyası aşağıdakı şəkli alır:

$$\tau_{\Sigma_2} = 2^{\alpha_2 - \alpha_1} \cdot \beta \cdot \lambda_1^{-\alpha_1} + \beta \cdot \lambda_2^{-\alpha_2}. \quad (3.4.7)$$

(3.4.2) və (3.4.7) ifadələrinin müqayisəsi göstərir ki, onlar bir-birindən sabit vuruq əmsalları ilə fərqlənirlər və məsafədən korrelyasiya hesablayıcısının yuxarıda şərh edilən modelinin optimallaşdırılması üçün aerosolun optik qalınlığının yuxarıda göstərilən kombinə edilmiş modeli tamamilə yararlıdır.

Formal olaraq optimallaşdırma məsələsinin həlli üçün sərhədləri dəyişməyən variasiya optimallaşdırma məsələsini tərtib edək. Bunun üçün göstərilən

$$\alpha_2 = f(\alpha_1) \quad (3.4.8)$$

funksiyasına baxaq və optimallaşdırma funksionalını tərtib edək:

$$F = \int_0^{\alpha_{1max}} \tau_{\Sigma_2}[\alpha_1, f(\alpha_1)] d\alpha_1 = \int_0^{\alpha_{1max}} [2^{f(\alpha_1) - \alpha_1} \cdot \beta \cdot \lambda_1^{-\alpha_1} + \beta \cdot \lambda_2^{-\alpha_1}] d\alpha_1. \quad (3.4.9)$$

$\frac{dF}{d\alpha_1}$ törəməsini hesablasaq, alarıq:

$$\frac{dF}{df(\alpha_1)} = (\ln 2) \cdot 2^{f(\alpha_1) - \alpha_1} \cdot \beta \cdot \lambda_1^{-\alpha_1} - (\ln \lambda_2) \cdot \beta \cdot \lambda_2^{-f(\alpha_1)}. \quad (3.4.10)$$

$$\frac{dF}{df(\alpha_1)} = 0 \text{ şərtindən alırıq}$$

$$\alpha_2 = f(\alpha_1) = \frac{\ln \left[\frac{\ln \lambda_2}{(\ln 2) \cdot \lambda_1^{-\alpha_1}} \right]}{\ln 2 \lambda_2} + \frac{\alpha_1 \cdot \ln 2}{\ln 2 \lambda_2}. \quad (3.4.11)$$

Beləliklə, (3.4.11) ifadəsi şəklində α_2 və α_1 arasındakı asılılığın F funksionalı ekstremal qiymət alır.

İkinci tərtib törəməni hesablasaq, aşağıdakı ifadəni alırıq:

$$\frac{d^2 F}{df(\alpha_1)^2} = (\ln 2)^2 \cdot 2^{f(\alpha_1) - \alpha_1} \cdot \lambda_1^{-\alpha_1} + 2(\ln \lambda_2)^2 \cdot \lambda_2^{-f(\alpha_1)}. \quad (3.4.12)$$

(3.4.12) ifadəsindən görüldüyü kimi ikinci törəmə həmişə müsbətdir. Bu onu göstərir ki, axtarılan ekstremum minimumdur.

Beləliklə, bir tərəfdən α_2 və digər tərəfdən $\alpha_1, \lambda_1, \lambda_2$ arasında əlaqəni göstərən (3.4.12) asılılığı baxılan modelin əsas parametrlərinin qiymətini elə optimal seçməyə imkan verir ki, aerosolun fasiləsiz nəmlənməsi şəraitində rənglərin əks edilməsinə aerosolun təsiri minimuma çatdırılmış olsun.

Alınan nəzəri nəticələrin ekspert qiymətləndirilməsi səviyyəsində eksperimental tədqiqi üçün aşağıdakı müddəalar qəbul edilmişdir:

- sınaqda iştirak edən normal görmə qabiliyyətinə malik olan ekspertlərin gözləri təbii səhvsiz kolorimetr kimi nəzərdən keçirilmişdir;
- rənglərarası korrelyasiya qiymətləndirilməsinin dəqiqliyi rənglərin özlərinin canlandırılmasının dəqiqliyi ilə düz mütənasibdir.

Alınan nəzəri nəticələrin təcrübədə yoxlanılması üçün 1 kilometr məsafədən şəhər meşə-park sahəsinin rənglərinin ekspert-kolorimetrik qiymətləndirilməsi aparılmışdır. İki insandan ibarət ekspertlər qrupu yaşayış binasının 9-cu mərtəbəsinin eyvanından 6 gündən bir iki gün ərzində ağacların rənglərinin ekspert

qiymətləndirməsini həyata keçirmişlər. İlkin verilənlər haqqında belə fərziyyə qəbul edilmişdir ki, bu interval ərzində aerosol tullantılarının səviyyəsi dəyişməmiş, çünki bu tullantıların bütün mənbələri normal texnologiya şəraitində işlənmiş və aerosol buludlarının xüsusi anomal gəlişi gözlənilməmişdir. Altı günlük intervalın başlanğıcında quru günəşli hava olduğu halda, meteoproqnozlara əsasən bu intervalın sonunda buludlu və yağışlı hava gözlənilmişdir. Buludların gəlişi ərəfəsində və yağışlardan bilavasitə əvvəl havanın rütubətliyi 72% -dən 87%-ə qədər yüksəlmiş, bu da həm intervalın başlanğıcında, həm də sonunda α_1 və α_2 hesablamalarını həyata keçirməyə imkan vermişdir. 72 % və 87 % nisbi rütubətliyi üçün ilkin qəbul edilmiş α_1 - in qiymətləri və α_2 - nin hesablanmış qiymətləri cədvəl 3.4.2-də göstərilmişdir.

Cədvəl 3.4.2.

Nisbi rütubətləyin müxtəlif səviyyələrində α_1 və α_2 göstəricilərinin qiymətləri

Rütubətlik	Şəhər aerosolu	
	α_1	α_2
72 %	0,838	1,24
87 %	0,779	1,33

3.4.1 və 3.4.2 cədvəl məlumatlarını müqayisə etsək görərik ki, nisbi rütubətin qiymətindən asılı olmayaraq α_2 optimal qiymətləri α_2 qeyri-optimal qiymətlərindən böyükdür. Belə ki, α_2 -nin tərifinə görə $\lambda > 0,5$ mkm dalğa intervalı sarı və qırmızı rənglərin göstəricisi olduğu üçün fərz etmək olardı ki, α_2 artımının α_{2opt} optimal qiymətə qədər çatmasına səbəb olan amil, meşə-park sahəsinin qırmızı və sarı rənglərinin daha dəqiq müşahidəsinə gətirib çıxara bilərdi. Belə amil qismində dənizdən əsən küləyin dayanması qəbul edilmişdir ki, bu da, axşama yaxın dəniz aerosolunun böyük hissəciklərinin azalmasına və α_2 -nin artmasına gətirib çıxarardı. α_2 -nin artım faktı meşə-park sahəsinin ümumi sarı fonunun ekspertlərin daha dəqiq vizual müşahidələriylə təsdiq edilmişdir. Həmin vəziyyət altı günlük intervaldan

sonra dənizdən əsən küləyin zəifləməsi nəticəsində α_2 -nin artmasına və optimala yaxın qiymət almasına gətirib çıxarmışdır. Bunun nəticəsində meşə-park sahəsinin ümumi sarı fonu daha çox aydın müşahidə olunmuşdur.

Qəbul edilmiş ilkin fərziyyələri nəzərə almaqla irəli sürülmüş nəzəri müddəaların yuxarıda göstərilən ekspert-təcrübi qiymətləndirilməsi bizə aparılmış tədqiqatın əsas nəticələrinin qənaətbəxş səviyyədə olması haqqında qərar verməyə imkan vermişdir.

Sonda aparılmış tədqiqatın əsas müddəalarını və yekunlarını belə formalaşdıraraq bilərik ki, kolorimetrik sistemlərin rəng siqnalları arasında korrelyasiyanın hesablanması ilə xarakterizə edilən iş rejimlərinin reallaşdırılmasının qısa icmalı verilmiş, korrelyasiya hesablayıcısının iş rejiminin optimallaşdırılması zamanı məqsəd funksionalının formalaşması üçün atmosfer aerosolunun optik qalınlığının ümumiləşdirilmiş modeli təklif olunmuşdur. Xarici atmosfer faktorlarını nəzərə almaqla baxılan kolorimetrik modelin optimallaşdırılması ilə korrelyasiya hesablamalarının aparılmasının iş rejimi sintezləşdirilmişdir.

III fəslin nəticələri

1. Aerosolun optik qalınlığı, həmçinin optik qalınlığın müəyyən əmsallı funksionalı məlum olduqda, atmosferin yuxarı sərhəddində əks etmə əmsalının optimal qiymətini hesablamağa imkan verən analitik asılılıq təklif edilmişdir.

2. Bitkilərin sululuq dərəcəsinin bort fotometrik ölçmələri ilə təyini zamanı əldə olunmuş nəticələrin dəqiqliyinə aerosolun nəmlənməsinin təsir etdiyi göstərilmiş, meydana çıxan xətlərin dəyişmə tendensiyası qiymətləndirilmişdir.

3. Atmosferin yuxarı sərhəddində əks olunan radiasiyanın ölçülməsinin informativliyinin yüksəldilməsi üçün kiçik dispersli aerosolun miqdarının təyini metodu təklif olunmuş, həll olunmuş optimallaşdırma məsələsi həmin aerosolların qiymətləndirilməsi üçün dalğa uzunluğunu müəyyənləşdirməyə imkan vermişdir.

4. Kolorimetrik informasiya-ölçmə sistemi siqnallarının optimal emalını təmin etmək üçün atmosfer aerosolunun ümumiləşdirilmiş modeli işlənilmiş, həmin

sistemin zəng siqnalları arasındakı korrelyasiya hesablayıcısının iş rejiminin reallaşdırılması üçün məqsəd funksionalının formalaşması prinsipləri əsaslandırılmışdır.

IV FƏSİL. BİTKİLƏRİN MƏXSUSİ PARAMETRLƏRİNİN TƏYİNİNDƏ TƏKMİLLƏŞDİRİLMİŞ ÇOXSPEKTRAL BORT ÖLÇMƏ METODLARI

4.1. Müxtəlif spektral kanalların ölçmələri əsasında bitkilərin quru çəkisinin təyin edilməsinin parametrik-statistik metodikası

Planetdə karbonun dövretmə prosesi Yerdə iqlim şəraitini tənzimləyən əsas faktorlardan biridir. Bu zaman karbonun böyük bir hissəsi vegetasiya massivlərində, meşələrdə və kənd təsərrüfatı tarlalarında toplanır. Baxılan bölmə bitkilərin tərkibində karbon ehtiyatının təyini, onların quru çəkisinin spektrometrik metodla müəyyənləşdirilməsinə, yəni diaqnostika elm sahəsinə xas olan dildə desək, qeyri-dağıcıq metodla həlli məsələsinə həsr olunmuşdur.

Qeyd etmək lazımdır ki, bitkilərin su tərkibi və quru çəkisi nəm bitkilərin çəkisi haqqında informasiya olduğu halda bir-birlərini birmənalı şəkildə müəyyənləşdirirlər. Nəm bitkinin çəkisi adi çəkmə metoduyla təyin edildiyi halda, bitkinin su tərkibi spektrometrik təyin edilən bəzi parametrlərdən reqressiya asılılığındadır. Bu halda spektrometrik metodla təyin edilən parametrlərdən hansının əsas parametr kimi seçilməsində qeyri-müəyyənlik yaranır ki, bu da ekstremal xüsusiyyətə malik olan spektrometrik ekvivalent parametrin tətbiqini zəruri edir. Belə bir ümumiləşdirilmiş ekvivalent parametrin tətbiqi bitkinin su tərkibinin kalibrləmə qiymətini təyin etməyə, bu və ya digər spektrometrik metodun hansının seçiminin məqsədəuyğun olub olmadığını dəqiqləşdirməyə imkan verir [80, s. 967-974].

Bununla da məlum hiperspektrometrik metod əsasında bitkinin su tərkibinin (*PWC*) kalibrləmə qiymətinin təyin edilməsinin yeni spektrometrik metodu və bu parametr əsasında bitkinin quru çəkisinin test-nəzarət qiymətinin müəyyənləşdirilməsi metodu təklif edilmişdir [19, s.31-36].

Təklif edilən metodun əsasını aşağıda göstərilən addımlardan ibarət sadə alqoritm təşkil edir:

1. Spektrometrik metodla təyin edilən PWC aşağıdakı düsturla hesablanır [19, s.31-36]:

$$PWC = \frac{A_1 - P_d}{P_d}. \quad (4.1.1)$$

Burada A_1 - nəm bitkinin qurutmaya qədər çəkisi; P_d - bitkinin qurudulduqdan sonrakı çəkisidir.

2. PWC nin spektrometrik-parametrik metodla təyini.

3. (4.1.1) ifadəsinə əsasən P_d -nin qiymətinin təyini.

$$P_d = \frac{A_1}{PWC + 1}. \quad (4.1.2)$$

Əvvəlcə PWC -nin ölçülməsinin mövcud metodlarına qısaca baxılmış, daha sonra ekstremal xarakterə malik olan və PWC -nin təyini metodunun seçimini konkretləşdirməyə imkan verən veqetasianın sululuq dərəcəsinin yeni parametrik indeksi təklif edilmişdir [99, s. 1-371].

Bitkilərin su tərkibini təyin etmək üçün 1150-1260 nm, 1950 nm, 2250 nm, 950-970 nm dalğa uzunluqlarından istifadə olunmuşdur [65, s.64-70].

WI su indeksi aşağıdakı kimi təyin edilir [65, s. 64-70]:

$$WI = \frac{R_{900}}{R_{970}}. \quad (4.1.3)$$

Burada R_{900} və R_{970} - 900 nm və 970 nm dalğa uzunluqlarında veqetasianın əksətmə əmsalıdır.

(4.1.1)-ə əsasən spektrometrik ölçmələr nəticəsində Snap Beans bitkisinin PWC göstəricisinin R_{1450} və WI -dən reqresiya asılılığı aşağıdakı kimi alınmışdır [46, s. 41-54]:

$$PWC = -a_1 \cdot R_{1450} + a_2, \quad (4.1.4)$$

$$PWC = a_3 WI - a_4. \quad (4.1.5)$$

(4.1.4) və (4.1.5) düsturlarından göründüyü kimi PWC -nin R_{1450} və WI -dən əks fazalı asılılığı mövcuddur.

(4.1.4) ifadəsindən alırıq:

$$R_{1450} = \frac{a_2 - PWC}{a_1}, \quad (4.1.6)$$

$$WI = \frac{PWC + a_4}{a_3}. \quad (4.1.7)$$

Aşağıdakı şərtlər təmin olunduğu zaman C -nin qiymətini hesablaya bilərik:

$$C_1 \cdot R_{1450} + WI = C, \quad C = const \quad (4.1.8)$$

Burada C -daxil edilən invariant parametrdir.

C_1 -vuruğu aşağıdakı şərtlərdən təyin edilir:

$$-\frac{C_1}{a_1} + \frac{1}{a_3} = 0 \quad \text{və ya} \quad C_1 = \frac{a_1}{a_3}. \quad (4.1.9)$$

Qeyd etmək lazımdır ki, (4.1.4) və (4.1.5) bərabərlikləri ödənilən halda C_1 və C -nin qiymətləri birmənalı olaraq təyin edilir.

Beləliklə C_1 və C -nin verilən qiymətlərində WI -ni dəyişdirməklə R_{1450} -ni (4.1.9) şərti təmin olunan hal üçün hesablamaq olar:

(4.1.8)-dən alırıq:

$$(C_1 R_{1450} + WI)^2 = C^2 = C_2. \quad (4.1.10)$$

(4.1.10) ifadəsini başqa şəkildə yazsaq,

$$C_1^2 R_{1450}^2 + 2 C_1 R_{1450} WI + WI^2 = C^2$$

və ya

$$C_1^2 R_{1450}^2 - C_1 R_{1450} WI + WI^2 = C^2 - 3 C_1 R_{1450} WI \quad (4.1.11)$$

olduğunu alarıq.

Məlumdur ki, klassik minimallaşdırma məsələsinin cərimə funksiyası metodu ilə həllinə

$$\begin{aligned}x^2 - xy + y^2 &\rightarrow \min \\ x &= y\end{aligned}\tag{4.1.12}$$

bərabərliyi vasitəsilə nail olunur [24].

Lakin (4.1.11) ifadəsində sol tərəfin minimallaşdırılması $C_1 R_{1450} \cdot WI$ ifadəsinin maksimallaşdırılması ilə ekvivalentdir. Uyğun olaraq $C_1 \cdot R_{1450} \cdot WI$ hasili maksimuma o zaman çatır ki, (4.1.8) şərti və aşağıdakı bərabərlik ödənilmiş olsun:

$$C_1 R_{1450} = WI .\tag{4.1.13}$$

Beləliklə, yuxarıda göstərilənləri nəzərə almaqla bitkinin quru çəkisini təyin etmək üçün WI və R_{1450} ölçmələrinin nəticələrinə görə PWC -nin müəyyənləşdirilməsinin aşağıdakı parametrik metodikası təklif edilmişdir:

1. (4.1.3) düsturuna görə R_{1450} və WI ölçmələri aparılır.
2. (4.1.4) və (4.1.5) reqressiya asılılıqlarından istifadə etməklə (4.1.6) və (4.1.7) funksiyaları hesablanır.
3. (4.1.9) düsturu ilə C_1 vuruğunun və (4.1.8) ifadəsinə görə isə C invariant parametrinin qiyməti təyin edilir.
4. (4.1.13) bərabərliyi ödənilməli halda, (4.1.5) ifadəsinə görə PWC -nin qiyməti təyin edilir. Bu məqsədlə (4.1.4) ifadəsini də istifadə etmək olar.
5. Təcrübi yolla A_1 -in alınmış qiyməti və (4.1.2) düsturuna görə PWC -nin hesablanmış qiyməti əsasında P_d təyin edilir.

