



EEOBSS : Education in Earth Observation for Bulgarian Secondary Schools
Образование по наблюдение на Земята за българските средни училища

НАБЛЮДЕНИЕ НА ЗЕМЯТА ОТ КОСМОСА

*Учебно помагало за самостоятелна подготовка
в извънкласни дейности по природни науки*



БЪЛГАРСКА АКАДЕМИЯ НА НАУКИТЕ



ИНСТИТУТ ЗА КОСМИЧЕСКИ ИЗСЛЕДВАНИЯ И ТЕХНОЛОГИИ



Наблюдение на Земята от Космоса

Учебно помагало за самоподготовка в извънкласни дейности по природни науки

Отговорен редактор

доц. д-р Лъчезар ФИЛЧЕВ

© **Институт за космически изследвания и технологии - БАН, 2018**

ISBN 978-619-7490-03-9

eISBN 978-619-7490-04-6

DOI: 10.3897/9786197490046



Наблюдение на Земята от Космоса

Учебно помагало за самоподготовка в извънкласни дейности по природни науки

Издателски екип

Отговорен редактор
доц. д-р Лъчезар ФИЛЧЕВ

Технически редактор
маг. Цвета СРЕБРОВА

Преводач
маг. инж. Любомира КРАЛЕВА

Автори

Модул 1, 3
Dr. Alexander SIEGMUND
Dr. Isabelle KOLLAR

Модул 2
проф. д.т.н. инж. Димитър ДИМИТРОВ

Модул 4
Dr. Chariton KALAITZIDIS
Dr. Ioannis MANAKOS

Модул 5
проф. д.т.н. инж. Гаро МАРДИРОСЯН

Тираж - 180 бр., формат - A4, дадена за печат - 17 декември 2018 г.,
подписана за печат - 21 декември 2018 г., излязла от печат - 31 януари 2019 г.
Печат - печатница "Булгед" ООД, гр. София, България

ISBN 978-619-7490-03-9

eISBN 978-619-7490-04-6

DOI: 10.3897/9786197490046

Илюстрация на предната корица: "Мечта", Ива Пенчева, XI клас, 35-то СУ „Добри Войников“, гр. София, участник в Конкурса за рисунка "Моята среща със Земята от Космоса"



Настоящото учебно помагало се издава по образователен проект "Education in Earth Observation for Bulgarian Secondary Schools" - EEOBSS (Образование по наблюдение на Земята за българските средни училища), изпълняван по договор № 4000117592/16/NL/NDe, сключен между Институт за космически изследвания и технологии, Българска академия на науките (ИКИТ-БАН) и Европейската космическа агенция (ЕКА) по програмата на ЕКА PECS за България. Мненията, изразени в тази публикация, по никакъв начин не отразяват официалната позиция на ЕКА.

Учебно помагало "Наблюдение на Земята от Космоса" се разпространява под Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 2.0 Generic License.

СЪДЪРЖАНИЕ

Предговор.....	5
<u>Модул 1. Въведение в дистанционните изследвания</u>	7
Какво представляват дистанционните изследвания?	
1.1. Физични елементи. Физични принципи	10
Електромагнитен спектър. Принципи на електромагнитната радиация. Закон на Кирхоф. Закон на Стефан-Болцман. Закон на Планк. Закон на Вин. Атмосферно влияние. Взаимодействие на електромагнитната радиация със земната повърхност. Упражнение 1.1. “Електромагнитен спектър”.	
1.2. Спътници	16
Спътникови орбити. Активни и пасивни спътникови сензори. Упражнение 1.2. “Спътникови орбити”.	
1.3. Разделителна способност	20
Изобразяване на данни от дистанционните изследвания. Пространствена разделителна способност. Радиометрична разделителна способност. Времева разделителна способност. Вегетационен индекс. Нормализиран разликов вегетационен индекс (NDVI). Упражнение 1.3. “Въпрос на разделителна способност”.	
1.4. Визуална интерпретация на изображенията	29
Визуална интерпретация. Практика на интерпретация на изображения. Упражнение 1.4. “Визуална интерпретация на спътникови изображения”.	
1.5. Обработка на изображения	33
Корекции. Подобряване на качеството на изображението. Упражнение 1.5. “Обработка на изображение Георектифициране. Подобряване на качеството и мозайкиране”.	
1.6. Класификация	36
Защо класифицираме данни и спътникови изображения? Процес на класификация. Методи на класификация (Неконтролирана класификация. Контролирана класификация. Оценка и проверка на резултатите). Упражнение 1.6 “Класификация на изображения. Сравнение на спътниково изображение с класификация”.	
<u>Модул 2. Въведение в Глобалната навигационна спътникова система (ГНСС)</u>	43
2.1. Какво означава ГНСС (GNSS)?.....	44
Принцип на действие на ГНСС. Структура на ГНСС. Измервани величини с ГНСС. Видове позициониране. Глобална система за позициониране (GPS). “ГЛОНАСС” (Глобалная навигационная спутниковая система). Китайски глобални навигационни системи БейДу (BeiDou@1) и BeiDou@2 „Compass“. Европейска глобална навигационна система “Галилео”.	
2.2. Грешки в измерванията и позиционирането с ГНСС	51
Източници на грешки при определяне на точно местоположение (позицията). Корекция на грешките. Фактори, оказващи влияние върху точността в определяне на местоположение с ГНСС. Предимства и недостатъци на позициониране с ГНСС. Предимства и недостатъци на определяне на местоположение с карта и компас.	
2.3. Приложения на Глобалната навигационна спътникова система (ГНСС)	55
Приложение на ГНСС в геодезията. Приложение на ГНСС в геодинamikата. Приложение на ГНСС за мониторинг на сеизмогенни зони и изследване на земетресения.	
2.4. Радарна интерферометрия - InSAR (Interferometric Synthetic Aperture Radar)	62
Въпроси към Модул 2 “Въведение в ГНСС”	

Модул 3. Приложение на дистанционните методи и геоинформационните технологии в изследването на земното покритие и промените

<u>в земеползването</u>	67
3.1. Урбанизация	68

Лос Анжелис. Мексико сити. Лондон. Йоханесбург. Мумбай. Упражнение 2.1. “Възстановява ли обема си Аралско море?”

3.2. Синдроми на глобалната промяна	85
--	-----------

Модул 4. Приложение на дистанционните изследвания и

<u>геоинформационните технологии в земеделието</u>	87
---	-----------

4.1. Мониторинг на състоянието на посевите	90
---	-----------

Фактори, оказващи влияние върху спектралните сигнатури на посевите. Когато гъбичките атакуват. Недостиг на хранителни вещества. Идентификация на стресираните растения. Оценка на водното съдържание. Мониторинг на напояването. Борба с болестите и вредителите. Спектрална сигнатура на растителността.

4.2. Оценка на добива от посевите	98
--	-----------

Спътникови данни за оценка на добива от посевите. Оценка на добива от посевите с помощта на дистанционните изследвания. Прогнозиране на добива от посевите.

4.3. Идентификация на посевите	102
---	------------

Защо трябва да идентифицираме посевите? Кадастрално картографиране. Спътникови данни, необходими за идентификация на посевите. Разграничаване на видовете растителност. Създаване на карти на видовете посеви.

4.4. Прецизно земеделие	107
--------------------------------------	------------

Какво представлява прецизното земеделие? Свързване на данните с координатите. Оценка на растителната популация и бъдещия добив. Идентификация на изискванията по отношение на наторяването с изкуствени торове и пестициди. Ранно предупреждение за атаки на насекоми. Спътникови данни в прецизното земеделие. Установяване на режим на напояване. Прецизно управление на посевите. Използване на GIS в прецизното управление на посевите. Упражнение 4.1. “Пигменти в листата. Упражнение 4.2. “Оценка на добива от посевите”. Упражнение 4.3. “Идентификация на посевите”.

Модул 5. Приложение на дистанционните изследвания и геоинформационните технологии в изследванията на природни и екологични катастрофи

5.1. От Космоса срещу наводненията	122
---	------------

Ролята на космическата глациология при прогнозиране на наводнения. Дистанционно определяне на водните запаси в атмосферата. Дистанционно определяне на характеристиките на водни повърхности. Дистанционно изследване на наводнени територии. Дистанционен аерокосмически контрол на състоянието на хидротехнически съоръжения. Съвременни сателити за изследване на наводнения.

5.2. Космическата метеорология при изучаване на тропични циклони	132
---	------------

5.3. Дистанционно откриване и мониторинг на горски пожари	137
--	------------

5.4. Приложение на дистанционните и геоинформационните технологии в сеизмологията	144
--	------------

5.5. Приложение на дистанционните и геоинформационните технологии за изучаване на прахови бури	152
---	------------

5.6. Изучаване на мълнии чрез дистанционни аерокосмически изображения	156
--	------------

Отговори на въпросите, задачите и упражненията	161
---	------------

Списък на използваната литература	181
--	------------

Кратък речник на някои по-важни непознати термини	188
--	------------

Предговор

Настоящото учебно помагало по наблюдение на Земята от Космоса е адаптирано и предназначено за учениците в българските средни училища, както и за техните учители и ръководители на извънкласни дейности по предмети от областта на природо-математическите и техническите науки (география, биология, химия, физика, математика, технически и инженерни дисциплини) добили популярност посредством чуждата аббревиатура STEM (Science, Technology, Engineering and Mathematics). Извънкласните дейности по природо-математически и инженерни дисциплини имат в последните няколко години особен размах, което се дължи на интереса на учениците от една страна, а от друга на все по-ясно очертаващия се недостиг на кадри, необходими за българската икономика, образование и наука. Поради естеството си, космическите технологии се явяват еманацията на върховите постижения на STEM дисциплините. Това доведе до осъзнаване на необходимостта от издаване на едно учебно помагало, което да запълни потребността от нови знания и умения сред учениците. За илюстрация на актуалността на учебното помагало ще приведем няколко примера от съвременната история на развитието на международните отношения на Република България в областта на космическите изследвания. През последните няколко години България предприе няколко важни крачки относно космическата политика и в частност наблюдението на Земята. Първата от тях е приемането на България за пълноправен член на EUMETSAT през 2014 г. Още същата година България беше приета и в Групата по наблюдение на Земята (GEO) – водеща международна междуправителствена организация, координираща усилията в областта на наблюдението на Земята в международен мащаб. През 2015 г. последва подписването на коопериращото споразумение между Европейската космическа агенция (ЕКА) и Министерството на икономиката на Република България, представляващо и координиращо космическата политика и икономически дейности на България. Споразумението с ЕКА беше ратифицирано през 2016 г. от Парламента на Република България, с което беше открит пътя за активно участие в конкурсите и програмите на ЕКА на български научни, образователни и бизнес организации. Всичко това се явява основа за съвременното развитие на българските космически изследвания и в частност наблюдението на Земята в сферата на икономиката, науката, технологиите и образованието.

Учебното помагало по проект EEOBSS, имплементиран по първа тръжна процедура на ЕКА-PECS за България, съдържа общо 5 модула, два от които са разработени от утвърдени български учени в областта на наблюдението на Земята. Настоящото учебно помагало е изготвено на основата на три от 16-те учебни модула, разработени в рамките на проект SEOS (Science Education through Earth Observation for High Schools), с ръководител Dr. Rainer Reuter (University of Oldenburg “Carl von Ossietzki”), изпълнен по 6-та рамкова програма на Европейския съюз (ЕС). Учебните материали от проект SEOS се разпространяват под лиценз CC-BY NC-SA, като под същия лиценз се разпространява и настоящето учебно помагало. Всяко репродуциране на помагалото или на част от него за комерсиални цели трябва да става съобразно съответния приложен лиценз и изричното съгласие на авторите.



Модулите в учебното помагало “Наблюдение на Земята от Космоса” са разработени, както следва:

Модул 1

“Въведение в дистанционните изследвания”

Alexander Siegmund, E-Mail: siegmund@ph-heidelberg.de и

Isabelle Kollar, E-Mail: kollar@ph-heidelberg.de, Хайделбергски университет, Германия

Модул 2

“Въведение в Глобалната навигационна спътникова система (ГНСС)”

проф. д.т.н. инж. Димитър Димитров, E-Mail: clgdimi@abv.bg, Национален институт по геофизика, геодезия и география при Българска академия на науките (НИГГГ-БАН)

Модул 3

“Приложение на дистанционните методи и геоинформационните технологии в изследването на земното покритие и промените в земеползването”

Alexander Siegmund, E-Mail: siegmund@ph-heidelberg.de,

Isabelle Kollar, E-Mail: kollar@ph-heidelberg.de, Хайделбергски университет, Германия

Модул 4

“Приложение на дистанционните изследвания и геоинформационните технологии в земеделието”

Dr. Chariton Kalaitzidis, E-Mail: chariton@maich.gr,

Dr. Ioannis Manakos, E-Mail: manakos@maich.gr,

Средиземноморски земеделски институт в Ханя (MAICh), Гърция

Модул 5

“Приложение на дистанционните изследвания и геоинформационните технологии в изследванията на природните и екологични катастрофи”

проф. д.т.н. инж. Гаро Мардиросян, E-Mail: garo.mardirossian@gmail.com, Институт за космически изследвания и технологии, Българска академия на науките (ИКИТ-БАН)

Това учебно помагало може да бъде допълвано и усъвършенствано. Всички препоръки изпращайте на имейл: admin@eeobss.space, с копие до eeobss@google.com.

Предварително изказваме благодарност за всяко съдействие от Ваша страна и се надяваме това първо по рода си българско учебно помагало да бъде както полезно и приятно за работа в извънкласните дейности по природни науки, така и за обогатяване на личните потребности от знания по наблюдение на Земята от Космоса.

гр. София, декември 2018 г.

доц. д-р Лъчезар Филчев

Модул 1

Въведение в дистанционните изследвания



Деница Аронова - "Фантазия"

VI клас, НУИ „Добри Христов“ – гр. Варна

Първа награда в Конкурса за рисунка от 5-ти до 7-ми клас

на Ден на отворените врати ЕЕОБСС, РКИЦ, София, 02 ноември 2017 г.



Модул 1

“Въведение в дистанционните изследвания”

Какво представляват дистанционните изследвания?

Дистанционните изследвания се използват, за да се получи информация за обектите. Данните се събират с помощта на прибор, след което се анализират. Приборът не влиза в пряк контакт с обекта. Използваните платформи са разположени "на разстояние" от повърхността на Земята (например, летателни апарати и спътници). На тях са инсталирани сензори за наблюдение и изследване на Земята от Космоса, земната повърхност, океаните, атмосферата и земната динамика.

Модул 1 ни запознава с основните елементи на дистанционните изследвания (наблюдението на Земята):

- ⇒ Физически елементи: електромагнитен спектър, атмосферно влияние и свойства на спектралната отражателна способност;
- ⇒ Спътникови системи с различни сензори и орбити, последвани от преглед на примерни спътници за наблюдение на Земята;
- ⇒ Геометрична, спектрална, радиометрична и времева разделителна способност;
- ⇒ Визуална интерпретация на спътникови изображения;
- ⇒ Методи за обработка и подобряване на качеството на изображенията;
- ⇒ Методи за класификация, напр. неконтролирана и контролирана класификация.

1.1. Физични елементи

Електромагнитен спектър

Светлината и излъчването са само част от формите на електромагнитната енергия. Човешкото око може да види само онази част от електромагнитния спектър, която съдържа спектралните цветове, но нашата кожа може да усеща и температурните разлики.

Електромагнитното излъчване е една от формите на разпространение на енергията. То се измерва като вълново излъчване и се характеризира с честота и дължина на вълната. Излъчването се разпространява със *скоростта на светлината*.

Електромагнитният спектър може да се охарактеризира с честотата (измерена в херци, Hz) или с дължината на вълната (измерена в микрони, милиметри или метри), виж фигурата по-долу.

Електромагнитният спектър е разделен на няколко части, като се започне с малките дължини на вълната и се стигне до високочестотния диапазон, т.е. *рентгеновите лъчи* (около $0.01 \mu\text{m}$). Следва *ултравиолетовата радиация* с дължина на вълната $\lambda = 0.1 \mu\text{m}$ ($1 \cdot 10^{-6}\text{m}$). Частта от *видимата светлина*, която е различима за човешкото око, се простира от $0.38 \mu\text{m}$ до $0.78 \mu\text{m}$ и обхваща цветовете виолетово, синьо, зелено, жълто до оранжево и червено. Извън тази част на спектъра са *инфрачервените вълни*, последвани от вълни с още по-голяма дължина, като *микровълните* и *радиовълните*. Диапазонът на инфрачервените вълни се разделя на близки инфрачервени, средни инфрачервени и далечни инфрачервени.

Източниците на електромагнитно излъчване са Слънцето, Земята със своята инфрачервена радиация и активните сензори на спътниците.

Физични принципи

Принципи на електромагнитната радиация

Принципите на радиацията са важни за разбирането на топлинната радиация, която се излъчва от всеки обект в зависимост от неговата температура и свойствата на неговия материал. Ефикасността на поглъщане и излъчване на радиацията са важни свойства, които трябва да бъдат разгледани тук; тяхната взаимна зависимост се дава от *Закона на Кирхоф*.

Температурната зависимост на излъчената радиация се подчинява на *Закона на Стефан-Болцман*. Радиацията се излъчва във вид на електромагнитни вълни, чиято интензивност е функция на дължината на вълната. Максимумът на излъчваната топлинна радиация се обяснява от *Закона на Вин за отместването*, а формата на целия излъчван спектър се дава от *Закона на Планк*.

Закон на Кирхоф

Ефикасността на излъчване ε изразява способността на предмета да излъчва топлинна радиация, величина, която варира между 0 (никакво излъчване) и 1 (най-високото възможно излъчване). Ефикасността на поглъщане α на даден предмет изразява способността на предмета да поглъща падащата радиация. Тя се определя по следния начин:

$$\alpha = \text{погълната радиация} / \text{падаща радиация} \quad (1.1)$$

която варира между 0 и 1, като 1 отговаря на пълно поглъщане, а 0 – на пълно отклонение или прехвърляне.

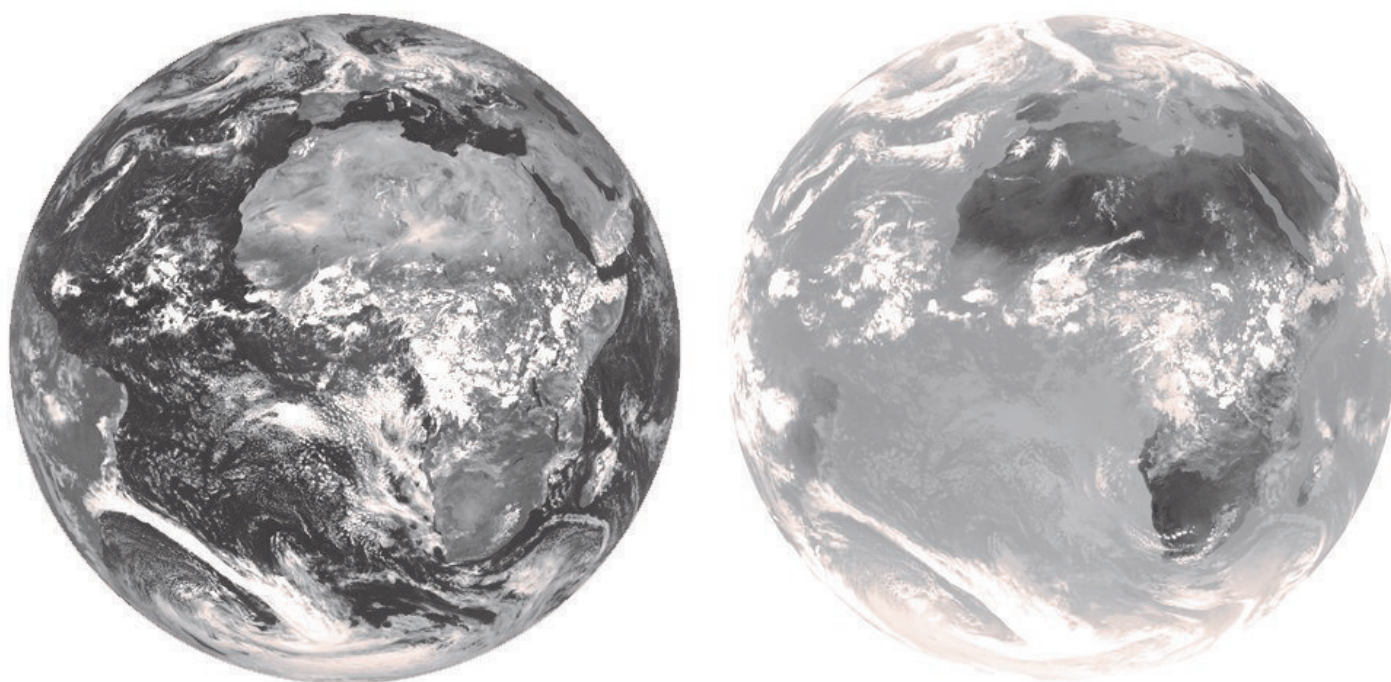
Законът на Кирхоф, открит през 1859 г., гласи:

$$\alpha = \varepsilon, \quad (1.2)$$

т.е., способността за поглъщане и способността за излъчване на даден предмет са равни. Следователно, предметите, които поглъщат цялата падаща радиация ($\alpha = 1$) имат най-висока ефективност на топлинно излъчване ($\varepsilon = 1$). Те се наричат излъчватели от тип „черно тяло“, като терминът „*черно*“ означава, че няма отразена радиация. Обектите, които поглъщат само част от падащата радиация ($\alpha < 1$), се наричат излъчватели от тип „сиво тяло“.

При *селективните излъчватели* ефикасността на поглъщане и излъчване зависи от дължината на вълната. Високата или ниската ефикасност на поглъщане на даден предмет в различни спектрални диапазони отговаря на висока или ниска ефикасност на излъчване в съответния спектрален диапазон. Следователно, обобщеният *закон на Кирхоф* може да бъде записан по следния начин:

$$\alpha_\lambda = \varepsilon_\lambda \quad (1.3)$$



Фиг. 1.1. Земята в диапазона на видимата светлина (ляво) и в диапазона на топлинната инфрачервена светлина (дясно), заснета от Meteosat през 2004 г.
Източник: Beckel, 2007

Закон на Стефан-Болцман

Този закон, установен теоретично от Йозеф Стефан през 1879 г. и потвърден експериментално от Лудвиг Болцман през 1884 г., обяснява температурната зависимост на интензивността на топлинната радиация, излъчвана от даден обект. Тя се повишава

значително с повишаване на абсолютната температура T в градуси по Келвин (K). Излъчвателната способност M , която представлява силата на излъчване от повърхността на даден предмет и се измерва в W/m^2 , се дава от следната зависимост:

$$M = \varepsilon \sigma T^4, \quad (1.4)$$

където $\sigma = 5.7 \cdot 10^{-8} W/(m^2K)$ е константата на Стефан-Болцман. Например, двукратното повишаване на абсолютната температура на даден предмет води до 16-кратно увеличение на излъчената топлинна радиация.

Тази промяна в температурата води и до промяна в спектъра на излъчване, която се дава от *закона на Планк*.

Закон на Планк

През 1900 година Макс Планк въвежда идеята за квантовите свойства на светлината, т.е., фотоните, което бележи началото на квантовата теория. В класическата физика на базата на електромагнитните вълни не е възможно да се разбере физиката на топлинната радиация. Използвайки фотоните, Планк извежда уравнение, което описва интензивността на формата на спектъра на топлинната радиация на излъчвател от тип „абсолютно черно тяло“. След пренебрегване на някои физични константи уравнението добива вида:

$$M_\lambda = \lambda^{-5} / \{\exp(hc/\lambda kT) - 1\}, \quad (1.5)$$

където λ е дължината на вълната на излъчване, T е абсолютната температура, $h = 6.68 \cdot 10^{-34} Ws^2$ е *константата на Планк*, c е скоростта на светлината, а $k = 1.38 \cdot 10^{-23} Ws/K$ е *константата на Болцман*.

Очевидно, спектърът на излъчване на едно идеално черно тяло зависи само от неговата температура, но не и от свойствата на материала. Следователно, Законът на Планк е в сила за твърди, течни и газообразни вещества, ако тяхната поглъщателна способност $\alpha = 1$ (т.е., те поглъщат цялата падаща радиация). Примери за криви на Планк са дадени на графиката отдясно. Спектърът на излъчване на излъчвател от тип „сиво тяло“ може да бъде изчислен с помощта на неговата спектрална ефективност на излъчване, т.е., $\varepsilon_\lambda M_\lambda$.

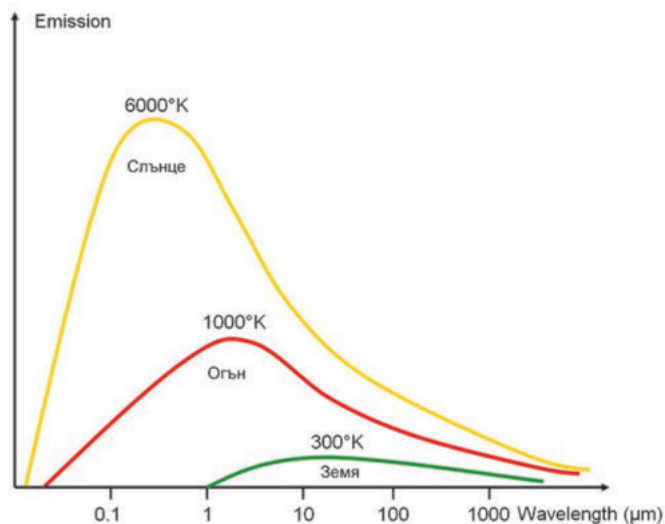
Закон на Вин

През 1893 г. Вилхелм Вин извежда уравнение, което дава възможност да се изчисли дължината на вълната на максималната интензивност λ_{max} на спектъра на излъчване на едно абсолютно черно тяло в зависимост от температурата T :

$$\lambda_{max} T = \text{const}, \quad (1.6)$$

където стойността на константата е 0.30 cm K (~ 0.003). Следователно, високите температури отговарят на максимуми при ниски дължини на вълните и *обратно*.

Слънцето, с високата температура на повърхността си от $6\,000 \text{ K}$, излъчва видима светлина с максимум около $\lambda_{max} = 0.5 \mu m$.



Земята, с температура на околната си среда от 300 K, излъчва предимно в средата на инфрачервения диапазон, с максимум около 10 μm ; този спектрален диапазон се нарича топлинен инфрачервен диапазон.

Фиг. 1.2. Излъчването като функция на дължината на вълната на предмети с различна абсолютна температура.

Източник: ESA Eduspace, с изменения

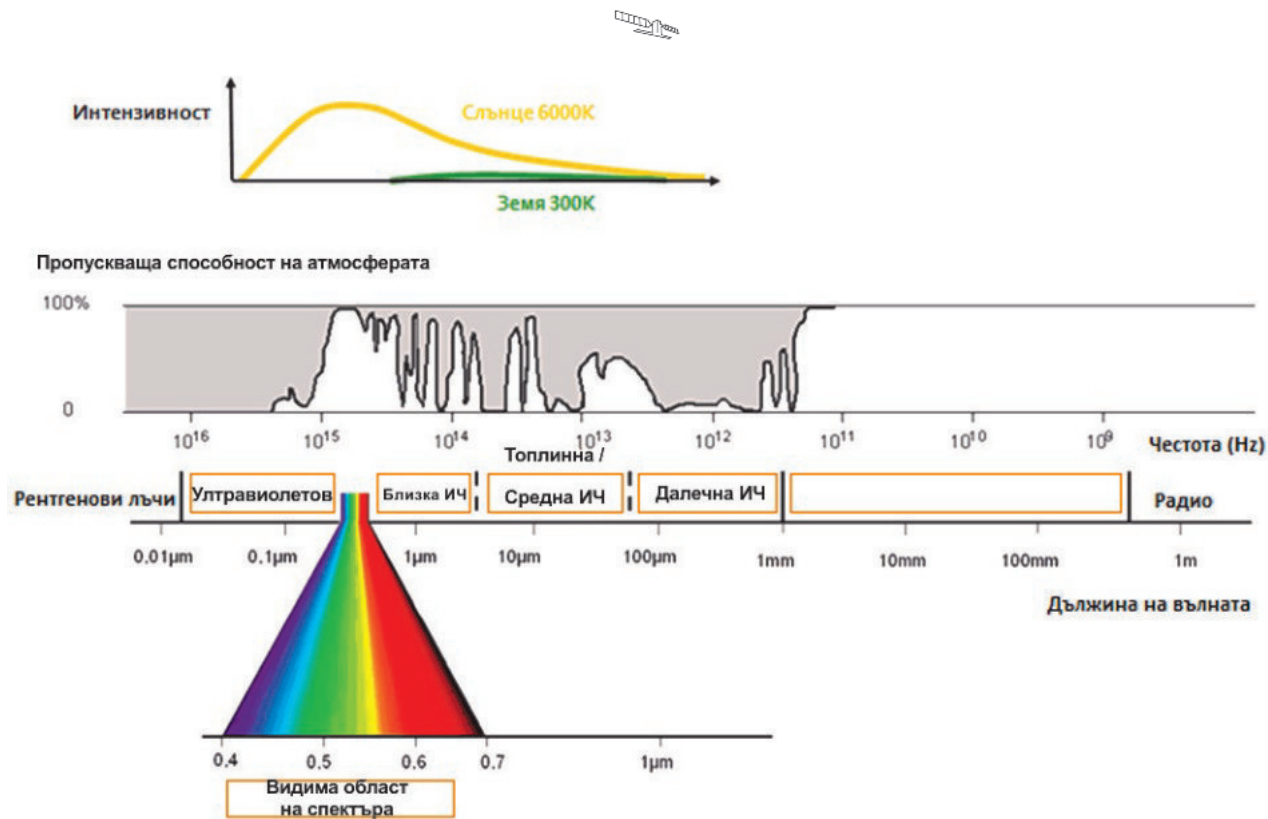
Атмосферно влияние

Радиацията се влияе от атмосферата по различни начини. Радиацията на Слънцето се разсейва, отразява или поглъща от частиците в атмосферата, както и отразената от Земята радиация. Облаците са най-лошият смуцаващ фактор за радиацията, който не дава възможност на пасивните спътникови датчици да измерват параметрите на земната повърхност.

Защо небето е синьо?

Слънчевата светлина с по-малка дължина на вълната (синята) се разсейва в по-голяма степен, отколкото останалата видима светлина. Затова небето изглежда синьо. При залез Слънце слънчевата светлина трябва да измине по-голямо разстояние през атмосферата, поради което част от нейната синя светлина се загубва в резултат от разсейването. Затова небето изглежда червено.

Атмосферното влияние зависи от дължината на вълната. В диапазона на видимата светлина, където интензивността на слънчевото излъчване е най-висока, предавателната способност на атмосферата е най-висока (виж фигурата). В диапазона на по-високите дължини на вълната предавателната способност намалява до по-тесни области. Тук влизат оптичните прозорци в топлинния инфрачервен спектър, където повърхността на Земята излъчва радиация. В диапазона на микровълните атмосферата е почти годна за предаване, но радиацията на Слънцето и Земята е ниска; затова този диапазон се използва от активните радарни системи. Дължини на вълната, по-малки от дължината на ултравиолетовата област, се поглъщат почти изцяло от атмосферата, поради което имат по-малко значение за дистанционните изследвания. Дистанционните изследвания се фокусират върху областите на пропускане, т. нар. *атмосферни прозорци*.



Фиг. 1.3. Спектър на електромагнитните вълни и пропускаща способност на ясна безоблачна атмосфера.
Източник: Albertz (2007), с изменения

Атмосферното разсейване е дифузията на радиацията, причинена от атмосферните частици.

Разсейването на Рейли е дифузно разсейване, причинено от миниатюрни частици и молекули (например, азотни или кислородни) с диаметър по-малък от дължината на вълната, взаимодействаща с радиацията. Слънчевата светлина с малка дължина на вълната се разсейва по-интензивно от радиацията с по-голяма дължина на вълната. Разсейването на Рейли е причина и за "мъглата", и за намаляването на контраста на образите. В цветните снимки то придава синкаво-сив цвят на изображението.

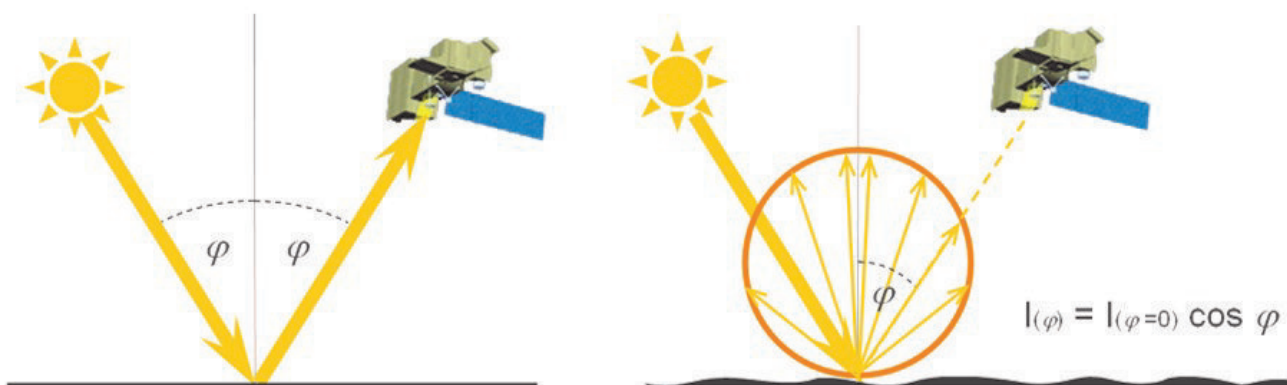
Разсейването на Мие се предизвиква от частици в атмосферата с по-голям диаметър от разглежданата дължина на вълната на радиацията. Това са водните капчици в облаците, ледените кристали и аерозолите (морска сол, прах, биологични материали, сулфати, нитрати и др., породени от изпарения, огън и горски пожари, вулканични изригвания и промишлена дейност). Това разсейване се характеризира с по-малка избирателност спрямо дължината на вълната от разсейването на Рейли, което обяснява защо облаците са бели, а прахът – сив.

За разлика от разсейването, *поглъщането* представлява ефективна загуба на излъчена енергия, предизвикана най-вече от водни пари, въглероден двуокис и озон. Поглъщането на всички газове зависи в голяма степен от дължината на вълната и определя атмосферните прозорци, т.е. диапазона на неблокираните участъци от спектъра. При всяка задача от областта на дистанционните изследвания трябва да се вземат предвид два основни аспекта: *първичните източници на електромагнитна радиация/излъчване* (слънчева и земна) и *атмосферните прозорци*. Изборът на спектрална чувствителност на датчиците, използвани за регистриране и записване на радиацията изисква наличие на специфична информация (виж **Фиг. 1.3.**).

Взаимодействие на електромагнитната радиация със земната повърхност

Електромагнитната радиация, падаща върху повърхността на дадено тяло, се *отразява частично, поглъща частично* или *пропуска*, в зависимост от дължината на вълната на радиацията, свойствата на материала и състоянието на повърхността на тялото. Разликите в различните обекти ни дават възможност да разграничим тези обекти на спътниковите изображения. Освен от *ъгъла на падане*, начинът по който даден предмет отразява радиацията, се определя главно от *гладкостта на повърхността*. Има различни видове отражение, две от които са:

- **Огледално:** плоските повърхности отразяват като огледало (ъгълът на отражение е равен на ъгъла на падане);
- **Дифузно** (или Ламбертово): неравните повърхности отразяват равномерно във всички посоки.



Фиг. 1.4. Огледално (ляво) и дифузно отражение (дясно)

Повечето земни повърхности не са нито огледални, нито дифузни, а се намират някъде по средата между двете крайности.

Видът на отражението зависи от *гладкостта на повърхността* и от *дължината на вълната на падащата радиация*, достигнала повърхността. При дължина на вълната, по-малка от разликите във височината на повърхността, се наблюдава дифузно отражение.

Дифузното отражение на земната повърхност е от голямо значение в дистанционните изследвания, защото само дифузните отражения съдържат спектрална информация за "цвета" на отразяващата повърхност, докато огледалните отражения не съдържат такава информация (Lillesand, Kiefer 2004).

Упражнение 1.1. Електромагнитен спектър

Използвайте следните думи, за да опишете различните спектрални области на електромагнитния спектър и да попълните приложената **Таблица 1.1.**:

Близка инфрачервена – Определяне на температурата на повърхността, почвената влага – Видима – Микровълнова – Отражена слънчева радиация – Средна инфрачервена – Много високо – Незначително – Ултравиолетова – Определяне на растителността и

почвената влага, геоложки приложения, океански течения – Видима светлина – Незначително – Петролен слой на повърхността на водата, концентрация на озон – Слабо – Микровълнова – Топлинна инфрачервена – Излъчена топлинна радиация – Близко инфрачервена – Отражена слънчева радиация – Идентифициране на растителност, водни тела и почви с цел картографиране на земното покритие и земеползването – Ултравиолетова – Топлинна инфрачервена – Излъчена и отразена радиация – Средна инфрачервена.

Табл. 1.1. Спектрални области на електромагнитния спектър и тяхното приложение

Измерена величина:	Отразена слънчева радиация				Излъчена топлинна радиация	
Атмосферно влияние:		В синия и зеления диапазон		Незначително		
Приложения:			Картографиране на биомасата и жизнеността/ щети на растителността			Откриване с помощта на радар, метеорологични приложения, преместване на сушата

1.2. Спътници

Спътникови орбити

Една от възможностите за разграничаване на спътниковите системи за наблюдение на Земята е тяхната орбита. Най-общо, орбитите са два вида – слънчево-синхронни (или полярни) и геостационарни.

Геостационарните орбити се намират на разстояние около 36 000 km над Земята. На тази височина спътникът прави една обиколка около Земята точно за 24 часа – времето, за което Земята извършва една пълна обиколка около оста си. Спътниците летят в равнината на екватора, което ги прави да изглеждат неподвижни в небето, гледани от Земята. Това е причината спътниците винаги да "виждат" един и същ участък от земната повърхност и атмосферата.

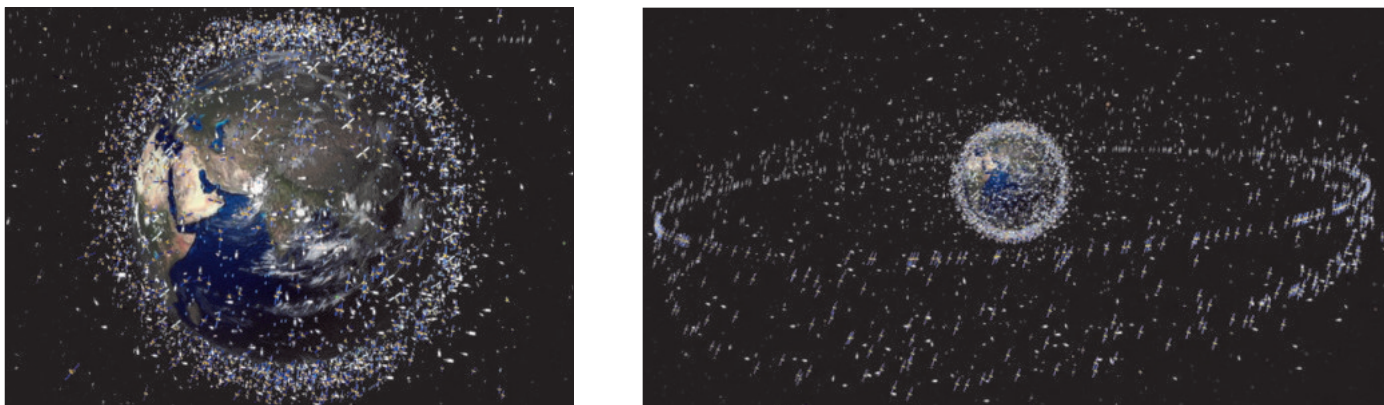
Това дава възможност да се получават изображения в различни моменти от време, които визуализират промените върху земната повърхност или движението на облаците.



Фиг. 1.4. METEOSAT. Източник: NASA.

Поради голямата височина на спътниковата орбита, пространствената разделителна способност е много ниска. Най-малкият елемент, който може да се различи, е с размери

1 km². Един пример за геостационарен спътник е спътникът METEOSAT. METEOSAT може да заснема изображения на всеки 30 минути. Тази висока времева разделителна способност е значително предимство, когато се наблюдава облачната покривка.



Фиг. 1.5. Натоварена орбита (ляво). Източник: © 2009 AFP, {www.lesoir.be}, още натоварени орбити (дясно). Източник: © 2009 AFP, {www.lesoir.be}

Обикновено, геостационарните спътници се използват за наблюдение и прогнозиране на времето, както и за телекомуникации и излъчване на телевизионни програми.

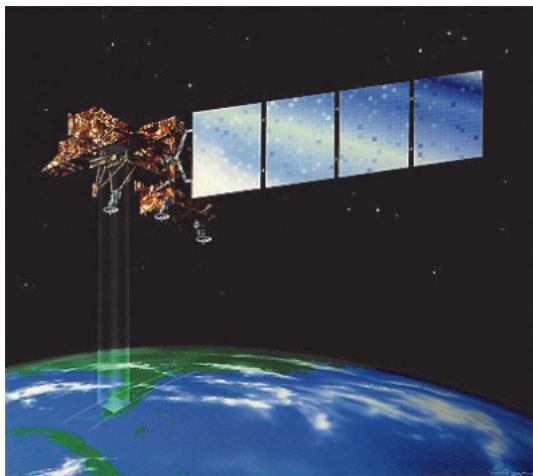
Организацията EUMETSAT управлява множество от метеорологични спътници и съответните им наземни системи, с цел получаване на надеждни и икономически ефикасни данни, изображения и продукти. От своя страна, тези спътници изпълняват изискванията по отношение мониторинга на времето и климата, предимно на националните метеорологични служби на страните-членки на ЕС и кооперираните страни.

Системата Meteosat Second Generation (Метеосат от второ поколение – MSG) е значително усъвършенствана система за наблюдение от предишното поколение на Meteosat. Първият MSG спътник, изстрелян през 2002 г., е Meteosat-8. Вторият спътник е изстрелян през декември 2005 г. Официална интернет-страница: www.eumetsat.int

Другият основен вид орбита на спътниците за наблюдение на Земята е *полярната или слънчево-синхронната орбита*. Спътниците, които летят на такава орбита, осигуряват изображения на цялата Земя със средна до висока разделителна способност, които се използват основно за мониторинг на околната среда. Те летят на височина от 300 до 1400 km над Земята.

След всяка спътникова орбита, чието времетраене е 90 min, Земята се придвижва малко по-нататък, поради което спътникът „наблюдава“ различни тесни ленти от повърхността на Земята. След дни или седмици спътникът се озовава отново над същия участък. Поради тази причина времевата разделителна способност на тези спътници е ограничена в сравнение със спътниците на геостационарна орбита.

Тъй като спътниците преминават и над двата полярни региона под наклон, близък до 90° (ъгълът между орбитата и равнината на екватора), техните орбити се наричат полярни орбити. Терминът слънчево-синхронна означава, че участъкът, наблюдаван от спътника, винаги се огрява от Слънцето по един и същи начин. Спътниците прелитат над даден участък винаги в точно определено местно време. Условиата на запис не се променят и сцените от различни времеви интервали могат лесно да се сравнят (Albertz 2007, Löffler et al. 2005). Серията от спътници LANDSAT е добре известен пример за спътници на полярна орбита.



Фиг. 1.6. LANDSAT. Източник: www.satimagingcorp.com

Програмата Landsat е серия от спътникови полети за наблюдение на Земята, която се управлява съвместно от NASA и U.S. Geological Survey (Геоложка служба на САЩ). Спътниците Landsat събират информация за Земята от Космоса от 1972 г.

Държавният Landsat 7 беше изстрелян успешно на 15 април 1999 г. Приборът за наблюдение на Земята на Landsat 7 – Усъвършенстваният тематичен картограф (Enhanced Thematic Mapper Plus – ETM+), възпроизвежда възможностите на изключително успешния Тематичен картограф (Thematic Mapper), летял на борда на спътниците Landsat 4 и 5.

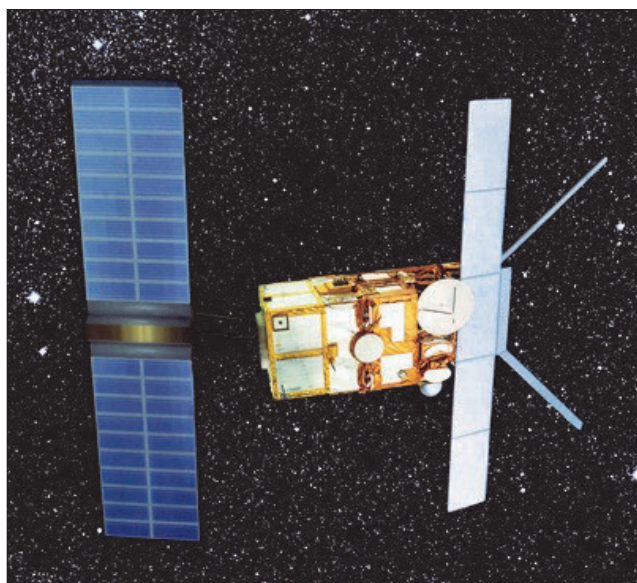
Официална интернет-страница: <http://landsat.gsfc.nasa.gov>

Активни и пасивни спътникови сензори

Друга възможност за разграничаване на спътниците за наблюдение на Земята е сравнението на използваните сензори. Най-общо, има пасивни сензори, които измерват отразената слънчева светлина или топлинната радиация, и активни сензори, които използват собствен източник на излъчване/радиация.

Активните сензори (напр. *радарите* и *лазерните скенери*) излъчват изкуствен сигнал с цел да наблюдават земната повърхност или свойствата на атмосферата. Радарите са уреди за картографиране, докато *радарните алтиметри* (висотомери) и *скатерометри* не са уреди за картографиране. *Радар* (Radar) е съкратеното наименование на „радио откриване и определяне на разстояния“ (*Radio Detection and*

Ranging). Това е метод за откриване и определяне на разстоянието до форми от земната повърхност. Радарните спътници излъчват краткотрайни електромагнитни импулси в микровълновия спектрален диапазон, поради което не зависят от слънчевата светлина и се влияят слабо от облаци, прах, мъгла, вятър и лоши метеорологични условия. Те измерват радарните импулси, отразени от земната повърхност, и анализират силата на сигнала, за да получат информация за структурата на земната повърхност и да регистрират времето между излъчването и връщането на импулса.



Фиг.1.7. Спътника ERS. Източник: ESA

Резултатите могат да се използват за измерване на разстояния. В зависимост от мисията на спътника се използват различни операции и процедури за обработка на

сигналите, която ги превръща в полезна информация.

ERS-2 е пример за европейски спътник; той е изстрелян през 1995 г. от космодрума Куру с ракета ARIANE. ERS-2 се движи по полярна орбита на височина 785 km със скорост 7.5 km/h, като покрива лента с ширина 100 km. ERS-2 е изстрелян на 21 април 1995 г. с ракета Ariane 4 от Космическия център на ЕКА „Гвиана“ близо до Куру – френска Гвиана. Много подобен на ERS-1 (изстрелян през 1991 г.), той е оборудван с допълнителни прибори и е снабден с усъвършенствани сензори.

ERS-2 носи значителен полезен товар – *радар със синтезирана апертура (Synthetic Aperture Radar – SAR)* и радарен висотометър за изследване топографията на морската повърхност и ветровете над нея, както и сензор за анализ на атмосферния озон.

Официална интернет-страница: <http://earth.esa.int/ers>

Пасивните сензори улавят слънчевата светлина, която след излъчването си се отразява от Земята, както и топлинната радиация във видимата и инфрачервената част на електромагнитния спектър. Те нямат собствена радиация, а приемат естествената светлина и топлинната от земната повърхност. Повечето пасивни сензори използват за картографирането скенер, напр. LANDSAT. Снабдени със спектрометри, те измерват сигнали в няколко спектрални области едновременно, в резултат от което се получават т. нар. спектрални изображения, които дават възможност за множество интерпретации (Albertz 2007, Löffler *et al.* 2005).

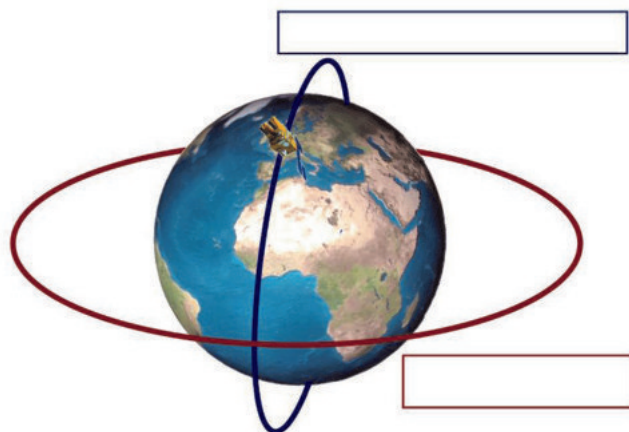
Табл. 1.2. Предимства и недостатъци на активните сензори

Предимства	Недостатъци
Не зависят от климатичните условия: изкуствената микровълнова радиация може да прониква през облаци, слаб дъжд и сняг.	Силата на импулсите е предимно ниска и може да има влияние или смущение от други източници на радиация.
Не зависят от слънчевата светлина: могат да работят и деном, и нощем.	
Радарът прониква през растителността и почвата: може да дава информация за повърхностния слой с дълбочина от mm до m.	Радарните сигнали не съдържат спектрални характеристики.
Може да дава информация за съдържанието на влага в повърхностния почвен слой.	Сложен и скъп анализ.
Различни приложения: океанография, хидрология, геология, глациология, земеделие и горски услуги.	

Упражнение 1.2.

Спътникови орбити

1. Нанесете наименованията на двете орбити на **Фиг. 1.8.** в тетрадките си.
2. Обяснете защо един спътник може да обикаля около Земята, без да използва енергия.
3. Спътниците на “червената” орбита се използват за няколко вида граждански услуги. Посочете няколко спътници и техните приложения и обяснете защо те могат да повлияят на качеството Ви на живот, както в положителен, така и в отрицателен смисъл.



Фиг. 1.8. Земята и важните орбити

4. Защо спътниците, показани на “синята” орбита, са важни за наблюдението на Земята?

5. Посочете каква е орбитата на всеки от следните спътници: Landsat, KALPANA, IRS, Meteosat, INSAT, Radarsat, SPOT, GMS, Quick-Bird, GOES, ERS, GOMS, Envisat, Ikonos, NOAA.

1.3. Разделителна способност

Изобразяване на данни от дистанционните изследвания



Спътниковите изображения не са снимки, а образни представяния на измерените данни. Спътниковите системи измерват електромагнитната радиация в различни области или “канални” от електромагнитния спектър (напр., във видимия или инфрачервения диапазон).

Фиг. 1.8. Шест от осемте канала на спътника LANDSAT 7 (в сиво) и три спектрални отражателни криви.

Източник: Siegmund, Menz 2005

Кои спектрални области или “канални” се забелязват?

Разделянето на целия електромагнитен спектър на различни спектрални области има



предимството за комбинирането им по различни начини, като така се получава повече информация в сравнение с обикновените панхроматични изображения (със само една честотна област). Във всяка област сивите ска̀ли се отнасят съответно за интензивността на електромагнитната радиация и се запазват в цифров вид под формата на *пиксели*.

Фиг. 1.10. Спътниково изображение в реални цветове на район от Карлсруе - Германия, 1999 г.

Източник: Landsat

Присвоявайки трите основни цвята (червен, зелен и син) на три различни области, се получават *комбинирани спътникови изображения*. Например, спътникът LANDSAT 7 ETM+ има 8 спектрални канала. Комбинацията от 3, 2, 1 канал дава едно очевидно естествено *спътниково изображение в реални цветове*.

Повече обекти или структури от земната повърхност могат да се идентифицират с помощта на други спектрални области или техни комбинации. Тези обекти включват водни тела, различни растителни видове и класове на земеползване. С помощта на топлинните спектрални области (канални) може да се идентифицира и температурата на повърхността на Земята.

Тези други комбинации са т. нар. *изображения с условни цветове*. Те показват типовете земно покритие в условен цвят, сравнен с това, което е видимо за очите ни (виж пример за изображение в условни цветове от LANDSAT 7 на **Фиг. 1.11.** по-долу).



Фиг. 1.11. Спътниково изображение в условни цветове на района Рейн–Некар, Германия, получено от LANDSAT 7, (комбинация от канали 5-4-3). *Източник: Landsat*

Освен присвояването на трите основни цвята на различните спектрални области, повече информация може да се получи чрез прилагането на *математически операции* върху суровите данни. Могат да се получат *изкуствени канали*, напр. *вегетационни индекси*, показващи жизнеността на растението, изразени чрез *Нормализирания разликъв вегетационен индекс (Normalized Difference Vegetation Index – NDVI)*.

Пространствена разделителна способност

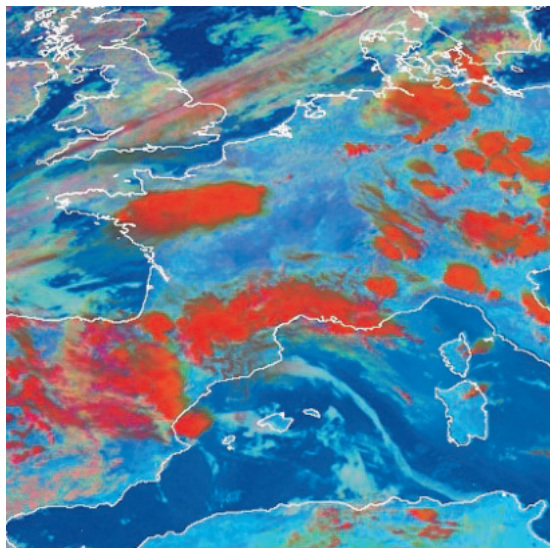
Спътниковите инструменти регистрират информацията за обектите във вид на матрица. Цифровите данни от обхванатата област се събират във вид на точки от изображение, наречени пиксели. Един *пиксел* е най-малката единица за площ в едно цифрово изображение.

Големината на пиксела зависи от вида на инструмента и определя *разделителната способност на изображението*. Разделителната способност се измерва с дължината на

ръба на пиксела. Колкото е по-висока разделителната способност и по-фина матрицата, толкова е по-висока степента на различимите детайли върху земната повърхност.

Разделителната способност на съвременните спътникови системи варира от няколко сантиметра (например, за военни цели) до километри:

- **Ниска разделителна способност:** над 30 m
- **Средна разделителна способност:** 2–30 m
- **Висока разделителна способност:** под 2 m.



Фиг. 1.12. Спътниково изображение на Западна Европа с ниска разделителна способност - METEOSAT (1 km). *Източник:* Copyright 2005 EUMETSAT

Проектирането и изстрелването на спътниците зависи от тяхното предназначение и орбита.

По-ниската разделителна способност обикновено отговаря на по-висока честота на повторение, тоест на по-кратък интервал (напр. за METEOSAT-8 – на всеки 15 min), в който спътникът изследва една и съща област. "Грубата" разделителна способност се използва за запис на големи или глобални области във връзка с въпроси, свързани с климата, например радиационния фон на Земята, и за наблюдение на времето. Други приложения са наблюдение на земеползването и океаните, ледената покривка на океаните и температурата на повърхността.

Спътниците със *средна разделителна способност*, като LANDSAT 7 се използват за глобално наблюдение на земната повърхност. Тропическите гори и тяхното обезлесяване са обект на наблюдение на спътниците LANDSAT повече от 30 години.

Изображенията с *висока разделителна способност* се използват предимно за по-малки области от земната повърхност. Тези данни станаха достъпни за търговска и частна употреба едва неотдавна. Спътници като IKONOS изпращат данни за топографско и тематично картографиране, например на земеползването, растителността, или данни, използвани като източници на градско планиране, големи проекти и др. Информацията може да се "поръча" и предварително, тъй като въртенето на спътниковите инструменти може да намали честотата на повторение и мониторингът на желаните области да се извърши по-рано (Albertz 2007, Löffler *et al.* 2005).

Спътникът IKONOS е с *висока пространствена разделителна способност*, управляван от GeoEye. Неговите приложения включват картографиране на природните ресурси и природните бедствия, картографиране за данъчни цели, анализ на земеделския и горския фонд, минни, технически, строителни и общи промени както в градските, така и в земеделските райони. Неговите данни с висока разделителна способност представляват безценен принос за националната сигурност, мониторинга на крайбрежните зони и подпомагат 3D анализа на терена.

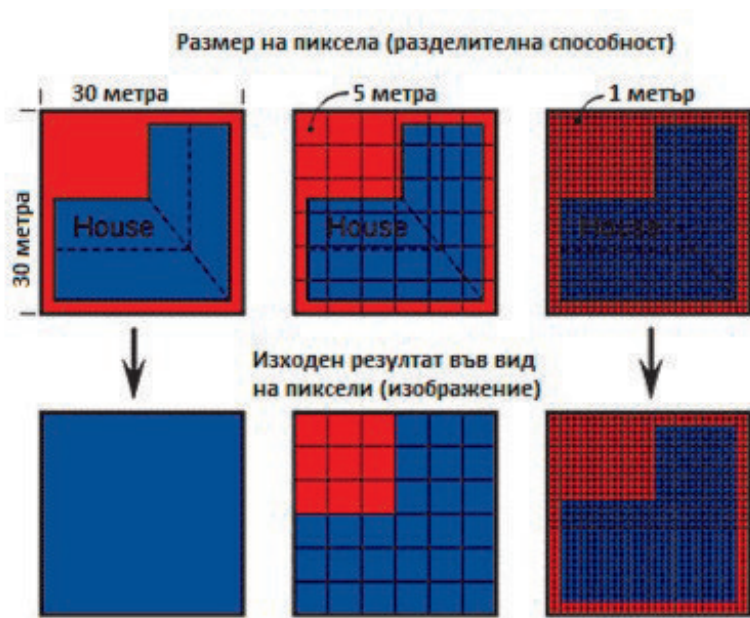
Интернет страница на IKONOS: <http://www.satimagingcorp.com/satellite-sensors/ikonos.html>.

QuickBird е спътник с *висока пространствена разделителна способност*, който е собственост и се управлява от DigitalGlobe. Спътникът е отличен източник на данни за околната среда по отношение анализа на промените в земеползването, климата в земеделските области и горите. Картографските способности на QuickBird могат да намерят приложение в голям брой промишлености, като проучванията и добивът на нефт и газ, технически, строителни и екологични изследвания.

Страница на QuickBird: <http://www.satimagingcorp.com/satellite-sensors/quickbird.html>



Фиг. 1.13. Артистично представяне на спътниците IKONOS (ляво) и QuickBird (дясно) в космическото пространство. *Източник:* www.satimagingcorp.com.



Фиг. 1.14. Пространствена разделителна способност.

Източник: Satellite Imaging Corporation

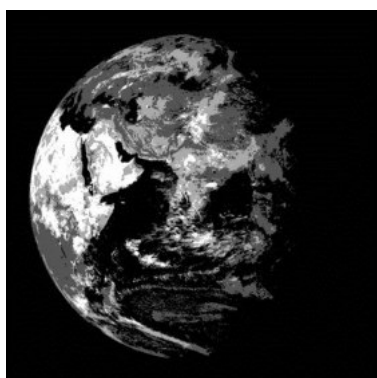
Радиометрична разделителна способност

Радиометричната разделителна способност показва степента, в която могат да се възприемат *разликите в яркостта* на едно изображение; тя се измерва с броя на нивата на сивото (сива ска̀ла), **Фиг. 1.15**. Максималният брой нива на сивото се определя от броя на битовете (двоични числа). Едно 8-битово представяне има 256 нива на сивото, а едно 16-битово (спътниците ERS) представяне има 65 536 нива на сивото.

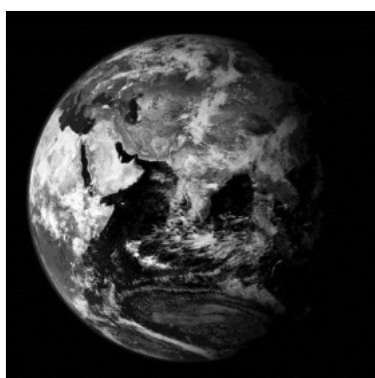
Колкото по-фина или по-висока е разделителната способност, толкова по-добре се отразяват малките разлики и по-добре се измерва излъчената радиация, толкова по-голям е обемът на измерените данни (сравнете с изображението отдясно). Предимството на по-високата радиометрична разделителна способност е сравнително малко – при сравнение на LANDSAT-MSS (6 бита) и LANDSAT TM (8 бита) подобрението е от порядъка на 2–3 %.

Радиометричната разделителна способност зависи от дължините на вълната и от вида на спектрометъра:

- **LANDSAT-MSS** (от LANDSAT 1–3): 6 бита (64 стойности на сивото)
- **IRS-LISS I-III**: 7 бита (128 стойности на сивото)
- **LANDSAT-TM** (от LANDSAT 4–5) и **SPOT-HRV**: 8 бита (256 стойности на сивото)
- **LANDSAT-ETM & ETM+** (от LANDSAT 6–7): 9 бита (предават се само 8 бита)
- **IRS-LISS IV**: 10 бита (предават се само 7 бита)
- **Sentinel-2**: 12 бита
- **IKONOS** и **QuickBird**: 11 бита.



Сива ска̀ла 4



Сива ска̀ла 16



Сива ска̀ла 256

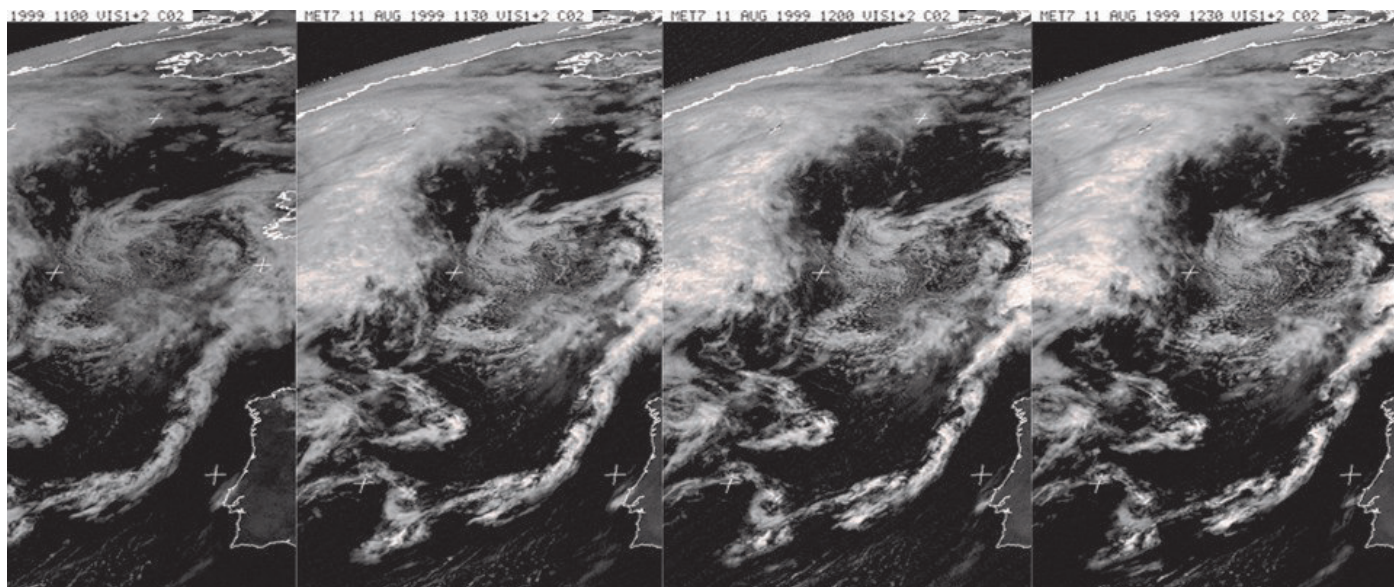
Фиг. 1.15. Изображения на детайли от земния диск според стойностите на сивата ска̀ла.
Източник: ESA

Времева разделителна способност

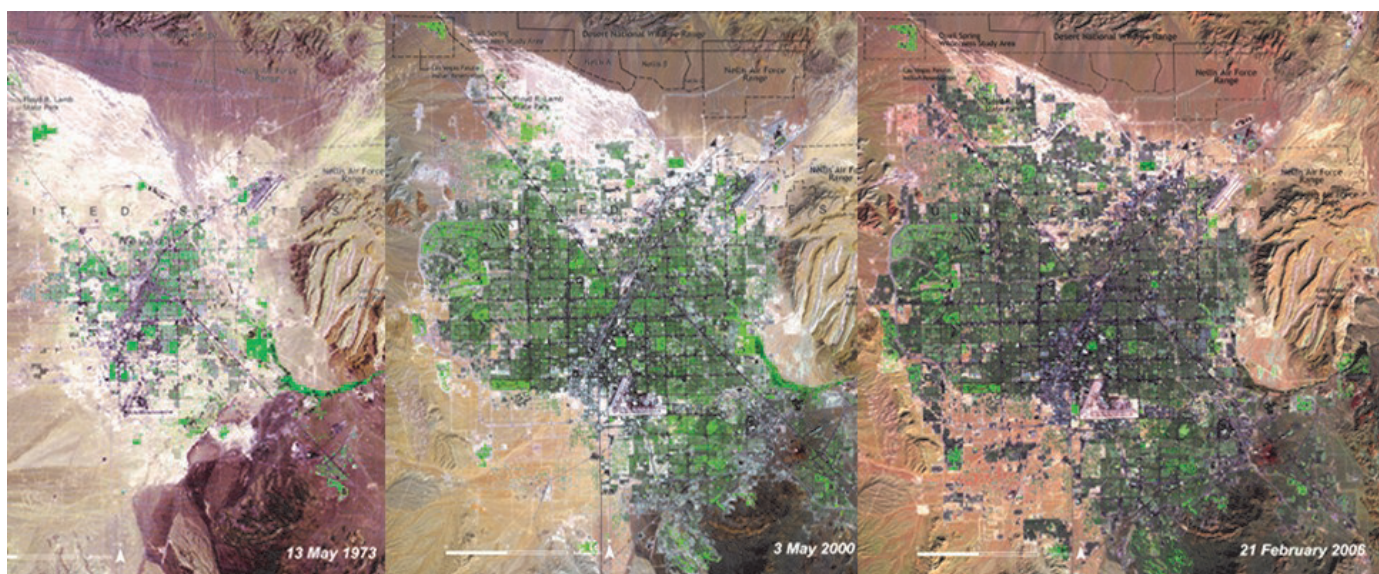
Времевата разделителна способност представлява времевият интервал между два аналогични полета над една и съща област, наричан още честота на повторение.

Времевата разделителна способност се определя от *височината* и *орбитата* на спътника, както и от *характеристиките на датчика* (зрителния ъгъл).

Честотата на повторение и времевата разделителна способност на *спътниците за наблюдение на Земята* е 14–16 дни (IKONOS: 14 дни, LANDSAT 7: 16 дни, SPOT: 26 дни). *Метеорологичните спътници*, като METEOSAT 8 имат значително по-малка честота на повторение – 15 минути.



Фиг. 1.16. Метеорологични спътникови изображения от Meteosat 7, заснети на всеки 30 min.
Източник: EUMETSAT



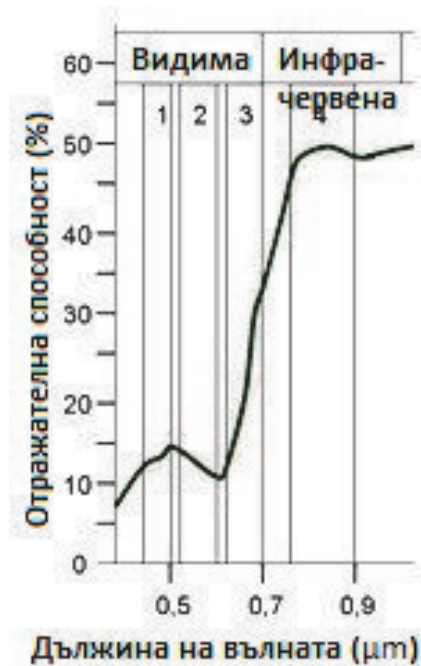
Фиг. 1.17. Лас Вегас във времето през 1973, 2000 и 2006 г.
Източник: UNEP

Времевата разделителна способност е по-ниска при наличие на облачност за инструменти, разграничаващи видимата или инфрачервената радиация, която не прониква през облаците. Тъй като много области от земната повърхност често са покрити от облаци, тези области не могат да се заснемат точно при преминаването на спътника над тях.

Изображения на дадена област, заснети в различни моменти от време (веднъж на месец, година или десет години) могат да се използват за *мултитемпорален анализ*. Ето няколко примера за възможностите за анализ, предоставени от тях:

- сезонни промени в растителността,
- разрастване на градовете в течение на десетилетия, или документиране на изсичането на горите в областите с тропични гори и др.

Вегетационен индекс



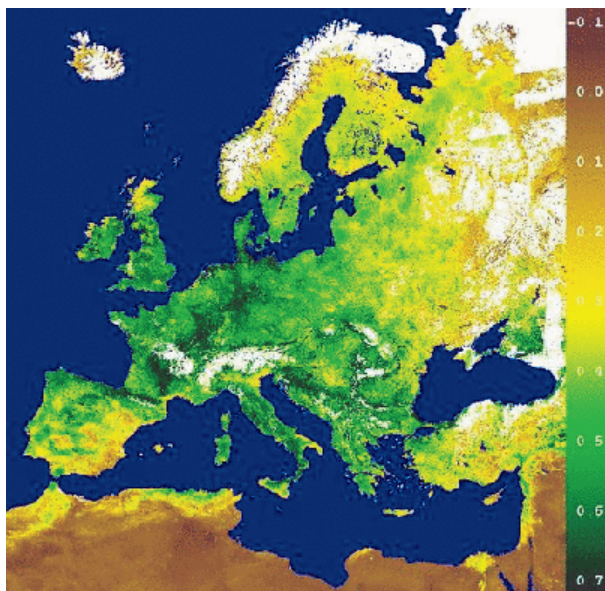
Вегетационният индекс обикновено се изчислява, за да може да се определи по-добре жизнеността и фотосинтезата на растенията. Интересното тук е характерното повдигане на отражателната крива на растителността от видимата към инфрачервената светлина. Ниската отражателна способност на растителността в червената област е последвана от рязко повдигане на кривата към висока отражателна способност в близката инфрачервена област. Това рязко повишаване на *спектралната отражателната характеристика (COX)* е известно като *червен ръб* (виж **фиг. 1.18.**).

Най-простият вегетационен индекс е т. нар. *Дробен вегетационен индекс (Ratio Vegetation Index – RVI)*:

$$RVI = NIR / Red \quad (1.7)$$

Колкото по-голямо е горното съотношение, толкова по-голям е процентът на здравата растителност.

Нормализиран разликов вегетационен индекс (NDVI)



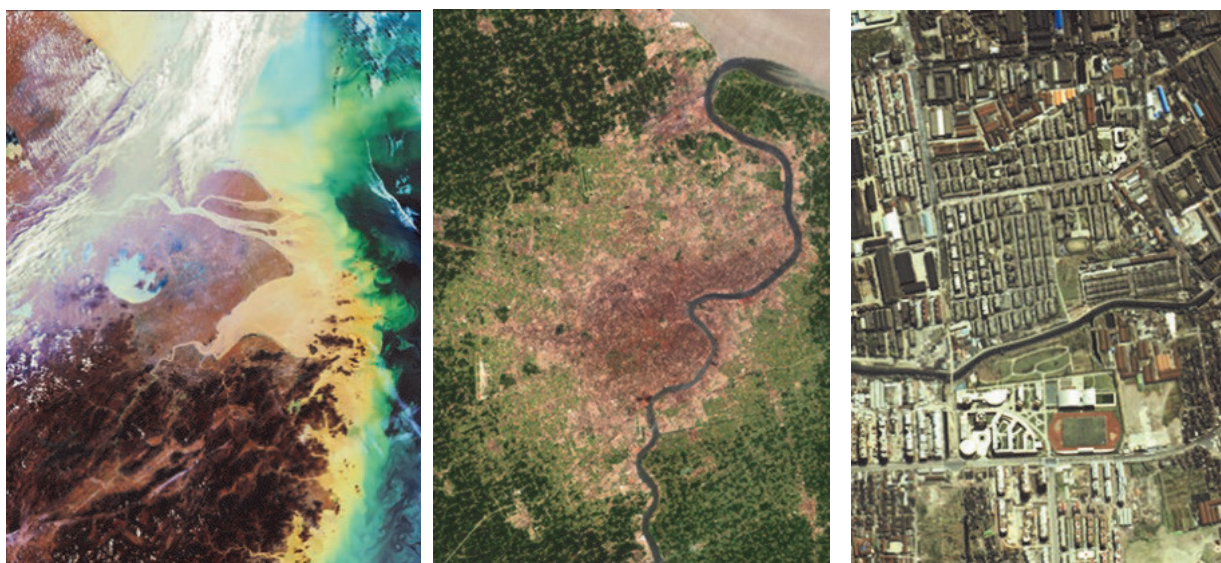
Фиг. 1.19. NDVI в Европа. Източник: DLR

Нормализираният разликов вегетационен индекс (Normalized Difference Vegetation Index - NDVI) най-често се проявява и свързва данните от близката инфрачервена област с данните от червената спектрална област. Той е стандартизиран и стойностите му са между -1 (липса на каквато и да е растителност) и +1 (обилна растителност). Разликите в осветеността и влиянието на годността на Земята могат да се компенсират:

$$NDVI = (NIR - Red) / (NIR + Red). \quad (1.8)$$

NDVI е свързан с много свойства на растенията. Той се използва, за да се определи здравния статус на растенията, да се изобразят фенологичните промени, да се оцени зелената биомаса и добива от посевите и други приложения. Повече информация ще намерите в **Модул 4 “Приложение на дистанционните изследвания и геоинформационните технологии в земеделието”**.