Təklif edilən metodikadan istifadə etməklə bitkinin quru çəkisinin təyin edilməsinin konkret nümunəsinə baxaq. PWC -nin WI və R_{1450} -dən təcrübi yolla alınmış reqressiya asılılığı xətləri qrafik 4.1.1 və 4.1.2-də göstərilmişdir [67, s.64-70].

Field SpecTM Pro JR-ın portativ spektrometrinin köməyi ilə aparılmış spektrometrik ölçmələr nəticəsində aşağıdakı reqressiya tənlikləri alınmışdır [67, s.64-70].

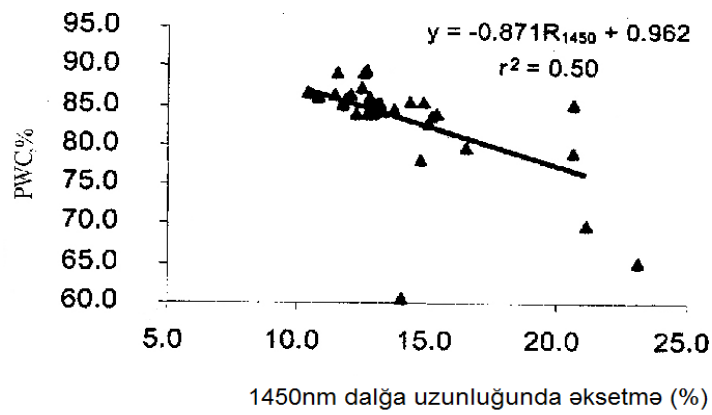
$$PWC = -0,187 \cdot R_{1450} + 0,962, \quad (4.1.14)$$

$$PWC = 3,442WI - 2,713. \quad (4.1.15)$$

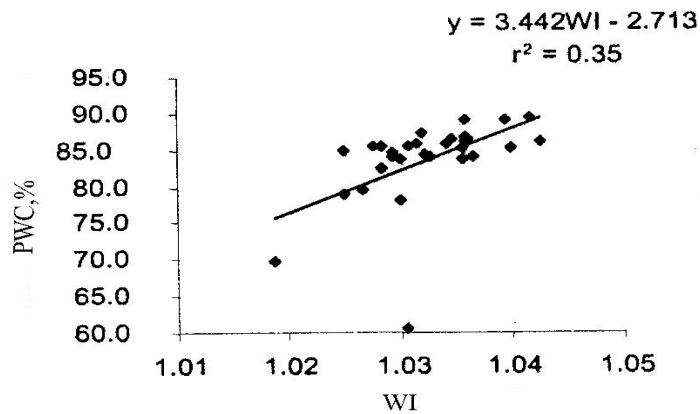
(4.1.14) və (4.1.15) ifadələrindən alarıq:

$$R_{1450} = (1,105 - 1,15 PWC), \quad (4.1.16)$$

$$WI = 0,29 PWC + 0,79. \quad (4.1.17)$$



Qrafik 4.1.1. PWC -nin R_{1450} - dən reqressiya asılılığı



Qrafik 4.1.2. PWC -nin WI - dən reqressiya asılılığı

(4.1.16) və (4.1.17) ifadələrini nəzərə almaqla (4.1.9) tənliyinə görə C_1 vuruğunun qiymətini hesablasaq alarıq:

$$C_1 = \frac{0,87}{3,442} = 0,25. \quad (4.1.18)$$

(4.1.14) və (4.1.15) ifadələrindən istifadə etməklə PWC -nin qiymətini hesablayırıq. (4.1.13) ifadəsini nəzərə alaraq yazıya bilərik:

$$-0,87 \cdot 0,25 \cdot R_{1450} + 0,962 = 3,442WI - 2,713. \quad (4.1.19)$$

(4.1.19) ifadəsini aşağıdakı şəkildə yazıyaq:

$$-0,87 \cdot WI + 0,962 = 3,442WI - 2,713. \quad (4.1.20)$$

Onda (4.1.20) ifadəsindən alarıq:

$$WI = \frac{3,675}{4,312} \approx 0,85.$$

(4.1.13) və (4.1.18) ifadələrini nəzərə almaqla R_{1450} -nin qiymətini hesablayaq:

$$R_{1450} = \frac{0,85}{0,25} = 34\% .$$

Daha sonra $PWC = 3,442WI = 3,442WI - 2,713$ ifadəsi əsasında hesablaya bilərik $PWC = 21\%$.

Beləliklə, P_d -ni müəyyən etmək üçün PWC -nin kalibrəmə qiyməti 21%-ə bərabərdir. (4.1.2) tənliyinə görə

$$P_d = \frac{A_1}{1,21}. \quad (4.1.21)$$

olduğunu alırıq.

Beləliklə, baxılan konkret nümunə üçün alınan (4.1.21) ifadəsi P_d kalibrləmə qiymətini müəyyən etməyə imkan verir. Bununla da göstərilmişdir ki, bitkinin su tərkibinin təyin edilməsində əldə olunan iki müxtəlif spektrometrik metodların paralel istifadəsindən yaranan qeyri-müəyyənliyi ekstremal xüsusiyyətə malik olan yeni $Z = R_{1450} \cdot WI$ ekvivalent əmsalını daxil etməklə aradan qaldırmaq olar. Bu halda PWC kalibrlənmə qiymətini Z parametrinin ekstremal qiymətini nəzərə almaqla, bitkinin quru çəkisini PWC kalibrlənmə qiyməti əsasında təyin etmək olar.

4.2. Maili trayektoriya ilə hərəkət edən daşıyıcıda quraşdırılmış spektrometr vasitəsilə meşə örtüyünün strukturu haqqında toplanmış məlumatların informativliyinin artırılması

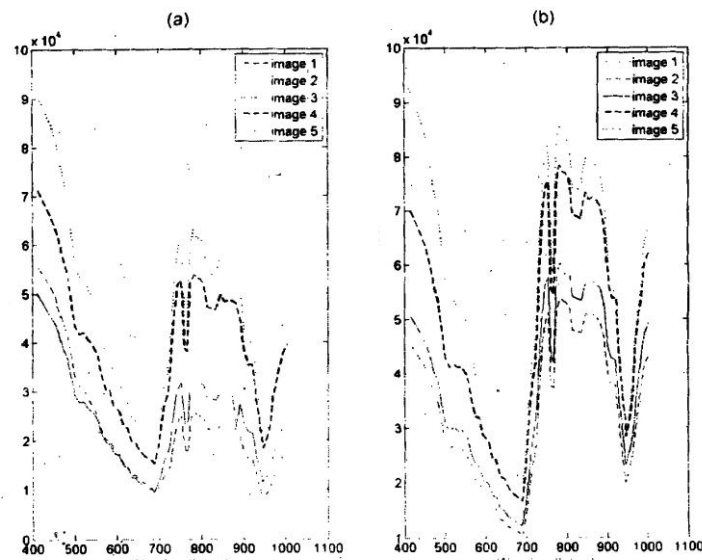
Məlumdur ki, meşə strukturu ekosistemin inkişafına güclü təsir göstərir. Bitkilər fotosintez prosesində aktiv radiasiyanı udmaq qabiliyyətinə malikdirlər ki, bu da əsasən ağac çətirindəki yarpaqların sayı, yerləşməsi və istiqamətləri ilə müəyyən edilir. Bununla belə bitkilərin çətirinin strukturunun tədqiqini maili trayektoriyadan həm bir, həm də bir neçə istiqamət üzrə həyata keçirmək olar [106, s.8-17]. Bu məqsədlə uçuş aparatlarında yerləşdirilmiş lazer skaner qurğularından və ya radarlardan istifadə edilir. [69, s.82-96], [68, s.967-974], [107, s. 1-15] işlərində bu məqsədlə bir istiqamətdə bortdan ölçmələr aparmaq üçün passiv optik cihazlardan istifadə edilmişdir. Bununla belə, əksər torpaq səthləri üç ölçüyə malik olmaqla fərqlənirlər və güclü anizotrop reflektordurlar [76, s 83-102].

Uyğun olaraq görmə bucağı dəyişən zaman belə bitki sahələrinin əksətdirmə xarakteristikaları da dəyişir. Buna görə də bortdakı spektrometrik qurğular tədqiq edilən meşə massivinin müxtəlif bucaq altında skanlaşdırılmasını yerinə yetirməli, yəni spektrin müəyyən zolağında müxtəlif bucaqlar altında spektral ölçmələrin aparılmasını təmin etməlidirlər.

Məlum olduğu kimi hal-hazırda müxtəlif bucaqlar altında hiperspektral məlumatları almağa imkan verən yeganə spektrometrik cihaz PROBA peykində

yerləşdirilən, yüksək məkan ayırdetmə qabiliyyətinə malik olan CHRIS bort spektroradiometridir [32, s.1512-1520]. Bununla belə meşə massivlərinin çətirlərinin strukturu haqqında maksimal informasiyanın alınması üçün bortdan çəkilişlərin hansı zenit bucağı altında aparılmasının daha optimal olması hələ də aydınlaşdırılmamışdır [72,s.381-499, [96, s.281-306].

PROBA/CHRIS spektroradiometri 62 spektral kanaldan ibarət 411-1004 nm spektral ayırdetmə ilə işləyən hiperspektrometrdir [106, s.8-17]. Bu cihaz 5-12 nm spektral diapazonda, $+55^{\circ}$; $+36^{\circ}$; 0° ; -36° – 55° bucaqlar altında zondlamaları həyata keçirmək qabiliyyətinə malikdir. 13 km x 13 km səhnəni əhatə etdiyi zaman məkan ayırdetmə qabiliyyəti 34 kilometrə bərabərdir. Cəmi beş diskret dalğa uzunluqlarında (550 nm; 675 nm; 740nm; 805 nm; 970 nm) aparılan eksperimental tədqiqatların nəticələrinə əsasən meşə massivinin müxtəlif bucaqlar altında spektral tədqiqi LAI (yarpaq örtüyünün indeksi) indeksinin təhrifini küknar massivləri üçün 32 % -dən 18 %-ə qədər, fıstıq massivləri üçün isə 58 % -dən 26 %-ə qədər azaltmağa imkan verir [106, s.8-17].

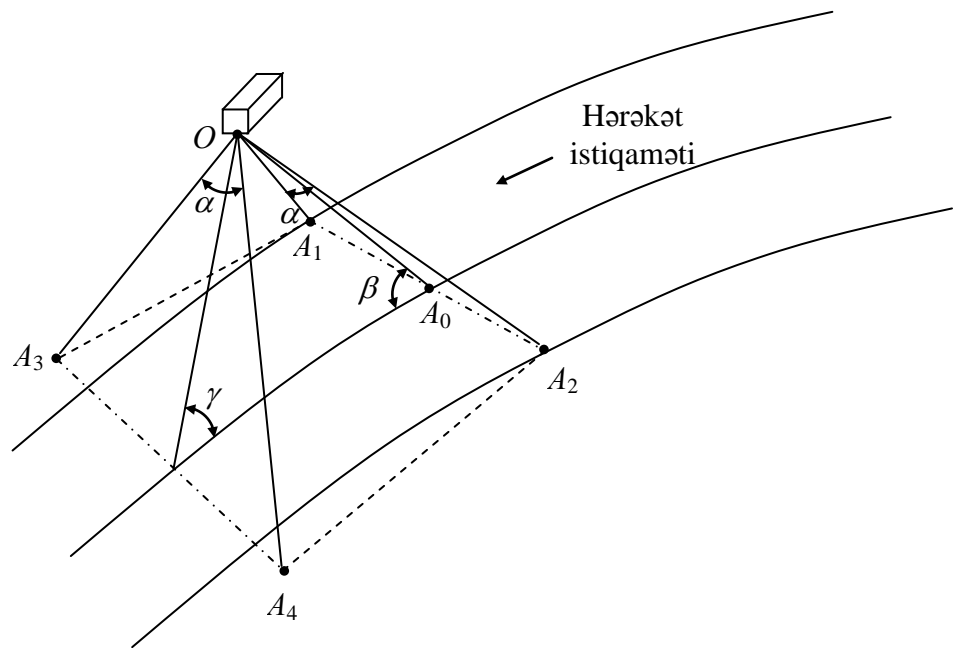


Qrafik 4.2.1. Müxtəlif bucaq altında bort ölçmələri nəticəsində alınan fıstıq və küknar meşə massivlərinin əksətdirmə spektrləri [90]: a) fıstıq meşə massivi; b) – küknar meşə massivi: 1 - 55° ; 2 - 36° ; 3 - 0° ; 4 - -36° ; 5 - -55° .

Bununla belə bu cür eksperimentlərin planlaşdırılmasında nəzərə almaq lazımdır ki, bort spektral ölçmələrin maili metodunun potensial imkanları belə azsaylı dalğa uzunluqları ilə məhdudlaşmır. Bunu fıstıq və küknar meşə massivlərinin əksətmə spektrləri əsasında əyani göstərmək olar (qrafik 4.2.1).

Qrafik 4.2.1-dən görüldüyü kimi, dalğa uzunluqlarının nisbətən geniş diapazonunda əksətdirmə spektrlərinin potensial informativliyi kifayət qədər yüksəkdir. Bununla da belə nəticəyə gəlmək olur ki, analoji təyyarə eksperimentlərinin təşkili zamanı əlavə olaraq aşağıdakı məsələlər də nəzərə alınmalıdır [10, s.60-63]:

1. Maili trayektoriya üzrə bort spektral ölçmələri zamanı düzbucaqlı şəkil formatının, yəni kadrın trapesiya şəkilli təhrifləri meydana çıxır (şəkil 4.2.1). Şəkildən görüldüyü kimi $\beta = 90^\circ$ bucağından $\gamma \approx 45^\circ$ bucağına keçid zamanı OA_1A_2 üçbucağının tərəfləri, yəni OA_1 və OA_2 nəzərəçarpacaq dərəcədə uzanır, α sətir açılma bucağı və uçuş hündürlüyü isə sabit qalır. $\alpha = const$ olduqda, OA_3A_4 üçbucağında tərəflərin uzanmasını A_1A_2 ölçüsünün A_3A_4 qiymətinə qədər sətirin uzanması kimi qiymətləndirmək olar.



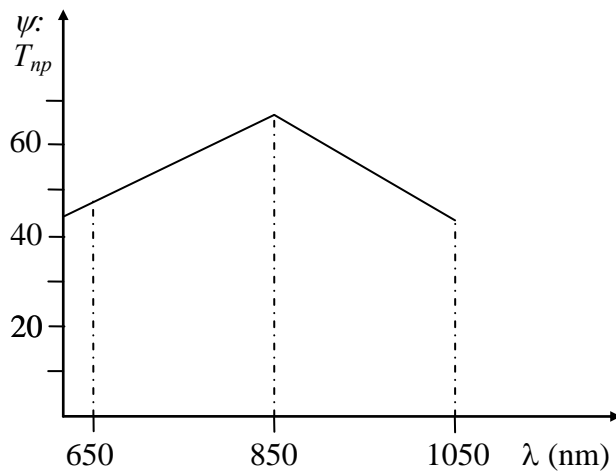
Şəkil 4.2.1. Maili trayektoriya üzrə bort spektral ölçmələrinin sxematik təsviri

2. Maili trayektoriyadan bort spektral ölçmələri keçirilməsinin planlaşdırıldığı zaman hiperspektrometrlərin skanedicisinin yüksək sürətində çıxış signalının aşağı energetik səviyyəsini nəzərə almaq lazımdır. Belə ki, signal/küy nisbətinin məhdudlaşdırılması belə eksperimentlərin informativliyinin azalmasına gətirib çıxarır. Bunu aradan qaldırmaq üçün qoşulan kanalın çevirmə müddəti 150 ms-i aşmayan elektron tənzimlənən maye-kristal optik süzgəclərdən istifadə etmək olar [108, s. 1067-1080]. Hesablanmışdır ki təyyarənin uçuş sürəti 500 km/saat olduqda, bir dalğa uzunluğunda kanalın potensial məkan ayırdetmə qabiliyyəti 20 metrdir. Bu halda buraxma əmsalı kifayət qədər yüksək qiymət alır ki, bu da hiperspektrometrlə müqayisədə signal/ küy nisbətində əhəmiyyətli dərəcədə yüksək qiymət almasına gətirib çıxarır.

Optik maye-kristal süzgəclərin əsas üstünlükləri aşağıdakılardır [79]:

- yüksək buraxma əmsalı-60-80 %-ə qədər;
- dalğa uzunluqları kanallarının qoşulmasının yüksək sürətliliyi-150 ms;
- dalğa uzunluğuna görə buraxma zolağının fasiləsiz tənzimlənmə imkanı və s.

Maye-kristal süzgəclərin approksimasiya edilmiş buraxma amplitud-spektral xarakteristikası qrafik 4.2.2- də göstərilmişdir. Şəkiləki qrafikdən görüldüyü kimi, buraxma əmsalı 650-850 nm diapazonunda xətti artdığı halda, 850-1050 nm diapazonda xətti azalır.