Упражнение 1.3. Въпрос на разделителна способност



Фиг. 1.20. Шанхай на различни спътникови изображения: (вляво) регистрирани от сензора MERIS на борда на Envisat - 2003 г., (в средата) Landsat TM - 1989 г., (вдясно) регистрирани от Ikonos - м. май 2000 г.
Източник: ESA & Beckel 2007

Задачи:

1. Различни разделителни способности за различните приложения.
 - а. Попълнете таблицата, която показва кои разделителни способности са подходящи за различните приложения. Използвайте следната скала: + (най-подходящи за целта), о (средно подходящи за целта), - (неподходящи за целта).
 - б. Съставете таблица, която да показва предимствата и недостатъците на използването на изображения с ниска, средна, висока и много висока разделителна способност.
2. Изборът на спътникова система обикновено представлява компромис между цена и пространствена разделителна способност. Каква разделителна способност трябва да има спътникът, за да...
 - а. извършва мониторинг на растителността в даден район?
 - б. проверява напредъка в изграждането на летище?
 - в. начертае топографска карта на даден район?

Потърсете основните задачи и приложения на спътниците Landsat, SPOT, Pleiades, WorldView, IKONOS и QuickBird в Интернет.

Табл. 1.3. Предимства и недостатъци на разделителната способност

	Ниска разделителна способност	Средна до висока разделителна способност	Много висока разделителна способност
Предимства			
Недостатъци			

Табл. 1.4. Видове разделителна способност и нейните приложения

Приложения	Ниска разделителна способност	Средна до висока разделителна способност	Много висока разделителна способност
Контрол на транспорта			
Картографиране на регионалната околна среда			
Актуализация на топографски карти			
Картографиране на земеделието			
Преброяване на дърветата			
Градско планиране			
Мониторинг на времето			

1.4. Визуална интерпретация на изображенията

На практика всички хора живеят с *визуалното възприятие* на своята околна среда. Този опит се използва и в интерпретацията на изображенията (в 2D) и в 3-мерните структури и образци.

Визуалната интерпретация на спътниковите изображения е сложен процес. Тя включва смисъла на съдържанието на изображението, но излиза извън рамките на това, което се вижда на изображението, разпознавайки пространствените структури и структурите на пейзажа. Този процес може да се раздели най-общо на две нива:

Разпознаване на обектите, като улици, ниви, реки и др. Качеството на разпознаване зависи от опита в интерпретацията на изображения и визуалното възприятие.

Същинската интерпретация се осъществява чрез заключения (от предишни разпознати обекти) за разположение, възстановяване и др. Тук от основно значение са познаването на специфичната материя и опитът.

Основните фактори на интерпретация в разпознаването на обекти са: яркостта на съответната област, както и разликите в яркостта на различните области, наситеността на сивото или на определен цвят, формата на обектите (линии, контур и силует), съвкупността от изображения, размерът на обектите (представяне чрез скала на изображенията), текстурата на повърхностите (структурата на областта), засенчването или дълбоката сянка, относителното разположение на обектите (среда), както и схемите на обектите (напоителни мрежи, схеми на растителност, схеми на населени места, схеми на транспорта) (Albertz 2007).

Първата стъпка в разпознаването на обектите и структурите е свързана със следния израз: *"Мога да разпозная в едно изображение само това, което вече познавам."* Следователно, *предишните познания и опитът* играят много голяма роля в процеса на интерпретация, тъй като само чрез познания за специфичните обекти могат да се направят връзки между основните процеси.

Двете стъпки – разпознаването и интерпретацията, не следват "механично" една след друга, а по скоро преминават през *процес на многократно повторение*, при който двете стъпки разчитат в голяма степен една на друга (Albertz 2007).



Фиг. 1.21. Схематично представяне на процеса на интерпретация. Източник: Albertz 2007, с изменения



Фиг. 1.22. Западна Европа на спътниково изображение. Източник: NASA

Практика на интерпретация на изображения

- *Набавяне на документи:* спътникови изображения, карти и др.
- *Предварителна интерпретация:* грубо разпределение, разделяне на областта и др.
- *Частично предварително изследване на Земята:* разпознаване на регионалните особености.
- *Подробна интерпретация:* областите се разглеждат поотделно, обектите се разпознават и сравняват с картите. Започва се с лесно идентифицируемите обекти.
- *Изследване на терен/Полево сравнение:* метод за двойна проверка на несигурни резултати от интерпретацията.
- *Изобразяване на резултатите:* чрез карти, скици, тематично картографиране и др.

Ключовете за интерпретация помагат в разпознаването и интерпретацията на обекти и структури.

Избор на ключове: изберете примери на налични изображения, с които да сравнявате визуално схемите на изображенията и да разпознавате сходствата.

Ключове за елиминирание: систематично дърво с описание на обектите, винаги с две или повече възможности.

Тези ключове гарантират голяма обективност по отношение на резултатите от интерпретацията, но те се отнасят само до един конкретен въпрос, тъй като "пространствените структури и връзки, гледани в конкретна природна или културна среда, рядко могат да бъдат трансформирани, а ако могат – това почти винаги става с ограничения" (Löffler et al. 2005).

Упражнение 1.4.

Визуална интерпретация на спътникови изображения



Фиг. 1.23. Мозайка на спътниково изображение на Европа, заснето от SPOT Vegetation през 2002 г.
Източник: Beckel 2007

Задачи:

Опишете мозайката на спътниковото изображение на Европа. Какви различни картини и повърхностни структури (регионални ландшафти) можете да различите? Можете да използвате различни репери, като топографски, геоложки и почвени карти или карти на регионалното планиране.

Основните цветове на изображението (зелен, жълт, кафяв) отразяват промените в

земното покритие. Как са свързани те с типовете земно покритие, като гори, пасища и др. Къде се забелязват големи населени области?

Една мозайка е съставена от голям брой изображения, взети от различни спътници. Според вас, през кой сезон (пролет, лято, есен, зима) са заснети изображенията? Обосновете отговора си.

Вземете прозрачно фолио и покрийте изображението с него; използвайте клипсове за хартия, за да не загубите прозрачността. Обозначете характерните точки и проследете крайбрежната линия.

а). Начертайте държавните граници на европейските страни с помощта на атлас. Обсъдете в клас защо някои граници следват естествените обекти от повърхността, а други – не.

б). Очертайте важните регионални пейзажи и ги обозначете с помощта на атлас.

1.5. Обработка на изображения

Корекции

Обработката на изображения е процес, който прави изображенията годни за интерпретация с определена цел. Методите са много, но тук ще се спрем само на най-разпространените.

Геометрична корекция

Геометричната корекция на данните от изображенията е важна предварителна стъпка, която трябва да се извърши преди изображенията да бъдат използвани в географските информационни системи (Geographic Information Systems – GIS) и други програми за обработка на изображения. За да се обработят данните заедно с други данни или карти в GIS, всички данни трябва да имат една и съща координатна система. Геометричната корекция, още наречена *георефериране*, е процедура, при която на съдържанието на картата се присвоява пространствена координатна система (например, географска ширина и дължина).



Фиг. 1.24. Схематично представяне на геометрична корекция

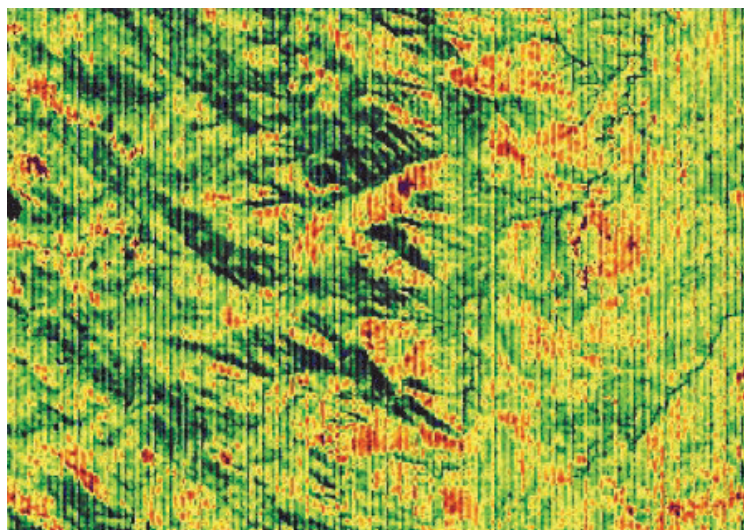
При геореферирането се търсят *точки от изображението и точки на преминаване*, които след това могат да бъдат разпознати в координатите. Точките на преминаване обикновено се определят с помощта на GPS приемник на терена или с помощта на карти. Могат да се идентифицират визуални пресечки на улици, мостове и др. и да се отбележат техните координати. След това се намират точките, съответни на тези точки във все още негеореферираното спътниково изображение. Тези корелации служат за определянето на проекции с помощта на различни допълнителни процедури.

Радиометрична корекция

Системните корекции са важни, когато в резултат от технически дефекти и недостатъци на датчиците и на системите за предаване на данни се получават грешки в

конструкцията на данните от изображението. Причините за това могат да бъдат повреда в детектора и/или повреда в хранването на детектори, които работят едновременно.

При скенерите, като Landsat TM и MSS, които имат съответно 6 и 15 редове на сканиране и които се използват за една и съща спектрална област, настъпва повреда в редовете на сканиране. Тези грешки винаги се появяват на еднакви интервали и предизвикват характерния лентов вид на изображението.



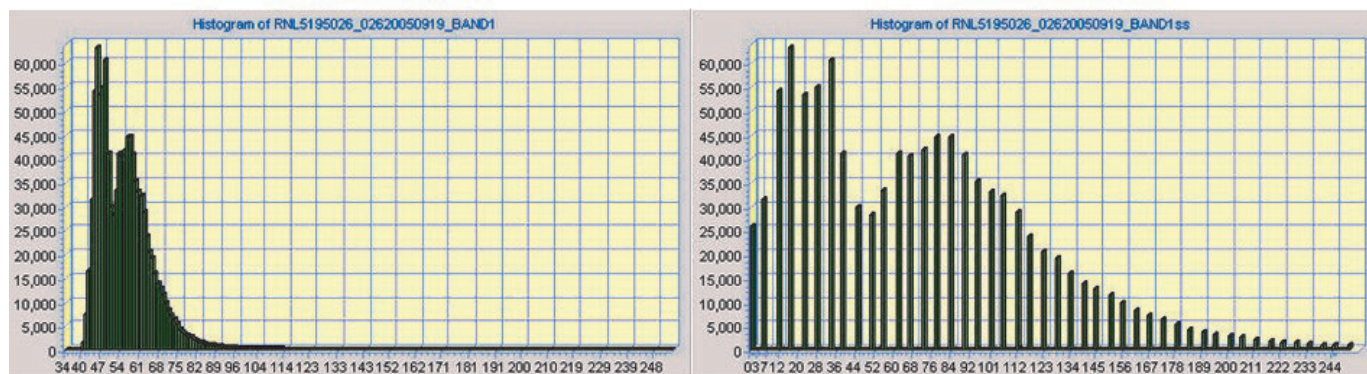
Фиг. 1.25. Характерен лентов вид на спътниково изображение, предизвикан от повреда в редовете на сканиране. *Източник: Naumann 2008*

Подобряване на качеството на изображението

Защо подобряваме качеството на спътниковите изображения? Използват се различни методи за подобряване на качеството на спътниковите изображения с цел да се подготвят "суровите данни", така че реалният анализ на изображенията да бъде по-лесен, по-бърз и по-надежден. Избраният метод зависи от целта на анализа. По-долу са представени два процеса.

Разширяване на хистограмата

При обработката на цифровите изображения статистиката на изображенията се изобразява с хистограма в скалата на сивото (честотно разпределение на сивите стойности).



Фиг. 1.26. Хистограма на сателитно изображение преди и след разширяването

Формата на хистограмата описва контрастния диапазон на спътниковото изображение и дава възможност да се коментира неговата хомогенност. Например, разпределение в скалата на сивото с ярко изразен максимум е указание за малък контраст. Максимум, който е просто разширен, е указание за хомогенност на изображението, но също и за по-широк диапазон на контраста.

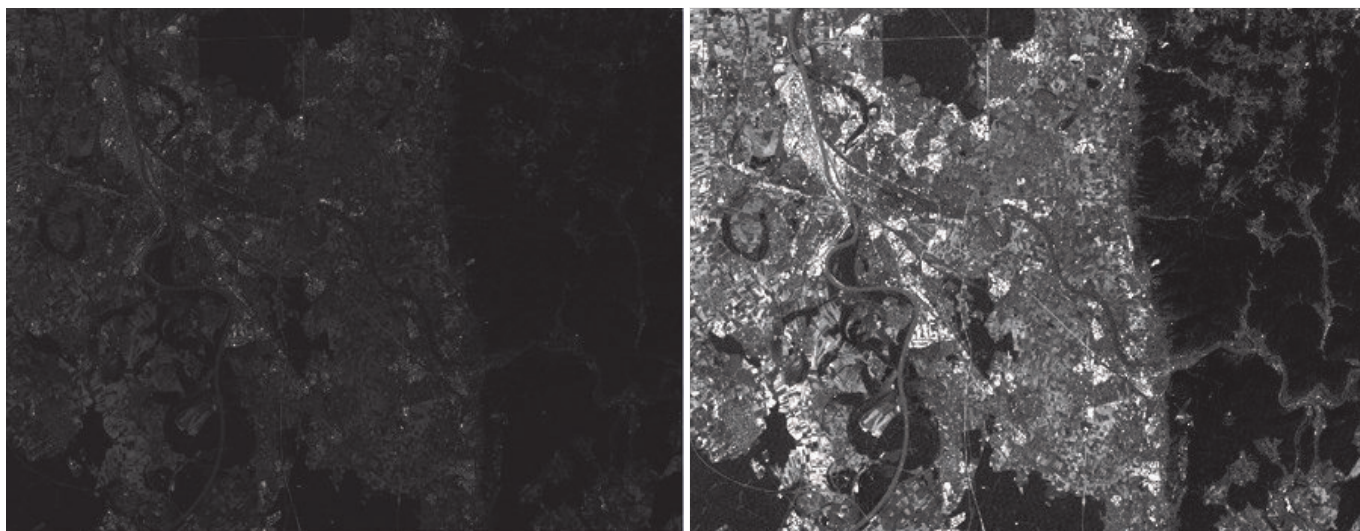
Разширяването на хистограмата е метод за обработка на отделните стойности в изображението. Разширяването се използва като контрастиращо представяне на данните. Разширяването на контраста може да се използва в много различни процеси. Входните данни винаги се разширяват в цялата област от 0–255.

Филтър

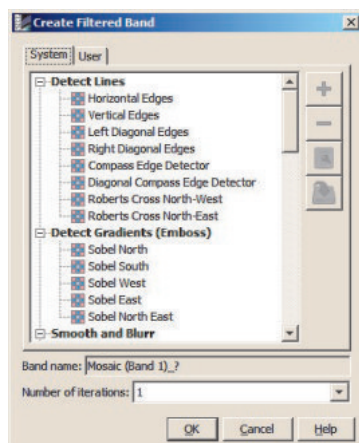
Така наречените филтърни операции променят структурата на изображението като изчисляват *отношенията на стойностите на съседните пиксели в скалата на сивото*. Филтрите използват матрици от коефициенти, които изрязват малка част или матрица от оригиналното изображение, центрирана върху една отделна точка от изображението. След това филтърът / матрицата "обхожда" цялото изображение.

Оригинал преди ...

и след разширяването на хистограмата



Фиг. 1.27. Част от оригиналните данни от района на Рейн-Неккар-Крайс преди разширяването (вижте хистограмата отляво). *Източник:* Landsat

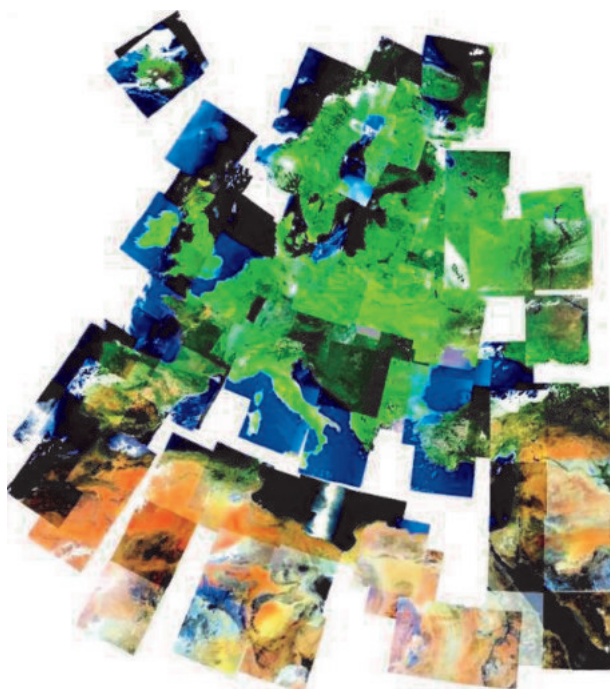


Фиг. 1.28. Филтри в софтуера за обработка на изображения SNAP (ESA)

Упражнение 1.5.

Обработка на изображения

Георектифициране. Подобряване на качеството и мозайкиране



Фиг. 1.29. Мозайка на сцени на Европа, получени от MERIS. Източник: Beckel 2007

Задачи:

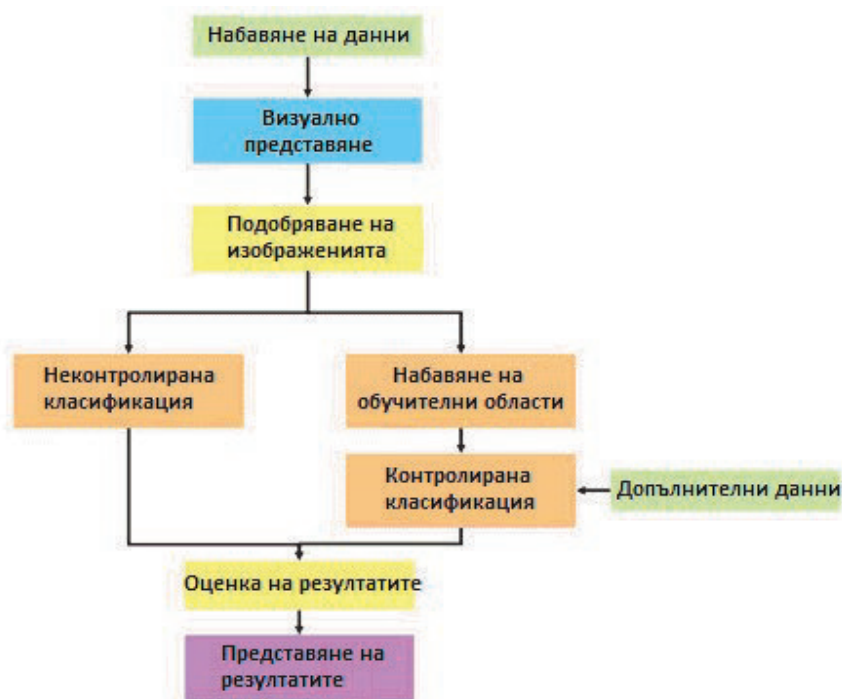
1. Обяснете защо подобряваме качеството на данните.
2. Помислете как са били манипулирани спътниковите сцени на горното изображение. Какъв вид обработка на изображения са преминали?
3. Опишете и разтълкувайте разликите в цветовете на различните сцени.
 - а). Какво може да представляват белите петна над Исландия?
 - б). Какво може да представляват белите области в южната част на Средиземно море?
4. Помислете как са били манипулирани спътниковите сцени на горното изображение. Какъв вид обработка на изображения са преминали?

1.6. Класификация

Защо класифицираме данни и спътникови изображения?

Когато едно спътниково изображение бъде подложено на процеса на класификация, един от възможните резултати е *класификационната карта на земеползването*. С ограничения си брой класове тази карта може да бъде "разчетена" и интерпретирана по-успешно за цели като планирането.

Отделните елементи (*пиксели*) на спътниковото изображение, включително неговите стойности (отражателни стойности и стойности в скалата на сивото) могат да бъдат отнесени към конкретен брой *класове* (например, класове на земеползване) за конкретна



класификация.

Фиг. 1.30. Процесът на класификация.
Променен по: Naumann 2008

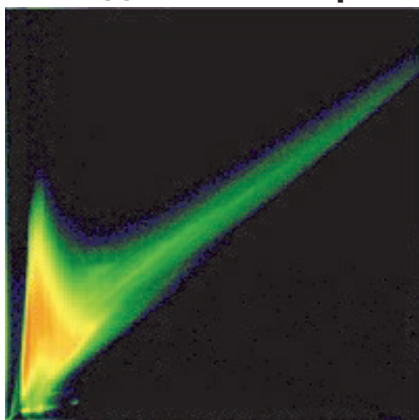
Процес на класификация

Процесът на класификация започва след набавянето на подходящи данни. Първата стъпка е *визуалната интерпретация* на спътниковото изображение (виж фигурата отляво). След серия операции, свързани с обработката на изображения и подобряването на качеството (като радиометрична и геометрична корекция, разтягане и алгоритми за филтриране), започва реалния процес на класификация.

Процесът е разделен на няколко части. Необходимо е да се вземе решение дали ще се извършва контролирана и/или неконтролирана класификация.

"Неконтролираната класификация използва статистическото разпределение на пикселите в **пространствата на характеристиките** изключително за разграничаване на класовете."

Методи на класификация



- *Неконтролирана класификация*: Чисто статистически анализ (клъстърен анализ) на многоспектрални данни от дадена област (без реперни области).
- *Контролирана класификация*: Всеки обектов клас се отнася към реперните области, наречени *обучителни области*. Това са области, принадлежащи очевидно към определен клас, които подобряват статистическата класификация.

Фиг. 1.31. Пространство на характеристиките на канали 3 и 4 от LANDSAT

Неконтролирана класификация

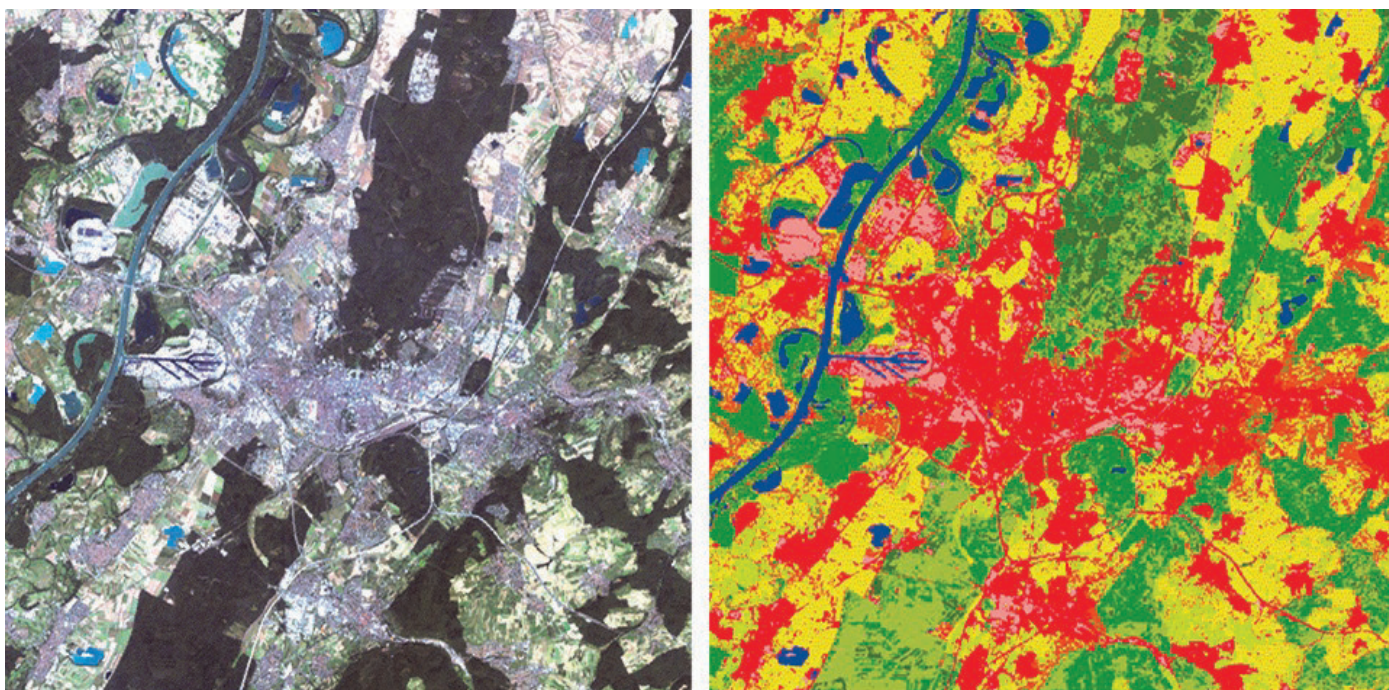
Какво представлява пространството на характеристиките?

Пространството на характеристиките и неговата размерност се определя от броя на регистрираните "канални" (спектрални области). Например, спътникът LANDSAT 7 има шест канала, затова всеки регистриран *пиксел* от този спътник има шест стойности в скалата на сивото. Пикселите притежават *характеристичен вектор* в пространството на

характеристиките с шест измерения. В представянето участват максимум три измерения, но обикновено на *графиката* (спектралните области) се изобразяват два канала (виж по-долу). Всеки *пиксел* има, чрез характеристичния си вектор (стойността на неговите атрибути), конкретно място в това "пространство".

Компилациите или т.нар. *пикселни клъстър* в *пространството на характеристиките* представляват конкретните класове. Колкото по-близо един до друг са два пиксела в пространството на характеристиките, толкова по-сходни са те и толкова по-голяма е вероятността да принадлежат към един и същ клас. Има две процедури за класификация на *групировка от пиксели*:

- *Започващи с отделни пиксели* – най-сходните пиксели се групират стъпка по стъпка. Накрая, всички пиксели се групират в класове.
- *Започващи с всички пиксели* – целта могат да бъдат определен брой класове. Тази процедура се нарича *клъстъризация*. Добрият и надежден класификатор разпознава значителните разлики в характеристичните вектори, които след това се разпределят към отделните класове.



Фиг. 1.32. Спътниково изображение от района на Карлсруе и класификация на същото изображение.
Източник: LANDSAT и © LUBW, с изменения.

Тези разлики и сходства почти винаги се изобразяват в повече от три представими размерности. *Неконтролираната класификация* често се смята за *подготовка*, т.е. първата стъпка, която води към *контролираната класификация*. В този момент може да се определи дали данните могат да се разпределят в необходимия брой класове.

Контролирана класификация

При контролираната класификация (за разлика от неконтролираната класификация) като допълнителна информация се използват *референтни класове*. Резултатът от процеса на класификация са определените класове.

Най-често използваните стъпки са следните:

1. Определяне на *класовете на земеползване и земно покритие* (спектралните класове като иглолистна гора, широколистна гора, вода, земеделие и др.);
2. Класификация на подходящите *обучаващи области* (референтни области за всеки клас);
3. Извършване на истинската класификация с помощта на подходящ класификационен алгоритъм;
4. *Верифициране*, оценка и проверка на резултатите.

Обучаващи области

Статистическата класификация за т.нар. *обучаващи области* е "обучавана". Областите се избират от изследваната област (например, от карти или въздушни изображения) и се картографират в изследване на обекта. Дефинират се примерните райони за всеки клас (например, класове на земеползване, като иглолистни гори, водни площи и др.) и се поставят на разположение на класификатора като *еталон*.

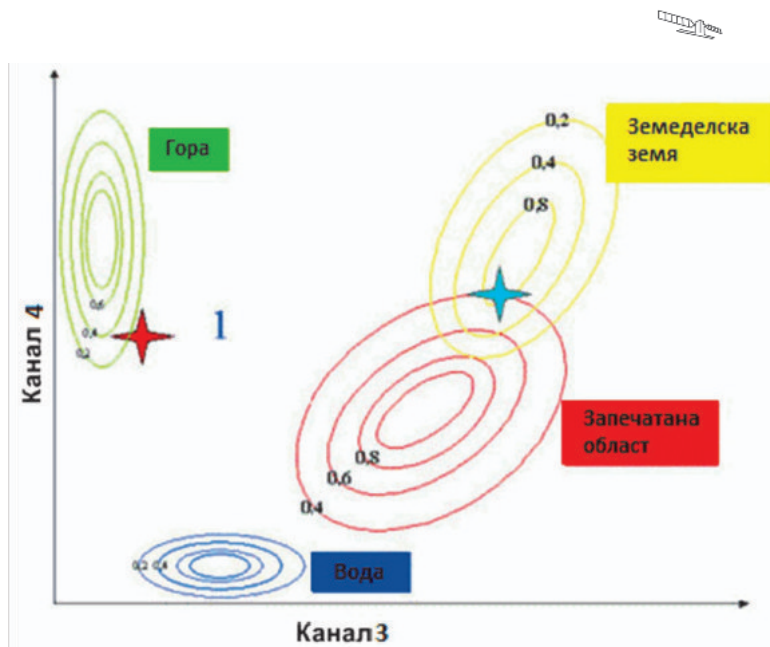
Важно при определянето на обучаващи области

При определянето на обучаващи области важен е размерът на определената област. Размерът зависи от *спектралната разделителна способност на спътниковото изображение*. Например, когато трябва да се класифицира спътниково изображение от спътника LANDSAT, то има спектрална разделителна способност 30 m (размерът на един пиксел е 30 m × 30 m). Размерът на тестовата област трябва да бъде поне 90 m × 90 m, за да сме сигурни, че ще "срещнем" поне един цял пиксел. За да може да се класифицира, избраната обучаваща област трябва да бъде хомогенна и да се простира върху цялото спътниково изображение. Освен това, трябва да има достатъчно избрани области за всеки клас. Често пъти се дигитализират десет пъти повече пиксели, тъй като има налични канали (напр., LANDSAT – 70 пиксела за един клас земно покритие).

Класификация по максимално подобие

Реалната класификация на спътниковите изображения се извършва с помощта на мащабни *класификационни алгоритми*, като например класификация по максимално подобие или минимално разстояние, класификация чрез кубични процедури (паралелепипед) или йерархическа класификация.

Най-често използваната класификация е *класификацията по максимално подобие*. Тя използва функцията за гъстота на вероятностите, което означава, че класификаторът прави предположение за вероятността, с която даден пиксел принадлежи на конкретен клас. Когато пикселът не се намира в областта на друга предполагаема категория, се допускат по-големи отклонения от централната точка, а там където има съревнование между различни области отклоненията са по-малки.



Задача: Как следва да се класифицират “звездите” (червена и тюркоазена) на **Фиг. 1.33.**?

Фиг. 1.33. Принцип на класификация по максимално подобие.
Източник: Naumann 2008

Оценка и проверка на резултатите

За верифициране/проверка на резултатите се изчислява вероятността един пиксел да принадлежи към даден клас и разликата между вероятностите той да принадлежи на следващия клас и предполагаемия клас. За да се покаже доколко е подходяща обучаващата област, резултатите се представят във формата на матрица на грешките на обучаващата област.

Упражнение 1.6.

Класификация на изображения

Сравнение на спътниково изображение с класификация

Задачи

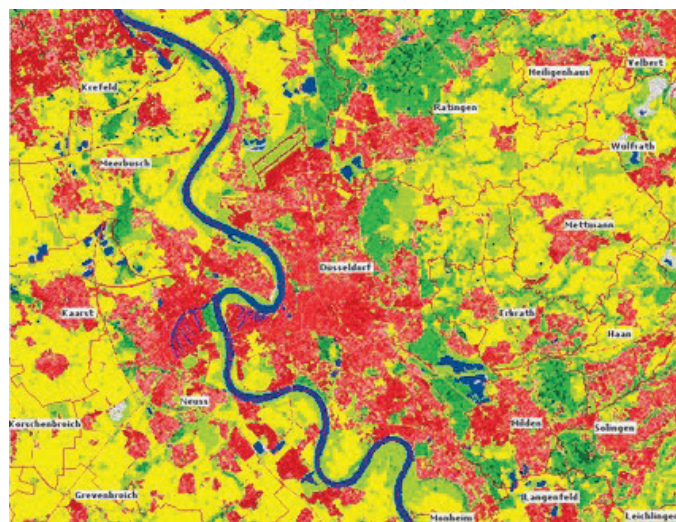
Попълнете легендата като нанесете верния цвят срещу 10-те класа на земно покритие. Дадени са следните цветове: *жълто – светло зелено – средно червено – синьо – жълто-зелено – тъмно червено – сиво – светло червено – тъмно зелено – средно зелено*. Определете процента на площта на всеки клас земно покритие (внимавайте общата стойност да не превиши 100 %).

Табл. 1.4. Процент на площта на всеки клас земно покритие

Легенда на класовете	Цвят	Процент от общата площ
Висока степен на потвърждение (> 80 %)		
Средна степен на потвърждение (40–80 %)		
Ниска степен на потвърждение (< 40 %)		
Сметища, каменни кариери, строителни площадки		
Земеделска земя		
Ливади и пасища		
Иглолистна гора		
Смесена гора		
Широколистна гора		
Водни обекти		



а)



б)

Фиг. 1.34. а) Спътниково изображение на Дюселдорф. *Източник:* www.flaechennutzung.nrw.de.
б) Класифицирано изображение на Дюселдорф. *Източник:* www.flaechennutzung.nrw.de

Посочете защо класификацията е полезна. Спътниково изображение в реални цветове или класифицирано изображение? Посочете предимствата и недостатъците на спътниковите изображения в реални цветове и на класифицираните спътникови изображения и къде те са най-полезни.



Модул 2

Въведение в Глобалната навигационна спътникова система (ГНСС)



Мартин Андреев - "Космическа разходка"

V клас, ОУ „Св. Св. Кирил и Методий” – гр. Варна

Втора награда в Конкурса за рисунка от 5-ти до 7-ми клас

на Ден на отворените врати ЕЕОБСС, РКИЦ, София, 02 ноември 2017 г.

Модул 2

Въведение в Глобалната навигационна спътникова система (ГНСС)

2.1. Какво означава ГНСС (GNSS)?

GNSS (Global Navigation Satellite System) или Глобална навигационна спътникова система (ГНСС) е радионавигационна система за определяне на пространственото положение, скоростта и времето с висока точност (до 1 наносекунда) във всяка точка на земното кълбо и околоземна орбита в реално време.

Системата представлява комбинация от всички съществуващи до момента навигационни системи – GPS, GLONASS, GALILEO, COMPASS, WAAS, EGNOS и MSAS. Последните три представляват само допълнение към системата, тъй като са спътници, разположени в геостационарна орбита и осигуряват корекции със значително по-ниска точност.

Официално функционират 4 глобални спътникови системи за позициониране и навигация. Едновременното използване на сигнали от GPS, GLONASS, GALILEO и Compass (**Фиг. 2.1**) повишава значително броя на наблюдаваните сателити, което дава възможност да се получат по-точни резултати при работа в реално време и в неблагоприятни условия (горски и планински терени, силно урбанизирани зони и др.). Когато броят на наблюдаваните спътници е голям, винаги има достатъчно данни за решаване на нееднозначностите при определянето на местоположение.

В настоящия момент системите GPS, GALILEO и GLONASS съдържат съответно 32, 15 и 24 сателита, като техният брой ще продължи да се увеличава през следващите години, с което качеството на позиционирането с GNSS значително ще нарасне.

Счита се, че след 2020 г. с влизането в действие и на китайската навигационна система “Компас” (“Compass”) ще бъдат на разположение повече от 75 навигационни спътника в орбита, което ще подобри точността на позициониране и ще има голямо приложение за граждански цели и особено в областта на геодезията.

Сравнението на параметрите на четирите глобални навигационни спътникови системи, представени в следващата таблица, показват, че имат еднакъв принцип на действие и много близки стойности на височина, наклон на орбитата и честоти на излъчваните радиосигнали.



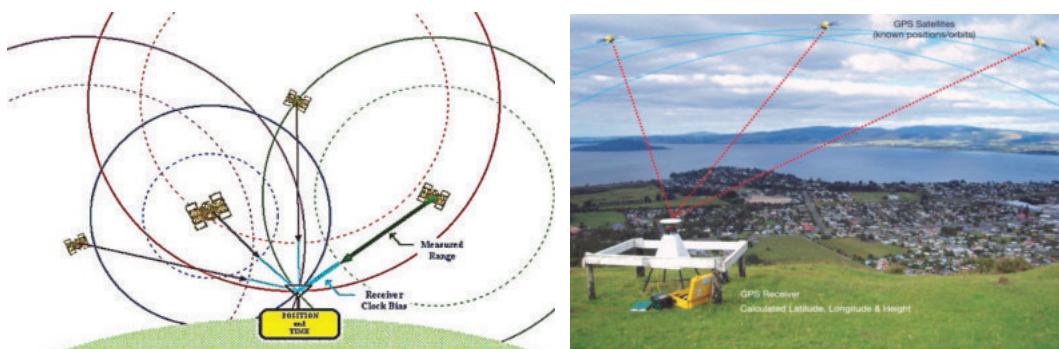
Фиг. 2.1. Обща схема на ГНСС

Табл. 2.1. Основни характеристики на GPS (САЩ), GLONASS (Русия), Galileo (ЕС) и BeiDou (КНДР)

Parameter	GPS	GLONASS	Galileo	Beidou
First launch	22-Feb-78	12-Oct-82	28-Dec-05	13-Apr-07
FOC	17-Jul-95	18-Jan-96	2012	2013
Services	military	military	commercial	authorized
	civil	civil	open	open/commercial
Number of SV	31	24	27	27
Orbital planes	6	3	3	3
Inclination	55°	64.8°	56°	55°
Semi-major Axis [Km]	26560	25508	29601	27840
Period	11h58m	11h15m	14h05m	12h50m
Coordinate frame	WGS-84	PZ-90	GTRF	CGCS2000
Time system	GPST	UTC (SU)	GST	China UTC
Coding	CDMA	FDMA	CDMA	CDMA
Frequencies [MHz]	L1:1575.42	G1:1602	E1:1575.42	B1-2:1589.74
	L2:1227.60	G2:1246	E5a:1176.45	B-1:1561.1 (E2')
	L5:1176.45	G3:TBD	E5b:1207.14	B2:1207.14 (E5b)
			E6:1278.75	B3:1268.52 (E6)

Принцип на действие на ГНСС

Принципът на действие на ГНСС се базира на измерване на разстоянията от мястото, чиито координати търсим, до група спътници, чиито координати са известни и точно определени. Разстоянието от всеки спътник до потребителя се пресмята като времето, за което радиосигналът изминава разстоянието от спътника до приемника, се умножено по скоростта на светлината (скоростта, с която се разпространяват електромагнитните вълни). Координатите се изчисляват с метода трилатерация – позицията на една точка се определя като пресечената точка на няколко окръжности (или сфери) с известен радиус и известни координати на центъра (**Фиг. 2.2**).



Фиг. 2.2. Схема на принципа на трилатерацията

Времето, за което сигналът достига до потребителя, е разликата във времето на приемане и на изпращане на сигнала.

Структура на ГНСС:

1. **Космически сегмент** – изкуствени спътници на Земята;
2. **Контролен сегмент** – наземен контролен център и станции;
3. **Потребителски сегмент** – приемници.

Космическият сегмент са изкуствените спътници на Земята (**Фиг. 2.3**)



Фиг. 2.3. Илюстрация на космическият сегмент на ГНСС

Контролният сегмент на ГНСС се състои от наблюдателни наземни станции, разположени по земното кълбо (наземни антени) и един главен контролен център, който контролира работата на всеки отделен спътник, на параметрите на орбитите на спътниците, на отклонението на часовниците и на данни за препредаване от сателитите.



Фиг. 2.4. Наземна антена

Потребителският сегмент на ГНСС се състои от приемници (**Фиг. 2.5**), използвани както за военни, така и за цивилни приложения. Приемникът декодира времевите сигнали, подаван от атомните часовници на няколко сателита и изчислява позицията си с помощта на трилатерация.



Фиг. 2.5. Еволюция на съвременните GPS приемници

На **Фиг. 2.5.** са представени приемници за гражданско потребление от първата до последните генерации.

Измервани величини с ГНСС:

1. **Кодови измервания** – определят геометричното разстояние от спътника до приемника;
2. **Фазови измервания** – определят псевдоразстояния от единични, двойни, тройни и многофазови разлики (линейни комбинации).

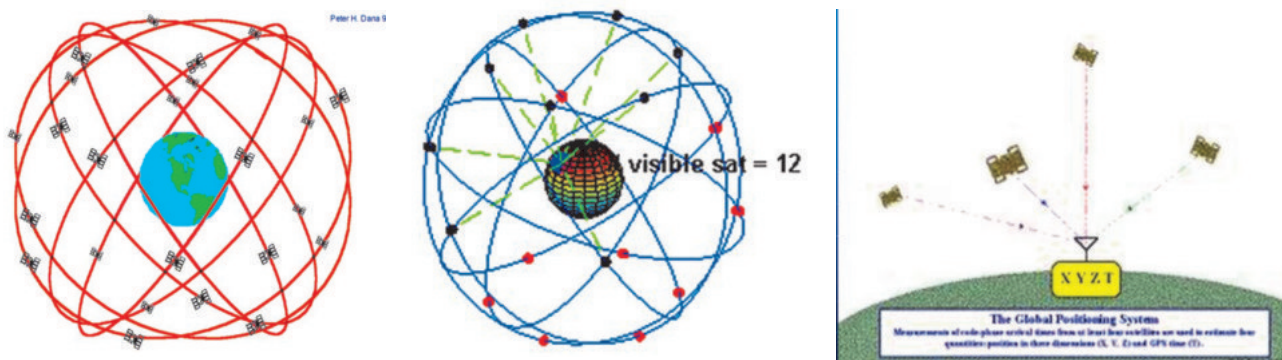
Видове позициониране:

1. **Определяне на координатите на единична точка** – статично;
2. **Диференциално определяне на координати на позицията** – спрямо базова станция и приемане на диференциални поправки;
3. **Релативно (относително) определяне** – от синхронно наблюдение се определят пространствени вектори между две и повече антени.

Глобалната система за позициониране (GPS)

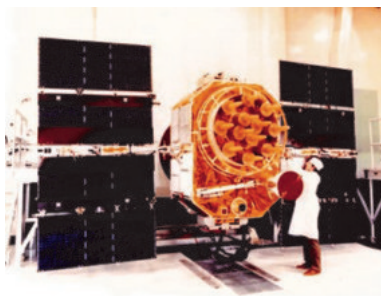
Глобалната система за позициониране Global Positioning System (GPS) е проектирана и контролирана от Министерството на отбраната на САЩ. Американските военни наричат системата „NAVSTAR GPS“ (Navigation Signal Timing and Ranging Global Positioning System). Системата GPS се състои от минимум 24 спътника, разположени на 6 орбити на височина 20 200 km, с наклон спрямо Екватора 55° (**Фиг. 2.6**) и наземен контролен център с 5 наблюдателни станции, разположени в различни точки на Земята. Всеки един от 24-те спътника излъчва навигационните си сигнали на две високи честоти от електромагнитния спектър: 1) честота L1 = 1 575.42 MHz, 2) честота L2 = 1 227.60 MHz.

Целта на използването на две честоти е елиминиране на грешката, получена от закъснението на сигнала при преминаването му през *йоносферата*. От тези честоти и кодове единствено два кода L1 и C/A са достъпни за гражданските потребители, останалите са запазени за военни цели.



Фиг. 2.6. Схема на конфигурацията на GPS орбитите

Сигналите се излъчват от спътниците с достатъчна мощност и на всяка точка на Земята се получават сигнали от най-малко 4 спътника (**Фиг. 2.6**). Всеки спътник има на борда 4 атомни часовника и извършва една пълна обиколка на своята орбита за 11 h и 58 min (половин звезден ден). Спътниците с височина 2.5 m и тежест 600 kg имат по 4 двигателя и могат да променят положението си в космическото пространство.

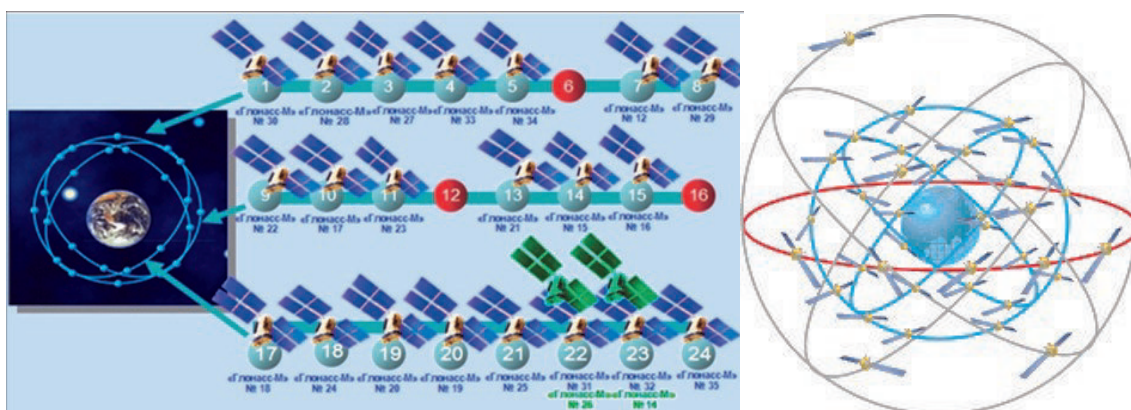


GPS системата може да се използва безплатно от всеки потребител, а поддържането и струва около 600 милиона долара на година. На **Фиг. 2.7** са представени спътниците от Глобалната система за позициониране GPS – първа генерация.

Фиг. 2.7. Първа генерация GPS спътници

“ГЛОНАСС” (ГЛОбальная НАвигационная Спутниковая Система)

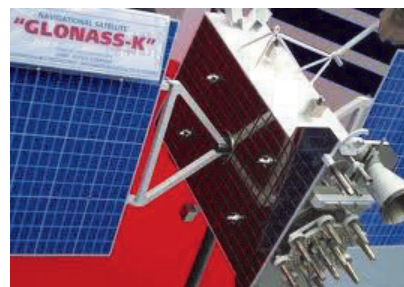
ГЛОНАСС е руската радионавигационна система. Принципът за определяне на положението, скоростта и времето на потребителя във всяка точка на земното кълбо е същия както и при GPS системата. Хоризонталната ѝ точност е 5–10 m, а вертикалната > 10 m.



Фиг. 2.8. Схема на конфигурация на съзвездие на GLONASS

Описание на спътниковата система „ГЛОНАСС“

В завършен вид „ГЛОНАСС“ се състои от минимум 24 спътника, разположени в 3 орбити с наклон спрямо Екватора 64.8° на височина от 19 100 km. Всяка орбита съдържа по 8 спътника. Пълната конфигурация на съзвездие на GLONASS съдържа 32 спътника, от които 8 геостационарни (**Фиг. 2.8**). Всеки спътник извършва една пълна обиколка за 11 h и 15 min, като във всеки момент и във всяка точка на Земята се виждат най-малко 5 от тях. Първият спътник ГЛОНАСС е изведен в орбита през 1982 г., а системата е функционална от септември 1993 г. В момента „ГЛОНАСС“ няма голямо цивилно приложение, поради малкия брой оперативни спътници. Най-често се използва като допълнение на GPS, което позволява да се увеличи броят на видимите спътници и допринесе за по-голяма точност на бързото определяне на местоположение. „ГЛОНАСС“ може да се използва и в районите с географска ширина > 75° , където има по-добро покритие от американската GPS.



Фиг. 2.9. Спътници „ГЛОНАСС“ от първата и настоящата генерации

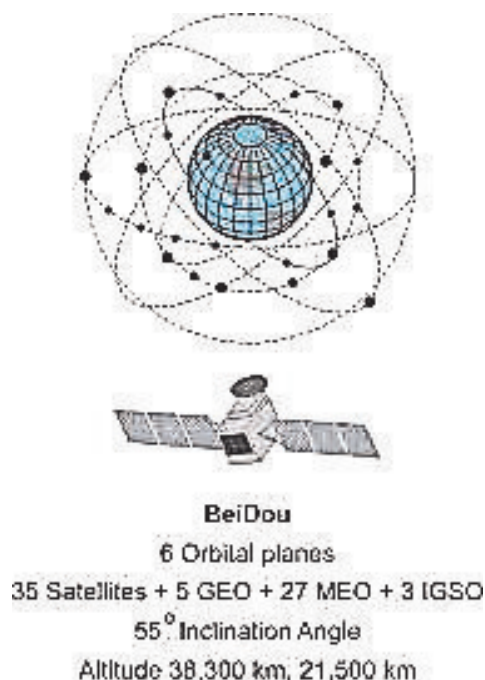
Китайски глобални навигационни системи БейДу (BeiDou-1) и BeiDou-2 „Compass“

Навигационната система “Бей Ду” (Голямата мечка) е проект на Китай за развитие на независима спътникова навигационна система.

Първата система BeiDou-1 се състои от 3 геостационарни спътника и има ограничен обхват и приложение. Системата покрива само територията на Китай и съседни зони и е влязла в експлоатация през 2000 г.

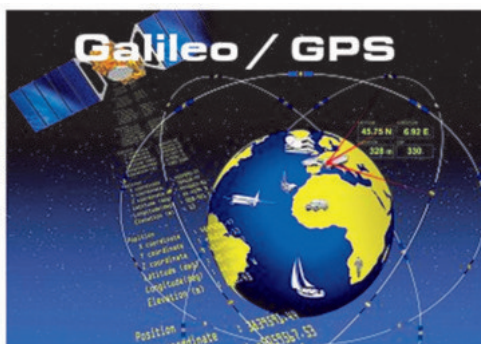
Спътниковата система за глобална навигация BeiDou-2 “COMPASS” ще включва 35 спътника, от които 5 ще са на геостационарни орбити (на 38 000 km) и 30 спътника на средни орбити на 21 150 km, за пълно покритие на земното кълбо (Фиг. 2.10). Орбитата на тестовият Compass-M1 е почти кръгова с наклон спрямо екваториалната равнина 55.5° .

Навигационната система “COMPASS” се разработва съвместно с Русия (Фиг. 2.11) и се планира да влезе в действие за глобално приложение през 2020 г.



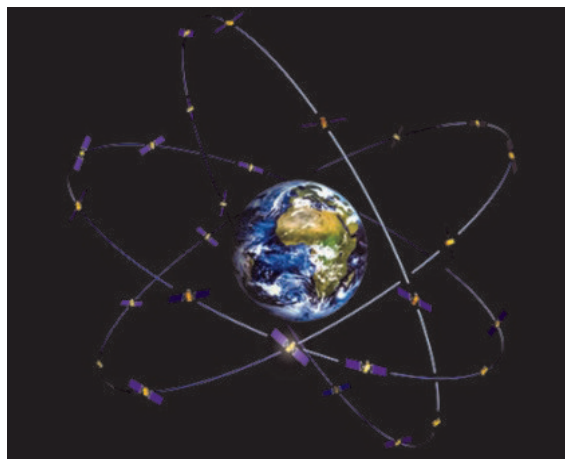
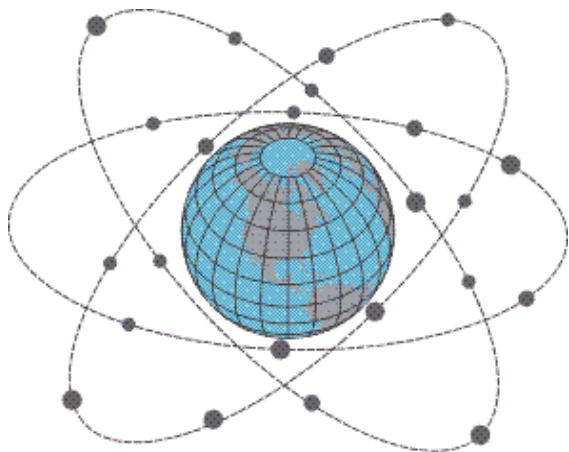
Фиг. 2.10. Спътници от китайските системи BeiDou-1 и BeiDou-2 „COMPASS“. От началото на 2013 г. услугите на китайската навигационна спътникова система са отворени за публично ползване.

Европейска глобална навигационна система “ГАЛИЛЕО”



Описание на европейската ГНС система „ГАЛИЛЕО“:

- 30 спътника в 3 орбитални равнини (Фиг. 2.11);
- височина на орбитата 23 222 km;
- 3 орбитални равнини на 56° инклинация;
- 9 спътника + един активен запасен на всяка орбита;
- планиран операционен живот на спътник над 15 г.;
- маса на спътник – 675 kg;
- размер на спътник – 2.7 m × 1.2 m × 1.1 m;
- размах на слънчевите панели: 18.7 m;
- мощност на слънчевите панели: 1 500 W.



Фиг. 2.11. Схеми на конфигурацията на орбитите и спътниците от съзвездieto “Галилео”

„Галилео“ ще предоставя четири различни услуги:

1. **Свободната услуга** ще бъде безплатна за всички потребители. Потребителите ще достигат позициониране под 4 m хоризонтална точност и под 8 m вертикална точност;
2. **Кодираната комерсиална услуга** ще се предоставя срещу заплащане и ще има точност на позицията под 1 m до под 10 cm. За тази услуга системата ще бъде допълнена от наземни предаватели;
3. **Кодираната публична регулирана услуга;**
4. **Службата в защита на живота (Safety Life Service)** ще предоставя гаранция срещу заглушаване на сигнала и разкриване на екстремни проблеми до 10 секунди след възникването им.

Услугите 3 и 4 ще бъдат ограничени за ползване до силовите власти (полиция, военни и т.н.), както и за въздушен контрол и автоматично приземяване на самолети.



Фиг. 2.12. Приемник „Галилео“ за граждански цели



Фиг. 2.13. Спътник от Европейската глобална система за позициониране „Галилео“

“Галилео” се очаква да предостави:

- ⇒ по-голяма точност за всички потребители в сравнение с настоящите три системи - под 10 cm (директно заснемане и трасиране в геодезията);
- ⇒ диференциално определяне на координати в реално време в Европейска геодезическа система;
- ⇒ подобро покритие над 75° северна географска ширина;
- ⇒ система за позициониране, на която ще може да се разчита дори и по време на война.

2.2. Грешки в измерванията и позиционирането с ГНСС

Съществуват фактори, които влияят и ограничават точността на позиционирането и измерванията. Като всяка сложна техническа система, така и ГНСС се влияе от различни източници на грешки, което води до неточни резултати при определянето на позицията на потребителя (координатите на антената), достигащи до десетки метри.

Източници на грешки при определяне на точно местоположение (позицията):

1. Неточна позиция на спътниците
2. Грешка в часовниците
3. Йоносферни влияния
4. Тропосферни ефекти
5. Многократни отражения (мултипад)
6. Непознаване на фазовия център на антената
7. Умишлени грешки
8. Лични (персонални) грешки на оператора.

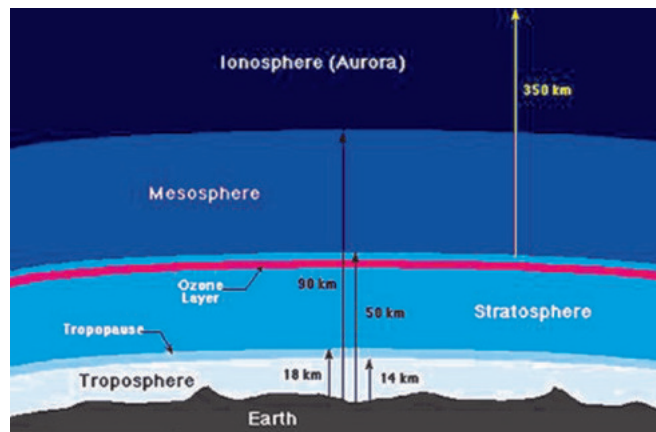
Брой и разположение на спътниците

Определянето на позицията зависи от броя и разположението на спътниците. Колкото повече спътници са на разположение, толкова по-точно може да се определи положението.

Разпределението на спътниците на небосклона също има съществено значение. Колкото по-равномерно са разположени, толкова по-точна е позицията.

Грешки, предизвикани от атмосферни ефекти

Йоносферата е една от основните причини за грешки при определянето на позицията с ГНСС. Поради наличието на свободни електрони в атмосферата от 50 до 350 km над земната повърхност (т.н. *Йоносфера*, виж **Фиг. 2.14**), скоростта на електромагнитните вълни намалява при преминаването през тази област, в резултат на което се променя разстоянието до спътниците, изчислено на базата на скоростта на светлината във вакуум. Получават се грешки в определяне на разстоянието от порядъка на 10 m.



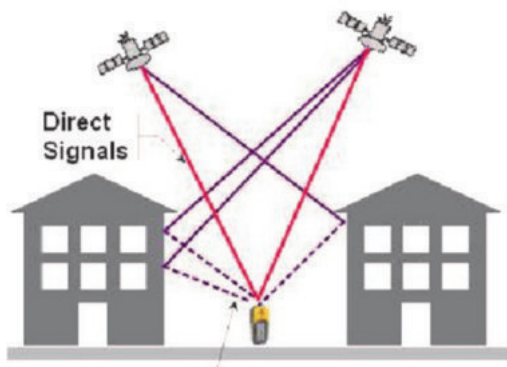
Фиг. 2.14. Вертикален срез на атмосферата

Тропосфера

Това е най-ниския слой от атмосферата – до 10 km при полюсите и около 15 km над повърхността при екватора. Промяната в температурата, налягането и влажността на въздуха в тази зона са фактори, водещи до промяна на скоростта на радиовълните. Подобно на йоносферния модел за корекция на грешката и при тропосферните отклонения се използва моделиране от метео данни за изчисление на закъснението.

Многократни отражения (мултипат)

При отражението на сигнала, пътят който изминава радиосигнала се удължава, а с това се променя и измереното разстояние до спътниците. По този начин, когато се смесят директни сигнали с отразените, се получават грешки при определяне на положението (Фиг. 2.15).



Фиг. 2.15. Схема на многократни отражения (мултипат)

Мултипат-грешките, заедно с йоносферните закъснения, оказват най-голямо влияние върху точността в определяне на позицията.

Умишлени грешки

Преднамереното въвеждане на грешки от страна на Министерствата на отбраната на САЩ и Русия, се изразява в промяна на параметрите на бордовите часовници и въвеждане на грешни орбитални параметри. Приемниците с военно предназначение са снабдени с кодове, които анулират тези грешки, но цивилните потребители нямат достъп до тях. Руските и другите военни си запазват правото да въвеждат *умишлени грешки*.

Човешки грешки – персонални грешки на оператора

Центрирането над земен репер, неправилно измерване на височината на антената и непознаване на тази височината до фазовия център на антената водят до грешки в определената позиция на потребителя.

Корекция на грешките

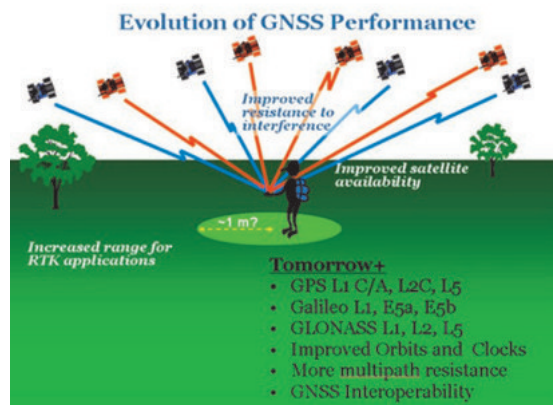
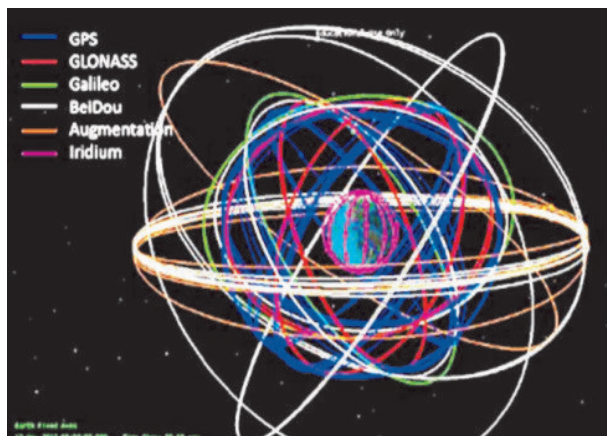
За подобряване на точността при определяне на координатите се използват т. нар. диференциални GPS системи. Тези системи включват една или няколко неподвижни контролни станции с точно известни координати, при които се сравняват действителното и изчисленото положение, пресмятат се корекциите и се предават към потребителите в зоната на обслужване.

Съществуват и други методи за подобрене на точността на изчислената позиция, като съчетаване на GPS приемници с инерциални системи или използване на алгоритми за определяне на изправността на спътниците. Най-голямо разпространение имат системите: WAAS (покрива Северноамериканския континент), EGNOS (Европа и част от Африка) и MSAS (Япония). Принципът на работа на тези системи и начините им за обратна връзка към приемника е са практически идентични, и повечето от GPS устройствата поддържат корекция чрез една от тези три системи.

Фактори оказващи влияние върху точността в определяне на местоположение с ГНСС:

1. типа на приемника и антената;
2. програмите за обработка на данните;
3. “здравето” на спътниците;
4. разположението и броя на спътниците;
5. състоянието на йоносферата;
6. състоянието на тропосферата;
7. продължителността на измерванията;
8. хомогенността на измерванията;
9. разстоянието между станциите;
10. отразените сигнали;
11. професионализма на оператора.

В заключение, към настоящия момент ГНСС с развитието си и използване на сигнали от функциониращите 4 глобални спътникови системи за позициониране и навигация (GPS, GLONASS, GALILEO и Compass) (**Фиг. 2.16**), осигурява в реално време точност в местоположението на гражданските потребители в границите на 1 m. (**Фиг. 2.16**).



Фиг. 2.16. Обобщено графично представяне на ГНСС

Класическото определяне на местоположение в мореплаването със Секстант (Октант 1731 г.) осигурява точност от няколкостотин метра.

Предимства и недостатъци на позициониране с ГНСС

Предимства:

Недостатъци:

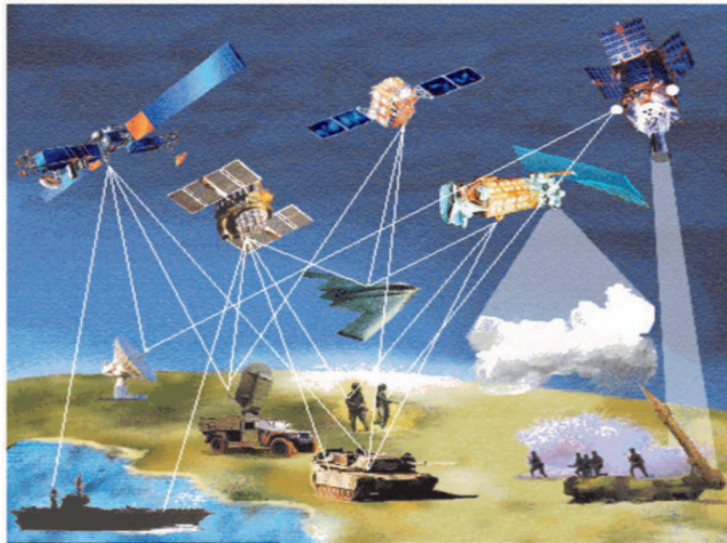
+ осъществява се за секунди	- изисква скъпа апаратура
+ апаратурата се настройва и ориентира автоматично	- апаратурата е енергозависима и може да аварира
+ точността може да бъде от порядъка на сантиметри	- при отказ и/или грешка на апаратурата шансовете за ориентиране са нищожни
+ не изисква специални знания и умения	
+ ориентиране навсякъде, където работи човек	

Предимства и недостатъци на определяне на местоположение с карта и компас:

- + ориентирането не зависи от наличието на енергоносители;
- за правилно ориентиране са необходими от 2 до 30 минути;
- максимална точност от порядъка на няколко десетки метри.

2.3. Приложения на ГНСС

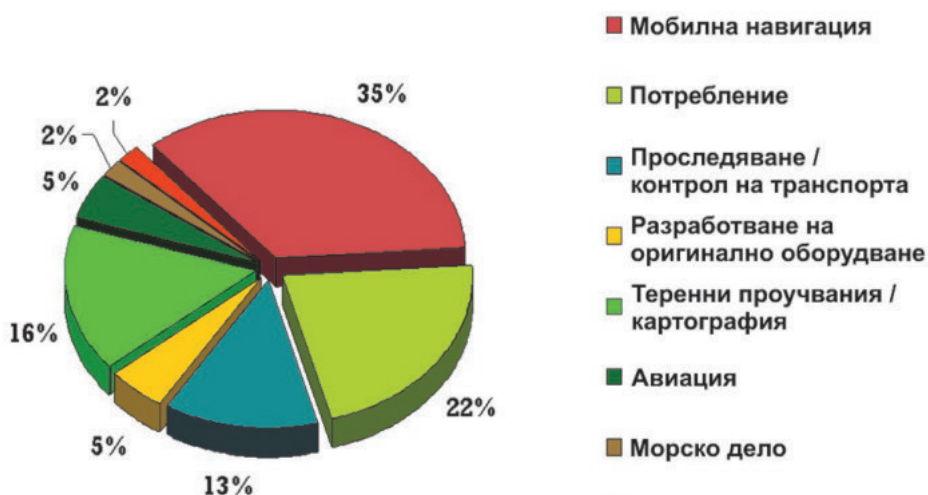
ГНСС е проектирана за военни цели, но основно се употребява за цивилни цели (Фиг. 2.17 и 2.18).



Фиг. 2.17. Схематично представяне на военни приложения на ГНСС

Основните области на приложение на ГНСС (Фиг. 2.18) са:

- ⇒ *Навигация в транспорта* – използва се за навигация в пътния, морския и въздушния транспорт, оптимизация на маршрути;
- ⇒ *Геодезията* – за референтни системи, основни и опорни мрежи и др.;
- ⇒ *GPS проследяване* – за контрол на транспортни средства, хора и животни;
- ⇒ *Науката и изследователската дейност* – в геодезията, географията, картографията, геологията, геофизиката, археологията и др.;
- ⇒ *Селското стопанство* – за планиране на терени, навигация на селскостопански машини и др.;
- ⇒ *Комуникациите* – за синхронизиране на комуникационни системи;
- ⇒ *Туризм и спорт* – ориентиране, планински спасителни служби;
- ⇒ *Определяне на точното време.*



Фиг. 2.18. Относителен дял на основните приложения на ГНСС

Както се вижда от **Фиг. 2.18.**, ГНСС намира най-голямо приложение в навигация и контрол на автомобили, морски съдове, геодезията и авиацията (**Фиг. 2.19**). В момента 25 % от леките автомобили в света са екипирани с ГНСС навигационни системи. От 2018 г. всички автомобили произвеждани в Европейската общност са екипирани с приемници „Галилео“.



Фиг. 2.19. Приложение на ГНСС в транспорта и селското стопанство

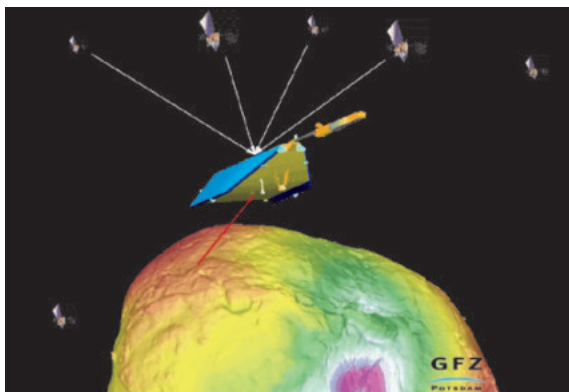
Приложения на ГНСС в геодезията:

- ⇒ Референтни системи (ITRF, EUREF, BULREF);
- ⇒ Геодезически основни, опорни и контролни мрежи;
- ⇒ Следене на параметрите на ориентация на Земята;
- ⇒ Мониторинг на движение на полюса;
- ⇒ Изследвания на глобалната и локална геодинамика;
- ⇒ Следене на хоризонтални и вертикални движения на земната кора;
- ⇒ Измерване и контрол на деформации;
- ⇒ Кадастрални заснемания и трасировки.



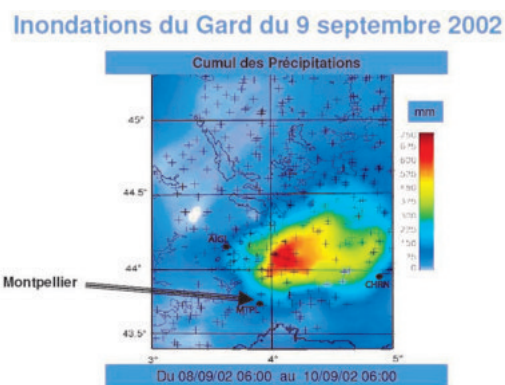
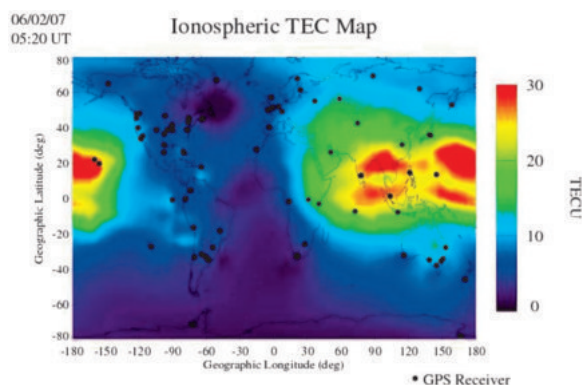
Фиг. 2.20. Постоянна ГНСС станция SOFI (от май 1997 г.) от Международната геодинамична служба (IGS) в района на гр. София, част от Световната и Европейската перманентни мрежи

ГНСС има основно приложение в авиацията и за контрол и прецизиране на орбитите на всички изкуствени спътниците на Земята и на Международната космическа станция (МКС) (**Фиг. 2.21**).



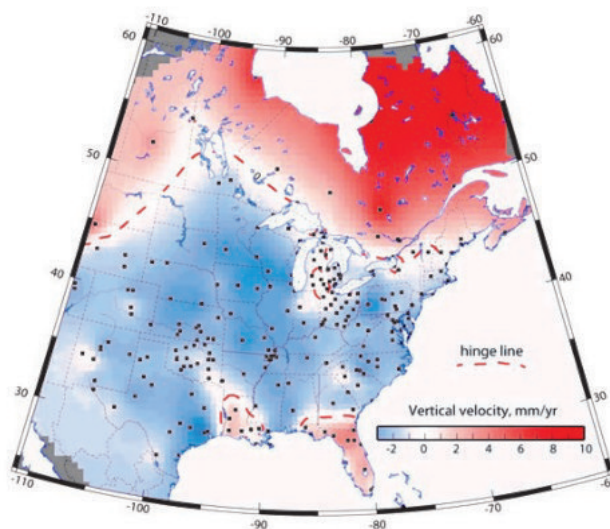
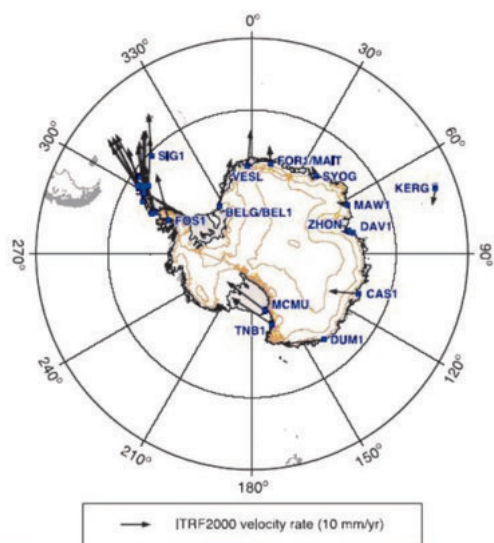
Фиг. 2.21. Прецизиране на орбитите на изкуствени спътниците на Земята (ляво) и на Международната космическа станция (МКС) (дясно)

Данните от ГНСС, регистрирани от перманентните станции, се използват за мониторинг на йоносферата в реално време (**Фиг. 2.22а**). Постоянните наблюдения с ГНСС служат и за прогнозиране на обилни валежи и градушки (**Фиг. 2.22б**).