Qrafik 4.2.2. Maye-kristal süzgəcin spektral buraxma əmsalının xətti-diskret approksimasiyası

Digər araşdırmalarda göstəriləyi kimi [106, s.8-17], aparılmış tədqiqatların əsas nəticəsi ondan ibarətdir ki, bir spektral diapazondan və bir neçə bucaq qiymətindən istifadə zamanı alınan LAI indeksinin qiymətinin xətası daha yüksək olmaqla, bir neçə spektral diapazonda və yalnız maillik bucağının bir qiymətindən istifadə etməklə əldə edilmiş nəticənin xətasından böyük ola bilər. Lakin belə nəticə səmərəli ola bilməz, çünki maye-kristal süzgəcin bütün diapazonlarından T_{Σ} ümumi istifadə vaxtı

$$T_{\Sigma} = n \cdot T_0 .$$

kimi təyin oluna bilər.

Burada n - spektral diapazonların sayı, T_0 - bir çevirməyə sərf olunan vaxtdır.

Göründüyü kimi n - in həddən artıq artırılması T_{Σ} -nin artımına gətirib çıxarır ki, bu da son nəticədə bəzi spektral ölçmə sisteminin ümumi iş sürətinin azalması ilə nəticələnə bilər. Bu səbəbdən spektral diapazonu bir qədər daraltmaqla onun daha informativ sahəsinin seçilməsi məqsədəuyğundur. Buna görə də tədqiqat məsələsini aşağıdakı qaydada formalaşdırmaq olar:

Sətir müddəti adaptiv dəyişə bilən çəkiliş kadri ərzində maksimal miqdarda informasiya əldə etmək məqsədiylə binar { 650-850 nm; 850-1050 nm } çoxluğundan optimal spektral diapazonu müəyyən etmək tələb olunur.

Məli tryayektoriya üzrə spektral ölçmələr zamanı yer səthinin trapesiya formasında alınmasını nəzərə alaraq kadrın bütün sətirlərində informasiyanın ümumi miqdarını aşağıdakı qaydada hesablamaq təklif olunur:

$$M_1 = \int_{T_{min}}^{T_{max}} T l o g_2 \psi(\lambda) dT . \quad (4.2.1)$$

Burada T - skanedicinin adaptiv dəyişə bilən (maillik bucağından asılı olaraq) sətir uzunluğu, T_{min} , T_{max} - T -nin minimal və maksimal qiymətləridir. Hesab edək ki, tədqiq edilən meşə massivinin strukturu homogenidir və ölçmələrin spektral diapazonu zamana görə fasiləsiz dəyişir. Optimallaşdırma məsələsini formalaşdırmaq

üçün sətirlərin uzunluğu dəyişən zaman dalğa uzunluğunun dəyişkənliyini təyin edən $\lambda = \lambda(T)$ funksiyası daxil etsək (4.2.1) ifadəsi aşağıdakı şəkli alar:

$$\int_{T_{min}}^{T_{max}} T \cdot \log_2 \psi[\lambda(T)] dT. \quad (4.2.2)$$

$\psi[\lambda(T)]$ ifadəsini aşağıdakı kimi göstərək:

$$\psi[\lambda(T)] = \psi_0 + \psi'_\lambda \cdot \lambda(T). \quad (4.2.3)$$

(4.2.4) ifadəsini nəzərə almaqla (4.2.2)-ü

$$\int_{T_{min}}^{T_{max}} T \log_2 [\psi_0 + \psi'_\lambda \cdot \lambda(T)] dT \quad (4.2.4)$$

kimi yazıla bilər.

$\lambda(T)$ funksiyasının xəttliliyini ilkin fərziyyə kimi qəbul edərək məhdudlaşdırıcı şərti aşağıdakı kimi formalaşdıraq:

$$\int_{T_{min}}^{T_{max}} \lambda(T) dT = C. \quad (4.2.5)$$

(4.2.4) və (4.2.5) ifadələrini nəzərə alaraq şərtsiz optimallaşdırma funksionalını aşağıdakı qaydada tərtib edə bilərik:

$$F = \int_{T_{min}}^{T_{max}} M \cdot dT = \int_{T_{min}}^{T_{max}} T \log_2 [\psi_0 + \psi'_\lambda(T)] dt + \gamma \int_{T_{min}}^{T_{max}} \lambda(T) dT. \quad (4.2.6)$$

Burada γ - Lagranj vuruğudur.

Eyler qaydasına əsasən optimallaşdırma məsələsinin həlli aşağıdakı şərti təmin etməlidir:

$$\frac{dM}{d\lambda(T)} = 0. \quad (4.2.7)$$

(4.2.6) və (4.2.7) ifadələrini nəzərə almaqla

$$\frac{T \cdot \psi'_{\lambda}}{\ln 2 [\psi_0 + \psi'_{\lambda} \cdot \lambda(T)]} + \gamma = 0 \quad (4.2.8)$$

olduğunu yaza bilərik.

(4.2.8) ifadəsindən tapmaq olar ki,

$$\lambda(T) = -\frac{T}{\gamma \cdot \ln 2} - \frac{\psi_0}{\psi'_{\lambda}} \quad (4.2.9)$$

bərabərliyi ödənilir.

(4.2.7) ifadəsində (4.2.9) bərabərliyini nəzərə alsaq, aşağıdakı ifadəni alırıq.

$$-\int_{T_{min}}^{T_{max}} \left[\frac{T}{\gamma \ln 2} + \frac{\psi_0}{\psi'_{\lambda}} \right] dT = C \quad (4.2.10)$$

(4.2.10) ifadəsindən yekun olaraq yazmaq olar:

$$\gamma = -\frac{(T_{max}^2 - T_{min}^2)}{2 \ln 2 \left[C + \frac{\psi_0 (T_{max} - T_{min})}{\psi'_{\lambda}} \right]} \quad (4.2.11)$$

Beləliklə, (4.2.9) və (4.2.11) ifadələrindən alınmış nəticələrdən görüldüyü kimi, ψ'_{λ} - nın müsbət qiymətlərində axtarılan $\lambda(T)$ funksiyası T - nin xətti artan funksiyasıdır. $\lambda(T)$ funksiyası ψ'_{λ} - nın mənfi qiymətlərində T xətti azalan funksiyasına çevrilir.

Uyğun olaraq əgər işçi alt diapazon kimi ψ'_{λ} - nın müsbət qiymət aldığı 650-850 nm diapazon intervalını seçsək, sistem λ dalğa uzunluğunun T zamanı anında xətti artması şərtinin ödənilməsi halda optimal iş rejimi təmin olunur. Spektral ölçmələrin belə rejimi müxtəlif dalğa uzunluqlarında meşə massivinin ayrı-ayrı homogen sahələrinin tədqiqini təmin edir ki, bu da [106, s.8-17]-də göstərildiyindən fərqli olaraq, əksətmə spektrinin fasiləsiz alınan spektral qiymətlərindən istifadə etməklə meşə sahəsinin vegetasiya indekslərinin hesablanması üçün maksimal informasiya əldə etməyə imkan verir.

Beləliklə göstərilmişdir ki, meşə massivlərinin strukturu maili trayektoriya üzrə spektral ölçmələr aparmaqla tədqiq edildikdə, skan qurğusunun kadrında trapesiya tipli təhriflər yaranır ki, bu da sistemin ümumi iş sürətinin azalmasına gətirib çıxara bilər. Eynilə meşə örtüyünün strukturunun maili trayektoriya üzrə skanlanmasında spektral buraxma zolağı elektron üsulla tənzimlənən, yüksək buraxma əmsalına malik olan spektral maye-kristal süzgəclərdən istifadənin məqsədəuyğunluğu əsaslandırılmışdır. Bununla yanaşı məlum olmuşdur ki, meşə örtüyünün strukturunun bortdan maili skanlama sisteminin spektrometrinin çıxışında maksimum informasiya almaq məqsədi ilə çəkiliş müddəti ərzində süzgəclərin buraxma zolağının sətirlər üzrə fasiləsiz dəyişmə rejimini təmin etməklə və maye-kristal süzgəcin amplitud-spektral buraxma xarakteristikasının artan hissəsindən istifadə olunduqda sistemin işini optimallaşdırmaq mümkündür.

4.3. FAO-56 ekoloji modelin göstəricilərinin bort spektral ölçmə vasitələri ilə kalibrlənməsi metodikasının təkmilləşdirilməsi

Müxtəlif xarakterli irriqasiya işlərinə, həmçinin ətraf mühitin dinamik dəyişikliklərinə torpaqların və bitkilərin reaksiyasına (evapotranspirasiya) münasibətdə cari məkan və fəza məlumatlarını əldə etmək və FAO-56 ekoloji modelinin göstəricilərinin kalibrlənmə prosesinin uzunmüddətliyini aradan qaldırmaq üçün [45, s. 375-387], [21, s. 81-83] kənd təsərrüfatının hər bir sahəsində informasiya-ölçmə texnikasının müxtəlif vasitələrindən istifadə edilməsi zərurətini qarşıya çıxarır.

Göstəriləndiyi kimi [33,s.213-222], [56, s.6241-6255] bitkilərin bortdan tədqiqi əsasında əldə edilmiş spektral əksətmə ölçmələrinin nəticələri bitkilərin vəziyyət parametrlərinin qiymətini dolaylı yolla təyin etməyə imkan verir. Bu imkanı onunla izah etmək olar ki, həm FAO-56 modelinin transpirasiya əmsalı, həm də vegetasiya indeksləri bu və ya digər formada yarpaqların sahə indeksindən və qismən torpağın keçiriciliyi göstəricilərindən asılıdır [46, s.41-54].

İrriqasiya işlərinin düzgün planlaşdırılmasında inkişaf dövrü ərzində bitkinin hər bir günə görə faktiki evapotranspirasiyasının (buxarlanmasının) müəyyən edilməsi əsas şərtlərdən biridir. Sadə empirik yanaşma metodlarından başlayaraq daha mürəkkəb fiziki metodlara qədər mövcud metodlar, praktikada FAO-56 modelindən geri qalırlar. Belə ki, yalnız bu modeldə fenoloji (bitkilərin inkişafının mövsümi iqlimdən asılılığı) məlumatların və standart meteoroloji parametrlərin nəzərə alınması tələb edilir və bitkinin faktiki evapotranspirasiyasının münasib qiymətinin müəyyənləşdirilməsi təmin olunur. FAO-56 modeli yanaşması k_c bitki əmsalı ilə ET_0 evapotranspirasiyasının istinad qiymətinin kombinasiyasına əsaslanır.

Bitkinin evapotranspirasiyasının qiymətləndirilməsinin iki metodu mövcuddur [46, s.41-54]:

- bitkinin tək əmsalından istifadə;
- bitkinin ikili əmsalından istifadə.

Tək əmsaldan istifadə etdikdə, bitkinin transpirasiya əmsalı və torpağın buxarlanması vahid bir k_c əmsalı ilə xarakterizə olunur. İkili əmsalı isə bitkinin k_{cb} əsas əmsalını və k_e torpağın buxarlanma əmsalını özündə birləşdirir.

Beləliklə, FAO-56-da bitkilərin evapotranspirasiyasını hesablamaq və həmçinin, suvarma işlərinin planlaşdırılmasını həyata keçirmək üçün ikili yanaşmadan istifadə olunmuşdur. Bu yanaşma “ ET_0 -evapotranspirasiyasının istinad qiyməti” və k_c - “bitki əmsalı” kimi anlayışlardan istifadəyə əsaslanır. Bütün bunlar bitkinin reaksiya əmsalının tərkibində iqlim tələblərini müəyyənləşdirmək üçün ET_c - ə daxil edilmişdir, yəni

$$ET_c = (k_{cb} + k_e) \cdot ET_0 \quad (4.3.1)$$

kimi təqdim olunmuşdur.

Burada k_e - torpağın buxarlanmasını xarakterizə edən parametr, k_{cb} - stresin və torpağın buxarlanmasının olmadığı halda, bitkinin yaxşı suvarma şəraitində hesablanmış əsas əmsalıdır (bitkinin transpirasiyası).

Ümumi halda, torpağın buxarlanma əmsalı k_e yağışlardan və ya irriqasiya tədbirlərindən sonra öz maksimal qiymətinə çatır və torpağın səthi quru olduqda, buxarlanma baş vermədiyi hallarda isə sifira qədər azalır.

k_c əmsalı, normallaşdırılmış diferensial vegetasiya indeksi (NDVI) və torpağın təsirini nəzərə alan vegetasiya indeksi (SAVI) arasında qarşılıqlı əlaqələrin tədqiqinə bir sıra ədəbiyyatlar həsr edilmişdir [63,s.295-309], [114].

k_{cb} və NDVI əmsalları arasında qarşılıqlı əlaqəni ilk növbədə torpağın səthinin quru olması və bitkinin transpirasiyasının tam inkişafını təmin etmək məqsədilə suyun onun kökünə kifayət qədər yaxın olması şərtləri daxilində müəyyən etmək olar [36, s.13-14]. NDVI və LAI arasında eksponensial asılılıq mövcuddur [44, s.1-27], yəni

$$NDVI = NDVI_{max} - (NDVI_{max} - NDVI_{min}) e^{-a_1 \cdot LAI}. \quad (4.3.2)$$

Burada $NDVI_{min}$ və $NDVI_{max}$ uyğun olaraq bitkisiz və çox sıxbitkili torpaqları xarakterizə edən NDVI -nin minimal və maksimal qiymətləri, a_1 - empirik əmsalı $a_1 = 0,54$ qiymətini alır [12, s.53-56].

k_{cb} və NDVI arasında aşağıdakı asılılıq mövcuddur [44, s.41-54]:

$$k_{cb} = 1,07 \left[1 - \left(\frac{NDVI_{max} - NDVI}{NDVI_{max} - NDVI_{min}} \right) \right]^{0,84/a_1}. \quad (4.3.3)$$

Baxılan halda məqsəd LAI indeksi əsasında NDVI vegetasiya indeksinin hesablanması daha əlverişli praktiki əhmiyyətə malik metodlarının işlənilməsindən və transpirasiya (su miqdarı) əmsallarının hesablanması üçün yeni riyazi ifadələrin alınmasından ibarətdir .

Əvvəlcə indeksin dəyişikliyinə tam diapazonunun hesablanması üçün təklif olunan qrafoanalitik metodu şərh edək.

(4.3.2) ifadəsini aşağıdakı qaydada dəyişək:

$$NDVI_{max} - NDVI = (NDVI_{max} - NDVI_{min}) \exp(-a_1 \cdot LAI). \quad (4.3.4)$$

Aşağıdakı işarələmələri qəbul edək:

$$\overline{NDVI} = NDVI_{max} - NDVI, \quad (4.3.5)$$

$$NDVI_0 = NDVI_{max} - NDVI_{min}. \quad (4.3.6)$$

(4.3.5) və (4.3.6) ifadələrini nəzərə almaqla (4.3.6)-nı aşağıdakı şəkildə yazmaq:

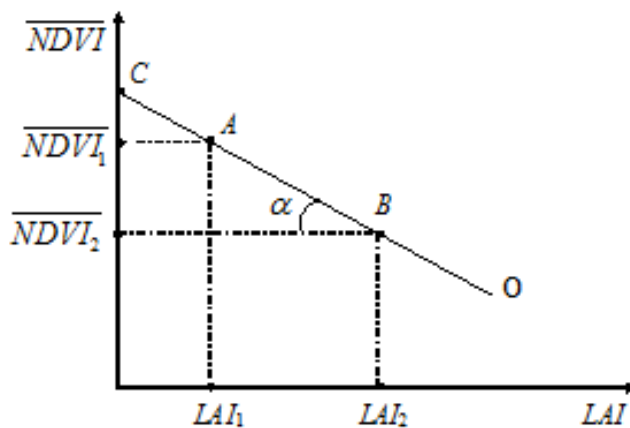
$$\overline{NDVI} = NDVI_0 \cdot \exp(-a_1 \cdot LAI). \quad (4.3.7)$$

(4.3.7) ifadəsinin sağ və sol tərəflərini loqarifmləsək, onda

$$\log \overline{NDVI} = \log NDVI_0 - a_1 \cdot LAI \quad (4.3.8)$$

olduğunu alırıq.

Tutaq ki, test sahələrində spektrometrik ölçmələr yolu ilə $(LAI_1, \overline{NDVI}_1)$ və $(LAI_2, \overline{NDVI}_2)$ cütlüklərinin qiymətləri müəyyən edilmişdir. \overline{NDVI} -nin LAI -dən asılılıq qrafikini quraq (qrafik 4.3.1).



Qrafik 4.3.1. \overline{NDVI} ifadəsinin LAI -dən qrafik asılılığı

(4.3.1) ifadəsinin konkret sahədə tətbiq edilməsi üçün ilk növbədə a_1 empirik əmsalının qiyməti müəyyən edilməlidir.

Bu əmsal şəkil 4.6-ya əsasən

$$a_1 = \text{arc tg} \left[\frac{\overline{NDVI}_1 - \overline{NDVI}_2}{LAI_1 - LAI_2} \right] \quad (4.3.9)$$

kimi təyin olunur.

Daha sonra k_{cb} əmsalının (4.3.5) düsturuna görə hesablanması üçün

$$\frac{NDVI_{max} - NDVI}{NDVI_{max} - NDVI_{min}} = \frac{\overline{NDVI}}{NDVI_0}$$

ifadəsinin qiymətini müəyyən edək.

Qeyd etmək lazımdır ki, $NDVI_{max} - NDVI_{min} = NDVI_0$ qiymətini təyin etməyin ən əlverişli yolu qrafoanalitik metoddur, bu da aşağıdakı kimi yerinə yetirilir:

Qrafik 4.3.1-də göstərilmiş AB düz xətt parçası $LAI = 0$ nöqtəsinə qədər ekstrapolyasiya edilir və ordinat oxuyla bu xəttin C kəsişmə nöqtəsi $\ln NDVI_0$ -nin qiymətini təyin edir. $NDVI_0 = e^{OC}$ -ni tapmaqla (OC qrafik 4.3.1-dəki xətt parçasının uzunluğudur) $NDVI_0$ qiymətini qrafoanalitik üsulla təyin etmək olar.