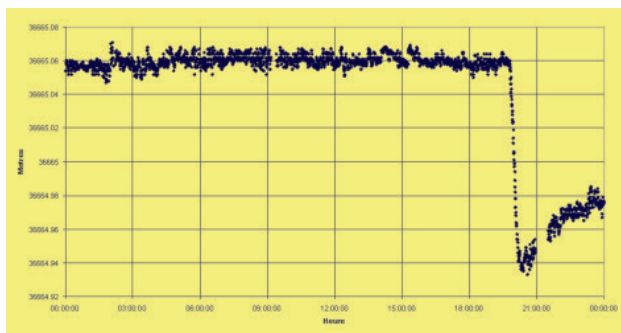
Фиг. 2.23. Мониторинг на йоносферата в реално време (ляво)
б) прогнозиране на обилни валежи и градушки (дясно)

Мониторинг с ГНСС позволи да се установи следледниковото връщане на Антарктида към Южна Америка и следледниково издигане на Северна Америка (**Фиг. 2.23**) в резултат на глобалното затопляне.



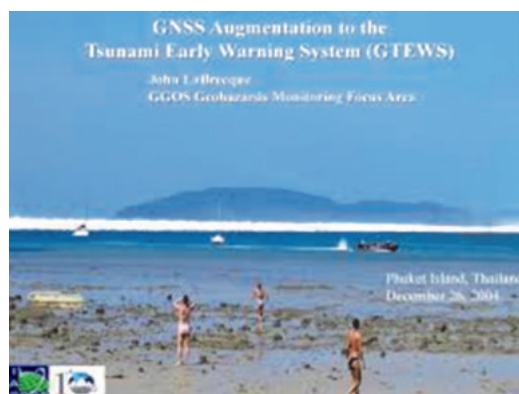
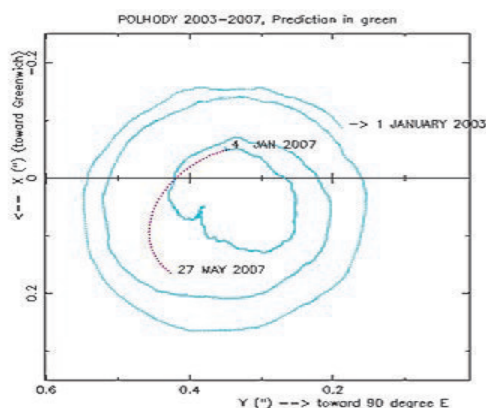
Фиг. 2.23. След-ледниково “връщане” на Антарктида към Южна Америка (ляво) и след-ледниково издигане на Северна Америка (дясно)

ГНСС се прилага за мониторинг на вулканична дейност и прогноза на изригване. Примерът (Фиг. 2.24) е от мониторингова станция и регистрирано деформиране преди изригването на вулкан на остров Реюнион.



Фиг. 2.24. ГНСС данни от мониторингова станция на о-в Реюнион

ГНСС позволява следене на ротацията на географския полюс на Земята, мониторинг на движенията на полярни и планински ледници, както и на морското ниво (Фиг. 2.25).



Фиг. 2.25. Мониторинг на движенията на полюса, полярни и планински ледници, и на морското ниво

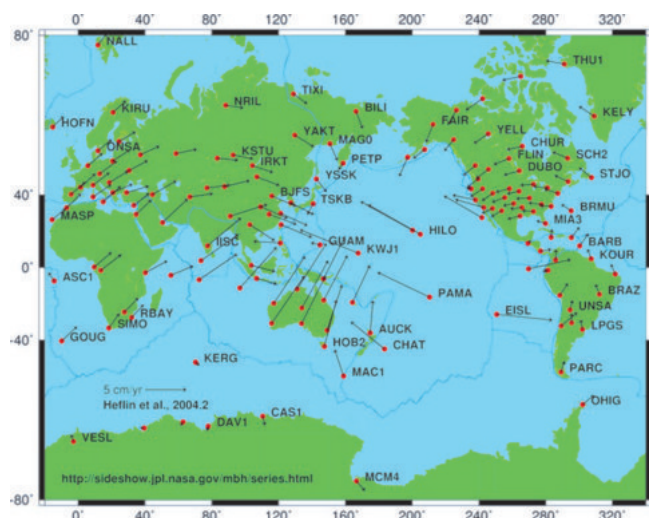
ГНСС намира широко приложение при трасиране и контрол на деформации на инженерни съоръжения, следене на свлачища и абразия (Фиг. 2.26а). ГНСС има голямо приложение в топографията, кадастралните заснемания и трасировки (Фиг. 2.26б).



Фиг. 2.26. Приложение на ГНСС в контрола на деформации на инженерни съоръжения (ляво) и топографията, кадастралните заснемания и трасировки (дясно)

Приложение на ГНСС в геодинamikата

Регистрациите от постоянните ГНСС станции определят и следят глобалната тектоника на плочите (Фиг. 2.27).

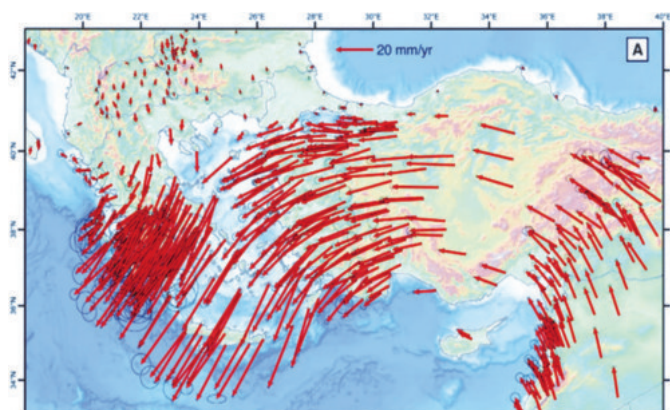


Фиг. 2.27. Приложение на ГНСС в мониторинга на тектониката на плочите

Мониторинг с перманентни станции установява и наблюдава съвременните хоризонтални и вертикални движения в Европа (Фиг. 2.28.).



Фиг. 2.28. Мониторинг с перманентни станции на съвременните хоризонтални и вертикални движения в Европа

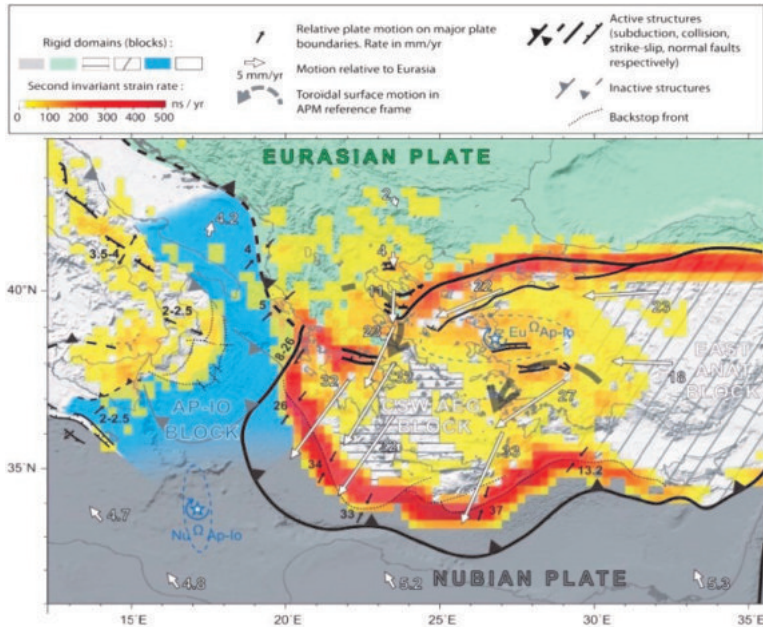


Фиг. 2.29. Мониторинг на съвременните тектонски движения в Източното Средиземноморие

Постоянни и периодични наблюдения с ГНСС следят съвременните тектонски движения в Източното Средиземноморие във връзка със сеизмичният риск. На Фиг. 2.29 са показани резултатите от 30-годишните наблюдения.

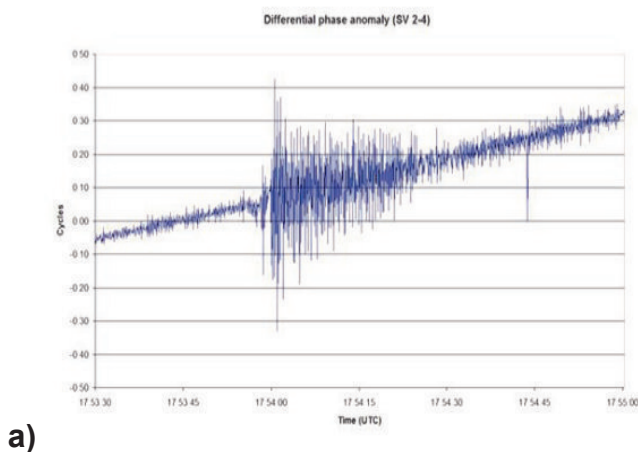
Приложение на ГНСС за мониторинг на сеизмогенни зони и изследване на земетресения

Мониторингът на съвременните тектонски движения в Източното Средиземноморие по данни от преизмервания за 30-годишен период позволи да се направи *кинематичен модел* на съвременните тектонски напрежения и оцени сеизмичния риск в района (**Фиг. 2.30.**).

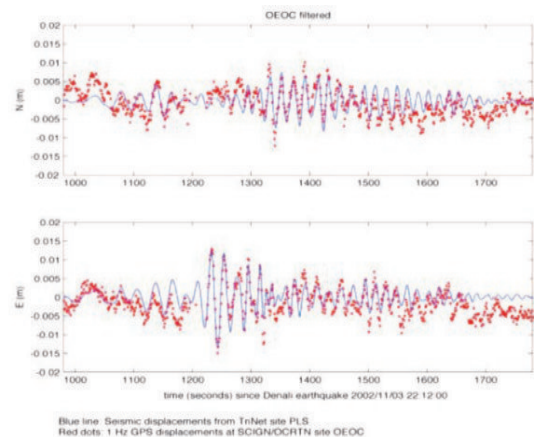


Фиг. 2.30. Кинематичен модел на съвременните тектонски напрежения в Източното Средиземноморие

Съвременните постоянни приемници от ГНСС регистрират при честоти от 1 и 10 Hz т.н. «GPS сеизмограми» (**Фиг. 2.31а**). Сравнението между регистрациите на земетресение от сеизмометър и ГНСС приемници показва много доброто им съвпадане (**Фиг. 2.31б**).



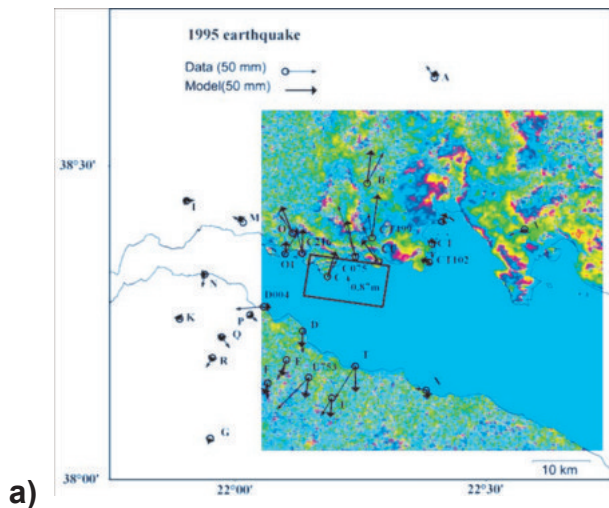
а)



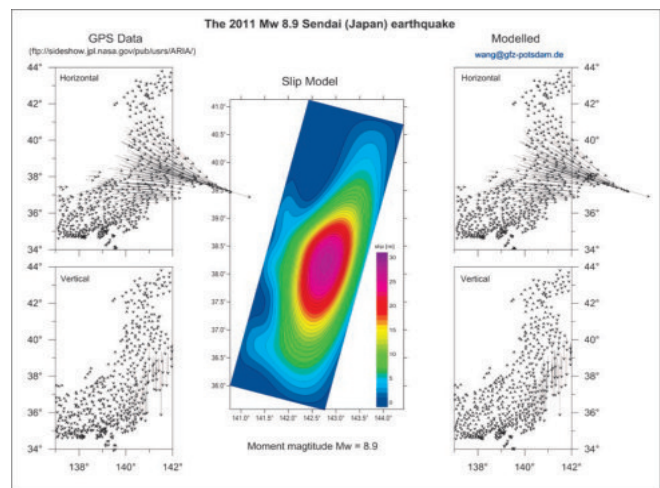
б)

Фиг. 2.31. GPS сеизмограми

Изследването на земетресението от Aigion, 15.06.1995 г., чрез ГНСС и InSAR (радарна интерферометрия) методите на *ко-сеизмични премествания* и деформации позволи да се установят геометричните и динамични параметри на разлома, активирал се на дъното на Коринтския залив (**Фиг. 2.32а**).



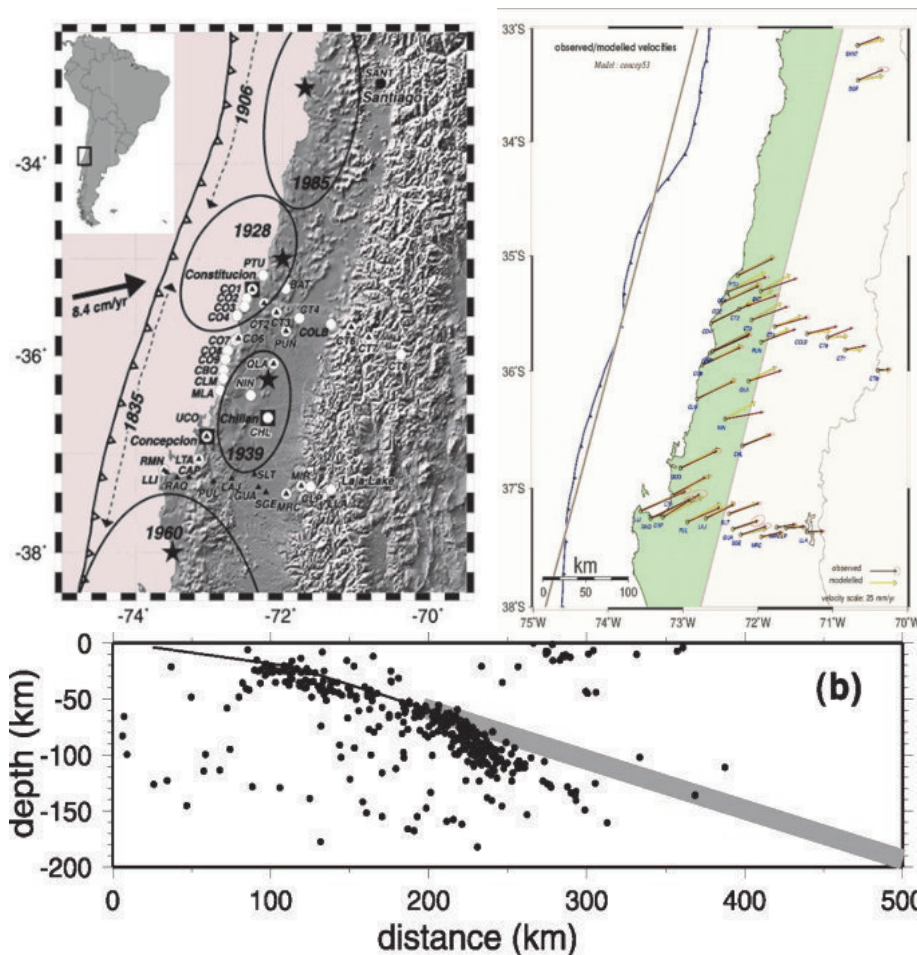
б)



Фиг. 2.32. а) Земетресението в Aigion, Гърция - 15.06.1995 г. б) в Сендай, Япония - 11.03.2011 г.

Данните, регистрирани от постоянните ГНСС станции в Япония, дадоха възможност да се изясни механизмът на катастрофалното земетресение от 2011 г. и предизвиканото от него цунами (Фиг. 2.32б).

С помощта на GPS мониторинг през 1996, 1999 и 2002 г. в централно Южно Чили, се установи мястото и скоростта на подпъхването на тектонската плоча „Наска“ под тази на Южна Америка (Фиг. 2.33). По получените резултати беше изчислено натрупаното тектонско напрежение в района след последното силно земетресение в района от 1835 г. и беше направена успешна прогноза на катастрофалното земетресение в зоната от 2010 г. $M = 8.9$, което спаси стотици човешки животи.



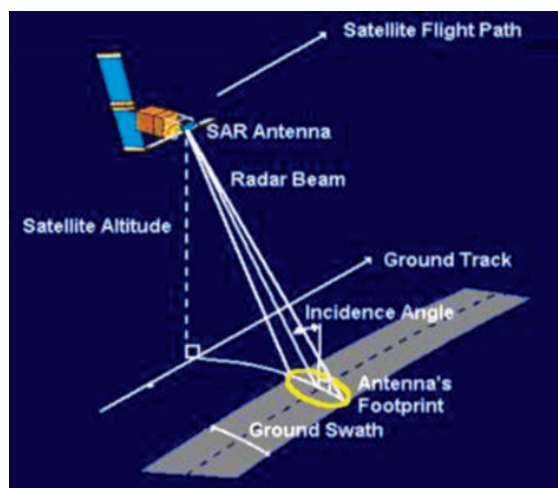
Фиг. 2.33.

а) Карта на зоната на подпъхване на тектонската плоча „Наска“ под тази на Южна Америка

б) Вертикален срез на границата на тектонските плочи „Наска“ и Южно-американска с отбелязани дълбочини на земетръсните огнища

2.4. Радарна интерферометрия - InSAR (Interferometric Synthetic Aperture Radar)

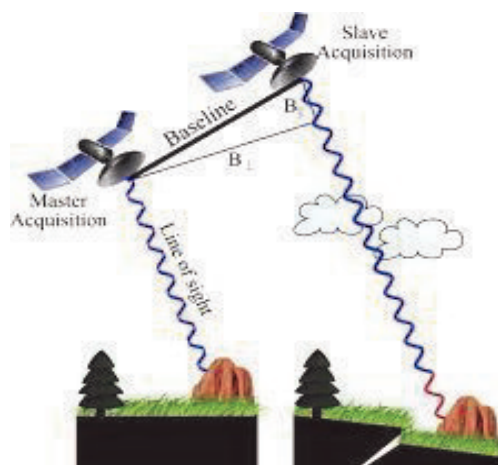
Технологията InSAR използва сравнения на тридименсионални (3D) радарни изображения, получени чрез излъчени от спътник и отразени от земните обекти микровълновите радиосигнали. Предимството на този метод произтича от физическите характеристики на използвания спектър на сигналите и фазовите им разлики, а именно от това, че качеството на сигнала не се изменя под влияние на атмосферните слоеве, през които преминава.



Фиг. 2.34. Принцип на работа на SAR

Резултатите от InSAR радарната интерферометрия позволяват да се заснеме релефа (земната повърхност) на обширни райони с точност ± 2.8 cm. Това дава възможност да се използват за мониторинг на деформации, локализиране на разломни структури, за определяне степента на потъване на големите градове, за изкопни и насипни дейности, определяне степента на ерозия, абразия, както и още много други природни процеси и явления, случващи се на земната повърхност (Фиг. 2.34 и 2.35).

Първият радарен спътник Sea SAT (1978 г.) е едночестотен американски спътник за заснемане на повърхността на океаните и моретата и е имал максимална точност в определяне на земната повърхност от няколко десетки метри.

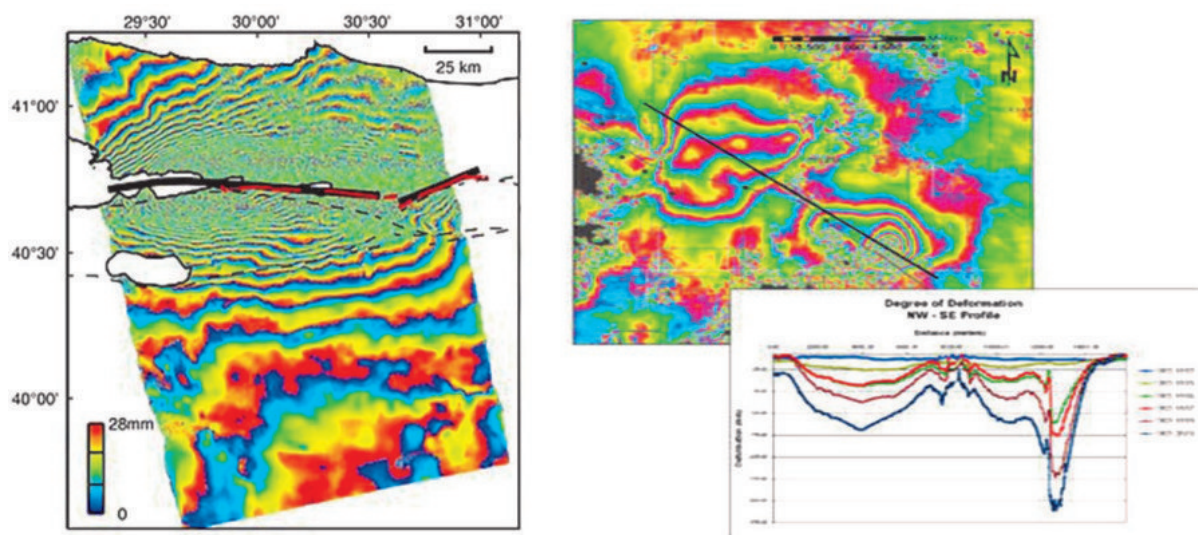


Фиг. 2.35. Схема на принципа на InSAR

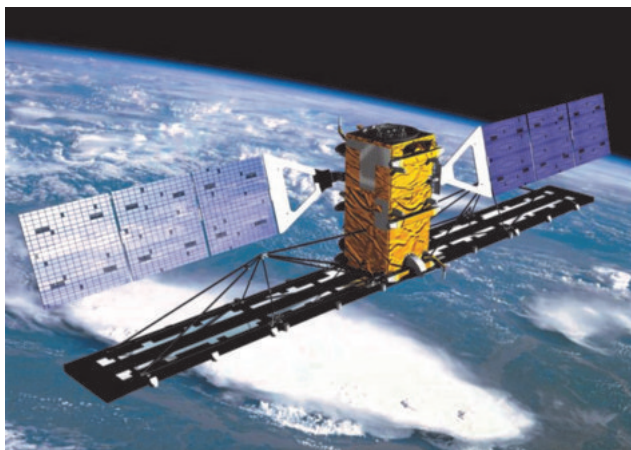
Европейските двучестотни спътници ERS-1 (1991 г.) и ERS-2 (1995 г.) по програмата Scopus достигнаха точността ± 3.4 cm (Фиг. 2.36). Канадските спътници RADARSAT-2 (CSA) и ENVISAT (ESA) (до 2012 г.) работеха на честота 5.36 Hz. От 2014 г. работят европейските двучестотни спътници Sentinel-1, американските – SRTM, както и японските ALOS (JAXA).



Фиг. 2.36. Европейските двучестотни спътници ERS-1 (1991) и ERS-2 (1995)



Фиг. 2.37. Интерферограма на деформации на земната повърхност от земетресението в гр. Измит, Турция от 17.8.1999 г. и сравнение на напречни профили, измерени от InSAR изображение, геодезически определени



Фиг. 2.38. Спътник от действащата серия Sentinel-1 на Европейската космическа агенция (ЕКА)



Въпроси към Модул 2 “Въведение в ГНСС”:

1. Какво означава ГНСС?
2. Какво е GPS?
3. В колко орбити са спътниците на GPS системата ?
4. Каква е височината на орбитите на спътниците от ГНСС?
5. Чрез кой тригонометричен метод се изчислява позицията на антената?
6. Кои два фактора влияят най-значимо на точността на позиционирането?
7. Какви са тъй наречените „умишлените грешки“?
8. Колко орбити и колко спътника има системата „Галилео“?
9. В коя област е най-голямото приложение на ГНСС?
10. Кое е за Вас най-невероятното приложение на ГНСС?

Модул 3

Приложение на дистанционните методи и геоинформационните технологии в изследването на земното покритие и промените в земеползването



Славена Изворска - "Красотите на нашата Земя"

V клас, ОУ „Св. Св. Кирил и Методий” – гр. Варна

Трета награда в Конкурса за рисунка от 5-ти до 7-ми клас

на Ден на отворените врати ЕЕОБСС, РКИЦ, София, 02 ноември 2017 г.



Модул 3

Приложение на дистанционните методи и геоинформационните технологии в изследването на земното покритие и промените в земеползването

Коментар върху промените в земното покритие

Промените в земното покритие, промените в биофизичните характеристики на земната повърхност и земеползването, определени от целите на човешкото използване, са два от най-важните определящи фактора за глобалните промени в околната среда, причините за които са многостранни и комплексни. Сред влияещите природни фактори, като климат, терен, хидрология (вода) и растителност, най-голяма роля играят социално-икономическите фактори (човешкото използване) (Schininger 2008).

Последствията от тези антропогенни промени в земното покритие могат да се разделят на преки и непреки. *Преки ефекти*, като преобразуването, увреждането и фрагментирането (разделянето на части) на земното покритие водят до повишаване на ерозията (абразия на земния материал чрез, например, вода), промени в циркулацията на водата, цикъла на хранителните вещества и топлинния баланс. *Непреки ефекти* варират от промени в групите от видове до загубата на биологично разнообразие (Schininger 2008).

Промени в земното покритие между 1981 и 2000 година

Между 1981 и 2000 година се установяват резки промени в земното покритие. Най-големите области, засегнати от промените в земното покритие, се намират в Азия, като в Югоизточна Азия се стига до бързо намаляване на земеделските площи, повечето от които са свързани с масово обезлесяване. В басейна на река Амазонка също се наблюдава огромно унищожаване на тропически гори. Намаляването на горите в Сибир нараства рязко. В Югоизточната част на САЩ и в Източен Китай това води до намаляване на областите, използвани за земеделие. От глобална гледна точка най-населените и най-бързо растящи градове се намират в тропиците (Lepers *et al.* 2005).

Оценка на бъдещото земно покритие

"Извънредно трудно е, а може би и дори невъзможно, да се предвиди сложното взаимодействие на социалните, икономическите и демографските фактори и това как те ще променят земното покритие в бъдеще." (DeFries *et al.* 2002, цитиран от Schininger 2008). Независимо от огромната трудност да се предвиди бъдещето земно покритие и промените в земното покритие, изчисленията показват, че тези промени ще настъпят главно в тропиците (Voldoire 2006).

Промените в земното покритие и земеползването оказват влияние върху бъдещия климат. Другите решаващи антропогенни фактори за климата са по-големите концентрации на парникови газове и аерозоли (фини частици в атмосферата). Антропогенните промени в растителността в резултат от урбанизацията, обезлесяването и земеделието, обаче, често пъти не се включват в симулациите на бъдещия климат (Lamprey *et al.* 2005).

3.1. Урбанизация

За първи път в историята повече от половината население, 3.3 милиарда души, ще живеят в градските области. (UNFPA 2008)

Свидетели сме на световна урбанизация, което означава увеличаване на дела на общото население, което живее в градски области. Този процес добива все повече световен характер, ускорявайки се драматично с навлизането на индустриализацията преди 200 години. В края на 19^{ти} век степента на световния урбанизъм е ограничена, като само Великобритания, Северозападна Европа и САЩ имат 25% градско население, а *под 3% от световното население живее в градски области* (през 1800 година само 2% живеят в градски области). Към 1990 г. в индустриализираните страни 73% от населението живее в градовете, а в развиващите се страни тази цифра е само 37%. Най-бързият растеж се наблюдава през последните 50 години, като в резултат от него светът се промени от свят, в който повечето хора живеяха в земеделски области, в един предимно урбанизиран свят (Bronger 2004, Kraas 2003, Mitchell 2007, Pacione 2001, UN-HABITAT 2001). Докато през 1950 година по-малко от една трета от населението е живяло в градовете (30% градско население), до 2030 г. се очаква около две трети от него да живеят в градски области. Всеки ден градското население нараства с 180 000 души (UN-HABITAT 2001).

Градските жители са най-многобройни в Западна Европа, Северна Америка, Япония и Австралия, като през последните години степента на урбанизация е най-голяма в Азия, Африка и Латинска Америка. Най-големите градски агломерации съществуват в по-слабо развития свят, най-бързо развиващите се *мегаполиси* се намират в Южна и Източна Азия, където бедните хора представляват голяма част от растежа на градовете. До 2025 година 4 милиарда от 5-милиардното градско население се очаква да живеят в по-слабо развитите страни (De Blij, Murphy 2003, Pacione 2001, UNFPA 2008).

Урбанизацията на света показва всички признаци на продължаване с все по-висока скорост. Съществуващите условия в началото на последния век се промениха коренно в разстояние на около 100 години. Европа, която до 1940 г. включваше повече от половината световно население, сега е на последно място заедно с Африка (Bronger 2004, Soja, Kanai 2007).

Какво се крие зад тази урбанизация?

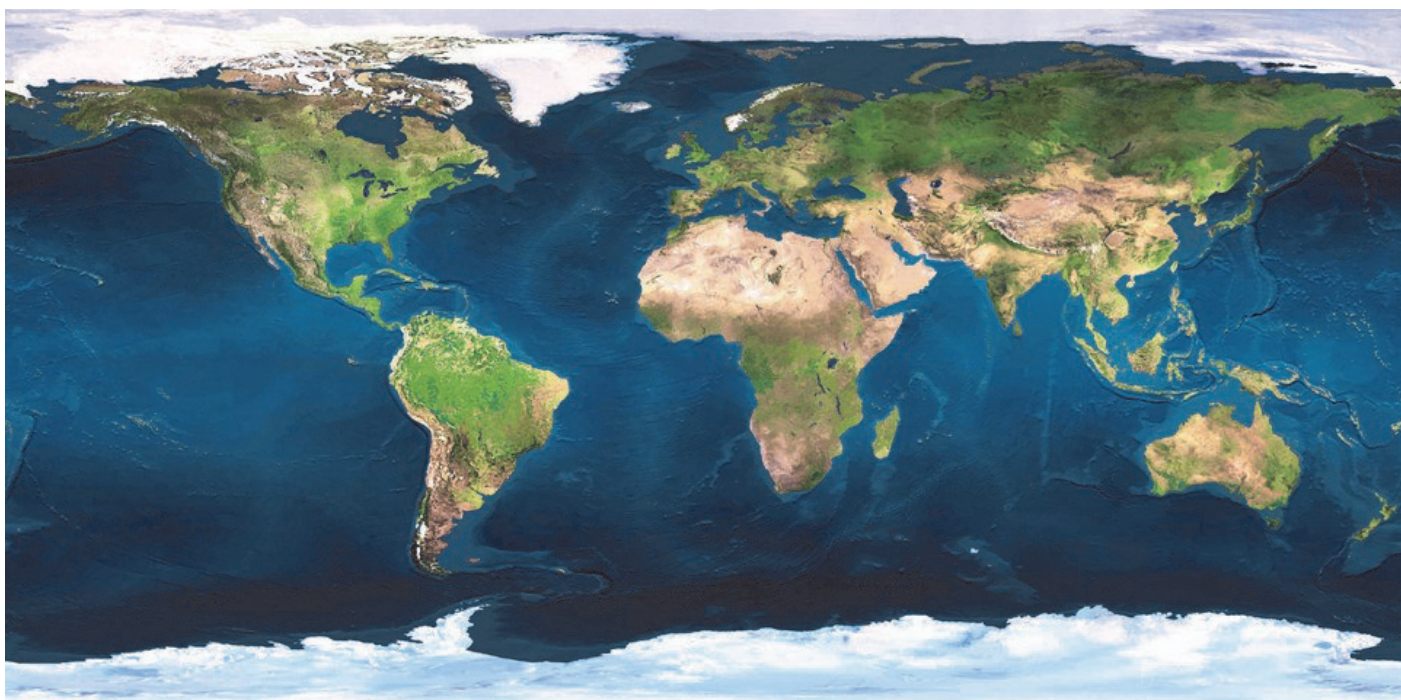
Освен движението на хората към градовете в световен мащаб, *населението на Земята се увеличи* от 2.5 милиарда през 1950 г. до над 6 милиарда през 2000 г. По-голямата част от увеличаването на населението се наблюдава в по-слабо развитите части на света. Всъщност, бумът на населението се наблюдава в *мегаполисите* на Третия свят. Вижте световното разпределение на населението на фигурите.

Задачи:

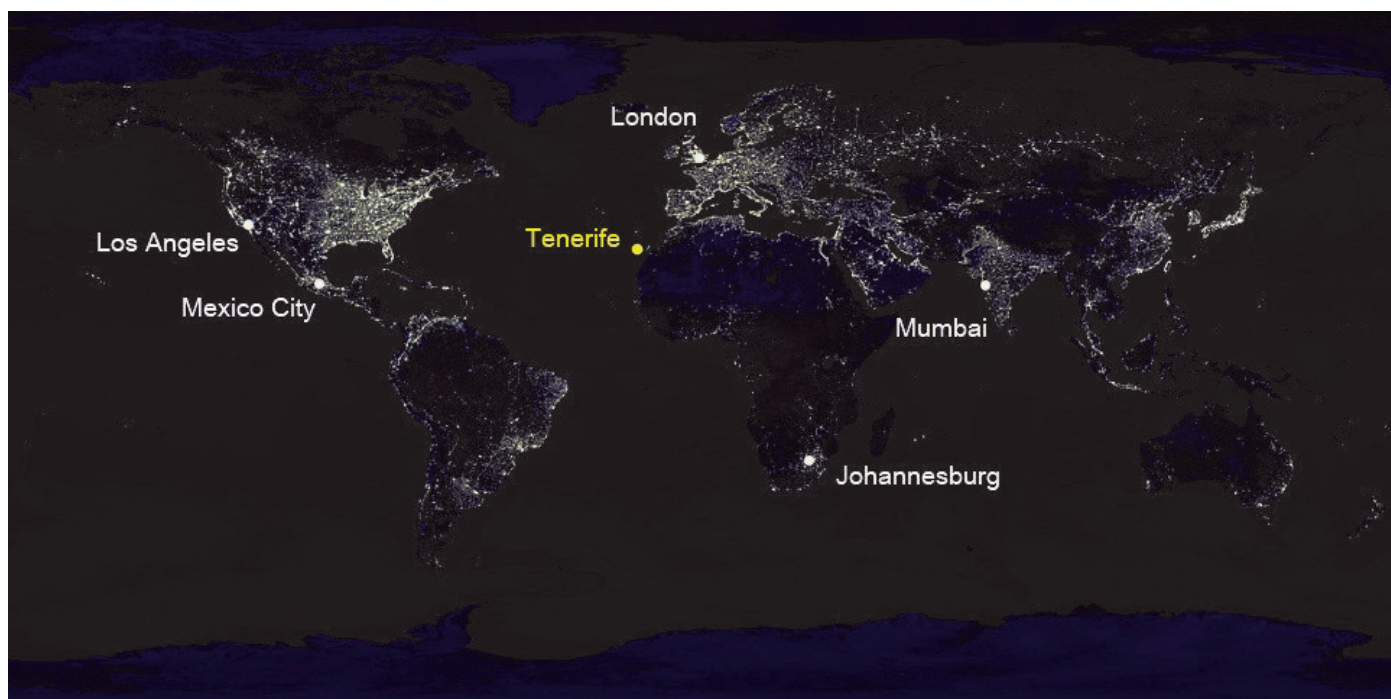
1. Можете ли да оцените гъстотата на населението по спътниковото изображение "Светът през деня"?

2. Възможно ли е това при спътниковото изображение "Светът през нощта"?
3. В кои страни гъстотата на населението е най-висока, анализирайки тематичната карта?
4. Сравнете тематичната карта със спътниковото изображение "Светът през нощта". Съответства ли високата гъстота на населението на светлините в града? Къде има и къде няма такова съответствие?