Beləliklə yuxarıda göstərilən qrafoanalitik metod əsasında (4.3.3) düsturu aşağıdakı şəkildə ifadə olunur:

$$k_{cb} = 1,07 \left\{ 1 - \left[\frac{\overline{NDVI}}{\exp(OC)} \right]^{0,84/a_1} \right\},$$

Burada a_1 (4.3.9) ifadəsindən təyin edilir.

k_{cb} əmsalının təklif edilən qrafoanalitik metodla hesablanması üstünlükləri aşağıdakılardan ibarətdir:

1. NDVI-nin minimal qiymətini hesablamağa ehtiyac duyulmur, bu isə hesablamaların ümumi həcmi azaldır.

2. *LAI* və *NDVI* indekslərinin qarşılıqlı əlaqəsini müəyyən edən empirik əmsalın dəqiq qiymətini təyin etmək üçün imkanlar yaranır.

Bununla da FAO-56 ekoloji modelinin göstəricilərinin bortdan spektral ölçmə vasitələri ilə kalibrənməsinin təkmilləşdirilmiş metodikası təklif edilmiş, bu metodikada *NDVI* -nin minimal qiymətinin təyin edilməsinin tələb olunmadığı, nəticədə hesablamaların ümumi həcmnin müəyyən qədər azaldığı göstərilmişdir. Həmçinin təklif edilmiş metodikada *LAI* və *NDVI* indekslərinin qarşılıqlı əlaqəsini müəyyən edən empirik əmsalın dəqiq qiymətini təyini üçün imkanlar da nəzərdən keçirilmişdir.

4.4. Qarışıq obyektlərin subpiksel miqyaslı multispektral ölçmələrinin optimallaşdırılması

Multispektral ölçü cihazları vasitəsilə eyni zamanda yüksək məkan ayırdetmə və kifayət qədər yüksək spektral ayırdetməyə malik məlumatların əldə olunması mürəkkəb məsələlərdən biridir. Yüksək spektral ayırdetmə qabiliyyətinə malik skaner tipli spektrometrin girişində siqnalın enerjisi məhdud olduğuna görə kifayət qədər yüksək məkan ayırdetməni əldə etmək praktiki olaraq qeyri-mümkündür. Bu halda kanalların seçimi tədqiq edilən obyektədən və qarşıya qoyulan tədqiqat məsələlərinin həllindən asılıdır. Təbii rənglərdə spektrometrik informasiyanın əks etdirilməsi bir çox hallarda aşağıdakı məqsədlər üçün istifadə olunur:

- obyektlərin səthinin müşahidəsi və bu obyektlərin göstəricilərinin tədqiqi;
- kənd təsərrüfatı rayonlarının xəritələşdirilməsi;
- buludluq zonalarının təsirinin aradan qaldırılması;
- su sahələrində buzlu səthlərin aşkar edilməsi.

Qeyd etmək lazımdır ki, praktikada multispektral kanallar özlərinin məxsusi xüsusiyyətləri ilə fərqlənirlər. Məsələn, optik diapazonda işığın aerosol hissəcikləriylə güclü səpələnməsi baş verdiyindən, göy kanal kölgəli sahələrdən informasiyanı qəbul etməyə imkan yaradır.

Buludların tədqiqində adətən göy və yaşıl kanallar istifadə olunur. Göy rəng bulud strukturunun məkan analizini yerinə yetirir. Su mühitinin monitorinqində bir çox hallarda göy rəngin yaşıl rəngə nisbəti istifadə olunur ki, bu da suyun keyfiyyətini və səthin yosunlarla çirklənmə dərəcəsini qiymətləndirmək üçün istifadə olunur. Neft ləkələrinin aşkar edilməsində göy və yaxın infraqırmızı (YİQ) diapazonun verilənləri əlverişli hesab olunur. Bitkilər adətən qırmızı və yaxın infraqırmızı diapazon verilənlərindən istifadə etməklə tədqiq olunur.

Məlum olduğu kimi multispektral bort aparatlarının bəzi növləri RGB kolorimetrik ölçmə kanallarına malikdirlər. Cədvəl 4.4.1 - də bir neçə multispektral ölçü cihazının əsas xarakteristikaları verilmişdir [97, s. 244-250].

Cədvəl 4.4.1

Bir neçə multispektral ölçü cihazının xarakteristikaları (P- polixromatik)

<i>Spektral diapazon</i>	<i>TM (ABŞ)</i>	<i>ATM (ABŞ)</i>	<i>AVNIR (Yaponiya)</i>	<i>Polder (Fransa)</i>	<i>MOMS (Almaniya)</i>	<i>DPA (Almaniya)</i>
<i>Göy</i>	<i>0,45-0,52</i>	<i>0,42-0,45 0,45-0,52</i>	<i>0,42-0,5</i>	<i>0,42-0,46P 0,42-0,46 0,47-0,51</i>	<i>0,44-0,505</i>	<i>0,44-0,525</i>
<i>Yaşıl</i>	<i>0,52-0,6</i>	<i>0,52-0,6</i>	<i>0,52-0,6</i>	<i>0,545-0,585</i>	<i>0,53-0,575</i>	<i>0,52-0,6</i>
<i>Qırmızı</i>	<i>0,63-0,69</i>	<i>0,605-0,625 0,63-0,69 0,695-0,75</i>	<i>0,61-0,69</i>	<i>0,65-0,69P</i>	<i>0,645-0,68</i>	<i>0,61-0,685</i>
<i>YIQ1</i>	<i>0,76-0,9</i>	<i>0,76-0,9</i>	<i>0,76-0,89</i>	<i>0,745-0,785 0,845-0,885</i>	<i>0,77-0,81</i>	<i>0,77-0,89</i>
<i>YIQ2</i>		<i>0,91-1,05</i>		<i>0,89-0,93</i>		

Cədvəldən göründüyü kimi baxılan bütün multispektral bort ölçü cihazları RGB kanallarına malikdirlər ki, bu da onların çoxfunksiyalılığını təsdiq edir.

Xüsusi halda ADS40 multispektral spektrometrinin kanalları aşağıdakı xüsusiyyətləri ilə səciyyələnirlər [97 s. 244-250]:

1. *Göy diapazonda (460 nm ± 30 nm) su sahələrində xlorofilin udulma xətti aydın indikasiya olunur.*

2. *Yaşıl zona (560 nm ± 25 nm) bitkilərin maksimal əksətdirməsi ilə xarakterizə olunur; həmçinin bu zonada su sahələrində xlorofili aşkar etmək mümkündür.*

3. Qırmızı diapazonda ($635 \text{ nm} \pm 25 \text{ nm}$) xlorofilin əksətdirməsinin ikinci spektral kanalı (650 nm) yerləşir;

4. Yaxın infraqırmızı diapazonun birinci zonası aşağıda göstərilən məsələləri həll etməyə imkan verir:

- bitki sahələrinin aşkar edilməsi və fərqləndirilməsi;
- biokütlənin təyin edilməsi;
- bitkinin sağlamlıq vəziyyətinin müəyyənləşdirilməsi;
- sahil zonalarının xəritələşdirilməsi;
- torpağın və bitkinin fərqləndirilməsi.

Bu bölmədə qeyri-bircins sahəni əhatə edən kombinə edilmiş (məsələn, bitki və torpaq və ya su və torpaq) piksellərdə siqnal / küy nisbətini hesablanması məsələlərinə baxılmışdır. CCD fotoqəbuledicisi əsasında yaradılmış skaner tipli spektrometrin çıxışında siqnal/küy nisbətini hesablamaq üçün qəbuledicilərdə generasiya olunan elektronların miqdarı aşağıdakı ifadə ilə təyin olunur [81, s. 1249-1251]:

$$n = \frac{\pi \cdot t_0}{\eta d^2} \cdot \cos^d \theta \cdot \int_{\lambda_0}^{\lambda_1} R(\lambda) \cdot T(\lambda) \cdot L(\lambda) d\lambda.$$

Burada t_0 - integrallama vaxtı (ms), d - optik göstərici, $\cos^d \theta$ - optik sistemin kölgələnməsi, R - fotodetektorun həssaslığı, T - optik sistemin buraxma əmsalı, L - sensorun ön tərəfindəki radiasiyadır.

Mənbə [97, s.244-250]-da ADS40 tipli spektrometr üçün n -in hesablanmış qiymətləri və siqnal/küy nisbətləri göstərilmişdir. Hesablamalar əsas parametrlərin aşağıdakı qiymətlərində aparılmış və 6S proqramı üzrə yerinə yetirilmişdir [117, s. 675-686].

- detektorun ölçüsü - $A = 6,5 \cdot 6,5 \mu\text{m}^2$;
- spektral diapazon - 460 nm, 560 nm; 635 nm; 730 nm; 860 nm;
- elektrik kanalının küyü - elektronlarda $o.k.m. = 150e^-$ (orta kvadratik meyl);
- istifadə olunan modelin tipi - yay modeli;
- aerosolun növü - şəhər tipli;

- görüntü dərəcəsi - 23nm;
- Günəşin zenit bucağı - 30°
- müşahidənin tipi - nadir bucağı altında;
- tədqiqat obyektləri - bitkilər, qum sahəsi, göl suları.

Hesablama nəticələri cədvəl 4.4.2-də göstərilmişdir.

Cədvəl 4.4.2

Bəzi təbii obyektlərin spektrometriki ölçmələrlə təyininə siqnal/küy nisbətini hesablanmış qiymətləri [97 s. 244-250]

Dalğa uzunluğu	Buraxılış zolağı	Bitki	Siqnal/küy	Qum	Siqnal/küy	Su	Siqnal/küy
0,46	0,06	7504	43	8055	46	6526	38
0,56	0,05	8547	48	9191	51	6307	37
0,635	0,05	5770	34	11396	61	5576	33
0,73	0,05	27332	122	14122	73	3242	20
0,86	0,05	31147	134	17068	85	1585	10
PAN		94567	276	81490	252	41458	163

Qeyd etmək lazımdır ki, ADS40 spektrometri modul tipli konstruksiyaya malikdir və üç panxromatik, dörd multispektral CCD tipli xətti qəbulediciləri özündə birləşdirir. İstifadə edilən xətti qəbuledicilər 12000 pikselə və hər bir piksel öz ünvan koduna malikdir.

Bununla belə, [97, s.244-250] -da aparılmış təhlil bir sıra çatışmamazlıqlara malikdir və bu çatışmamazlıqlara aşağıdakıları aid etmək olar:

1. [97, s.244-250] -da təklif edilən metodika subpiksel analizini keçirməyə imkan vermir, yəni bir piksel suyu və bitkini və ya bitkini və qumu və ya qumu və suyu qismən əhatə etdiyi hallara baxmağa imkan vermir.

2. Həmin metodika siqnal/küy nisbətini maksimal qiymətinin tapılması şərtlərinin optimallaşdırılmasına və ya bəzi məhdudiyyətlər çərçivəsində maksimal siqnalın tapılmasının optimallaşdırılmasına imkan vermir.

Bununla əlaqədar baxılan bölmədə subpiksel miqyasında mürəkkəb tərkibli obyektlərə münasibətdə qeyri-bircins obyektlərin multispektral ölçülmələrində əldə

edilən signal/küy nisbətini hesablamak üçün belə ölçmələrin optimallaşdırılmasını həyata keçirməyə imkan verən yeni hesablama metodikası təklif edilmişdir. Təklif edilən metodikanın mahiyyəti aşağıda əhatəli şərh olunmuşdur.

Subpiksel tipli mürəkkəb tərkibli obyekt nəzərdən keçirilir. Obyektin skanerlənməsi zamanı elektronların sayı - $n(\lambda)_{cn}$ aşağıdakı qaydada təyin edilir.

İlk növbədə qeyri-bircins subpiksel obyektlər skanerlənən zaman ilkin opto-elektron çeviricidə yaranan elektronların sayı aşağıdakı kimi hesablanır:

$$n(\lambda)_{cn} = \alpha_1 n(\lambda)_1 + \alpha_2 n(\lambda)_2. \quad (4.4.1)$$

Burada α_1, α_2 - çəki əmsalları, $n(\lambda)_1$ - birinci obyekt üçün hesabi elektronların sayı, $n(\lambda)_2$ - ikinci kanal üçün hesabi elektronların sayıdır.

(4.4.1) əsasında aşağıda göstərilən məhdudlaşdırıcı bərabərsizlikləri tərtib edək:

$$\alpha_1 \cdot n(\alpha_1)_1 + \alpha_2 \cdot n(\alpha_1)_2 \leq D_1; \quad D_1 = const, \quad (4.4.2)$$

$$\alpha_1 \cdot n(\alpha_2)_1 + \alpha_2 \cdot n(\alpha_2)_2 \leq D_2; \quad D_2 = const, \quad (4.4.3)$$

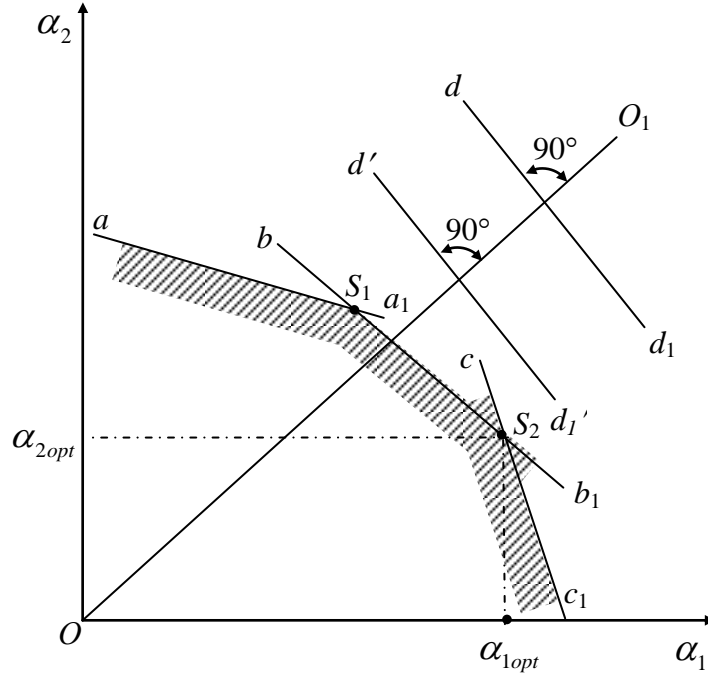
$$\alpha_1 \cdot n(\alpha_3)_1 + \alpha_2 \cdot n(\alpha_3)_2 \leq D_3; \quad D_3 = const. \quad (4.4.4)$$

Məqsəd funksiyası aşağıdakı qaydada tərtib edilmişdir:

$$F = \alpha_1 \cdot \sum_{i=1}^3 \psi_1(\lambda_i) + \alpha_2 \sum_{i=1}^3 \psi_2(\lambda_i) \rightarrow \max. \quad (4.4.5)$$

Burada $\psi_j(\lambda_i)$ - λ_i dalğa uzunluğunda j -ci ($j = \overline{1,3}$) obyekt üçün signal/ küy nisbətidir.

Qeyd etmək lazımdır ki, (4.4.2) - (4.4.3) tənlikləri xətti proqramlaşdırma üsulu ilə həll edilən optimallaşdırma məsələsinin əsasını təşkil edir. Baxılan məsələdə F -i maksimal qiymətə çatdırıa bilən α_1 və α_2 çəki əmsallarının tapılması tələb olunur. Xətti proqramlaşdırma üsulu ilə həll edilən optimallaşdırma məsələsinin qrafiki interpretasiyası qrafik 4.4.1-də göstərilmişdir.



Qrafik 4.4.1. Xətti proqramlaşdırma məsələsinin həllinin qrafik interpretasiyası: aa_1 , bb_1 , CC_1 - uyğun olaraq (4.4.2), (4.4.3), (4.4.4) bərabərsizlikləri ilə təyin olunan məhdudlaşdırıcı xətlər, OO_1 xətti $F = 0$ olduqda (4.4.5) ifadəsinə müvafiq mərkəzi xətt, dd_1 - dayaq müstəvinin oturacağı, d_1d_1' - sürüşdürülmüş dayaq müstəvinin oturacağı, S_1 və S_2 - düyün nöqtələri, α_{1opt} və α_{2opt} - optimallaşdırma məsələsinin həlli

Normallaşdırılmış çəki əmsallarına keçid məsələlərinə baxaq. (4.4.5) tənliyini aşağıdakı kimi yazaq:

$$F_n = \frac{F}{\alpha_1 + \alpha_2} = \frac{\alpha_1}{\alpha_1 + \alpha_2} \cdot \sum_{i=1}^3 \psi_1(\lambda_i) + \frac{\alpha_2}{\alpha_1 + \alpha_2} \cdot \sum_{i=1}^3 \psi_2(\lambda_i) = \beta_1 \cdot \sum_{i=1}^3 \psi_1(\lambda_i) + \beta_2 \cdot \sum_{i=1}^3 \psi_2(\lambda_i). \quad (4.4.6)$$

Burada $\beta_1 = 1 - \beta_2$ şərti ödənilir.

(4.4.6) tənliyindən görüldüyü kimi,

$$F = (\alpha_1 + \alpha_2) \cdot F_n, \quad (4.4.7)$$

bərabərliyi ödənilir, yəni α_{1opt} və α_{2opt} olduğu halda, F -in maksimum şərti F_n -ə tətbiq oluna bilməz.

Çəki əmsallarının tətbiqiylə xətti proqramlaşdırma metodu əsasında optimallaşdırmanın təklif edilən proseduru aşağıdakılardan ibarətdir:

1. (4.4.2) – (4.4.4) bərabərsizliklərinin normallaşması həyata keçirilir. Nəticədə aşağıdakı ifadələri yaza bilərik:

$$\beta_1 \cdot n(\lambda_1)_1 + \beta_2 \cdot n(\lambda_1)_2 \leq \frac{D_1}{\alpha_1 + \alpha_2} = D'_1, \quad (4.4.8)$$

$$\beta_1 \cdot n(\lambda_2)_1 + \beta_2 \cdot n(\lambda_2)_2 \leq \frac{D_2}{\alpha_1 + \alpha_2} = D'_2, \quad (4.4.9)$$

$$\beta_1 \cdot n(\lambda_3)_1 + \beta_2 \cdot n(\lambda_3)_2 \leq \frac{D_3}{\alpha_1 + \alpha_2} = D'_3. \quad (4.4.10)$$

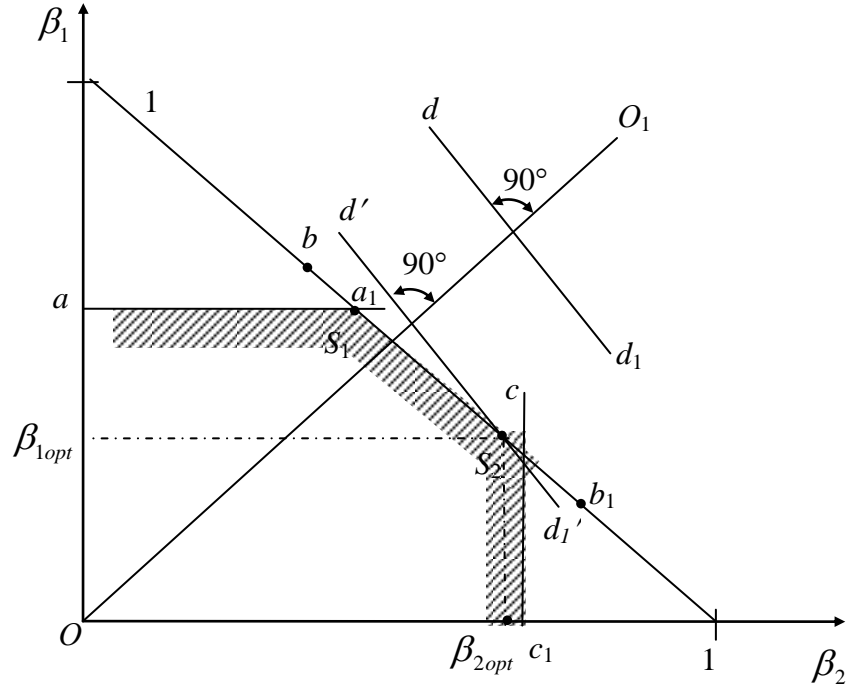
2. Əsasını (4.4.6), (4.4.8) (4.4.9) (4.4.10) tənlikləri təşkil edən yeni xətti proqramlaşdırma məsələsi həll edilir.

3. Xətti proqramlaşdırmanın yeni məsələsinin həlli zamanı $\beta_1 + \beta_2 = 1$ şərti nəzərə alınmalı, yəni β_{1opt} və β_{2opt} -in istənilən qiymətləri qrafikdə göstərilmiş əlavə $\beta_2 = 1 - \beta_1$ düz xətti üzərində yerləşməlidir.

4. D'_1, D'_2 və D'_3 qiymətlərinə elə düzəlişlər edilməlidir ki, bütün düyün kəsişmə nöqtələri $\beta_2 = 1 - \beta_1$ xətti üzərində yerləşsin. Xüsusi halda, $D'_2 = n(\lambda_2)_1 = n(\lambda_2)_2$ olduqda, yalnız D'_2 -ni dəyişdirməklə buna nail olmaq olar.

Çəki əmsalları ilə optimallaşdırma məsələsinin həllinin qrafik təsviri qrafik 4.4.2-də göstərilmişdir.

Beləliklə, göstərilmişdir ki, subpiksel miqyaslı multispektral ölçmə sisteminin effektivliyinin artırılması məsələsini iki modifikasiyada - xətti proqramlaşdırma metodu əsasında və normallaşdırılmış və normallaşdırılmamış əmsalların tətbiqi ilə həll etmək olar.



Qrafik 4.4.2. Optimallaşdırma məsələsinin çəki əmsalları ilə həllinin qrafik təsviri: **1** - funksiyanın qrafiki ($\beta_2 = 1 - \beta_1$); aa_1, bb_1, CC_1 - uyğun olaraq (4.49), (4.50), (4.51) şərtlərini ödəyən məhdudlaşdırıcı xətlər; OO_1 - (4.47) ifadəsini $F = 0$ nöqtəsində əks etdirən mərkəzi xətt; dd_1 - dayaq səthinin əsası; d_1d_1' - qarışıq dayaq səthinin əsası; S_1, S_2 - 1 xəttinin düyün nöqtələri; β_{1opt} və β_{2opt} - çəki əmsallarının optimal qiyməti ($F_n \rightarrow \max$)

Bununla belə, normallaşdırılmış çəki əmsalı tətbiq edilən məsələnin həlli zamanı, bütün kəsişmə nöqtələrinin $\beta_2 = 1 - \beta_1$ düz xətti üzərində yerləşməsini tələb edən xüsusi məhdudlaşdırıcı şərtin dəqiq seçilməsi vacibdir.

Bununla da aydın olur ki, ADS40LH Systems multispektrometrinin eksperimental ölçmə materiallarının analizi bu qurğunun müxtəlif obyektlərin bir piksel həcmində, subpiksel miqyasında ölçmə rejiminin optimallaşdırılmasına imkan verir. Deyilənlər nəzərə alınmaqla həmin qurğunun işinin xətti proqramlaşdırma metodu əsasında normallaşdırılmış və normallaşdırılmamış əmsallardan istifadə etməklə optimallaşdırılmasının mümkünlüyü göstərilmişdir.

4.5. Maye-kristal süzgəclərdən informasiya-ölçmə sistemlərində istifadənin səmərəliliyinin analitik-eksperimental qiymətləndirilməsi

Spektroskopik analiz biologiya və tibb elmində hiperspektral təsvirlərin formalaşdırılmasında və bir çox digər sahələrdə vacib rol oynayır. Spektroskopik qurğuların spektral diapazonu, ayırdetmə qabiliyyəti, signal/küy nisbəti, həssaslığı kimi göstəriciləri onların əsas keyfiyyət və kəmiyyət göstəriciləri hesab edirlər. Spektral kanalların formalaşdırılması müxtəlif qurğular, o cümlədən, tənzimlənən və tənzimlənməyən süzgəclər, dispersiya prizmaları, difraksiya qəfəsləri və s. vasitəsilə həyata keçirilir [121, s. 929-938].

Tənzimlənə bilən süzgəclərdə spektral buraxma göstəriciləri gərginlik tətbiq etməklə elektron yolla dəyişdirilə bilər. İdeal tənzimlənə bilən süzgəclər aşağıdakı xüsusiyyətlərə malik olmalıdır [61, s. 50-64], [122, s. 48-52]:

- tənzimləmə müddətinin minimal olması;
- spektral buraxma zolağından kənarında minimal buraxma qabiliyyəti;
- minimal fiziki qalınlıq;
- az enerji sərfi;
- polyarlaşmaya qarşı qeyri-həssaslıq;
- spektral kanalların seçilə bilməsi;
- ətraf mühit faktorlarına qarşı qeyri-həssaslıq;
- daxil olan işığın düşmə bucağına qarşı qeyri-həssaslıq;
- spektral diapazonun genişliyi;
- spektral kanalların sabitliyi;
- spektral kanalların ixtiyari kombinasiyada seçilə bilmə imkanı və s.

Bu tələblərə maye-kristal və akusto-optik süzgəclər müəyyən dərəcədə cavab verirlər. Baxılan halda maye-kristal süzgəclərin tətbiqi və spektral informasiya-ölçmə sistemlərində istifadə edilməsi məsələləri araşdırılmışdır.

Maye-kristal süzgəclər və ya Layot süzgəcləri polyarizator və tənzimlənə bilən gecikdirici maye-kristal lövhələrdən ibarətdir. Bu qurğularda çevirmə müddəti kristalın relaksasiya müddəti ilə məhdudlanır və 50 msan tərtibindədir. Hal-hazırda

çevirmə müddəti 5 msan olan qurğular mövcuddur. Maye-kristal süzgəclərin spektral ayırdetmə qabiliyyəti tipik olaraq bir neçə nanometr təşkil edir.

Dalğa uzunluğu 1,7 mkm olan spektral oblastda In Ça As tipli fotoçeviricisi olan kameralardan, qısa infraqırmızı oblastda HgCdTe və ya In Sb tipli kameralardan, orta və uzun infraqırmızı oblastda In Sb və ya HgCdTe tipli fotoçeviricilərdən istifadə edilməlidir [61, s. 50-64].

Bu cür sistemlərdə spektral tədqiq edilən obyektlərin düzgün işıqlandırılması vacib məsələlərdən biridir. Belə ki, közərmə lampalarının spektri “göy” oblastda zəif, yaxın infraqırmızı oblastda güclüdür. Öz növbəsində yükəlaqəli fotoçeviricilərin Kvant effektivliyi “göy” oblastda zəif, “qırmızı” oblastda güclüdür. Digər tərəfdən, elektron idarə edilən maye-kristal süzgəclərdə də ötürmə əmsalı “göy” oblastda kiçik, yaxın infraqırmızı oblastda yüksəkdir. Deməli bütün bu faktorlar nəticəsində “göy” oblastda xeyli zəifləmiş siqnal alınır [61, s.50-64]. Bu çatışmazlığı aradan qaldırmaq üçün obyektin işıqlandırılması məqsədilə Xe işıq mənbələrindən istifadə edilməsi məqsədəuyğun hesab edilir. Bu çatışmazlıq “göy” oblastda ekspozisiya müddətinin artırılması yolu ilə aradan qaldırıla bilər, belə ki, siqnal/küy nisbəti (SNR) ilə t ekspozisiya müddəti arasında $SNR \approx t^{\frac{1}{2}}$ asılılığı mövcuddur.

Lakin bu halda “qaranlıq” cərəyanı xeyli kiçik olan yükəlaqəli cihazdan istifadə edilməlidir. Lakin dinamik səhnələrin tədqiqində bu üsul o qədər yararlı hesab edilmir.

Mənbə [30]-də göstərildiyi kimi maye-kristal süzgəclərlə bağlı bir sıra elektro-optik effektlər mövcuddur ki, bunların da əsasında tənzimlənə bilən filtrlər bir çox sahələrdə öz tətbiqini tapmışdır. Məsələn, displeylərdə [100, s.3266-3271], [102,s.98-105], [105, s. 2301-2312], biotibbi təsvir formalaşdırıcı qurğularda [103, s.929-938], hiperspektral təsvir formalaşdırıcılarında [38, s.5421-5441],[50,s. 50-64], [84, s.354-365], telekommunikasiya vasitələrində [62, s. 307-312], Raman spektroskopiyasında [86, s.697-819] və flüoressent mikroskoplarda [40, s. 955-977] maye-kristal süzgəclərdən istifadə edilir. Tənzimlənə bilən maye-kristal süzgəclərin üstünlükləri hazırlanmasının sadəliyi, kiçik gərginlik mənbəyi ilə işləməsi, yüksək

çevirmə sürəti və kompakt ölçülərə malik olması ilə xarakterizə olunur. Belə süzgəclər həm nematik maye-kristallar, həm də ferroelektrik tipli maye-kristal əsasında [18÷20] qurulurlar. Nematik maye-kristallarda reaksiya müddəti kiçik bir an - millisaniyə qədər, ferroelektrik maye-kristallarda isə reaksiya sürəti daha yüksək olur. Maye-kristal iki elektrod arasında yerləşdirilir və bu elektrodlara elektrik signalı verildikdə şəffaflaşır. Bu proses tam daxili əksetmənin pozulması effekti adlanır. Bu zaman maye kristalın molekullarının səmtlənmə istiqaməti maddənin dielektrik anizotropiyasının fərqi ilə işarəsindən asılıdır. Maye kristalın dielektrik anizotropiyası $\alpha = \epsilon_p - \epsilon_n$ kimi hesablanır ki, burada ϵ_p və ϵ_n maye kristalın molekulun əsas səmtinə paralel və perpendikulyar istiqamətlərdə dielektrik nüfuzluqlarıdır. Müxtəlif məqsədlər üçün üç növ maye kristaldan istifadə edilir - smektik, nematik və xolesterik. Bunlarda müvafiq olaraq, dinamik səpələnmə effekti, tvist effekti, “sahib-qonaq” effekti və digər elektro-optik effektlər istifadə edilir. Spektral təsvirləri formalaşdıran sistem və qurğularda maye-kristal süzgəclərdən istifadə sistemin optimal konfigurasiyasının seçilməsi ilə əlaqədardır. Buraya kameranın düzgün seçilməsi, optik qurğuların, məlumat emalı vasitələrinin və proqram təminatının inteqrasiyası məsələləri daxildir. Maye-kristal süzgəcin Milli Aerokosmik Agentliyində və dünyanın bir sıra digər elmi təşkilatlarında hazırlanmış spektral ölçmə cihazlarında tətbiqi məsələlərini nəzərdən keçirək.

Qeyd edilməlidir ki, 2008 - 2012- ci illərdə Milli Aerokosmik Agentliyinin (MAKA) Təbii Ehtiyatların Kosmik Tədqiqi İnstitutunda və Elmi-Tədqiqat Aerokosmik İnformatika İnstitutunda atmosferin tədqiqi üçün bir sıra spektral qurğular, o cümlədən spektrometrlər, günəş fotometrləri, ozonometrlər, pıranometrlər yaradılmışdır. Bu qurğularda və həmçinin onların analoqları olan bir sıra xarici spektrometrik qurğularda maye-kristal süzgəclərin tətbiqi imkanlarını nəzərdən keçirək.

MAKA-da yaradılmış aerosol ölçmələrinin texniki vasitələr sistemi atmosfərə atılan anomal ziyanlı tullantıların aşağıda göstərilən optik parametrlərinin aşkar edilməsi, onların kəmiyyətcə qiymətləndirilməsi üçün nəzərdə tutulmuşdur:

- anomal xırdadispers aerosolların konsentrasiyası;

- anomal iridispers aerzolların konsentrasıyası.

Göstərilən anomal konsentrasıyalar texnogen qəzalar, anomal təbii hadisələr, həmçinin məqsədyönlü düşmən aksiyaları və ya irimiqyaslı hərbi münaqişələr zamanı partlayış və yanğınlar nəticəsində yarana bilər.

Atmosferin tədqiqi sisteminin tərkibinə daxildir:

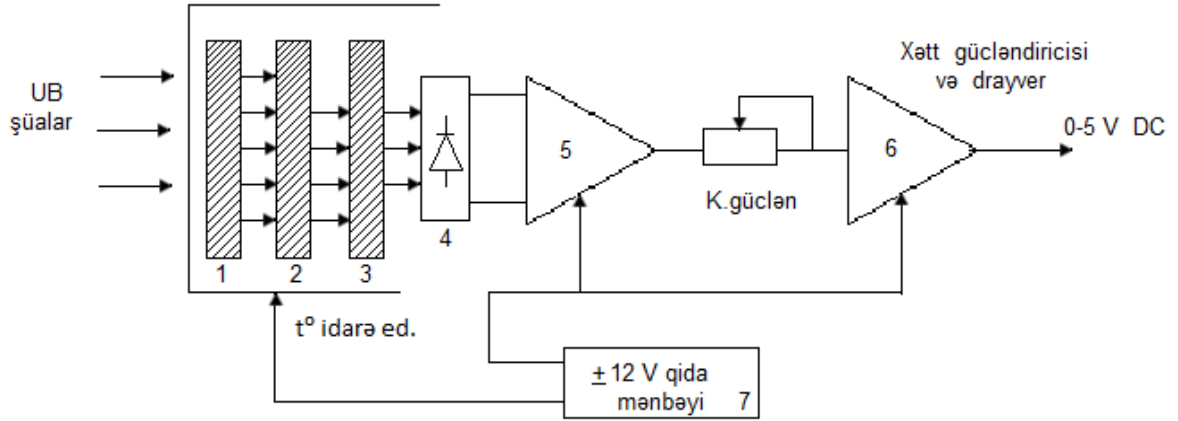
- piranometrlər (UB diapazona və geniş diapazona malik);
- günəş fotometri (beş kanallı);
- informasiyanın emalı bloku.

Aşağıda MAKA-da yaradılan eksperimental piranometr nümunəsi barədə, həmçinin onun yaxın analoqu – UB diapazonlu VVB-I və UVA-I [25] (Yankee Environmental Systems, Inc., USA) [48] piranometrləri haqqında qısa məlumatlar verilmişdir.

Qeyd etmək lazımdır ki, VVB-I və UVA-I piranometr modelləri dəqiq meteoroloji alətlərdir və Günəş radiasiyasının bioloji təhlükəli UF-B və UF-A oblastlara düşən radiasiyasının ölçülməsi üçün nəzərdə tutulmuşdur.