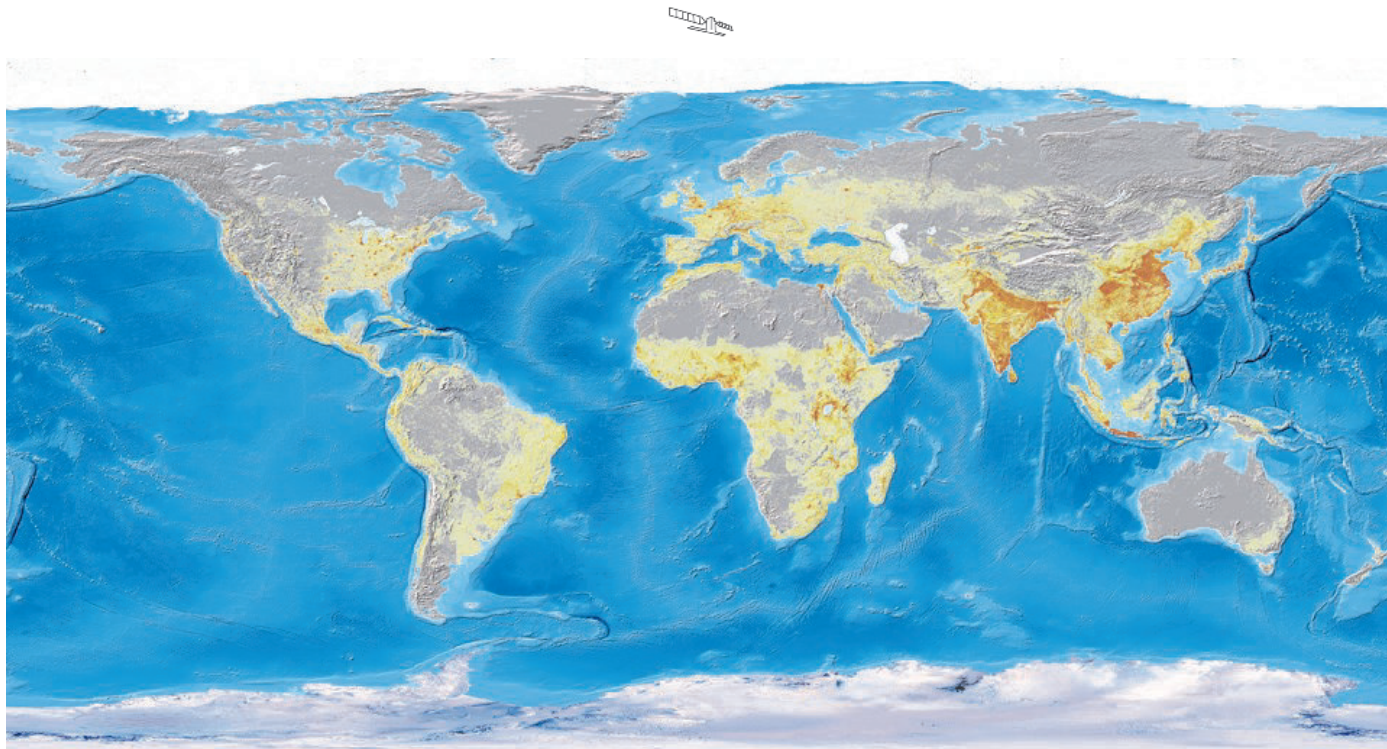
Задача: Ревизирайте следното твърдение: *"В непозната досега степен никой на Земята не е извън сферата на влияние на градския индустриален капитализъм"* (Soja, Kanai 2007).



Фиг.3.1. а) Светът през деня...

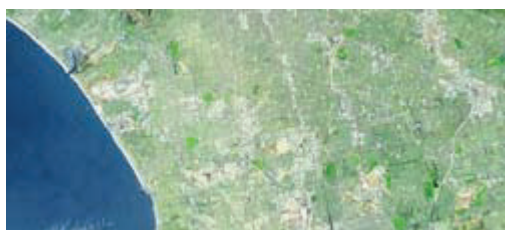


б) Светът през нощта...



в) Гъстота на населението. *Източник, Beckel 2007*

Лос Анжелис



Фиг. 3.2. Лос Анжелис - спътниково изображение. *Източник: NASA*

Лос Анжелис и централната му част се е разраснал, превръщайки се в етнически разнообразен, полутропически мегаполис, със заявка да стане основен център на западните Съединени американски щати. Той е един от най-големите градове в света и втори по големина в Америка с население от 18 милиона души. Лос Анжелис, "градът с хилядата покрайнини", няма градски център, като много европейски градове. Наистина, в централната му бизнес част има многоетажни сгради, но по западното крайбрежие той е заграден с пръстен от покрайнини с широчина до 50 мили (80 km).



Фиг. 3.3. а) Сателитно изображение на Лос Анжелис през деня (*Източник: NASA*),
б) Лос Анжелис през нощта (*Източник: NASA Visible Earth*),
в) Карта на Лос Анжелис (*Източник: Университета в Тексас*).

Икономиката на града се базира на международната търговия, аерокосмическата индустрия, земеделието, туризма и производството на филми. Лос Анжелис е пример за типичния космополитен и глобален град на бъдещето (NASA).

Лос Анжелис през деня: Сателитното изображение е заснето на 23 юли 2001 година от Усъвършенствания космически *радиометър* на топлинно излъчване и отражение (Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer – ASTER) на спътника Terra на NASA. Данните бяха обработени до получаване на симулирано изображение в реални цветове.

Лос Анжелис през нощта: Екипажът на Международната космическа станция е заснел тази снимка след 1 h местно време на 10 март 2003 година (NASA, ASTER).

В Лос Анжелис местният обществен транспорт няма почти никакво значение. Разширението на подземното метро не е икономически целесъобразно, поради високите разходи за земетръсна сигурност и ниската гъстота на населението; рентабилен е само автобусният превоз. Поради това, жителите на града са почти изцяло зависими от своите коли. Със средна продължителност на задръстванията от 72 часа на човек годишно, Лос Анжелис за съжаление оглавява статистиката на задръстванията в САЩ (Claassen 2008).

"Градът на хоризонта" обхваща предимно крайбрежни равнини и вътрешни долини. Съседните, врязващи се в територията планини, са прекалено скалисти за сериозно градско строителство. Това се дължи до голяма степен на това, че планините са "млади", което значи че все още са в процес на изграждане (и ерозия) в този сеизмично активен (податлив на земетресения) регион (NASA).

Градски части

Градските части са гигантски агломерации с множество центрове, които функционират поотделно по определени начини, но са свързани заедно в по-голяма столична сфера – отделна обособена икономическа, социална и политическа формация в една по-голяма градска рамка. Лос Анжелис е прототип на тези градски части с многоядрен градски пейзаж.

Градът се състои предимно от едноетажни разпръснати жилищни сгради, пресечени от мрежа от улици и магистрали. Регионалните търговски центрове, бизнес парковете и индустриалните паркове в крайградската част се превръщат в централна бизнес част на външното ядро.



Фиг. 3.3. Лос Анжелис, видян от различни ъгли: а) 3-D изображение, б) Нощна снимка на Лос Анжелис, направена от астронавт, в) Перспективно изображение на Лос Анжелис (Източник: NASA Visible Earth).

Растежът на крайградските градове е отличителен белег на американската урбанизация още от 60-те години на миналия век. През 70-те и 80-те години на 20-ти век бяха построени високоскоростни магистрали, обходни пътища и други артерии. След 1970 г. се появиха нови крайградски центрове – т. нар. периферни градове, които имаха за цел да обслужват новите местни икономики, като възли на многоцелева активност. През 80-те години растежът на населените места беше около 26 %, но въпреки че днес той е спаднал, градът продължава да се разширява по протежение на магистралите.

Моделът на градските области представлява най-новата крачка напред в интерпретацията на градската структура (Claaßen 2008, De Blij, Murphy 2003).

Информация за изображенията

3-D изображение: На това компютърно генерирано север-североизточно изображение, заснето от точка над Тихия океан, се вижда по-голямата част от Лос Анжелис. Това 3-D изображение е генерирано на базата на топографски данни от *Совалковата радарната топографска мисия (Shuttle Radar Topography Mission – SRTM)* и усъвършенствано цветно сателитно мозаечно изображение от Landsat 5. Топографското изображение е увеличено в мащаб един – един и половина пъти.

Снимка, направена от астронавт: На това изображение, снимка от астронавт на областта на Лос Анжелис, е наложена върху топографско изображение от Националното множество от данни за релефа на Службата за геоложки наблюдения на САЩ. Снимката на астронавта е заснета малко след 1 h местно (тихоокеанско) време на 10 март 2003 г. (също като тази отляво).

Изображение в перспектива: Това изображение в перспектива е генерирано от SRTM на NASA с графично наслагване, изобразяващо *геоложките разломи*, които са били активни по времето на Късния кватернер (белите линии). Базата от данни за разломите е предоставена от Службата за геоложки наблюдения на САЩ. Сателитното изображение от Landsat, използвано тук, е заснето на 4 май 2001 г. (NASA).

"Много хора виждат в лицето на Лос Анжелис град, който е зависим от колите и е проектиран за удобство и качествен живот, където повече от половината от градската площ е заета от улици и паркинги и в който са реализирани много важни политико-културни и социални идеали." (Schneider-Sliwa, цитиран в Claaßen 2008)

Задачи:

1. Опишете с помощта на различни изображения топографското положение на града и неговите естествени прегради.
2. Посочете последствията от интензивната *субурбанизация* в областта на Лос Анжелис.
3. Сравнете субурбанизацията в Лос Анжелис със субурбанизацията в другите градове, показани в модула (Мексико сити, Лондон, Йоханесбург и Мумбай).
4. Опитайте се да обясните горния цитат и да го оцените по отношение на урбанизацията в САЩ.

Мексико сити

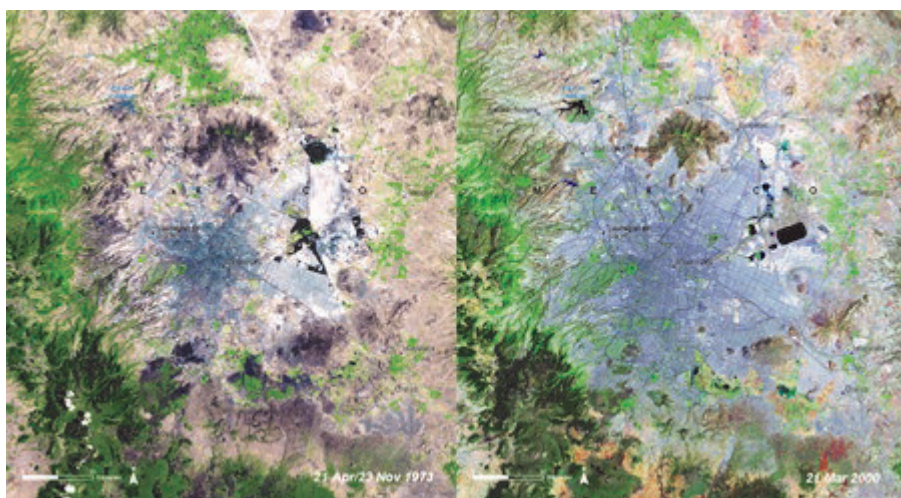


Фиг. 3.4. Мексико сити. Източник: Wikimedia

Мексико сити е един от най-бързо растящите мегаполиси в света. Основан през 1325 г. в планинската част на Мексико, градът е заобиколен от три страни от планини и вулкани във високите равнини.

Градът няма ясно очертани граници и обхваща почти целия басейн. Като столица на Мексико, той е най-големият индустриален център, най-важният възел, културният център на страната, а историческият вътрешен град е определен от ЮНЕСКО за обект на световното културно наследство. Днес Мексико сити е шумен и пренаселен централен град

с интензивен трафик, доминиран от високи възвишения и заобиколен от стотици бедняшки квартали (Bauer *et al.* 2005, Claaßen 2008, De Blij, Murphy 2003, UNEP).



Фиг. 3.5. Мексико сити през 1973 и 2000 г. Източник: UNEP

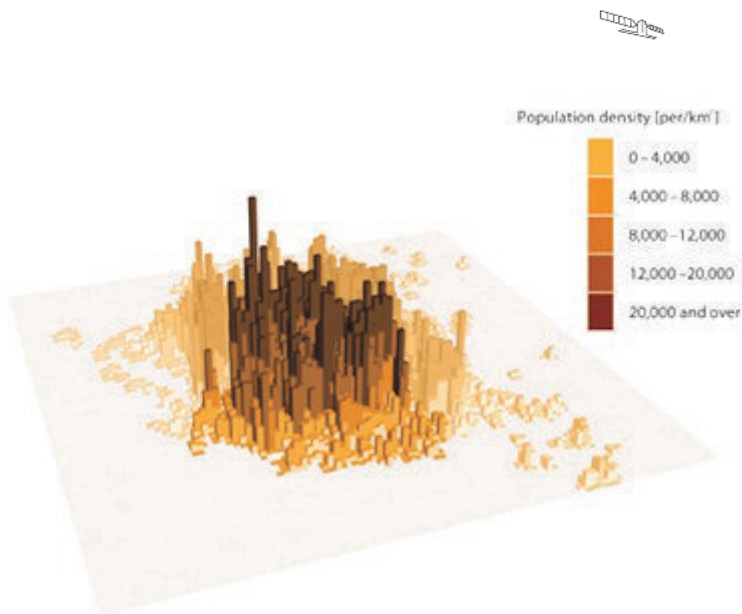
Задача: Сравнете двете сателитни изображения на Мексико сити. В коя посока се е разпрострял градът? Каква е причината за това?

Информация за спътниковите изображения

Сателитните изображения показват растежа на Мексико сити между 1973 и 2000 г. Областите с градска инфраструктура са изобразени в оттенък на лилавото, а естествената растителност е показана в зелено (UNEP).

През 1973 г. населението на Мексико сити е около 9 милиона. През 1986 г. то е нараснало стремглаво до 14 милиона. А през 1999 г. достига 17.9 милиона, което го прави втората по големина столична област в света след Токио. Очакванията са столицата на Мексико да достигне 25 милиона жители. Този бърз растеж на града е породил почти неразрешими екологични проблеми (Appleby 2007, Claaßen 2008, UNEP).

От средата на 20-ти век населението и урбанизираната област на Мексико сити са се увеличили драматично, продължавайки да растат по сложни начини – докато градското ядро си е възвърнало част от населението, крайградските части продължават бързо да се разрастват. Федералната област обхваща около 1.484 km². В урбанизирания северен сектор откритите пространства за отдих са оскъдни. Брутната гъстота на населението на Федералната област е около 5 900 души на km² (The Urban Age Project).



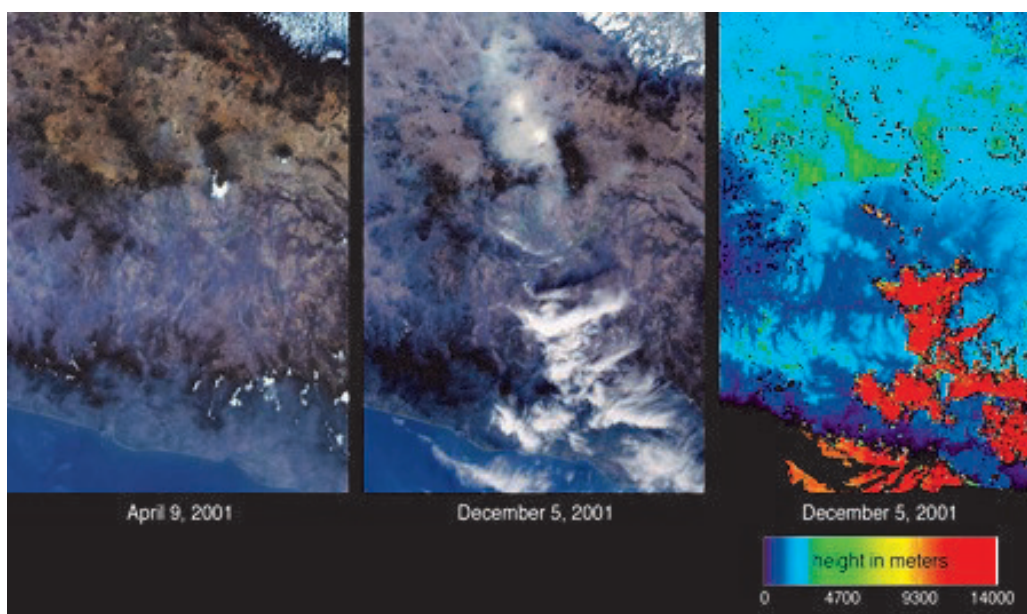
Фиг. 3.6. Гъстота на населението (души на km^2) на град Мексико.
Източник: Проект „Градски век“ (The Urban Age Project)

Мексико сити е един от градовете с най-сериозни проблеми по отношение на замърсяването на въздуха в света. Градът се намира на върха на висока равнина с височина 2 200 m н.в. и е заобиколен от три страни с планини и покрити със снежни шапки вулкани.

Основните източници на замърсители на въздуха в басейна, заобикалящ градската част на Мексико сити, включват отработените газове от 3.5 милиона превозни средства, които използват предимно безоловен бензин или сярно гориво. Градът е средище на хиляди производства, представляващи една пета от мексиканската индустрия, с частично остарели производствени мощности и минерална прах, която допълва проблема. “Долината на древното езеро”, в която е разположен Мексико сити, е била пресушена през 16-ти век превръщайки се в основен източник на прах и прахови бури, така наречените „толванерос“.

Ежедневно във въздуха се изхвърлят 12 000 t токсични замърсители. На височина над 2 200 m н.в. ефектът на ултравиолетовата радиация е по-силен, а количеството кислород намалява с 15 %, което оказва влияние на процеса на горене в колите и промишлеността. Голямата надморска височина и интензивното слънчево греење са основни фактори за образуването на озон (Bauer *et al.* 2005, Claaßen 2008, NASA Visible Earth, Yip, Madl 2000).

Смог над Мексико сити



Фиг. 3.7. Смог над Мексико сити.
Източник: NASA Visible Earth

Информация за спътниковите изображения

Частиците в атмосферата (аерозолите) и разликата в тяхното количество в два отделни дни през 2001 г. са показани на изображенията от централната част на Мексико сити, получени от широкоъгълен спектрорадиометър (Multi-angle Imaging SpectroRadiometer – MISR). Изображенията в ляво и в средата са изображения в реални цветове, получени от камерата на MISR съответно на 9 април 2001 г. и 5 декември 2001 г. На изображението в средата Мексико сити може да се идентифицира по голямата област от натрупан смог над средата на изображението. Двете малки по-ярки петна в областта на смога показват ниска мъгла. На изображението вляво басейнът на града се вижда значително по-ясно, но върху планините Сиера Мадре в долната част на изображението все още се забелязва мъгла. Вдясно е показана височинна област, съответстваща на изглед от 5 декември. Това изображение показва, че облаците в долната дясна част са в много големите височини, за разлика от ниско разположената мъгла в близост до Мексико сити. Там, където мястото не е покрито от облаци, вместо това се изобразяват данните за цифровия модел на релефа. Високите облаци са изобразени в оранжево и червено, а планините – в светлосиньо и зелено (NASA Visible Earth).

Здравословни проблеми

Броят на хората със заболявания на дихателната система и възпаление на конюнктивата продължава да нараства поради проблемите със замърсяването на въздуха в Мексико сити (Bauer *et al.* 2005).

Поражения на околната среда в Мексико сити

В случая с градската част на Мексико сити най-големите здравословни проблеми от замърсяването на въздуха са породени от три основни замърсители: *суспендирани прахови частици, озон (вторичен замърсител) и олово*. Изчислено е, че намаляването на замърсяването би довело до ежегодна икономия на 11.2 милиона работни дни. Всяка година 6 400 души умират преждевременно, губейки средно по 12.5 години от живота си поради изпускането на замърсители, които превишават законните стандарти.

Озоновото замърсяване води до редица други сериозни проблеми със здравето, като астматични пристъпи, възпаление на очите, кашлица, зачервено гърло, главоболие и дискомфорт в областта на гърдите.

Оловото е особено опасен замърсител на въздуха. Близко 95 % от бензина в градската част на Мексико сити все още съдържа олово. Отравянето с олово води до намаляване на коефициента на интелигентност при децата. При възрастните високите нива на олово водят до редица проблеми със здравето, като високо кръвно налягане и инфаркти на миокарда.

Снабдяването с вода е друг голям екологичен проблем в Мексико сити. Използването на подземна вода от средата на миналия век е причинило сериозно спадане на нивото на водата в града, като нивото на наземната вода в историческата част на града се е понижило с над осем метра.

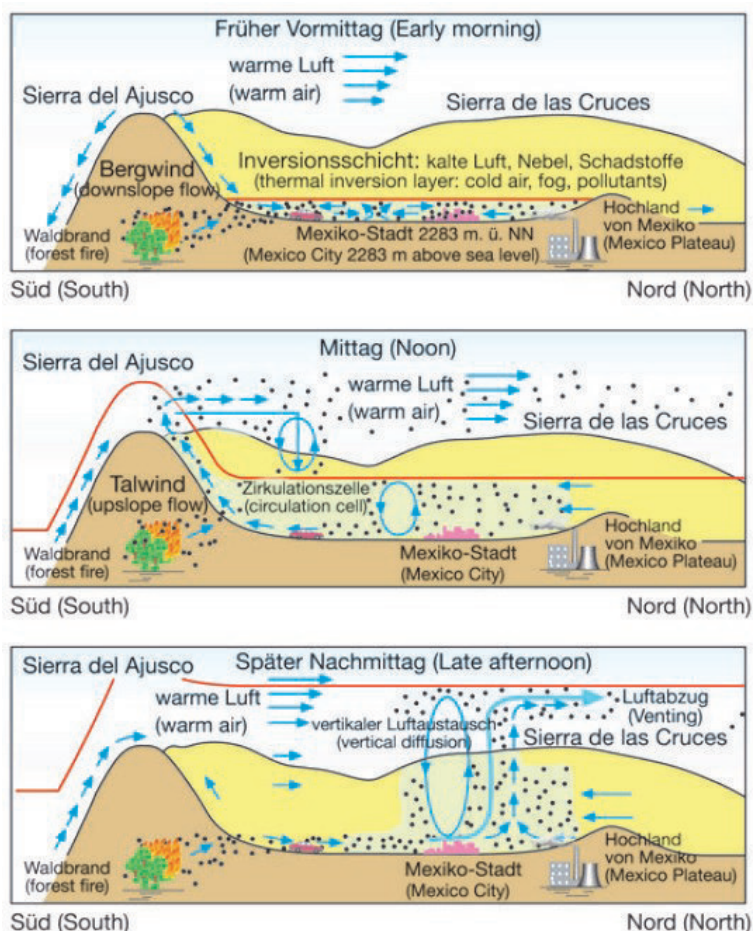
Цената на тези проблеми възлиза на стотици милиони долари (Margulis 1992).

Задачи:

1. Опишете топографското разположение и климатичните условия на Мексико сити, като използвате филма и текста.
2. Обяснете спътниковите изображения и изображението на мъглата. Какво означават светлосините области тук?
3. Обяснете проблемите с околната среда, позовавайки се на местоположението, климата и загубата на ресурси.

През зимата, когато в резултат от топлинните инверсии замърсените въздушни маси остават близко до повърхността, качеството на въздуха се влошава значително. По време на тези кратки времеви периоди замърсеният въздух не може да се освободи и достъпът на свеж въздух е ограничен. Това води до образуването на пелена от кафяв смог над града с продължителност 200 дни в годината и увеличаваща се концентрация на замърсителите в близко разположените до земята въздушни слоеве.

Обичайната посока на ветровете през града е от североизток, където един малък проход в планините дава възможност на влагата и ветровете от Мексиканския залив да проникнат в басейна. Това замърсяване от духането на вятъра прониква от индустриално най-развития район към централната част на града и жилищните райони югозападно от града, ограничени на юг от планинската верига (Bauer *et al.* 2005, Claaßen 2008, NASA Visible Earth, Yip, Madl 2000).



Фиг. 3.8. Атмосферна инверсия над Мексико сити

Лондон



Фиг. 3.9. Лондон. Снимка: Аника Донер

Град Лондон е изходната точка на световния процес на урбанизация и най-големият град на света до началото на Първата световна война. Този пръв съвременен “мегаград”, подхранен от Индустриалната революция, днес е един от четирите световни градове (заедно с Ню Йорк, Париж и Токио) (Burdett 2007, Gresh 2007).

Лондон е основан като търговски център в заградената от стени вътрешност на римския Лондиниум. След десетилетия на упадък през последните десетилетия той отново преживява период на интензивен растеж. За 20 години населението на Лондон се е увеличило от 6.7 милиона на 7.5 милиона жители. Като към 2015 г. този брой е над 8 милиона души. Гъстотата на населението е сравнително малка, брутно 4 795 души/km². В по-обхватния градски район на Голям Лондон, обхващащ югоизточната част на Англия, живеят над 19 милиона души, много от които пътуват ежедневно до Лондон (Burdett 2007, Travers 2007, The Urban Age Project).

Нарастващото население на Лондон се дължи до голяма степен на миграцията; през последните 10 години над 95 % от имигрантите в Лондон са родени извън Великобритания. През 21-ви век Лондон е на прага на безпрецедентен период на растеж и промяна. Съгласно доклад на Price Waterhouse Coopers (PWC) през 2007 г. той е станал най-скъпият град на Земята (Burdett, Rode 2007, Burdett 2007, Sudjic 2007).

Лондон е полицентричен град с просторни зелени паркове, открити пространства за отдих и много местни хъбове, които представляват център на различни жилищни общности, интензивна улична култура на различни търговски дейности (Burdett 2007).



Фиг. 3.10. Лондон през 2005 и 2001 г. Източник: NASA Visible Earth

Информация за спътниковите изображения

Първото изображение е снимка, направена от космонавт, от борда на Международната космическа станция на 2 април 2005 г. Второто изображение е заснето на 12

октомври 2001 г. от Усъвършенствания космически радиометър на термоемисии и отражения (Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer – ASTER) на борда на спътника Terra на NASA (NASA).

Задачи:

Сравнете двете изображения помежду си и с атласа на ЕКА.

1. Намерете съответни точки върху двете изображения.

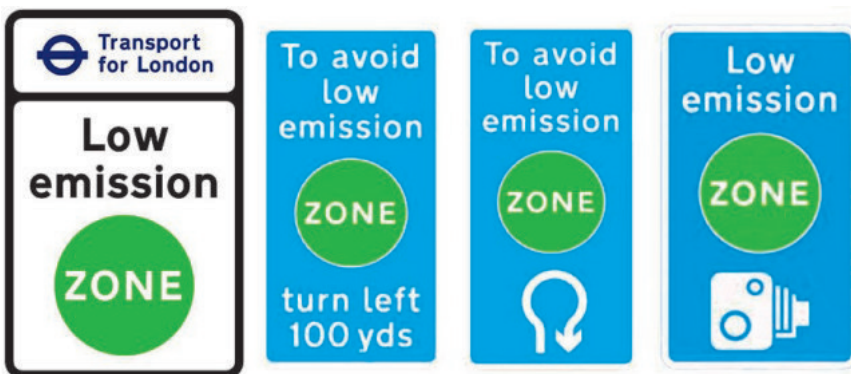
2. Опишете и обяснете различните изгледи.

В Лондон 22 % от градските емисии на въглероден двуокис са причинени от наземния транспорт. Целта на Лондон е да редуцира и минимизира емисиите на CO₂, да подобри качеството на въздуха и да намери алтернативни източници за производство и снабдяване с енергия. Планът на Лондон е фокусиран върху прилагането на устойчиво земеползване и транспорт.

Този план цели създаването на " [...] по-компактен град с по-висока гъстота [...], със смесено предназначение и социално балансиран общности, съчетаващ жилища с офиси, магазини, места за отдих и забавление, центрове за медицински услуги, училища и колежи" (Gavron 2007, 379). " Освен това, е необходимо да се създаде интегрална стратегия на транспорта, стратегически план за управление на качеството на въздуха, стратегия за управление на отпадъците, редовни отчети за състоянието на околната среда, стратегия за култура [...] и стратегия за икономическо развитие" (Thornley 2000, 29).

Има изисквания, особено по отношение на атрактивни и устойчиви алтернативи на колите. Най-бързите усъвършенствания в областта на автобусния транспорт показаха, че има ефективни опции за промяна. Но, бъдещите проекти трябва да предвиждат дългосрочна промяна и в подземните и железопътните транспортни мрежи на Лондон.

Законът за намаляване на трафика по пътищата 1997 г. беше създаден в резултат от изследване на необходимостта от намаляване на обема на трафика. На 17 февруари 2003 г. в Централен Лондон беше въведена "Такса задръстване", с цел редуциране на задръстването и чрез събирането на такса от 8 лири дневно – набиране на средства за инвестиции в транспортната система на Лондон. Първоначалната зона беше в границите



на Вътрешния околоръстен път на Лондон, но през 2007 г. тя беше разширена в посока на запад, което доведе до намаляване на емисиите на CO₂ с 16 %.

Фиг. 3.11. Пътни знаци за зоните на ниски емисии в Лондон. Източник: Транспорт за Лондон

Другата основна схема за таксуване на ползватели на пътищата е Зоната на ниски емисии в Лондон, която беше въведена на 4 февруари 2008 г. Целта на тази система на таксуване е да се намалят

замърсяващите емисии от дизелови превозни средства, като камиони, автобуси, пътнически вагони, големи ванове и минибусове, за да се помогне за подобряване на качеството на въздуха в Голям Лондон.

Планът за намаляване на въглеродните емисии с 60 % до 2050 г. трябва да се насочи и към лондонските домове, които са отговорни за почти 40 % от градските емисии. В най-добрите сгради емисиите трябва да бъдат ниски и почти нулеви. Това означава, че новите къщи трябва да отговарят на по-високи екологични стандарти, а съществуващите социални жилищни блокове трябва да се подобрят чрез изолация и нови технологии за запазване на енергията. В целия град има голяма необходимост от мащабно производство на енергия от възобновяеми източници (Burdett 2007, Gavron 2007).



Фиг. 3.12. Лондон, гледан от самолет. Снимка: Anika Donner

Програма „Зелен дом“

Лондонската програма „Зелен дом“ беше създадена с цел да се подкрепят лондончани за намаляване на въглеродните им емисии, предлагайки кампания за информираност – многофункционална кампания, предлагаща информация за това как да се прилагат енергоспестяващи мерки и друга информация. Тази програма помага не само да се намалят общите въглеродни емисии, но и дава на лондончани съвети за това как да пестят от сметките за електрическа енергия.

До 2025 г. Лондон иска да стане град-модел за Европа и света с ниските си емисии. Междувременно стана ясно, че 30 % намаление на въглеродните емисии по света няма да бъде достатъчно, за да предотврати катастрофалната промяна в климата и че всяко устойчиво развитие трябва да се фокусира върху нисковъглеродните разработки. Намаляването на емисиите може да се постигне само чрез намаляване на използването на енергия в сградите, намаляване на производството на въглеродни емисии от транспорта и други големи източници, и осигуряването на нови методи за снабдяване с енергия. Но първата стъпка трябва да бъде промяна в поведението на всеки лондончанин и на всички останали хора (Gavron 2007).

Задачи:

1. Опишете един от посочените планове или програми за Лондон.
2. Избройте начините, по които Лондон се опитва да стане "зелен" град.
3. Мислите ли, че той може да се превърне в световен пример за добра екологична практика?

Йоханесбург



Фиг. 3.13. Йоханесбург. Източник: Wikimedia

Йоханесбург има население от близо 4 милиона души. Изчисленията сочат, че в края на 90-те години на 20-ти век градът е нараствал с 4 % годишно. Според някои сценарии на развитие до 2015 г. столицата Йоханесбург ще достигне население от 15 милиона души. Градът е основан през 1886 г., което го прави един от най-младите големи градове в света (Joburg.org, The Urban Age Project).

Градът буквално се появява на картата с гръм и бързо се урбанизира във връзка с големите залежи от злато. Той възниква по периферията на златните полета. Йоханесбург е продукт на серия от обстоятелства, които са много характерни за Африка: с история на британска колония и тясна връзка с режима на апартейд, днес градът е като тигел, в който се ражда една нова Африка, един бързо развиващ се търговски и банков град.



Фиг. 3.14. Йоханесбург.
Източник: NASA Visible Earth

Информация за снимката на астронавта

Дребнозърнестата структура в средата на горното изображение (създадена от сенките, хвърляни от високите сгради в града) съответства на центъра на Йоханесбург.

На южния край на Йоханесбург се вижда линия от светли, ъгловати участъци. Това са големите "минни сметища" – натрошените скали, които остават след добива на злато от многобройните златни мини. Някои минни сметища са толкова големи, че на едно от тях беше разположен филмов салон на открито. След минните сметища до края на снимката са разположени съседните индустриални градове.

В богатите на растителност северни покрайнини (горе вдясно) се намира зелената зона, където стотици квадратни мили пасища са били прогресивно залесявани от основаването на Йоханесбург през 1886 г. Малките светли участъци в богатата на дървета зона съответстват на сателитни търговски дейности и търговски центрове, типични за всеки голям западен град.

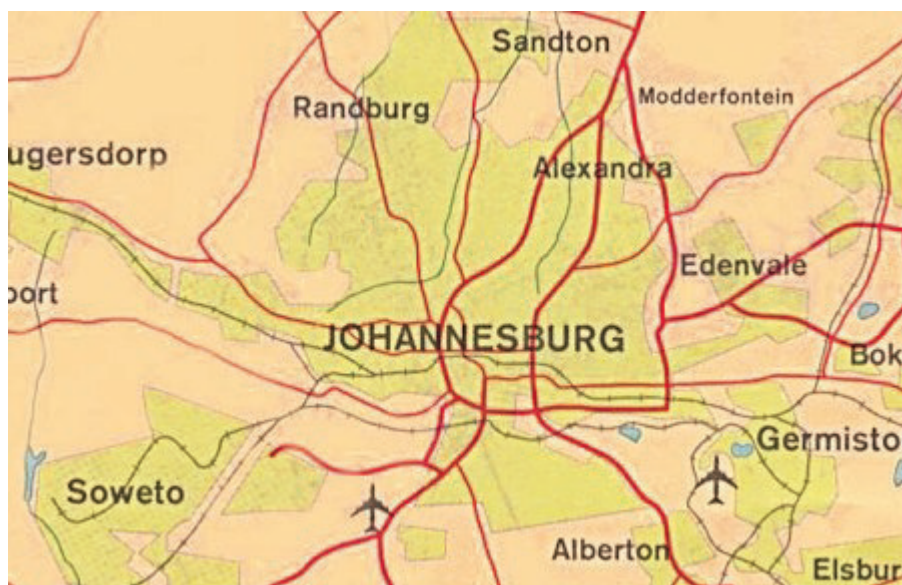
От друга страна, зелената зона по-долу вляво представлява главното гето (прословутото селище Совето, създадено от бившето южноафриканско правителство), типично за градската миграция на развиващия се свят. Вижда се, че в по-голямата си част Совето е лишено от дървета, с изключение на защитените котловинни дъна (NASA).



Фиг. 3.15. Йоханесбург през 1896 г. Източник: Wikipedia

Както показва описанието на изображенията, Йоханесбург се отличава с отчетлива пространствена сегрегация, като всяка расова група живее в собствена жилищна общност, ограничена от зелен пояс, с добре планирани работни места и транспорт.

Сандтън, който сега е сърцето на финансовия и корпоративния живот, в началото на 20-ти век е бил място с провинциални жилищни имоти и развлекателен център за богатите жители на Йоханесбург. Градът се самоопределя като метрополиса от "световна класа" на Африка (Bremner 2007, Sudjic 2007).



Фиг. 3.16. Карта на Йоханесбург от ЦРУ, 1977 г. Източник: Университета на Тексас

Подобно на други африкански градове, Йоханесбург не може лесно да бъде определен като европейски град, поради преплитането на различни постройки и обстоятелства. 22.7 % от общото население е на възраст до 14 години и само 4 % от населението достигат 65-годишна възраст. Независимо от 600-те затворени общности, достъпът до които се осъществява през 1 100 контролно-пропускателни пункта, 24.1 % от населението на Йоханесбург живее под границата на бедността. Ужасяващата смъртност от ХИВ/СПИН и туберкулоза води до драматичен спад на населението. Градът отдава голямо значение на символичните събития и по-специално, на Световното футболно първенство от 2010 г. (Bremner 2007, Sudjic 2007).

Цитати относно затворените общности в Йоханесбург:

"Йоханесбург е град, в който моловете и затворените общности, типично свързани с Южна Калифорния, са придобили най-подчертано бароков стил".