Bu cihazların iş prinsipi rəngli şüşə süzgəclərin və yüksək stabilliyə malik UF-həssas flüoressent fosforun istifadəsinə əsaslanır. O, Günəş şüalarının spektrin görünən oblastından keçməsinə qadağan edir, UB Günəş şüalarını görünən işığa çevirir və öz növbəsində bərk cisim tipli fotodedektor vasitəsilə ölçülür. Hər iki cihaz səma yarımsferasından üfüq müstəvisində qəbul edilən qlobal Günəş radiasiyasını ölçür. Qlobal radiasiya atmosferdən birbaşa keçən işıq şüalarından, atmosfer qazlarından və atmosfer aerosolu tərəfindən səpələnən işıqdan ibarətdir. Günəş radiasiyasının görünən hissəsindən fərqli olaraq, spektrin UB hissəsi üçün səpələnən UV radiasiya həmin oblastda qlobal radiasiyanın əsas hissəsi bəzi hallarda isə üstünlük təşkil edən komponentidir. UVA-I tipli piranometr hər iki komponentin etibarlı ölçülməsini təmin edir. UVA-I modeli Günəş spektrini həm UV-B (280-320nm), həm də UV-A (320-400nm) oblastında ölçür, piranometrin çıxışında əsasən UV-A oblastının siqnalı əmələ gəlir, çünki Günəşin UV-A radiasiyası Günəş UV-B radiasiyasından təqribən 100 dəfə güclüdür.

UVB-I piranometrinin blok sxemi şəkil 4.5.1-da göstərilmişdir.

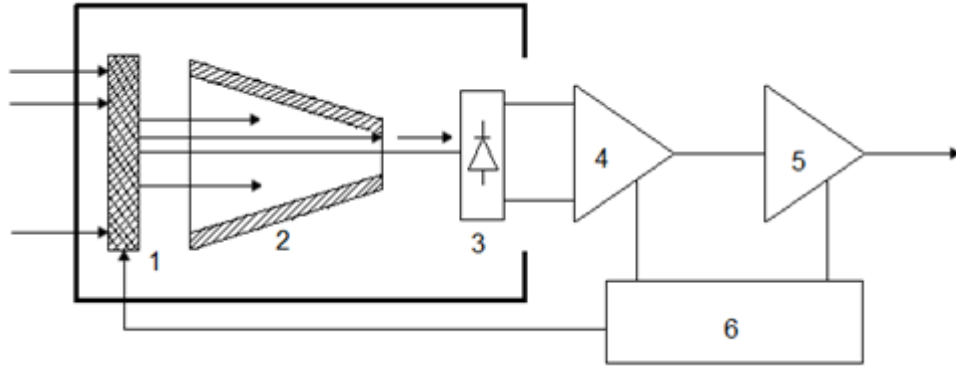


Şəkil 4.5.1. UVB- piranometrinin blok-sxemi: 1 – UB filtri, 2 – UV-B fosforu; 3 – yaşıl işığı buraxan süzgəc, 4 – fotoqəbuledici, 5 – aralıq gücləndiricisi, 6 – xətti-gücləndirici drayveri, 7 – qida mənbəyi

UVB-I piranometrinin iş prinsipi qısaca olaraq aşağıdakı kimidir:

Həm birbaşa, həm də səpələnən Günəş radiasiyası yalnız UB radiasiyanı buraxan qoruyucu qapaqdan keçir. Görünən işıq qırmızı işığın kiçik bir hissəsi istisna olmaqla UB şüaları buraxan qara şüşədən ibarət birinci süzgəc tərəfindən udulur. Bu süzgəcdən keçən işıq şüaları UV-B - yə həssas fosfora təsir edir. Bu material UV-B işığını udur və onu görünən işığa, əsasən də yaşıl işığa çevirir. İkinci, yaşıl rəngli şüşə süzgəc süzgəcin yaşıl işığını buraxır, lakin qırmızı işığın qabağını kəsərək onun keçməsinə imkan vermir. Flüoressent işığın intensivliyi qəbuledici fotodiod vasitəsilə ölçülür (GaAsP).

Universal piranometr yaradılmasından əvvəl bu cihazın analizi göstərdi ki, onun əsas çatışmayan cəhəti konstruksiyada fosfordan istifadə edilməsidir. Onun çevirmə əmsalı zaman və temperaturun qeyri-stabilliyi ilə müəyyənləşdiyi üçün struktur sxemi köklü dərəcədə dəyişdirilmiş, ona maye-kristal süzgəc daxil edilmişdir (şəkil 4.5.2).



Şəkil 4.5.2. Piranometrin təklif edilən struktur sxemi: 1 – maye-kristal süzgeç (280-320 nm), 2 – fokon, 3 – UF fotoqəbuledici, 4 – aralıq gücləndiricisi, 5 – çıxış gücləndiricisi, 6 – idarə qurğusu

Yuxarıda göstərilən iki piranometrin parametrlərinin müqayisəli cədvəl 4.5.1 - də göstərilmişdir.

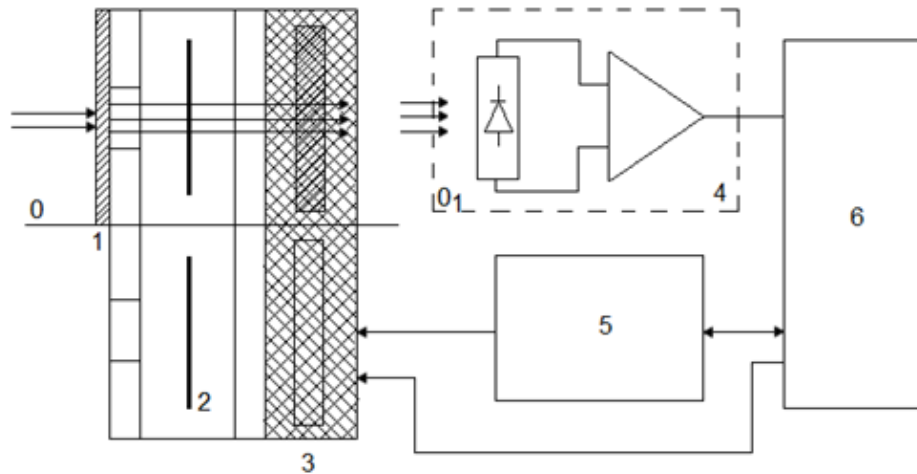
Cədvəl 4.5.1

Piranometr göstəricilərinin müqayisəsi

Piranometr	UVB-I	MAKA-nın piranometri
Spektral oblast	280-320 nm	280-1500 nm 280-320 nm 320-360 nm 360-400 nm
Günəşin zenit bucağından asılı olaraq siqnalın qeyri-müntəzəmliyi	$z = 0-60^\circ$ olduqda, 5%-dən yaxşı	—
Həssaslıq	$2,0 \text{ Vt}\cdot\text{m}^{-2} / \text{V}$	$2,0 \text{ Vt}\cdot\text{m}^{-2} / \text{V}$
Vericinin aktiv sahəsi	$\varnothing 2,54 \text{ sm}$	$\varnothing 2,3 \text{ sm}$
Çəkisi	1kq	1,3kq
İstifadə edilən enerji	$\pm 12 \text{ V}; 5 \text{ mA}$	$\pm 12 \text{ V}; 5 \text{ mA}$
Analoq çıxışı	0-4 V	0-4 D
Reaksiya müddəti	100 msan	100 msan

Cədvəl 4.5.1-də göstərilən verilənlərdən görüldüyü kimi MAKA-da yaradılan piranometrin üstünlüyü onun çoxdiapazonlu olmasıdır ki, bu da qurğunun girişində quraşdırılmış dəyişdirilə bilən süzgeçlərin maye-kristal süzgeçlə əvəz edilməsi ilə əldə olunmuşdur. MAKA-da işlənmiş aerosol ölçmələr sistemində süzgeç növlü Günəş

fotometri də daxildir. İşlənmiş fotometrə ən oxşarı Yankee Environmental Systems, Inc., (ABŞ) istehsalı olan SPUX-6/10 UV Sun Photometr [109] Günəş fotometridir.



Şəkil 4.5.3. MAKA-nın Günəş fotometrinin struktur sxemi: 1 – qoruyucu işıq süzgəcli giriş pəncərəsi, 2 – işıq axınının mexaniki modulyatoru, 3 – maye-kristal süzgəc, 4 – fotoqəbuledici və gücləndirici, 5 – dayaq fırlanma qurğusu, 6 – prosessor

SPUX-6/10 fotometri UB və görünən diapazonlarda birbaşa Günəş ölçmələrini yerinə yetirən süzgəcli spektrometrdir. Ölçmələr aparılan ümumi kanalların sayı qurğunun modifikasiyasından asılı olaraq 6-dan 10-a kimi dəyişir. Qurğu atmosferin tutqunluğunu, ozonun, su buxarının və NO_2 -nin ümumi miqdarını ölçmək üçün nəzərdə tutulmuşdur. MAKA -nın Günəş fotometrinin struktur sxemi şəkil 4.5.3-də göstərilmiş və əsas göstəriciləri sistemli təqdim edilmişdir (cədvəl 4.5.2).

Qeyd edilməlidir ki, maye-kristal süzgəclərin spektral kanalları cəld çevirmə xüsusiyyəti Günəş fotometrlərinin kalibrasiya dəqiqliyinin artmasına imkan verə bilən potensial faktordur.

Günəş fotometrinin əsas göstəriciləri

Parametr	Qiyməti
1. Ölçmə xətalari:	
- aerosol;	±10%
- metan;	±20%
- H ₂ O;	±20%
- CO ₂ ;	±20%
- ozon	±20%
2. Spektral diapazonlar; λ, mkm	
- aerosol;	0,38 – 1,5 mkm
- metan;	3,24
- H ₂ O;	0,94
- CO ₂ ;	4,2 – 4,4
- ozon	9,8

Məlumdur ki, Günəş şüalanması ilə əlaqədar olan bir sıra meteoroloji məsələlərin həllində piranometrlərdən, pirligeliometrlərdən, həmçinin Günəş fotometrlərindən geniş istifadə edilir. Bununla əlaqədar olaraq bu cihazların meteoroloji təminatı ilə yanaşı, onların kalibrlənməsi məsələləri də ortaya çıxır. Bu cihazlar yuxarıda göstəriləyi kimi sadə və məlum struktura malikdirlər ki, bu da onların kalibrlənməsinin vahid prosedurundan istifadə etməyə imkan verir. Qeyd edək ki, hələ də Lenqli diaqramı informasiya-ölçmə sistemlərinin yerüstü ölçmə vasitələrinin əsas kalibrləmə metodu olaraq qalmaqdadır. Qısaca olaraq bu metodun mahiyyətini nəzərdən keçirək. İlk növbədə qeyd edək ki, bu metod Buger-Ber qanununa əsaslanır və ümumi halda aşağıdakı şəkildə ifadə olunur:

$$I(\lambda) = I_0 e^{-m\tau_{atm}} \quad (4.5.1)$$

Burada $I(\lambda)$ – λ dalğa uzunluğunda fotometrin girişində Günəş işığının intensivliyi, m – havanın kütləsi, τ_{atm} – atmosferin optik sıxlığıdır və UB diapazonda

$$\tau_{atm} = \tau_{oz} + \tau_{rel} + \tau_{aer} \quad (4.5.2)$$

kimi təyin edilir.

Burada τ_{oz} – ozonun optik sıxlığı, τ_{rel} – Reley səpələnməsinin optik sıxlığı, τ_{aer} – aerosolun optik sıxlığıdır.

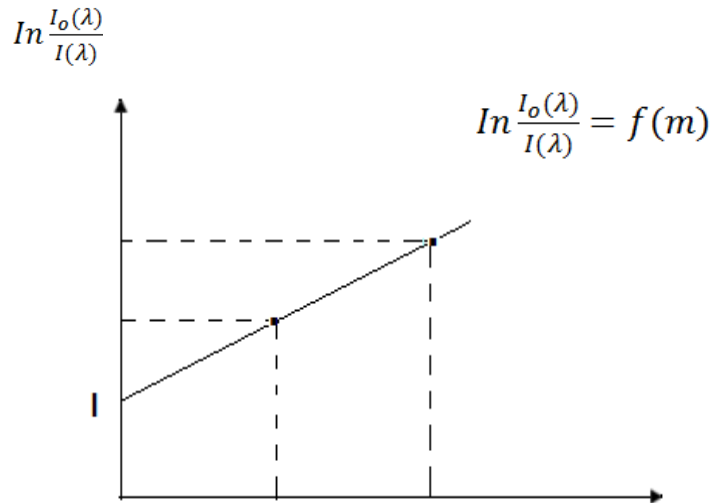
Lenqli metoduna uyğun olaraq (4.52) ifadəsi aşağıdakı kimi yazılır:

$$\ln \frac{I_0(\lambda)}{I(\lambda)} = m\tau_{atm} . \quad (4.5.3)$$

Bundan sonra $\ln \frac{I_0(\lambda)}{I(\lambda)}$ – in m-dən asılılıq qrafiki qurulur (qrafik 4.5.1).

Lenqli diaqramının qurulmasının ümumi qaydası aşağıdakı kimidir:

1. Günəşin θ_1 və θ_2 müşahidə bucaqlarına uyğun olaraq m hava kütləsinin iki qiyməti, yəni m_1 və m_2 üçün $\ln \frac{I_0(\lambda)}{I(\lambda)}$ qiymətləri hesablanır.
2. m_1 və m_2 qiymətlərindən istifadə etməklə $\ln \frac{I_0(\lambda)}{I(\lambda)} = f(m)$ funksiyasının qrafiki qurulur.
3. Göstərilən funksiyanın qrafiki $m=0$ nöqtəsinə qədər ekstrapolyasiya edilir ki, həmin nöqtədə də qrafik ordinat oxu ilə kəsişir.
4. Fotometrin “giriş-çıxış” asılılığının xəttiliyi nəzərə alınmaqla hesab edirik ki, $m=0$ nöqtəsində fotometrin çıxış siqnalı $I(\lambda) = I_0(\lambda)$ kimi müəyyənləşdirilə bilər.



Qrafik 4.5.1. Lenqli diaqramının qurulması ardıcılığının qrafik təqdimatı

Yuxarıda təsvir olunan Lenqli diaqramının əsas çatışmazlığı ondan ibarətdir ki, atmosferin optik sıxlığının zamana görə dəyişməsi fotometrlərin kalibrlənməsi nəticələrinin qeyri-stabilliyinə səbəb olur.

Bu metodun bir neçə modifikasiyası mövcuddur. Məsələn mənbə [110]-də diaqramın

$$\frac{\ln I}{m} = \frac{\ln I_0}{m} - \tau \quad (4.5.4)$$

düsturu üzrə qurulması təklif olunur, yəni

$$\frac{\ln I}{m} = f\left(\frac{1}{m}\right) \quad (4.5.5)$$

qrafiki qurulur.

Bu halda görmək olar ki, “qısa” Lenqli diaqramları halında ($m_{\text{mar}}=3$) Lenqli metodu və [37, s.208-221]-də təklif edilən alternativ metod ekvivalentdir. Lakin “uzun” diaqramlar halında ($m_{\text{max}}=8$) bu iki metod arasındakı fərq xeyli artır. Yüksək tezlikli atmosfer fluktuasiyalarında alternativ metod daha üstündür, lakin aşağı tezlikli atmosfer fluktuasiyalarında klassik Lenqli metodu alternativ metoddan bir qədər əlverişlidir. Fluktuasiyaların tezliyi $0,6 \text{ saat}^{-1}$ olduqda isə hər iki metod ekvivalentdir.

Ümumiyyətlə, Lenqli kalibrasiya metodu bir dalğa uzunluğunda yerinə yetirilməli olan prosedurdur. Bununla belə, Günəş fotometrlərindən NASA-nin Maona-Loa – da yerləşən kalibrasiya laboratoriyasında bir neçə dalğa uzunluğunda istifadə edilir. Bu laboratoriya yüksək dağlıq ərazidə yerləşdiyindən havada aerosolun optik qalınlığı çox az olduğu üçün süzgəclərin dəyişdirilməsinə və təkrar ölçmələrin aparılmasına sərf edilən vaxt ərzində aerosolun optik qalınlığı demək olar ki, dəyişmir. Lakin əgər Günəş fotometrləri şəhər şəraitində kalibrasiya edilirsə, deyilən bir neçə saniyə ərzində havanın optik qalınlığı 10% -ə qədər dəyişə bilər ki, bu da əsasən küləyin intensivliyi ilə izah olunur. Kalibrasiya prosedurunun bu cür dinamik xətasını aradan qaldırmaq üçün maye-kristal süzgəclərdən istifadə ideal həll kimi nəzərdən keçirilə bilər. Belə ki, həmin qurğularda bir dalğa uzunluğundan

digərinə keçid bir neçə mikrosaniyə ərzində baş verir və deyilən dinamik xəta yaranmır.

IV fəslin nəticələri

1. Bitkinin su tərkibinin (PWC) təyin edilməsində iki müxtəlif spektrometrik metodların paralel istifadəsindən yaranan qeyri-müəyyənliyin ekstremal xüsusiyyətə malik olan yeni ekvivalent əmsal daxil etməklə aradan qaldırılmasının mümkünlüyü göstərilmişdir. Bu halda qeyd edilmişdir ki, *PWC* kalibrənmə qiymətini *Z* parametrinin ekstremal qiyməti nəzərə alınmaqla, bitkinin quru çəkisinin nəzarət ölçüsünü isə *PWC* kalibrənmə qiyməti əsasında təyin etmək olar.

2. Meşə örtüyünün strukturunun maili trayektoriya üzrə hərəkət edən sistemlərlə müəyyənləşdirilməsində, buraxma zolağı elektron üsulla tənzimlənən, yüksək buraxma əmsalına malik olan spektral maye-kristal süzgəclərdən istifadənin məqsədəuyğunluğu əsaslandırılmışdır. Eynilə göstərilmişdir ki, çıxışda maksimum informasiya almaq üçün kadr müddəti ərzində süzgəclərin buraxma zolağının fasiləsiz dəyişməsi rejimini təmin etməklə və maye-kristal süzgəcin amplitud-spektral buraxma xarakteristikasının artan hissəsindən istifadə etməklə sistemin işini optimallaşdırmaq mümkündür.