"В някои отношения затворените селища на Йоханесбург, пресъздаващи буквално средновековните градове, оградени от крепостни стени, биха могли да се възприемат не като влияние на американските градски покрайнини, а като предвестници на това, в което те могат да се превърнат един ден." (Sudjic 2007).

Задача:

1. Начертайте схема на снимките, за да идентифицирате и анотирате различните области на земно покритие.
2. Намерете свързани изображения на различните места в Интернет.
3. Сравнете снимката на астронавта с изображението на Йоханесбург през 1896 г. и с картата по-горе. Можете ли да локализирате различните части на града на снимката на астронавта?

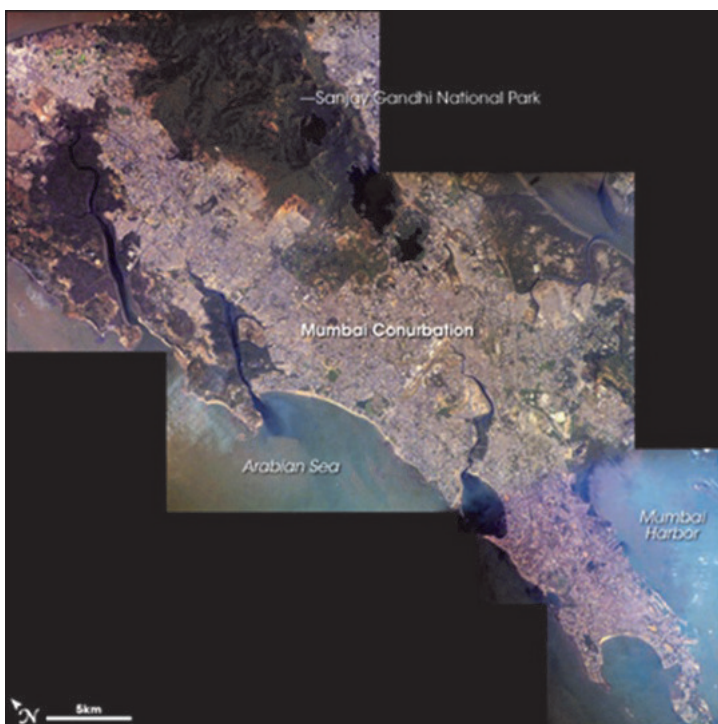
Мумбай



Фиг. 3.17. Мумбай. Снимка: Тобайъс Майер

Мумбай най-големият, най-богатият, най-съвременният и най-бързо растящият град в Индия, е разположен по западното крайбрежие на страната, в Арабско море.

Мумбай е столица на щата Махаращра и най-важната финансова столица на Индия. С население от 18.3 милиона души, градът е четвъртата по големина градска агломерация в света (след Токио, Мексико сити и Ню Йорк). Според някои прогнози, до 2050 г. Мумбай може да надмине Токио, като най-голям град в света (Mehta 2007, NASA Visible Earth, The Urban Age Project, UN-HABITAT 2001).



Фиг. 3.18. Мумбай ноември 2006. Източник: NASA Visible Earth

Информация за сателитното изображение

Тази мозайка от изображения се състои от три снимки на астронавти, направени през ноември 2006 г. през десет секунди разстояние една от друга, докато Международната космическа станция е преминавала над Индия. Почти безоблачните условия дават възможност да се види непрекъснатото градско земно покритие на мегаграда, простиращо се на разстояние от почти 50 километра в посока север-юг. Националният парк

„Санджай Ганди“ е най-големият национален парк в света, разположен в чертите на града. Освен, че дава подслон на местните растения и животни, паркът включва и две езера, които представляват част от водоснабдителната система за питейна вода на Мумбай (NASA Visible Earth).

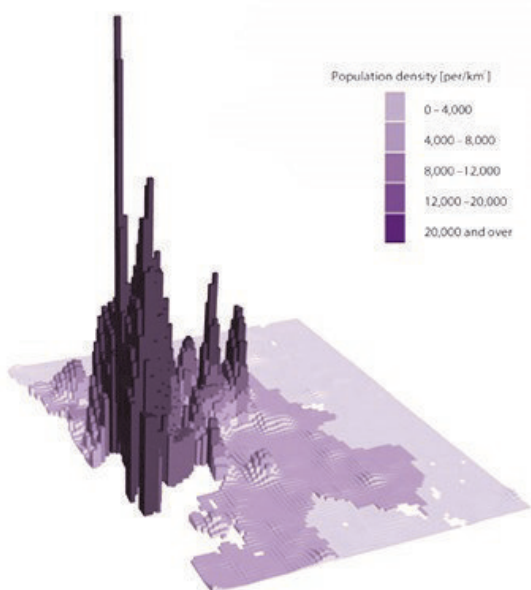
Регионът е наречен на местното божество "Мумбадеви" и включва седем малки острова, предимно на базалтова основа, формирана от избликнали потоци лава в миналото. Тези острови са свързани помежду си с ивици рекултивирана земя, като всеки

остров или околност запазва отчетливата си идентичност в рамките на града. Португалците, акостирали на естественото пристанище през 16-ти век, го нарекли Бом Байя, което на португалски означава "красив залив". По време на английското колониално владичество, започнало през 17-ти век, мястото е наречено "Бомбай".

Мумбай е наричан още "Вратата на Индия", поради голямото си пристанище и идеалното си местоположение, ориентирано към Африка, Европа и Средния Изток. Доковете на града включват най-голямото пристанище на целия субконтинент, което обслужва над една трета от чуждестранната търговия на страната (NASA Visible Earth, UN-HABITAT 2001).

През последните години градът възвръща местното си име "Мумбай". Градът се е оформил като един от водещите търговски, икономически, транспортни и културни центрове на Индия, седалище на изключително успешната филмова индустрия на страната – индийския "Баливуд", и цветуща фондова борса. Силуетът на Мумбай често бива сравняван с този на Манхатън – отражение на съвременния прогрес и потенциал. Град Мумбай генерира една шеста от брутния вътрешен продукт (БВП) на Индия (UN-HABITAT 2001).

Известен като Голям Мумбай, той обхваща област от 438 km² с изключително висока гъстота на населението (27 348 души/km²). Мумбай е градът с най-висока гъстота на населението в света. В непосредствена близост с цветущия търговски сектор се намира най-големият бедняшки квартал в Азия, известен като Дхарави (NASA Visible Earth, Petersen 2007, The Urban Age Project).



Фиг. 3.19. Гъстота на населението [души на km²] на Мумбай. *Източник:* The Urban Age Project

От една страна Мумбай е развлекателната и финансовата столица на Индия, но от друга, той е и градът с най-големите бедняшки квартали. Задръстванията на пътното движение, загубата на влажни зони и наводненията, както и критичният проблем с жилищата и бедняшките квартали са основните предизвикателства, стоящи пред Мумбай. Но, бързият растеж е довел и до нарастващи проблеми с общественото здраве, какъвто е замърсяването на въздуха (The Urban Age Project, UN-HABITAT 2001).

Новите урбанизирани области, като Ваши, Ню Бомбай, Васай и Махим крик се развиват с цел да облекчат това задръстване и да осигурят площ за нови крайградски зони и индустриални паркове (The Urban Age Project).

Задача: Сравнете снимката на Мумбай, направена от астронавта, с гъстотата на населението от графиката по-горе. Къде на изображението се намират най-големите гъстоти?

Упражнение 3.1.

Възстановява ли обема си Аралско море?

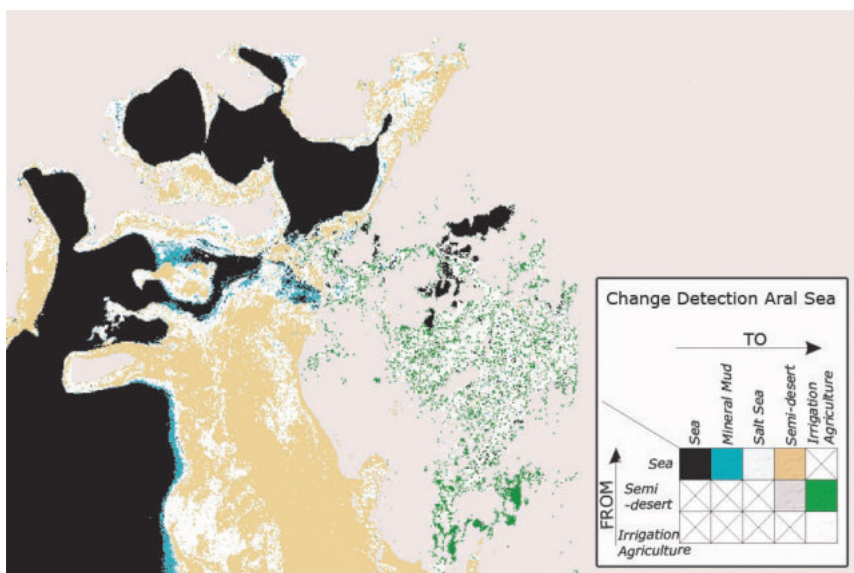
Задачи:

1. Обяснете промените в земеползването в северната част на Аралско море, като използвате картинките и картата.
2. Каква е вероятността северното море да възстанови обема си?



Фиг. 3.20. Аградация на Аралско море между 1973 и 2000 г.
Източник: Beckel 2007

Водното ниво поне в северната част на Аралско море – най-малкото от трите морета, се покачва отново. Към 2005 г. между Малкото Аралско море на север и Голямото Аралско море на юг е построен язовир, финансиран от Световната банка. Оттогава водите на Сърдаря запълват Малкото Аралско море по-бързо, отколкото се смяташе преди това. Експертите прогнозираят, че северното море ще увеличи масата си, благоприятствайки отново промишления риболов и балансирайки местния климат. Така морето на юг, което черпи водите си от Амурдаря, чиято делта едва се процежда, ще пресъхне много по-бързо. При това положение, запазването на най-голямата част от Аралско море е практически невъзможно (NASA, Schlager 2007).



Фиг. 3.20. Промени в земното покритие между 1973 и 2000 г.
Източник: Beckel 2007

Информация за картата

Основа: Landsat MSS, Landsat TM
Дати на изображенията: Лятото на 1973 г., 2000 г.

Анализът на промените показва сериозните промени в регионалното земеползване, предизвикани от необмисленото спадане на нивото на наземните во-

ди. Много ясно се вижда до каква степен морето се е отдръпнало, за да бъде заместено впоследствие от полупустинни области и солени езера (Beckel 2007).

3.2. Синдроми на глобалната промяна

Органичен подход

В годишния доклад за 1996 г. на Немския консултативен съвет по глобалната промяна (German Advisory Council on Global Change – WBGU), бяха описани основните проблемни области на бъдещите световни промени, наречени *синдроми на глобалната промяна*. При интегралното изследване на глобалната промяна беше приложен *органичен подход*, който счита човечеството за активен фактор от планетарно значение. Само свързан интердисциплинарен подход може да се справи с голямата сложност на динамичната корелация и в същото време да даде пълноценна представа на идеята за трайната промяна. Най-важните развития на глобалната промяна са използвани като качествени елементи, тенденции или *синдроми на глобалната промяна*. Те изграждат една качествена система, една глобална мрежа (WBGU 1996).

Задачи:

1. Обяснете на вашите съученици идеята на синдрома.
2. По какво се различава тази идея от други изследвания на глобалната промяна?
3. Кликнете на изображенията и линковете в долната таблица, за да се информирате за избрания синдром.

Смисълът на Тезата на идеята за синдромите е: *"Сложните глобални трудности, свързани с околната среда и развитието, са възобновени в управляем брой схеми за влошаване на околната среда"* (WBGU 1996).

Характерните особености на синдромите на глобалната промяна са техният транс-секторен характер (те се проявяват в различни сектори, като икономика, околна среда, социална общност и др.), тяхната пряка и непряка връзка с околната среда, както и тяхната поява в различни места по света. В този анализ на проблема трябва да се обяснят отклоненията в отношението човек-природа и сериозното влошаване на околната среда.

За решаването на проблема е необходим глобален подход. Всеки от синдромите/клиничната картина е отделен основен модел на влошаване на околната среда, причинен от човека отчасти със силни самозасилващи се механизми. Освен това, между отделните синдроми се наблюдава пасивно припокриване и/или активно взаимодействие (WBGU 1996).

Различават се три групи синдроми:

- Синдром в резултат от нерегулирана *употреба* на природните ресурси (например, обезлесяването на тропическите гори)
- Проблеми между човека и околната среда, произтичащи от временни *процеси на развитие* (например, субурбанизацията)
- Влошаване на околната среда поради нерегулирано *изхвърляне на отпадъци* (например, сметища)

Групи синдроми Употреба	Синдром	Обяснение	Пример
	<i>Синдромът на Сахел</i>	изчерпване на природните екосистеми поради прекомерно използване за земеделски цели на маргинални хабитати	Областта Сахел
	<i>Синдромът на изчерпването</i>	изчерпване на природните екосистеми	Обезлесяването на тропическите гори, например, в Бразилия
	<i>Синдромът на миграцията</i>	влошаване на околната среда поради отказ от традиционните форми на земеползване	Земеделските области, напр. в Северен Пакистан
	<i>Синдром на прашните бури</i>	временно индустриално култивиране на почви и води	Средният Запад на САЩ
	<i>Синдромът на Катанга</i>	влошаване на околната среда чрез разрушаване на невъзобновяеми източници	Добиване на суровини (диамантени мини)
	<i>Синдромът на масовия туризъм</i>	застрояване и увреждане на природни области за целите на възстановяването и туризма	Майорка, Тенерифе
	<i>Синдромът на изпепелената земя</i>	разрушаване на околната среда чрез военни действия	Войната във Виетнам

Групи синдроми Изхвърляне на отпадъци	Синдром	Обяснение	Пример
	<i>Синдром на високите комини</i>	влошаване на околната среда чрез дифузно разпространение на далечни разстояния на най-трайните агенти	Озоновият слой
	<i>Синдром на сметищата</i>	изчерпване на околната среда чрез регламентирано и нерегламентирано изхвърляне на човешки боклуци	Сметищата в покрайнините на големите градове
	<i>Синдром на замърсените градове</i>	местно замърсяване на околната среда от предприятия за промишлено производство	Манчестър, Ливърпул, Бирмингам

* Синдромът на груповото изхвърляне на отпадъци е изключен, той се споменава тук само за пълнота.

Модул 4

Приложение на дистанционните изследвания и геоинформационните технологии в земеделието



Симона Колева - "Планета"

VII клас, НУИ „Добри Христов“ – гр. Варна

Първа награда на публиката в Конкурса за рисунка от 5-ти до 7-ми клас

на Ден на отворените врати ЕЕОБСС, РКИЦ, София, 02 ноември 2017 г.



Модул 4

Приложение на дистанционните изследвания и геоинформационните технологии в земеделието

Земеделските растителни продукти съставляват голяма част от менюто на всеки човек. Производството на храна с добро количество и качество е от основно значение за благополучието на хората навсякъде по света. Като всички живи организми, земеделските растения имат нужда от вода и хранителни вещества, за да се развиват, и са чувствителни към екстремните климатични условия, болестите и вредителите. Дистанционните из-



следвания могат да предоставят данни, които дават възможност за идентификация и мониторинг на посевите. Когато тези данни са организирани в географска информационна система заедно с други видове данни, те стават важно средство, което помага при вземането на решения за посевите и земеделските стратегии.

Фиг. 4.1. Лозя в Калифорния. *Източник:* Flickr.com

Кой има нужда от дистанционни изследвания на земеделието?

Правителствата на държавите могат да използват данните от дистанционните изследвания, за да вземат важни решения за политиките, които ще приемат, или за това как да решат националните въпроси, свързани със земеделието. Селските стопани също могат да получат полезна информация от изображенията на дистанционните изследвания за отглеждането на посевите си, за тяхното здраве и за това как да се справят с евентуални проблеми.

В този Модул ще научите...

- как растителността взаимодейства с електромагнитната радиация;
- методите за обработка на данни от дистанционни изследвания, които дават информация за посевите;
- как се идентифицират проблемите с посевите с помощта на дистанционните изследвания;
- възможностите за комбиниране на дистанционните изследвания и географските информационни системи.



Знаете ли, че: 820 милиона души в развиващите се страни страдат от глад и недохранване поради недостига на валежи от дъжд и лошото качество на почвата?

Фиг. 4.2. Фермер върви през пресушено езеро в покрайнините на Баоканг, централна китайска провинция Хубей, през 2007 година.

Източник: Reuters /Springer

Суша възниква, когато валежите са малко, а в случай на валеж, той е много силен. Почвата не може да погълне достатъчно бързо силния валеж. В резултат от това тя изсъхва и става негодна за отглеждане на посеви, които могат да се използват за храна на хората.

4.1. Мониторинг на състоянието на посевите

Фактори, оказващи влияние върху спектралните сигнатури на посевите

Растенията имат особен начин да отразяват електромагнитната радиация. Тази уникална характеристика се нарича спектрална сигнатура на растителността. Отразяващата способност на растителността е много ниска в синята и червената област от електромагнитния спектър, малко по-висока в зелената област и висока в близко инфра-червената област.



Фиг. 4.3. Загуба на хлорофил в лист (хлороза).
Източник: Wikimedia Commons

Нормалният процес на растежа на едно растение може да бъде нарушен, когато то преживява период на стрес. Когато се намира в стрес, растението не функционира правилно поради една или повече причини. Когато растението е стресирано, обикновено то проявява определени видими симптоми, но също и някои, които са невидими за човешкото око. Симптоми на стрес могат да се появят във всички растения от дадено

поле или в някои части от полето, в зависимост от причината.



Фиг. 4.4. Развитие на гъба (*Uncinula necator* – обикновено наричана праховидна плесен) върху пъпешово растение.
Източник: Wikimedia Commons

Стресът се предивиква от редица външни фактори. Такива са:

- Недостиг на вода (суша);
- Недостиг на хранителни вещества;
- Висока концентрация на вредни химикали (токсичност);

- Прекалено висока киселинност или осоляване на почвата;
- Гъбична, бактериална или вирусна инфекция;
- Атака от насекоми или други организми, над или под земята;
- Екстремни температури (горещина или мраз);
- Задушаване на корените или липса на пространство за развитие на корените (напр. насищане на глинеста почва с вода или уплътняване на почвата);
- Липса на слънчева светлина;
- Структурна повреда от климатични условия (вятър, сняг, лед);
- Конкуренция с други растения за светлина, хранителни вещества, вода или пространство.

Пример

Атаката на насекоми започва в единия край на полето и постепенно се разпространява върху цялото поле с течение на времето. Уплътняването на почвата, от една страна, може да бъде проблем само в една част от полето, следователно, ще засегне растенията, растящи в тази част.

Когато гъбичките атакуват...



Фиг. 4.5. Ефекти на соевата ръжда (fungus *Phakospora*) върху листата на соята.

Източник: Wikimedia Commons и US Agricultural Research Service (Служба за земеделски изследвания на САЩ)

На горното изображение някои участъци от листата на соята са засегнати от гъбичката *Phakospora* (соева ръжда) и са променили цвета си от зелен към жълт поради това, че хлорофилът е разрушен. Гъбичката атакува клетките, като прониква през стените ѝ и използва тяхното съдържание и хранителни вещества, за да се храни и развива.

Въпрос 1: Сравнете листата, засегнати от *Phakospora* (горе) и *Cercospora* (долу). Какви са разликите между симптомите на инфекцията?



Фиг. 4.6. Гъбичка *Cercospora* върху лист.

Източник: Wikimedia Commons

В някои случаи появата на кръгови области от мъртви клетки всъщност представлява защитен механизъм на растението. Тъй като гъбичката се разпространява от клетка към клетка, растението може умишлено да предизвика смъртта на клетките около точката на инфекция. Без наличието на живи клетки, към които да се разпространява, гъбичката умира и разпространяването на инфекцията спира.



Фиг. 4.7. Структура и спори на гъбичката *Fusarium verticillioides*.

Източник: Wikimedia Commons and Centre for Disease Control and Prevention / Dr. Libero Ajello (Център за контрол и превенция на болестите / д-р Либерио Ахело)

На горното изображение можем да видим структурните елементи на гъбичката *Fusarium verticillioides* и нейните сакчета със спори. Спорите се отделят при оптимални условия по отношение на температурата и влажността и когато достигнат повърхността на листа пускат сонда, която прониква през стената на клетката. С помощта на тази сонда гъбичката използва хранителните вещества на клетката, за да се храни, като създава тези структури и сакчета със спори, повтаряйки цикъла.

Въпрос 2: Какъв очаквате да бъде спектралният отговор на тези листа във видимата и инфрачервената област, сравнен с този на здрави листа?

Недостиг на хранителни вещества



Фиг. 4.8. Ефекти на недостига на азот върху листата.

Източник: Wikimedia Commons

Липсата на определени хранителни вещества спира нормалния растеж на растенията. Някои хранителни вещества, които са пряко или непряко свързани с производството на хлорофил, имат подчертан ефект върху цвета на листата. Например, дефицитът на азот най-напред предизвиква пожълтяване на областта от листа около жилките (които са част от мрежата за пренос на хранителни вещества на растението), след което жълтата област се разширява, обхващайки останалата част от листа, който постепенно придобива червен, а впоследствие – и кафяв цвят.



а)



б)

Фиг. 4.9. а) Липса на азот върху листата на царевица. Източник: Government of Ontario, Canada, Ministry of Agriculture, Food and Rural Affairs© Queen's Printer for Ontario (Правителство на Онтарио, Канада, Министерство на земеделието, Въпроси, свързани с храните и селските райони © Кралско издателство за Онтарио), б) Липса на магнезий в лист на роза. Източник: Wikimedia Commons.

За разлика от недостига на азот, недостигът на манган най-напред се проявява като хлороза на периферията на листа, като областта около жилките последна проявява ефектите на недостига. С напредването на недостига жълтата тъкан на листа изсъхва и умира, придобивайки тъмнокафяв цвят.

Освен развитието на хлорозата, между недостига на азот и манган има още една разлика. Недостигът на манган най-напред поражда по-новите листа, които растат близо до върха на растителната покривка. От друга страна, недостигът на азот се отразява по-скоро на по-старите листа, които се намират в долната част на растението, близо до почвата. Например, вижте двете царевични растения отляво. И при двете растения по-старите

по-долни листа са пожълтели по протежение на средната жилка, докато по-новите по-горни листа са много по-зелени.

Идентификация на стресираните растения

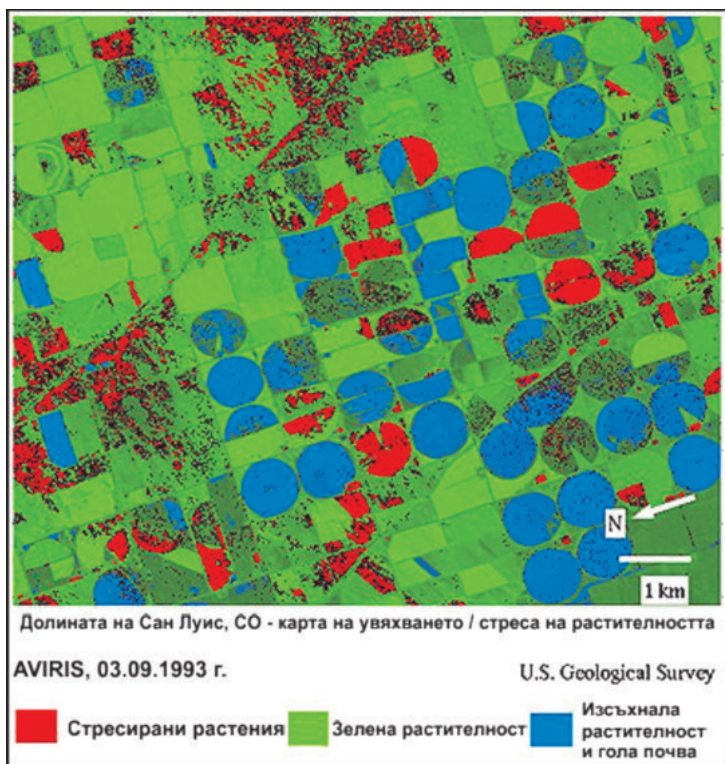
Хлорофилът е съществена част от процеса на *фотосинтеза*. Той поглъща слънчевата енергия, за да произведе енергия за процеса на фотосинтеза. Тъй като поглъща енергия, той оказва важно влияние върху количеството на отразената енергия.

С помощта на дистанционните изследвания ние можем да оценим директно колко хлорофил има в растението. Комбинирайки повече от една лента от данните, регистрирани с помощта на дистанционните изследвания, ние можем да създадем *вегетационни индекси* и да ги използваме за оценка на състоянието на посевите.



Фиг. 4.10. Самолетът Dornier Do228-101 D-CALM, управляван от German Aerospace Centre (DLR) (Немски център за аерокосмически изследвания). *Източник:* Natural Environment Research Council (NERC) (Национален съвет по изследване на околната среда)

Използвайки вегетационните индекси, ние можем да манипулираме данните от дистанционните изследвания, като създадем класификации, които идентифицират растенията в стрес. Класификацията, показана на следващото изображение, използва данни, записани от датчика на Самолетния спектрометър за картографиране във видимата/инфрочервената област (Airborne Visible/Infrared Imaging Spectrometer) (AVIRIS).



Фиг. 4.11. Идентификация на стресирана растителност по данни от AVIRIS. *Източник:* U.S. Geological Survey (Геоложка служба на САЩ)

В зависимост от отразителната способност във видимата и инфрочервената област, получените вегетационни индекси ни дават информация за количеството на хлорофила в растенията. С помощта на тази информация ние можем да установим дали растенията се намират под стрес и каква е неговата големина. На горното класифицирано изображение полетата в синьо са без растителност (гола почва), а тези в зелено са покрити с растителност. Частите от полетата, които изглеждат червени, сочат че там растенията са под стрес.

Преди да започне разпадането на хлорофила в стресираните растения, причината за стреса вече е започнала да въздейства върху клетъчната структура на листата. Това повлиява на отразителната способност на растенията в близко инфра-

червената област, дори преди загубата на хлорофил да промени отражателната способност във видимата област. С помощта на дистанционните изследвания ние можем да видим промените в близко инфрачервената област (които не са видими за нашите очи) преди появата на хлорозни симптоми, което ни дава възможност за ранно известяване, че растенията са под стрес.



Фиг. 4.12. Земеделски полета, заснети от спътника IKONOS (изображения в реални и изкуствени цветове). *Източник:* Belgian Science Policy Office and Satellite Imaging Corp (Белгийска служба за научна политика и Корпорация за спътниково картографиране).

Използвайки вегетационните индекси при данни от сензори с много висока пространствена разделителна способност (под 10 метра и дори до метър), ние можем да видим и области от полетата, в които посевите страдат от някакъв вид стрес, и да оценим колко сериозен е той. Имайки възможност да идентифицира вариациите на стреса в полето, селският стопанин може да локализира проблема и да вземе адекватни мерки, за да се справи с него в конкретното място.

Освен високата пространствена разделителна способност, датчиците с висока спектрална разделителна способност (т.е. използващи много тесни ленти за покриване на широк диапазон от електромагнитния спектър) са също много полезни. Способността им да получават данни в по-дълбоката инфрачервена (късовълновата инфрачервена) област може да ни даде информация за концентрацията на конкретни биохимикали, като целулоза, азот, вода и захари.

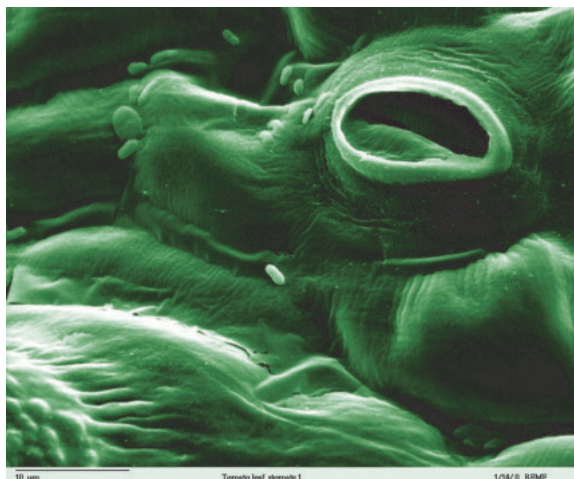
На изображението по-долу е показан продукт от класификацията на изображение от спътника QuickBird, използващ вегетационни индекси. Зеленият цвят показва растенията в добро здраве. С промяната на цвета от зелен към жълт, а впоследствие – към червен, здравословното състояние на растението се влошава. Сивите области са пустеещи земи. В зависимост от получения рисунък ние можем да направим оценка на причината за стреса.



Фиг. 4.13. Вариации в здравето на посевите в полетата открити с помощта на QuickBird. *Източник:* Satellite Imaging Corporation (Корпорация за спътниково картографиране)

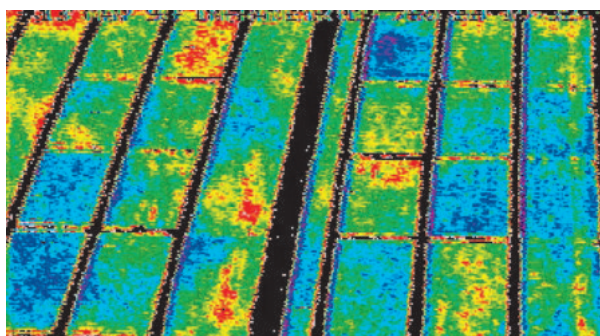
Въпрос 3: Каква е разликата между здравословната жизнеспособност в области А и В? Можете ли да обясните защо?

Оценка на водното съдържание



Фиг. 4.14. Стома върху лист на домати.
Източник: Wikipedia Commons

Подобно на много организми, растенията се нуждаят от вода, за да оцелеят. Освен че водата се използва в основни биохимични процеси, тя е и "средство за транспорт" на хранителни вещества от почвата до всички части на растението. Водата прониква в растението чрез корените, пътува по централното стъбло и клоните и в крайна сметка достига до листата. Оттам, чрез порите на листата, известни като *стоми*, тя се отделя в атмосферата. Този процес се нарича *влагоотделяне*. Всички биологични процеси, които се извършват в растенията, водят до отделяне на топлина. Отделящата се вода улавя тази топлина и я отстранява от растението при влагоотделянето чрез листата. Когато няма достатъчно вода и растението е под стрес, то не може да губи достатъчно бързо топлина чрез влагоотделянето и в резултат температурата му се повишава. Това повишаване на температурата може да се забележи с помощта на дистанционните изследвания, използвайки части от спектъра, които са чувствителни към топлината.

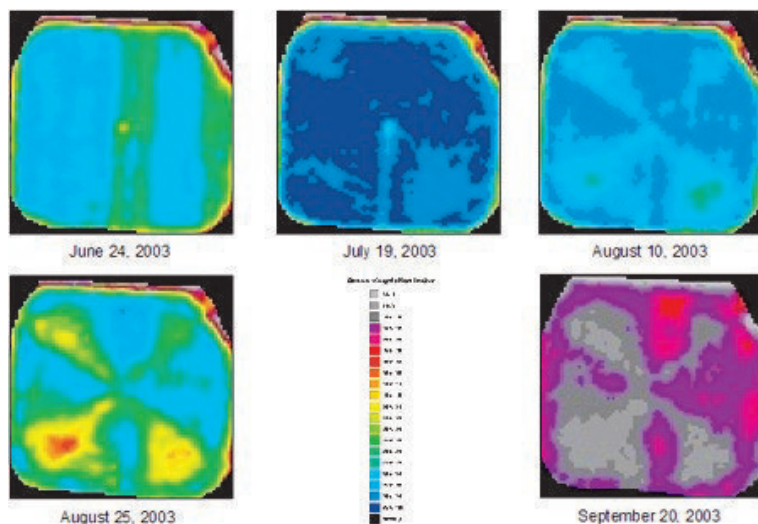


Фиг. 4.15. Водно съдържание на полета с посеви с термично картографиране. Сините, зелените и червените пиксели представляват растения с достатъчна, средна и ниска концентрация на вода. Източник: Wikimedia Commons и US Agricultural Research Service (Служба за земеделски изследвания на САЩ)

На горното изображение можем да видим вариациите във водната концентрация във всяко поле. Сините пиксели представляват растения с високо водно съдържание, зелените показват растения със средно водно съдържание, а червените – растения, които страдат от ниска водна наличност. Тази вариация се дължи на различната способност на почвата в различните части на полето да поглъща вода и след това да я доставя на растенията.

Един от проблемите при този метод е частичното растително покритие. Когато растителността не покрива напълно почвата, температурата на почвата оказва влияние върху топлинния сигнал, регистриран от датчика. Когато това се случи е лесно да се сбърка слабото растително покритие с гореща почва във воден стрес. Но, ако имаме представа за обема на растителността и по-специално – за обема на листната повърхност на единица земна площ (познато под името *индекс на листната площ*), можем да коригираме измерването и да намалим ефекта от влиянието на почвата.

Мониторинг на напояването



Кога смятате, че е било напоявано полето на **Фиг. 4.16.**?

Фиг. 4.16. Отговор на растителността спрямо напояването и неговите намаляващи последици с времето.

Източник: Satellite Imaging Corporation (Корпорация за спътниково картографиране).

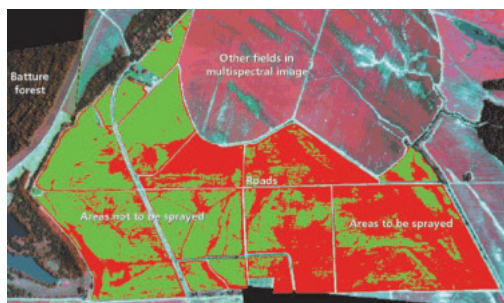
Дистанционните изследвания могат да осигурят данни с висока честота, които дават възможност да се

проследят отблизо процесите, протичащи в малък период от време. На примера от горното изображение може да се види ефекта от напояването върху количеството на водата в растенията. Напояването, извършено между 24 юни и 19 юли 2003 г., води до високо съдържание на вода на второто изображение. Постепенно количеството на водата намалява с придвижването от лятото към есента.

Въпрос 4: Разгледайте горните изображения. През август и септември се наблюдава рисунък, при който някои площи имат по-малко вода от други. Можете ли да се досетите за причините, поради които този рисунък се променя с времето?

Борба с болестите и вредителите

Освен за идентифициране на растенията под стрес поради липса на хранителни вещества и вода, дистанционните изследвания могат да помогнат и за защита на растенията от потенциални атаки на вредители, гъбички или бактерии. Съчетавайки земеделските познания с данни от дистанционните изследвания, е възможно да се постигне ранно известяване и предотвратяване на щетите на посеви, нанесени от вредители или болести, като се вземат подходящи мерки на ранен етап.



Фиг. 4.17. Картографиране на делтата на река Мисисипи, идентифициране на най-вероятните области, застрашени от атака на насекоми. Източник: Environmental Health Perspectives, Volume 108 (3), March 2000 („Перспективи за здравето на околната среда“, том 108 (3), март 2000)

На горното мултиспектрално изображение са показани растения на памука, които поради благоприятните условия се развиват по-добре от останалите. Тези растения (изобразени в червено) са най-вероятната цел за атака от страна на вредители и болести в този конкретен момент от време. Знаейки това, е необходимо само да се приложат пестициди върху осветените области, с което ще се намали стойността на лечението и най-вече – количеството на химикалите в околната среда.

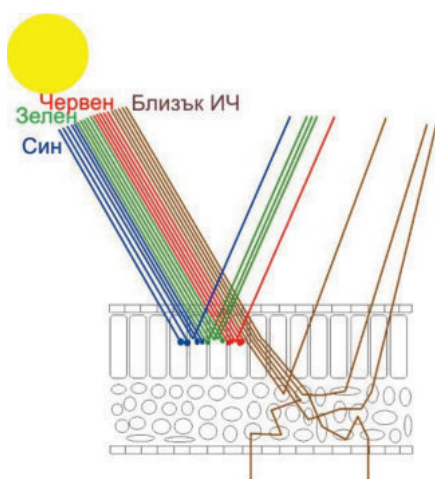
Освен това, е възможно да се оцени степента на щетите, причинени от вредители и болести, като се използват методи, подобни на тези, използвани за идентифициране на растения под стрес. Симптомите на тези атаки обикновено предизвикват разрушаване на хлорофила и, както беше показано по-горе, с помощта на дистанционните изследвания ние можем да идентифицираме намалението в концентрацията на хлорофила в растенията.