3. FAO-56 ekoloji modelinin göstəricilərinin məsafədən zondlama vasitələri ilə kalibrənməsinin *NDVI* -nin minimal qiymətinin təyin edilməsinə ehtiyac olmayan, hesablamaların ümumi həcmi kifayət qədər azalda bilən təkmilləşdirilmiş metodikası təklif edilmişdir.

4. ADS40LH Systems tipli multispektrometrin eksperimental verilənlərinin analizi bu qurğunun müxtəlif obyektlərin bir piksel həcmində, subpiksel miqyasında tədqiqinin optimallaşdırılması imkanını aşkar etmiş, xətti proqramlaşdırma metodu əsasında normallaşdırılmış və normallaşdırılmamış əmsallardan istifadə etməklə qurğunun işinin optimallaşdırılmasının mümkünlüyü göstərilmişdir.

NƏTİCƏ

1. Daxilində maye-kristal süzgəc quraşdırılmış günəş fotometrinin həssaslığının dalğa uzunluqlarının işçi diapazonunda xarakterik minimuma malik olması aşkar edilmiş, bunun da günəş-fotometrik ölçmələrdə rejim parametrlərinin seçimi zamanı nəzərə alınmasının zəruriliyi göstərilmişdir.

2. Su buxarlarının və O_2 -nin kontinual udmasının və atmosfer aerosolunun nəmlənməsinin və qurumasının mənfi təsirlərini nəzərə almaqla üçdalğalı məsafədən ölçmələrin 685-705 nm dar spektral diapazonda, həmçinin 400-700 nm geniş spektral diapazonda dəqiqliyinin artırılması məsələləri formalaşdırılmış və həll edilmişdir.

3. Küləyin sürətinin dəyişməsi ilə dəniz səthinin müxtəlif dərəcədə həyəcanlanması faktorunun nəzərə alınmaması səbəbindən suyun rənginin təyində yaranan təhriflərin aradan qaldırılmasına imkan verən rəng komponentlərinin adaptiv ölçmə metodu təklif edilmişdir.

4. Dəniz ərazisinin bir neçə nöqtəsində suyun rənginin ölçülməsinin informasiya baxımından optimallaşdırılması məsələsi həll edilmiş, nəticədə optimal rejimdə dalğa uzunluğu və ölçmələrin sayı kimi göstəricilərin bir-birinə əks münasibətdə olması, yəni qısa dalğalarda daha çox sayda ölçmələrin aparılmasının zəruriliyi göstərilmişdir.

5. Bitki sahəsinin fotometrik üsulla spektral ölçmələri əsasında aerosolun nəmlənmə və quruma effektləri səbəbindən sululuq indeksinin real ölçülmüş qiymətinin iki polyarlı xəyata malik olduğu müəyyənləşdirilmişdir.

6. Rəng siqnallarının korrelyasiya hesablayıcısının iş rejiminin optimallaşdırılması zamanı məqsəd funksionalının formalaşdırılması üçün yararlı olan atmosfer aerosolunun optik qalınlığının ümumiləşdirilmiş modeli işlənilib hazırlanmış, atmosfer faktorları nəzərə alınmaqla korrelyasiya hesablamalarının optimal rejimi sintez edilmişdir.

7. Kadrın formalaşması müddətində süzgəclərin spektral buraxma zolağının fasiləsiz dəyişmə rejimi şəraitində maye-kristal süzgəclərin amplitud-spektral xarakteristikasının artan qolundan istifadə etməklə, meşə örtüyünün strukturunu maili

trayektoriya üzrə tədqiq edən spektrometrik sistemin informasiya kriteriyasına görə optimallaşdırılmasının mümkünlüyü göstərilmişdir.

8. Bort spektral ölçmə vasitələrindən istifadə etməklə FAO-56 ekoloji modelin göstəricilərinin kalibrlənməsinin təkmilləşdirilmiş metodikası işlənib hazırlanmış, təklif edilən metodikada *NDVI* -nin minimal qiymətini təyin etməyə ehtiyac olmadığından, hesablamaların həcmi azaldığı, eyni zamanda *LAI* və *NDVI* indekslərinin qarşılıqlı əlaqəsini müəyyən edən empirik əmsalın dəqiq qiymətini təyin etməyin mümkünlüyü göstərilmişdir.

İSTİFADƏ EDİLMİŞ ƏDƏBİYYAT SİYAHISI

1. Ağayev, F. G., Əliyeva, G.V. Pilotsuz uçuş aparatlarının qrup uçuşlarında maye-kristal süzgəcli hiperspektrometlər vasitəsilə aparılan ölçmələrin optimallaşdırılması // -Bakı: Milli Aviasiya Akademiyası Elmi Məcmuələr, - 2019. № 2, -s. 1-6.
2. Əliyeva, G.V. Maye kristal süzgəcli hiperspektral fotometrlərin həssaslığının tədqiqi // -Bakı: Azərbaycan Milli Aerokosmik Agentliyinin xəbərləri, -2018. № 2, -s. 16-20.
3. İsmayılov, F.İ., Abdurrahmanov, Ç.Ə. Geofiziki peyk və yerüstü optik ölçmələr əsasında Bakı şəhəri üzərində atmosfer havasının çirklənmə örtüyünə nəzarət sistemlərinin işlənməsinə dair // -Bakı: Azərbaycan Milli Aerokosmik Agentliyinin Xəbərləri, -2017. № 2 (20), -s. 64-69.
4. İsmayılov, F.İ., Abdurrahmanov, Ç.Ə. Buludların optik parametrlərinin hesablama metodikası // - Bakı: Azərbaycan Milli Aerokosmik Agentliyinin Xəbərləri, -2016. № 3 (19), -s. 30-36.
5. İsmayılov, F.İ., Abdurrahmanov, Ç.Ə. Azərbaycan Respublikası ərazisinin aerokosmik monitorinqi üçün atmosferin regional optik modelinin qurulması // - Bakı: Azərbaycan Milli Aerokosmik Agentliyinin Xəbərləri, -2018. № 2 (21), -s. 21-24.
6. Агаев, Ф.Г., Асадов, Х.Г., Агаев, Дж.А. О возможности измерения оптической толщины аэрозоля над регионами морской нефтдобычи // -Bakı: Azərbaycan Milli Aerokosmik Agentliyinin Xəbərləri, -2008. № 2 (11), -s. 26-30.
7. Агаев, Ф.Г. О возможности использования широкофункциональных жидкокристаллических фильтров в мультиспектральном дистанционном зондировании / Ф.Г. Агаев, Г.В. Алиева, С.Р. Джафарова, С.В. Аралис, // Сборник статей X международной научно-практической конференции «Аграрная наука сельскому хозяйству», Барнаул: - 2015. книга 2, -с. 334-336.

8. Агаев, Ф.Г. Дистанционное определение нормализованного дифференциального водного индекса растений с учетом влияния атмосферного аэрозоля / Ф.Г. Агаев, Н.Г. Джавадов, Г.В. Алиева, Э.С. Аббасова, М.М. Байрамова // Сборник статей IX международной научно-практической конференции «Аграрная наука сельскому хозяйству», - Барнаул: -2014. книга 2, -с. 398-400.
9. Агаев, Ф.Г. Обобщенная модель атмосферного аэрозоля для оптимальной обработки сигналов дистанционного калориметра технологического контроля / Ф.Г. Агаев, Г.В. Алиева, Э.А. Ибрагимов, Р.Н. Абдулов // Безопасность в техносфере, -Москва:- 2014. том 3, № 3, -с. 9-13.
10. Агаев, Ф.Г., Алиева, Г.В. Проблемы спектрорадиометрического наклонного дистанционного зондирования // Фотоника, -Москва: -2013. № 5/41, -с. 60-63.
11. Агаев, Ф.Г., Алиева, Г.В. Исследование влияния аэрозоля на точность определения нормализованного дифференциального водного индекса растений // Вестник Алтайского Государственного Аграрного Университета, -Барнаул:- 2013. № 9, (107) - с. 27-30.
12. Агаев, Ф.Г., Алиева, Г.В., Аббасаде, Ф.Г. Повышение точности дистанционного определения нормализованного дифференциального водного индекса растений с учетом влияния атмосферного аэрозоля // Специальная техника, -Москва: -2013. № 5, -с. 53-56.
13. Алиева, Г.В. Исследование чувствительности гиперспектральных солнечных фотометров со встроенными жидкокристаллическими фильтрами // Специальная техника, -Москва: - 2015. № 3, -с. 53-56.
14. Агаев, Ф.Г. Исследование чувствительности гиперспектральных солнечных фотометров со встроенными жидкокристаллическими фильтрами / Ф.Г. Агаев, К.Х. Исмаилов, Г.В. Алиева [и др.] // Известия Юго-Западного государственного университета, - Курск: -2016. №1, -с. 49-54.

15. Алиева, Г.В. Метод повышения точности определения цвета морской воды с помощью RGB колориметров // Датчики и системы, -Москва: - 2015. № 3, -с 19-22.
16. Алиева, Г.В. Дистанционное определение нормализованного дифференциального водного индекса растений с учетом влияния атмосферного аэрозоля // Материалы 4-ой международной межвузовской научно-практической конференции, - Великие Луки: -2014. -с. 81-85.
17. Алиева, Г.В. Способ определения нормализованного дифференциального водного индекса растений // Материалы 4-ой международной межвузовской научно-практической конференции, - Великие Луки: -2014, - с. 105-109.
18. Алиева, Г.В., Джавадов, Н.Г., Абдуллаева, Л.Дж. Оптимизация гиперспектральных дистанционных измерений цвета морской воды // Сборник статей VII заочной международной научно – практической конференции «Актуальные проблемы экологии и охраны труда», -Курск: - 2015. -с.15-19.
19. Алиева, Г.В., Махмудова, В.Х., Алиева, В.Н. Параметрический метод гиперспектрального определения сухого веса растения // Сборник статей VII заочной международной научно-практической конференции «Актуальные проблемы экологии и охраны труда», -Курск:- 2015. -с. 31-36.
20. Алиева, Г.В. Метод повышения точности измерения цвета морской воды с помощью RGB калориметров // Материалы 5-ой международной межвузовской научно-практической конференции, - Великие Луки: -2015. - с. 81-85.
21. Алиева, Г.В. Усовершенствованная методика калибровки показателей модели FAO-56 с использованием средств дистанционного зондирования //Альтернативная энергетика и экология, -Москва: - 2013. № 3, -с.81-83.
22. Асадов, Х.Г. Ибрагимов, З.С. О точности глобального спутникового контроля объемов массового сжигания попутного газа в нефтяной

- промышленности // Авиакосмическое приборостроение, -Москва: - 2009, № 2, -с. 28-33.
23. Аскерова, С.А., Алиева, Г.В. Исследование информативности дистанционного зондирования взвешенных частиц в морских водах и использовании спектрорадиометров со средним пространственным разрешением // Петербургский журнал электроники, -С.Петербург: -2018, № 3, -с. 59-63.
 24. Васильев, Ф.П. Численные методы решения экстремальных задач: / Ф.П. Васильев. -Москва: Наука, -1988. -552 с.
 25. Вдовенков, А.М. Новейший лидарный комплекс для исследования атмосферы над центром Азии/ А.М. Вдовенков, Г.А. Когай, Д.Г. Свердлик [и др.]// Вестник КРСУ:- 2002. №2. (15).
 26. Саттаров Н.А., Алиева Г.В., Особенности мультиспектральной и гиперспектральной съемки задач аерокосмического мониторинга// -Bakı: Azərbaycan Milli Aerokosmik Agentliyinin xəbərləri, - 2019, № 2(22), -s. 14-20.
 27. Казымова Ф. Т., Алиева Г.В, Вопросы применения спектральных индексных показателей для оценки и оптимизации содержание азота на сельскохозяйственных учасках// -Брянск: Вестник Брянской ГСХА, -2020, № 6 (82), -с.38-44.
 28. Abdulhalim, I. Optimized guided mode resonant structure as thermo optic sensor and liquid crystal tunable filter // -Shanghai: Chinese Optics Letters 7, -2009, -p. 667-670.
 29. Adler-Golden, S.M., Slusser, J.R. Comparison of Plotting Methods for Solar Radiometer Calibration // Journal of Atmospheric and Oceanic Technology, - 2007. vol.24, -p. 935-938.
 30. Aharon, O. Abdulhalim, I. Liquid crystal Lyot tunable filter with extended free spectral range // Optics Express , - 2009. vol. 17, No. 14, -p. 114-126.
 31. Alvarez-Romero, J.G. A novel approach to model exposure of coastal-marine ecosystems to riverine flood plumes based on remote sensing techniques / J.G.

- Alvarez-Romero, M.J. Devlin, E.Teixeira da Silva [and etc.] // Environ Manage 119, -2013. -p. 194-207. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jtnvman.2013.01.036>.
32. Barnsley, M.J. The PROBA/CHRIS mission: A low-cost smallsat for hyperspectral multiangle observations of the earth surface and atmosphere / M.J. Barnsley, J.J. Settle, M.A. Cutter [et. al.] // IEEE Trans. Geosci. Remote sensing,- 2004. vol. 42, No. 7, -p. 1512-1520.
 33. Bausch, W.C. Soil background effects on reflectance-based crop coefficients for com // Remote Sensing, -1993, vol. 46, -p. 213-222.
 34. Bird, R.E. A simple, solar spectral model for direct-normal and diffuse horizontal irradiance // Solar Energy,- 1984. Vol. 32, -p. 461-471.
 35. Brettel, H. Hardberg, J.Y., Schmit, F. WevCam for Interactive Multispectral Measurements
https://www.ltpaobserverproject.com/uploads/3/0/2/0/3020041/misurazioni_multispettrali_con_webcam_brettel-wiley.pdf
 36. Cannizzaro, J.P., Carder, K.L. Estimating chlorophyll a concentration from remote-sensing reflectance in optically shallow waters // Remote Sensing of Environment 101, -2006.- p. 13-14.
 37. Cauwer, V.D. Optical remote sensing in support of eutrophication monitoring in the southern Nerth Sea/ V.D. Cauwer, K. Ruddick, Y. Park [et. al.] // EARSel eProceedings 3,- 2004. No.1, -p. 208-221.
 38. Chaudhari, A.J. Hyperspectral and multispectral bioluminescence optical tomqraphy for small animal imaging / A.J. Chaudhari, F. Darvas, J.R. Badinq[et. al] // Physics in Medicine and Biology, -2005. vol 50, -p.5421-5441.
 39. Cheung, V. Characterization of trichromatic color cameras by using a new multispectral imaging technique / V. Cheung, S. Westland, C. Li [et. al.] // J. Opt. Soc. At,-2005, A22, -p. 1231-1240.
 40. Dandin, M., Abshire, P., Smela E. Optical filtering technologies for integrated fluorescence sensor // Lab Chib, -2007. vol.7, -p. 955-977.

41. de Graaf, M., Stammes, P., Aben, A.A. Analysis of reflectance spectra of UV-absorbing aerosol scenes measured by SCIAMACHY // Journal of Geophysical Research,- 2007. vol. 112.
42. Duan, H. Optical characterization of black blooms in entropic waters / H. Duan, R. Ma, S.A. Loiselle [et. al.]// Science of the Total Environment, -2014, -p. 174-183.
43. Duriscoe, D.M., Luqinbuhl, C.B., Elvidge C.D. The relation of outdoor lighting characteristics to sky glow from distant cities // Lighting Res. Technol,-2013. -p.1-15.
44. Duchemin, B. Hadria, R., Er-Raki, S. Monitoring wheat phenology and irrigation in Central Morocco: on the use of relationship between evapotranspiration, crops coefficients, leaf area index and remotely-sensed vegetation indices // Agricultural Water Manage, -2002. vol. 79, -p.1-27.
45. Er-Raki, S., Chehbouni, A., Duchemin, B. Combining satellite remote sensing data with the FAO-56 dual approach for water use mapping in irrigated wheat fields of a semi-arid region // Remote Sensing, -2010. No. 2, -p.375-387.
46. Er-Raki, S., Chehbouni, A., Guemouria, N. Combining FAO-56 model and ground-based remote sensing to estimate water consumptions of wheat crops in a semi-arid region // Agricultural water management, -2007. vol. 87, -p.41-54.
47. Eck, T.F., Holben, B.N., Reid, J.S. Observations of the interaction and transport of fine mode aerosols with cloud and or/or fog in Northeast Asia from Aerosol Robotic Network and satellite remote sensing // Journal of Geophysical Research^ Atmospheres, -2018. -p. 123.
48. FY 2005 Final Report: Solar Radiometry and Metrology Task PVC 57301. Technical Report NREL / TP-560 38917. Novembr 2005 (54)
49. Gao, B.-C., Montes, M.J., Ahmad, Z. Atmospheric correction algorithm for hyperspectral remote sensing of ocean color from space // Applied Optics,-2000. vol. 39, No. 6, -p. 887-896.
50. Gat, N. Imaging spectroscopy using tunable filters/ The International Society for Optical Engineering Proc. SPIE,-2000. vol. 4056, -p. 50-64.

51. Graca, M. A. In situ tests for quality assessment: a case study in Pampean rivers/
M. A. Graca, A. Rodrigues-Capitulo, C. Ocon [and etc] // Water research , -2002.
vol 36, №16, -p. 4033-4040.
52. Giles, D.M. An analysis of AERONET aerosol absorption properties and
classifications representative of aerosol source regions/ D.M. B. N. Holben, T.F.
Eck, A. Sinyuk [and etc] // Journal of Geophysical Research, -2012. vol. 117, -
p.1-16.
53. Gordon, H.R. Removal of atmospheric effects from satellite imagery of the
oceans // Applied Optics, -1978. vol. 17, №10, -p. 1631-1636.
54. Gordon, H.R., Wang, M. Retrieval of water leaving radiance and aerosol optical
thickness over the oceans with Sea WiFS: a preliminary algorithm // Applied
Optics, -1994. vol. 33, № 3, -p. 443-452.
55. Gueymard, Ch.A. Parameterized transmittance model for direct beam and
circumsolar spectral irradiance // Solar Energy, - 2001.vol. 71, №.5, -p.325-346.
56. Gutman, G.G. On the use of long-term global data of land reflectances and
vegetation indices derived from the advanced very high resolution radiometer
//Journal Geophysical Research,-1999. vol.104, -p. 6241-6255.
57. Hagolle, O. A multi-temporal and multi-spectral method of estimate aerosol
optical thickness over land, for the atmospheric correction of FormoSat-2,
LandSat, VENS and Sentinel-2 Images/ O. Hagolle, M.H. Hue, D.V. Pascual [el.
al.] // Remote Sensing, -2015. vol.7, №.3, -p. 2668-2691.
58. Hansley, B. Spectral Imaging Using a Liquid Crystal Tunable Filter/
<http://www.cis.rit.edu/DocumentLibrary/admin/uploads/CIs000196.pdf>
59. Hardeberg, J.Y., Schmitt, F., Brettel, H. Multispectral color image capture using
liquid crystal tunable filter // Optical Engineering, -2002. vol. 41, -p. 2532-2548.
60. Hardeberg, J.Y., Schmitt, F., Brettel, H. Multispectral image capture using a
tunable filter // Optical Engineering, -2002. vol.41, -p.47-57.
61. Harold, H. Szu, Imaging Spectroscopy Using Tunable Filters: A. Review / H.
Szu Harold, M. Vetterli, W. J.Campbell [et. al.] // Wavelet Applications VII, -
2000. vol.4056, -p.50-64.

62. Hirabayashi, K., Kurokawa, T. Liquid-crystal devices for optical communication and information processing systems // *Liquid Crystals*, -1993. vol.14, -p. 307-313.
63. Huete, A.R. A Soil-adjusted vegetation index (SAVI)// *Remote Sensing Environmental*, -1988. vol. 25, -p. 295-309.
64. Hyperspectral Sun Photometer for Atmospheric Characterization and Vicarious Calibrations[<https://www.techbriefs.com/component/content/article/tb/techbriefs/physical-sciences/2890>]/ - Mississippi, -2008.
65. Hyuvarinen, T., Herrala, E., Ava, A.D. Direct sight imaging spectrograph: a unique add-on component brings spectral imaging to industrial applications// *Electronic imaging*, -1998. vol.33,- p. 34-37.
66. Jewell, S.A. Tunable Fabry-Perot etalon for terahertz radiation / S.A.Jewell1, E. Hendry, T.H. Isaac [et. al.] // *New J.Phys*, -2008. vol.10, -p. 1367-2630.
67. Jones C.L., Weckler P.R., Maness N.O., Stone M.L., Jayasekara R.J. Estimating water stress in plants using hyperspectral sensing / C.L. Jones, P.R. Weckler, N.O. Maness, M.L. Stone, R.J. Jayasekara // 2004 ASAE/CSAE Annual International Meeting Sponsored by ASAE/CSAE Fairmont Chateau Laurier, Ottawa, -2004. -p. 64-70.
68. Jr E.Raymon, H. Yilmaz M.T. Remote sensing of vegetation water content using shortwave infrared reflectances // *Remote sensing and modeling of ecosystems for sustainability*, -2007. vol. 6679, -p.11-18.
69. Kalacska, M. Ecological fingerprinting of ecosystem succession: Estimating secondary tropical dry forest structure and diversity using imaging spectroscopy/ M. Kalacska, G.A. Sanchez-Azofeifa, B. Rivard [and etc]// *Remote sensing environment*, -2007. vol. 108, -p. 82-96.
70. Kaufman, Y.J. The MODIS 2.1- μm channel correlation with visible reflectance for use in remote sensing of aerosol/ Y.J. Kaufman, A.E. Wald, L.A. Remer [and etc]// *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, -1997. vol.35, -p.1286-1298.

71. Kermani, Z.S. Exploiting spectral and spatial correlations for single sensor acquisition and demosaicing of multispectral images // Edic Research Proposal, -2011.
72. Kimes, D.S. Inversion methods for physically-based model / D.S. Kimes, Y. Knyazikhin, J.L. Privette, [et. al.] //Remote sensing Review, -2000. vol. 18, -p. 381-499.
73. Konig, F. Reconstruction of natural spectra from color sensor using nonlinear estimation methods // In Is and T annual conference; The society for imaging science and technology,- Cambridge, MA, USA: 1997. -p. 454-457.
74. Kopeika, N.S. A system engineering approach to imaging. SPIE Press, -1988.- 704 p.
75. Lee, K.H., Li, Z., Kim, Y.J. SWIR/VIS reflectance ratio over Korea for aerosol Retrieval // Korean Journal of Remote Sensing, -2007. vol. 23, No.1, -p.1-5.
76. Liang, S. Multirange remote sensing: Past and future/ S. Liang, A. Strahler, M. Bernsley[et. al.]// Remote sensing Review, -2000. vol. 18, - p.83-102.
77. Liew, S.C., Chia, A.S., Kwoh, L.K. Evaluating the validity of SeaWiFS Chlorophyll algorithm for coastal waters// Paper presented at the 22nd Asian Conference on Remote Sensing. –Singapore: -5-9 November,- 2001. -p. 5.
78. Lin, K.C., Chuang, W.C. Polarization – independent and electronically tunable FP etalon with cross ophthogonal liquid crystal layers // Micro. Opt.Technolo.Let, -2003. vol.38, -p. 475-477.
79. Liquid Crystal Tunable Filters. www.perkinelmer.com/VariSpec.
80. Lu, D.S., Batistella, M., Moran, E. Satellite estimation of above-ground biomass and impacts of forests stand structure // Photogram Eng. Remote sensing, -2005. vol.71, No.8, -p. 967-974.
81. Masterson, H.J., Sharp, G.D., Johnson, K.M. Ferroelectric liquid-crystal tunable filter // Optics Letters, -1989. vol.14, -p. 1249-1251.
82. McCartney, E.J. Optics of the atmosphere:Scattering by molecules and particles// Physics today, -1975. vol. 30. –p. 76-79.

83. Middleton, W.E.K. Vision through the Atmosphere. University of Toronto Press, 1955. vol. 81, -p. 128-131.
84. Miller, P.J., Hoyt, C.C. Multispectral imaging With liquid crystal tunable filter // Proc.SPIE, -1995. vol.2345, -p. 354-365.
85. Mobley, C.D. Estimation of the remote-sensing reflectance from above-surface measurements // Applied Optics, -1999. vol.38, -p.7442-7455.
86. Morris, M.H., Hoyt, C.C., Miller, P. Liquid crystal tunable filter Raman chemical Imaging // Applied Spectroscopy, -1996. vol. 50, -p. 697-819.
87. Narasimhan, S.G., Nayar, S.K. Removing weather effects from monochrome images // Proceedings of the IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, Kauai, HI, USA, USA, -2001. -p. 186-193.
88. Narasimhan, S.G., Nayar, S.K. Chromatic framework for vision in had weather// Proceedings of the IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, - Hilton Head, South Carolina: -2000. -p. 598-605.
89. National Report on Ocean Remote Sensing in Korea
90. Nayar, S.R., Narasimhan, S.G. Vision in had weather // Proceedings of the 7th International Conference on Computer Vision, -1999.
91. Nishidate, I. Estimation of melanin and hemoglobin using spectral reflectance images reconstructed from digital RGB image by the Wiener estimation method/ I. Nishidate, T. Maeda, K. Niizeki [et. al] // Sensors, -2013. No. 13, -p. 7902-7915.
92. Oakley, J.P., Satherley, B.L. Improving image quality in poor visibility conditions using polarization // IEEE Trans. On Image Processing, - 1998. vol.7, -p.167-179.
93. Pagnutti, M., Ryan, R.E., Holekamp, K., Harrington G. Novel Huperspectral Sun Photometer for Satellite Remote Sensing Data Radiometric Calibration and Atmospheric Aerosol Studies. M. Pagnutti, R.E. Ryan, K. Holekamp, G. Harrington // John C. Stennis Space Center SSC, Mississippi 39529-6000, January 2006.

94. Patel, J.S., Lee, S.D. Electrically tunable and polarization insensitive FP etalon with a liquid crystal film // *Applied Physics Letters*, -1991, vol.58, -p.2491-2493.
95. Ponomarev, V.I., Montenegro-Monroy, H. Fuzzy filtering method for color videos corrupted by additive noise // *The Scientific World Journal*, -2014. vol. 14, -p. 21.
96. Qin, W., Liang, S. Plane-parallel canopy radiation transfer modeling: Recent advances and future directions // *Remote Sensing Review*, -2000. vol.18, -p. 281-306.
97. Reulke, R. Franke, K.-H., Fricker, P. Target related multispectral and true colour optimization of the colour channels of the LH systems ADS40 // *International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing*, -2000. vol. XXXIII, Part B1, -p. 244-250.
98. Robles-Kelly, A. Huynh, C.P. *Imaging Spectroscopy for Scene Analysis, Advances in Computer Vision and Pattern Recognition* // -London: Springer-Verlag, -2013. -240 p.
99. Rouse, J.W. Monitoring the vernal advancement and retrogradation of natural vegetation/ J.W. Rouse, R.H. Haas, J.A. Schell [et. al.] // *NASA/GSFC*, -1974, vol. 3, -p. 1- 371.
100. Saeed, S. Bos, P.J., Li, Z. A method of generating full color in a liquid crystal display using birefringent filters // *Applied Physics*, -2001. vol. 40, -p. 3266-3271.
101. Saeed, S., Boss P. Multispectral, spatially, addressable polarization interference filter // *Journal of the Optical Society of America*, -2002. vol. 19, -p. 2301-2312.
102. Sharp, G.D., Jonson, K.M. A new RGB tunable filter technology // *Proc. SPIE*, -1996. vol.12. -p. 98-105.
103. Sasahara, R. A color super-resolution with multiple nonsmooth constraints by hybrid steepest descent method/ R. Sasahara, H. Husegawa, I. Yamada [et. al.] // *ICIP(1)* -2005. -p. 857-860.

104. Seymour, R.S. Design considerations for a liquid crystal tuned Lyot filter for laser bathymetry / R.S. Seymour, M.S. Rees, J. Staromlynska[et. al.]// Optical Engineering, -1994. vol.33, -p. 951-923.
105. Sharp, G.D. Continuously tunable smectic A* liquid-crystal color filter/ G.D. Sharp, K.M. Johnson, D. Doroski // Optics Letters, -1990. vol.15, -p. 523-525.
106. Schlerf, M., Atzberger, C. Vegetation structure retrieval in beech and spruce forests using spectrodirectional satellite data // IEEE Journal of selected topics applied observations and remote sensing, -2012, vol. 5, No.1, -p.8-17.
107. Shinozuka, Y. Hyperspectral aerosol optical depth from TCAP flights/ Y. Shinozuka, R.R. Johnson, C.F. Flynn [et. al.] // Journal of Geophysical Researches, -2013. vol. 118, -p. 1-15.
108. Sneh, A., Johnson, K.M. High speed continuously tunable liquid crystal filter for WDM networks // J.Lightwave Technol, -1996. vol. 14, -p. 1067-1080.
109. Sierk, B. Field measurements of water vapour continuum absorption in the visible and near-infrared/ B. Sierk, S. Solomon, J.S. Daniel [et. al.] // Journal of Geophysical Researches, -2004. vol. 109, -p. 1-20.
110. Sinyuk, A., Torres, O. Dubovik, O. Combined use of satellite and surface observations to infer the imaginary part of refractive index of Saharan dust // Journal of Geophysical Researches, -2003. vol. 34, -p. 144-152.
111. Stihell, P. Miyata, K., Kansari, M.H. Wiener estimation method in estimating of spectral reflectance from RGB image // Patt. Recogn. Image Anal., -2007, vol. 17, -p. 233-242.
112. Tan, K., Oakley, J.P. Enhancement of color images in poor visibility conditions // International Conference on Image Processing,- Brussels: -2, September 2000, -p.788-791.
113. Tijjani, B.I., Sha'aibu, F., Aliyu, A. The effect of relative humidity on maritime polluted aerosols // Published by European Centre for Research Training and Development UK, -2014. vol. 2, No.1, -p.9-36.
114. Tunable Optical Filter Principles, www.meadowlark.com

115. VariSpec. Liquid Crystal Tunable Filters ,
https://www.photonics.com/Products/VariSpec_Liquid_Crystal_Tunable_Filters/pr27133
116. Von Hoyningen-Huene, W. Validation of SCIAMACHY top-of-atmosphere reflectance for aerosol remote sensing using MERIS LI data/ W. Von Hoyningen-Huene, A.A. Kokhanovsky, M.W. Wuttke [et. al.] // Atmospheric Chemistry Physics, -2007. vol.7, -p. 97-106.
117. Vermote, E. Second simulation of the satellite signal in the solar spectrum (6S)/ E. Vermote, D. Tanre, J.L. Deuze [et. al.] //NASA Goddard Space Flight Centre for Medium Range Forecast, -1996. vol.35, -p. 675-686.
118. Wang, X. Discrete wavelet transform based multispectral filter array demosaicing/ X. Wang, J.-B. Thomas, J.Y. Hardeberg [et. al.] // Colour and Visual Computing Symposium, -2013. -p. 1-6.
119. Welton, E.J. Airborne sun photometer measurements of aerosol optical depth and columnar water vapor during the Puerto Rico Dust Experiment and comparison with land, aircraft and satellite measurements / E.J. Welton, J.R. Campell, J. Wang [et. al.] // Journal of Geophysical Researches, -2003. vol. 108, -p.
120. Wierzbicki, D., Wilinska, M. Liquid crystal tunable filters in detecting water pollution. Section: Environmental protection // The 9th International Conference “ENVIRONMENTAL ENGINEERING”, -Vilnius, Lithuania: -2014. - p. 609-640.
121. Woltman, S. J., Jay, G.D., Crawford, G.P. Liquid- crystal materials find a new order in biomedical applications // Nature Materials, -2007. vol. 6, -p. 929-938 .
122. Wu, S.T. Design of a liquid crystal based tunable electro-optic filter // Applied Optics,-1989. vol.28, -p.48-52.
123. Yitzhaky, Y., Dror, I., Kopeika, N.S. Restoration of atmospherically blurred images according to weather-predicted atmospheric modulation transfer function // Optical Engineering, -1998. vol.36, -p. 3064-3072.

İXTİSARLARIN SİYAHISI

- AOQ - atmosferin optik qalınlığı
LAI - yarpaq indeksi
MAKA - Milli Aerokosmik Agentliyi
MQC - mütləq qara cisim
NDVI - normalaşmış diferensial vegetasiya indeksi
NDİİ - normallaşdırılmış diferensial sululuq indeksi
PUA - pilotsuz uçan aparatlar
PWC - bitkinin su tərkibi
SDOM - xromoforlu məhlul şəklində olan üzvi maddələr
TSS - mineral hissəciklərin konsentrasiyası
YƏC - yükəlaqəli cihazlar
YİQ - yaxın infraqırmızı

TƏSDİQ EDİRƏM:

MAKA ETAll-nin
direktoru

Namiq Paşayev

12 05 2017-ci il



TƏSDİQ EDİRƏM:

"Üfük" İB-in "Radioquraşdırma"

zavodunun baş mühendisi

Mehman Kərimov

12 05 2017-ci il



Milli Aerokosmik Agentliyin doktorantı Günel Vaqif qızı Əliyevanın
"Təbii obyektlərin tədqiqində maye-kristal süzgeçli çoxspektral ölçmə
sistemlərinin təkmilləşdirilməsi" mövzusunda dissertasiya işinin
nəticələrinin tətbiqi barədə

AKT

Bu aktla təsdiq edilir ki, Günel Vaqif qızı Əliyevanın yuxarıda adı göstərilən mövzuda dissertasiya işinin "1.1-Maye-kristal süzgeçli hiperspektral günəş fotometrlerinin həssaslığının qiymətləndirilməsinin analitik metodu" bölməsində fotometrin həssaslığının maksimal qiymətlərinin əldə edilməsi üçün optik süzgeçin dalğa uzunluğunun optimal seçilməsinə aid alınmış elmi nəticələr "Üfük" İB-in "Radioquraşdırma" zavodunun sifarişi ilə Milli Aerokosmik Agentliyinin Elmi Tədqiqat Aerokosmik İnformatika İnstitutunda yerinə yetirilmiş "Işıqlanan obyektlərin (5-15 saniyə arızında) yerə nəzərən uçuş hündürlüyünün ölçülməsi üçün qurğunun yaradılması" təcrübə konstruktor işində (şifr: "Avan") tətbiq edilmişdir. Deyilən elmi nəticənin texniki reallaşdırılması üçün maye-kristal əsaslı elektron tənzimlənən süzgeçlərin tətbiqi barədə elmi tövsiyələr verilmişdir, bu cür qurğuların "Üfük" İB-in "Radioquraşdırma" zavodunda gələcəkdə deyilən istiqamətdə yerinə yetiriləcək elmi- texniki işləmələrində tətbiqinin perspektivi əsaslandırılmışdır.

"Üfük" İB-in "Radioquraşdırma"
zavodunun baş konstruktoru:

Abil Əliyev

"Üfük" İB-in "Radioquraşdırma"
zavodunun baş texnoloqu:

Fazil Hacıyev

MAKA-nın doktorantı:

Günel Əliyeva