Освен загубата на хлорофил, вредителите и болестите могат да доведат до унищожаване на цели листа. Това води до намаляване на общата листна площ и в резултат – до намаляване на способността на растението да фотосинтезира. Тъй като ние можем да оценим *индекса на листната площ (Leaf Area Index – LAI)* на група растения, можем да идентифицираме атака на насекоми (като тази на ларви на молеца, показана по-горе) на ранен етап и да предупредим селските стопани да вземат съответни мерки.

Дистанционните методи могат да помогнат най-вече за идентифицирането на растения, нуждаещи се от изкуствено наторяване или пестициди, както и за намаляване на количеството на химикалите, използвани в режим на управление на посевите.

Въпрос 5: Вижте рисунъка на горното изображение, **фиг. 4.17**. Можете ли да обясните защо някои растения на памука се развиват по-бързо от другите?

Спектрална сигнатура на растителността



Растителността покрива голяма част от сухоземната повърхност на Земята. Нейната роля за регулиране на световната температура, поглъщане на CO_2 и други важни функции са причина за голямото значение и интерес към този тип земно покритие. Дистанционните изследвания могат да се възползват от особения начин, по който растителността отразява падащата електромагнитна енергия, за да получат информация за нея.

Фиг. 4.18. Клетъчна структура на лист и неговото взаимодействие с електромагнитната енергия. По-голямата част от видимата светлина се поглъща, докато почти половината от близко инфрачервената енергия се отразява.

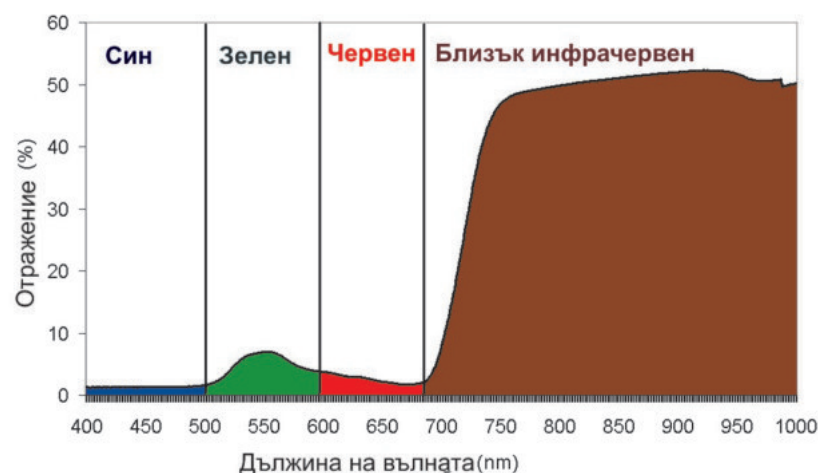
Под *горния епидермис* (тънкия клетъчен слой, който формира горната повърхност на листа) има два основни слоя клетки. Горният слой е *палисадният/стълбчатият паренхим*, който се състои от удължени клетки, подредени близко една до друга във вертикална посока. В този слой е разположена по-голямата част от *хлорофила* – протеин, който отговаря за улавянето на слънчевата енергия и който захранва енергийно процеса на *фотосинтезата*. Долният слой е *гъбестият паренхим*, състоящ се от нееднакво оформени клетки, с голямо количество въздушни пространства между тях, които дават възможност за циркулация на газовете.

Освен хлорофила, палисадният/стълбчатият паренхим съдържа други *пигменти*, като каротеноиди, антоцианини и други, които също отговарят за поглъщането на светлината.

Благодарение на тези пигменти по-голямата част от видимата електромагнитна

енергия се поглъща, особено в синята и червената област. Поглъщането в зелените области е малко по-слабо, поради което за нас растителността изглежда зелена. В резултат от това, много малко количество енергия напуска палисадния/стълбчатия паренхим и се отразява обратно към небето. От друга страна, близко инфрачервената енергия не се повлиява от тези пигменти и прониква почти напълно в палисадния/стълбчатия паренхим. Когато тя достигне гъбестия паренхим, наличието на въздушни пространства води до отразяването на близко инфрачервена енергия в различни посоки. В резултат от това приблизително половината от енергията от по-ниско разположения епидермис напуска паренхима на листата и се насочва към небето, както и останалата половина от горната част на епидермиса.

Дистанционните сензори, които регистрират отразената енергия във видимата и близко инфрачервената област на спектъра, ще регистрират много слаб сигнал в синята и



червената област, малко по-силен – в зелената област и много по-силен – в близката инфрачервена област. Ако изобразим графично силата на сигналите във всяка област, тя ще изглежда по следния начин:

Фиг 4.19. Спектрална сигнатура на растителността. Растителността има ниска отражателна способност във видимата област и висока отражателна способност – в близката инфрачервена област.

Съчетанието от ниска отражателна способност във видимия диапазон и висока отражателна способност в близко инфрачервения диапазон е уникално за повечето видове растителност, затова е известно, като *спектрална отражателна характеристика на растителността*.

Благодарение на специфичните дължини на вълните, ние можем да извлечем от спектралните данни информация, която ни помага да идентифицираме стресираните растения, преди симптомите да станат видими. Ранното известяване може да помогне на земеделските стопани да реагират бързо и да намалят щетите, нанесени на растенията, и загубата на добиви.

4.2. Оценка на добива от посевите

Можем ли наистина да разберем какъв добив ще даде едно поле?

Информацията за потенциалния добив от посевите на ранен етап е много полезна за селските стопани, но също и за страните, които разчитат много на земеделската продукция, за да задоволят националните потребности от посевите, а и заради приходите от износа им.

Извършването на оценка на добива от посевите е селскостопанска практика от много столетия. Дори днес опитните земеделски стопани могат да направят груба оценка на окончателния добив от посевите, само като видят жизнеспособността и здравословния статус на растенията по средата на сезона и като вземат предвид климатичните условия

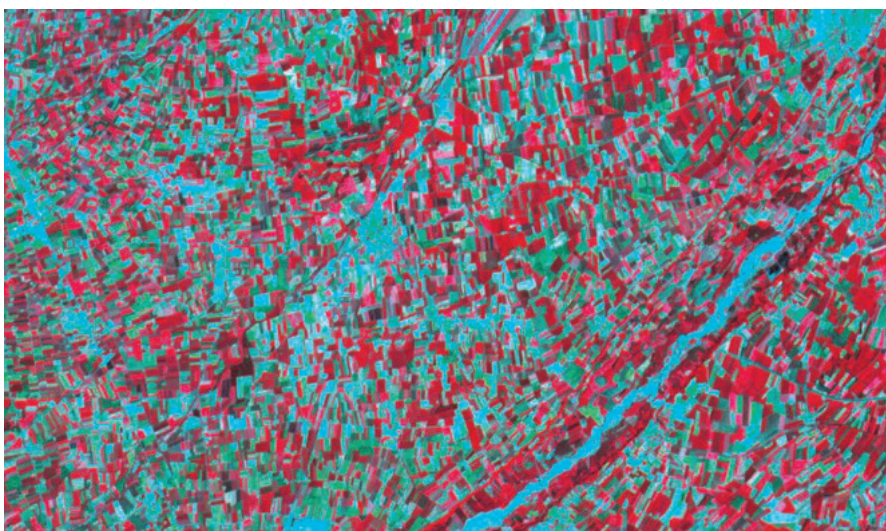
до момента. Разбира се, оценките, които се правят по-близо до жътвения сезон са по-



точни, тъй като има повече информация за това как са се развивали през сезона, а също и по-малко оставащо време, в което положението може да се влоши.

Фиг. 4.20. Поле с ечемик.

Източник: Wikimedia Commons



Фиг. 4.21. Цветно композитно изображение в условни цветове от земеделски полета в Италия, получено от SPOT.

Източник: Корпорация за спътниково картографиране (Satellite Imaging Corporation) и Корпорация за изображения от SPOT – SPOT Image Corporation)

Спътникови данни за оценка на добива от посевите

И така, как можем да използваме данните от дистанционните изследвания, за да направим оценка на бъдещия добив от посевите? Поради специфичния начин, по който растителността отразява електромагнитната радиация, ние можем да оценим *състоянието на посевите*, като използваме данни от дистанционните изследвания. Комбинирайки тези данни с допълнителна информация (като климатичните условия) в сложни модели, е възможно да се оцени окончателния добив на едно поле с посеви на много ранен етап.

Въпрос 6: Как се отглеждат основните видове посеви в България?

Оценка на добива от посевите чрез дистанционни изследвания

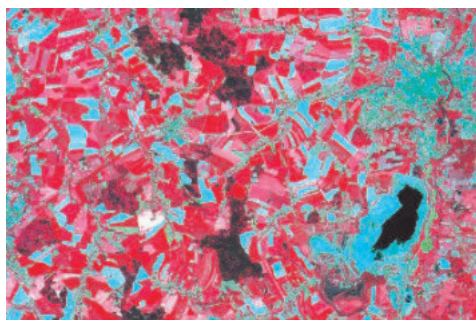
В общия случай има два начина да се направи оценка на добива от посевите с помощта на данни от дистанционните изследвания. Първият използва само данни от дистанционните изследвания, докато вторият използва и други видове данни, които служат като входни данни за модели, симулиращи добива от посевите, и в крайна сметка дават оценка за добива от посевите.

Вдясно можете да видите две композитни изображения с условни цветове (където близко инфрачервената, червената и зелената лента са изобразени съответно в червено,

зелено и синьо), на една област в Саксония, Германия, близо до границата с Полша. Изображенията са от спътниците SPOT 2 и SPOT 5 и за заснети съответно през месеците май и август 2005 г. Кликнете върху надписите над изображението, за да видите изображенията за различните дати.

Може да се види, че изображението, заснето през месец май, съдържа много повече "червено". Високата близко инфрачервена отражателна способност обикновено се свързва с наличието на растителност, тъй като растенията отразяват големи количества близко инфрачервена радиация. От друга страна, изображението от месец август има по-малко полета в червено. Това е логично, тъй като през май много растения се намират в пика на своя растеж, докато през август те са влезли във фазата на стареене или се приближават към нея. По време на този период растенията фокусират своята енергия върху производството на посева, а не върху производството на зелена биомаса. В резултат хлорофилът и клетъчната структура започват да се разпадат и листата изглеждат жълти и кафяви за човешкото око, докато близко инфрачервената отражателна способност намалява, поради разпадането на клетките. "Синьо-зелените" са лишени от растителност и затова имат ниска близко инфрачервена отражателна способност. Синьо-зеленият цвят се получава от комбинацията на синьо и зелено, което означава че празните полета имат подобна зелена и червена отражателна способност и следователно, това което виждаме, е гола почва.

Май 2005 г.



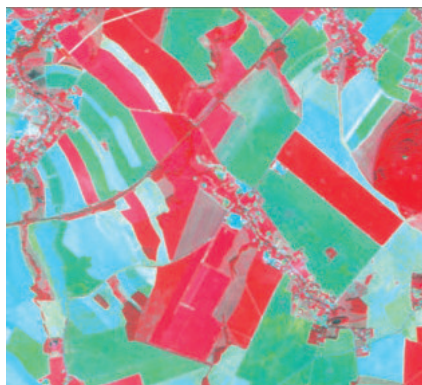
Август 2005 г.



Фиг. 4.22. Изображение от SPOT на полета близо до езерото Берцорф (май 2005).
Източник: Корпорация за спътниково картографиране (Satellite Imaging Corporation)
и Корпорация за изображения от SPOT (SPOT Image Corporation)

Въпрос 7: Въпреки малкият им брой някои от полетата изглеждат червени през август и синьозелени през май. Каква според вас е причината за това?

NDVI в условни цветове



Фиг. 4.23. Композит с условни цветове на земеделски полета в Саксония, Германия, близо до езерото Берцорф, получен от спътника SPOT 5 (май 2005). Източник: Корпорация за спътниково картографиране (Satellite Imaging Corporation) и Корпорация за изображения от SPOT –SPOT Image Corporation)

И така, как можем да оценим добива от посевите, използвайки само едно изображение от дистанционните изследвания? Досегашните научни изследвания са сравнявали спътниковите изображения, заснети на различни дати, със статистическите данни за добива от посевите на полетата от

изображенията (Idso *et. al.*, 1977; Maas, 1988; Serrano *et. al.*, 2000; Shanahan *et. al.*, 2001). Изображението обикновено се е обработвало, за да се изчислят един или няколко вегетационни индекса и стойностите на индексите, съответстващи на полето/областта, са били сравнявани с добива на това поле/област.

По този начин са създадени много зависимости между вегетационните индекси и добива от посевите. Но, всяка от тези зависимости е валидна само за конкретния посев, за конкретната област и само когато дистанционните данни са получени в този конкретен момент от годината. Дори тогава, точността на оценка на крайния добив от посева е различна за различните години. Въпреки това, използването само на вегетационните индекси е бърз и лесен метод за получаване на приблизителни оценки за добива от посевите.

На двете изображения вляво можем да видим композит с условни цветове и изчисления нормализиран разликов вегетационен индекс. На последното на всеки пиксел отговаря само една стойност, поради което то е черно-бяло. Белите пиксели имат високи стойности на NDVI, а черните – ниски. NDVI е един от най-често използваните индекси за изследвания, свързани със земеделието и изобщо с растителността, особено при плътно покритие на растителността.

Въпрос 8: Какви прилики виждате между двете изображения на **Фиг. 4.22.?**

Прогнозиране на добива от посевите

Както вече споменахме, за да направим оценка на бъдещия добив от посевите само с помощта на данни от дистанционните изследвания, трябва да познаваме зависимостта между вегетационните индекси на конкретна фаза от развитието на посева и крайния добив от посева. За тази цел се използват исторически данни от предишните сезони на развитие, а точността на прогнозата за добива от посевите се увеличава с увеличаване на количеството на историческите данни.

Но, никои два сезона на развитие не са еднакви. Различните климатични условия, наличието и интензивността на стресовите фактори и лечението, приложено от селските стопани, са различни за различните години и играят критична роля в определянето на окончателния добив от посевите.

За да се направи по-точна прогноза, от основно значение е да се имат предвид факторите, които оказват влияние върху развитието на посевите и добива пред текущата година. Информация, като метеорологически и климатични данни, качества на почвата и земеделски практики се комбинират с актуалните дистанционно получени данни, за да се моделира развитието на посевите и да се направи оценка на окончателния добив от тях. Един такъв пример е Системата „Марс“ за прогнозиране на добива от посевите (Mars Crop Yield Forecasting System – MYCFS), оперирана от STAT сектора на „Марс“ (Monitoring Agriculture with Remote Sensing – MARS) на Звеното по земеделие и рибарство (Agriculture and Fisheries Unit) на Съвместния изследователски център (Joint Research Centre – JRC).

Освен метеорологични данни и земеделски практики, някои модели включват и географска информация. Например, наклона на полето, както и качества на почвата могат да дадат полезна информация за поведението на подпочвените води. Това е много важно, когато трябва да се установи оттокът на изкуствени торове или пестициди към

места с по-малък наклон.

Освен това, за съхраняване на информация, свързана с конкретни полета или области, много често се използва географска информационна система (Geographical Information System – GIS). Освен оценката за добива от посевите, останалата информация включва вида на посева или посевите, отглеждани по време на сезона, собственика на полето/ата, качествата на почвата и историческа информация, като използваните земеделски практики и история на атаките от страна на вредители.



Фиг. 4.24. Векторен слой върху спътниково изображение с реални цветове, показващо различни полета

Регистрацията на границите на полето дава възможност да се изчисли общата му площ, а въз основа на площта - и общата продукция на посева в това поле. Този метод се използва от Европейския съюз, за да се определи финансирането по *Общата земеделска политика (Common Agricultural Policy – CAP)*.

Данните от дистанционните изследвания и получените вегетационни индекси могат да се използват за изготвянето на оценки за добива от посевите, при условие, че в миналото е установена зависимост между индекса или индексите и добива от посева за конкретния посев в конкретното място. Това са само приблизителни оценки, които не са верни на 100 %. По-точните прогнози изискват използването на модели, които комбинират тези индекси с помощни данни, като метеорологични данни, земеделски практики, свойства на почвата и др. Тези модели са по-адаптивни, тъй като те разглеждат параметри, които са специфични за мястото, в сравнение с използването само на вегетационни индекси.

4.3. Идентификация на посевите

Защо трябва да идентифицираме посевите?

За правителствата на страните е много важно да знаят какви посеви ще произведе страната през настоящия сезон. Това знание е от финансово значение за страната, тъй като то дава възможност да се планира бюджета за внос и износ на хранителни продукти. Един от начините е някой човек да пътува из страната и да гледа какви посеви се отглеждат във всяко поле, но това отнема прекалено много време и струва доста скъпо.



Фиг. 4.25. Редуващи се полета с различни зеленчуци.
Източник: Wikimedia Commons

Вижте даденото изображение. Можете да видите полета с различни зеленчуци. Какви характеристики ще търсите, за да кажете какъв е посевът във всяко поле?

Кадастрално картографиране

Наблюдавайки различните видове посеви е възможно да се очертаят границите на полетата. Картографирането на границите на парцелите земя дава информация за създаването на кадастралните карти. Кадастралните карти обикновено са във векторен формат и в този формат могат да се използват в GIS система заедно с други видове данни (собственост, отглеждани видове посеви и др.). Те могат да се използват от местните и националните власти, за да се оцени големината на площта, използвана за земеделие, както и големината на площта, използвана за отглеждането на всеки вид посев.

Как можем да идентифицираме видовете посеви с помощта на дистанционните изследвания?

Но, как можем да идентифицираме различните посеви с помощта на дистанционните изследвания? Ето един пример: Само като гледаме спътниковото изображение по-долу, ние можем да различим посевите, отглеждани в различните полета. Въпреки че растителността по принцип е зелена, различните видове имат различни "оттенъци" на зеленото. Тези "оттенъци" също се променят по време на растежа, зрелостта и увяхването на растенията. Само че, с невъоръжено око не е лесно да се разграничат различните оттенъци на зеленото.

Двете изображения по-долу представляват част от голямо оригинално изображение. Можете ли да откриете къде е тази област на оригиналното изображение?



Малкото изображение вляво показва как изглежда то за невъоръженото око (то е изображение в реални цветове). Изображението вдясно показва как би изглеждало то, ако можехме да го видим в инфрачервената област (изображение в условни цветове). Изображението в реални цветове изглежда в еднакъв зелен цвят. Но, когато погледнем изображението в условни цветове, можем да видим, че полето, показано в централната част на изображението, всъщност е разделено на две части, които имат различен оттенък на червеното във второто изображение. Причината двете части на полето да изглеждат различни е в това, че те имат различна близко инфрачервена разделителна способност.

Растителността изобщо има ниска отражателна способност във видимата област (това, което виждаме с очите си), и само малко количество зелена енергия не се поглъща.

От друга страна, тя има много по-висока отражателна способност в близко инфрачервената област.



Фиг. 4.26. © 2004, DigitalGlobe, всички права запазени. Изглед от земеделска област близо до Елойе, на югозапад от Страсбург, Франция, от IKONOS-2.

Източник: DigitalGlobe



а)

б)

Фиг. 4.27. а) Полета с посеви в Белгия през месец май. © 2005 (Space Imaging Europe).

б) Същите полета през месец август. © Корейски изследователски институт за аерокосмически изследвания (Korea Aerospace Research Institute) 2007.

Източник: Белгийска платформа за наблюдение на Земята (Belgian Earth Observation Platform)

Спътникови данни, необходими за идентификация на посевите

И така, как можем да бъдем сигурни, че различната близко инфрачервена отражателна способност на две полета се дължи на това, че те се използват за отглеждане на различни посеви? За да идентифицираме конкретен посев, ние трябва да познаваме неговия цикъл на развитие (кълнене, растеж, опрашване, увяхване). Някои посеви се развиват в продължение на няколко месеца, на други са им необходими повече от 6 месеца, за да завършат развитието си. Освен това, ние трябва да знаем предварително как посевите отразяват в близко инфрачервената област във всяка от различните си фази на развитие.

Двете изображения с условни цветове по-горе показват едно и също поле в Белгия в два различни периода – през м. май и м. август 2005 г. Сигналите в двете полета са относително подобни, което предполага, че в тях се отглежда един и същи посев.

Въпрос 9: Защо лявото изображение изглежда много по-ясно от дясното?

Ако сравним едни и същи полета на двете изображения, можем да видим, че в някои случаи сигналът е различен. Полетата, които изглеждат червени (висока близко инфрачервена отражателна способност), са пълни с растителност, докато тези, които изглеждат сини (ниска близко инфрачервена отражателна способност), имат много малко или никаква растителност. В този случай регистрираният сигнал изхожда от земята.

Знаейки кога се засажда и събира всеки посев, ние можем да оценим процента на растително покритие по време на периода на растеж, ако приемем, че същият не се влияе от никакви външни фактори (стрес, болести и др.). С помощта на тези знания, като

изследваме две или повече изображения от един и същи период на развитие, ние можем да видим многоспектралния сигнал на отражателната способност във всяка фаза на развитие и да идентифицираме посевите, които се отглеждат във всяко поле.

Наред с недостига на вода и недостига на хранителни вещества най-честите причини за стрес при растенията са разрушаването на тъканта, причинено от външни организми, като гъбички и бактерии. Всички те се отразяват на производството на хлорофил, което води до неговата загуба и промяна на листа от зелен към жълт, червен и накрая – кафяв.

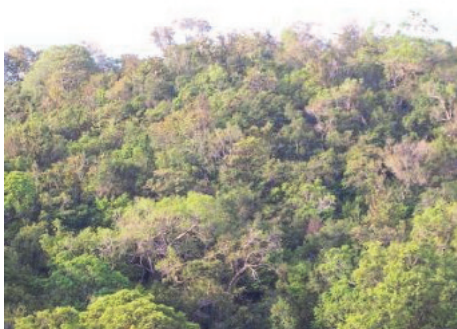
Разграничаване на видовете растителност

Използването на различните стойности на близко инфрачервената отражателна способност е едно от средствата, с които разполагаме, за да разграничим два посева. Когато става дума за идентифициране на растения и пасищни посеви, има друга улика, която можем да използваме.

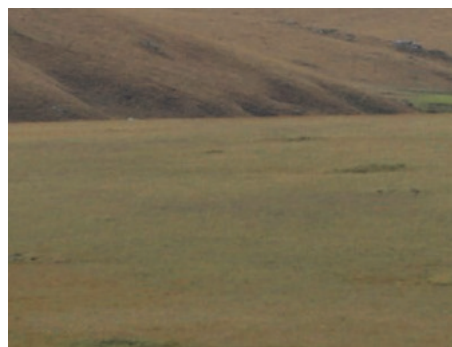


Фиг. 4.28. Изображение на гора и пасище във Франция в реални и условни цветове. © 2004 DigitalGlobe. Източник: Белгийска платформа за наблюдение на Земята (Belgian Earth Observation Platform) и DigitalGlobe.

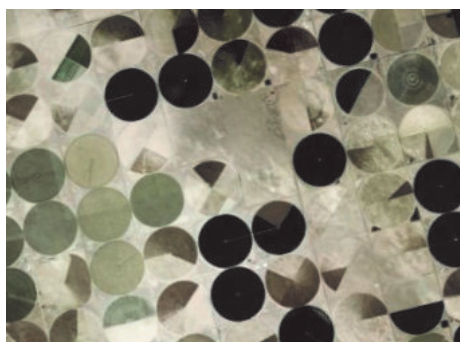
Въпрос 10: Двете изображения по-горе показват гориста област с пасищен участък в средата. Освен разликата в цвета, какви други разлики има между дърветата и пасището? (Вижте изображенията отляво за подсещане).



Горска растителност. Източник: Wikimedia Commons



Вид пасище. Източник: Wikimedia Commons

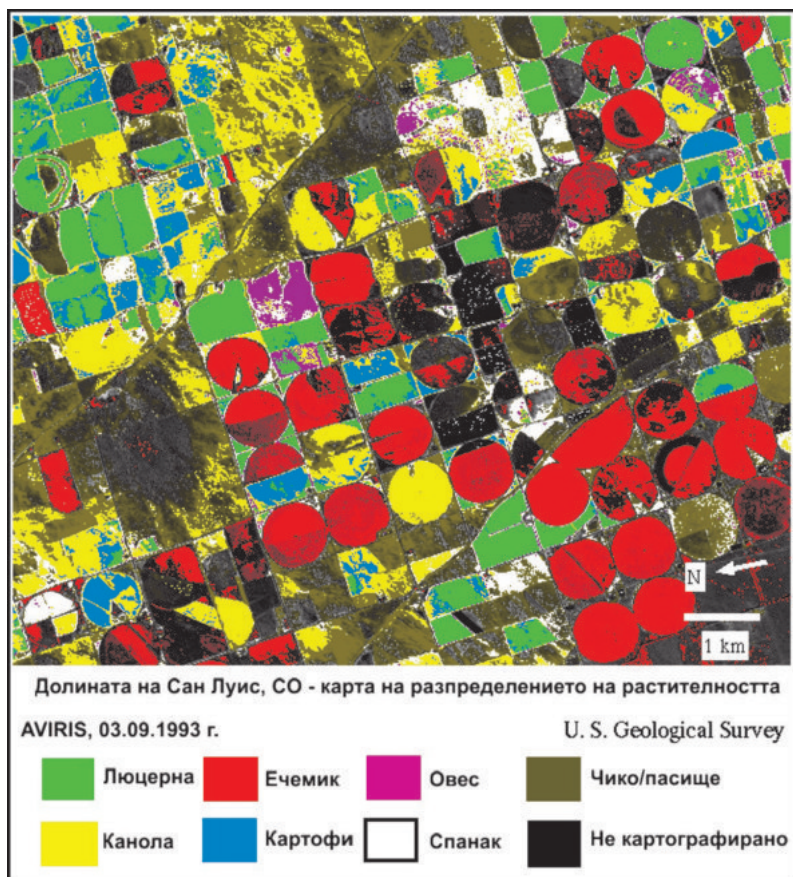


Фиг. 4.29. Част от долината Сан Луис. Изглед от спътник (изображение в реални цветове). Източник: Google Earth

Създаване на карти на видовете посеви

Комбинирайки различните ленти от спътниковите изображения, заснети на различни дати, е възможно да се класифицира всеки пиксел от изображението и да се отнесе към конкретен вид посев. Този процес се нарича *класификация на изображения*. Той представлява задача, която отнема много време, изисква много изчисления. За щастие, софтуерът за обработка на изображения е снабден с алгоритми, които могат да се справят с този товар. Софтуерът взема под внимание всички налични ленти, групира пикселите с подобни "спектрални сигнатури" в един и същи клас и след това използва информацията за растителното покритие, за да идентифицира видовете посеви.

Резултатът от тази класификация може да се види на **Фиг. 4.30**. За конкретния пример са използвани данни от сензор, наречен AVIRIS. Тези данни са събрани от сензора, монтиран на самолет (не на спътник). Самолетните данни имат предимството, че са с висока пространствена разделителна способност (обикновено около 1 метър за всеки пиксел), а самолетните сензори обикновено имат много канали. Освен това, потребителят може да избере кога да се съберат данните (за разлика от спътниците, които обикновено имат фиксиран план на орбитата).



Фиг. 4.30. Класификация на изображения, показваща различните видове посеви.

Източник: Служба за геоложки проучвания на САЩ (U.S. Geological Survey).

Използвайки данни от различни дати през един същи период на развитие, е възможно да се идентифицират различните видове посеви, тъй като растителното покритие на всеки посев се променя с различна скорост. Освен това, датите на засаждане и събиране са също различни. Комбинирайки тази информация с данни от дистанционните изследвания, ние можем да разграничим различните посеви и да ги идентифицираме. Но, ние трябва да вземем предвид възможността посевът да е под стрес, който променя начина, по който растителността отразява радиацията. В този случай даден посев може лесно да бъде идентифициран като друг вид посев. Вероятността това да се случи е по-малка, ако имаме данни от дистанционни изследвания от повече от две дати през един и същи период на развитие.

4.4. Прецизно земеделие

Какво представлява прецизното земеделие?

Прецизното земеделие (или прецизното селско стопанство) представлява съвкупност от земеделски практики, които се фокусират върху конкретни области от полето в конкретен момент от време. То се противопоставя на по-традиционните практики, при които различните видове третиране на почвата, като напояване, употреба на изкуствени



торове, пестициди и хербициди се прилагат равномерно върху цялото поле, игнорирайки променливия характер на полето.

Фиг. 4.31. Земеделски трактор, използван в точното земеделие. *Източник:* Служба за земеделски изследвания (Agricultural Research Service), Министерство на земеделието на САЩ (United States Department of Agriculture – USDA)

Напредъкът в технологиите за дистанционно изследване и по-ниската цена на сензорите в наши дни дават възможност за по-широко използване на това оборудване в селското стопанство. С помощта на тези датчици е въз-

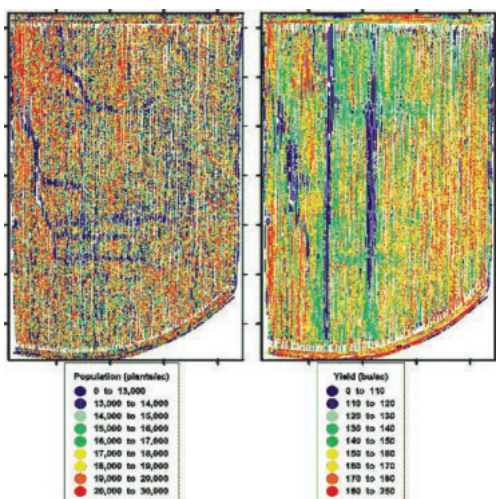


можно да се определи от какво третиране се нуждаят конкретни области от полето и прилагането на химикали да се насочи само към тези конкретни места, което намалява количеството на използваните химикали и разходите за прилагането им и подобрява защитата на околната среда.

Фиг. 4.32. GPS приемник. *Източник:* Wikimedia Commons

Свързване на данните с координатите

Изображенията от дистанционните изследвания, получени от спътниците, не са снабдени с географска информация. Това означава, че на практика ние не знаем точното място от Земята, което се представлява от всеки пиксел. Тази информация трябва да бъде въведена ръчно чрез метод на обработка, наречен *геометрична корекция*, който освен това коригира геометричните грешки в изображението, виж **Модул 1**. Данните, събрани от полето, се записват от датчици, които са инсталирани на трактора и сканират полето,



докато тракторът се движи напред, събирайки данните в последователни редове. За да се присвоят географски координати на всяко спектрално измерване, координатите на трактора се записват често посредством *Глобалната система за позициониране (Global Positioning System – GPS)*, виж **Модул 2**.

Фиг. 4.33. Карти на жътвена популация и добив от посевите, получени от комбинация на инсталиран датчик за популация и данни от мониторинг на добива, събрани през интервали от 1 секунда (Мисури, 1996). *Източник:* Бюлетин за интегрално управление на посевите, Държавен университет на щата Айова

Оценка на растителната популация и бъдещия добив

Измервайки отражателната способност на растенията при различни дължини на вълната е възможно да се събере много информация за състоянието на растенията. На горния пример можете да видите визуалното представяне на полето, видяно от датчиците на борда на трактор. От тези данни можем да получим вегетационните индекси, които ни дават възможност да оценим растителната покривка и *Индекса на листната площ (Leaf Area Index – LAI)*. Тъй като популацията на растенията се увеличава, количеството на биомасата предизвиква увеличение на близко инфрачервената отражателна способност и намаление на червената отражателна способност. От предишни изследвания са известни зависимостите между индексите, използващи тези две области от спектъра и количеството на растителността, мярка за което е *индексът на листната площ*. От тези оценки можем да получим популацията на растенията.

Данните, получени от датчиците, може да се използват и за да се направи оценка на бъдещия добив от посевите. Изчислявайки *нормализирания разликов вегетационен индекс (NDVI)* или *приспособения към почвата вегетационен индекс (Soil Adjusted Vegetation Index – SAVI)*, когато растителното покритие е ниско, ние можем да получим информация за жизнеспособността на посевите. Направени са много изследвания за получаване на зависимостите между вегетационния индекс на един посев, измерен в определен момент от време, и окончателния добив от посева. Тези зависимости могат да се използват, за да се направи приблизителна оценка на окончателния добив от посева, използвайки данните, събрани от датчиците на борда на трактори. Всяка от тези



зависимости, обаче, обикновено е приложима за конкретен посев, отглеждан в конкретен район, така че трябва да се съберат данни от дистанционни изследвания в определен момент по време на периода на развитие.

Фиг. 4.34. Комбиниране с датчици за регистриране на отражателната способност.. *Източник:* Държавен университет на щата Оклахома

Въпрос 11: Погледнете двете класификационни изображения. Можете ли да обясните защо има две вертикални линии в класификацията на добива от посевите, които говорят за много нисък добив (син цвят)?

Идентификация на изискванията по отношение на наторяването с изкуствени торове и пестициди

При оценката на бъдещия добив от посевите в началото на сезона е възможно да се идентифицират областите от полето, на които им липсват определени хранителни вещества. Липсата на хранителни вещества забавя развитието на растенията и намалява потенциалния окончателен добив. Затова е много важно растенията да имат достатъчно растителни вещества по време на растежа. Идентифицирайки мястото на растенията, които не се развиват с очакваното темпо и имат по-нисък *индекс на листна площ* от очакваното, селският стопанин може да реши кои области от полето трябва да получат специално внимание в смисъл на прилагане на изкуствени торове.

Същото се отнася и за необходимостта от пестициди. Плевелите могат да имат много

различна спектрална сигнатура в сравнение с посевите и дистанционните изследвания могат да се използват, за да се идентифицира тяхното местонахождение. Твърде обичайно за плевелите е да са разпръснати из полето. От друга страна, вредителите, като гъбички и бактерии, се появяват в краищата на полето и се разпространяват бавно към вътрешността му.



Фиг. 4.35. Настройка на супернискообемни апликатори на хербициди. С този метод използването на химикали в земеделието се намалява съществено.
Източник: Кийт Уелър, Служба за земеделски изследвания на Министерството на земеделието на САЩ (Keith Weller, USDA Agricultural Research Service)

Използвайки дистанционните изследвания и GPS е възможно да се идентифицира точното място, в което се налага да се използват изкуствени торове или пестициди. Променливото третиране (Variable Rate Treatment – VRT) е система, която регулира количеството на пестицидите или изкуствените торове, отделяйки само необходимото количество върху областите или полето, които имат нужда от химикали.



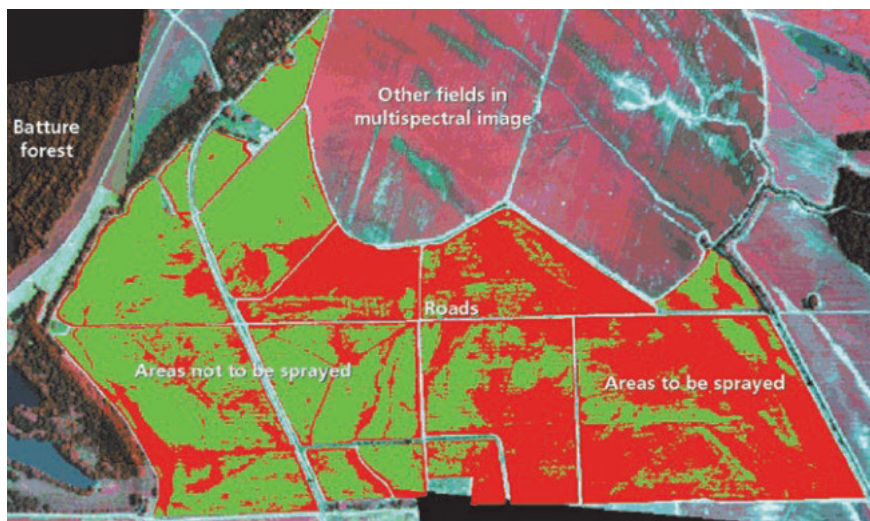
Фиг. 4.36. Прилагане на променливо третиране.
Източник: Университет на щата Оклахома.

Голяма част от пестицидите и изкуствените торове, които влизат в полето, се прехвърлят към други области чрез изпаряване, освобождаване чрез повърхността или проникване в почвата чрез подземната вода. Използването на VRT намалява в значителна степен количеството на химикалите, които се използват в полето. Това води до по-ниски разходи за селския стопанин, тъй като са необходими по-малки количества, а и до по-малък ефект върху околната среда.

Освен пестицидите и изкуствените торове, водата също се превръща в много ценна стока, тъй като водата с добро качество става все по-малко в световен мащаб. Пестенето на водата чрез системата на променливо третиране вече е много важно и ще добива все по-голямо значение в близките години.

Ранно предупреждение за атаки на насекоми

От горното изображение можем да видим, че датчиците, поставени на комбайн, могат да дадат карта на полето, на която са идентифицирани областите, нуждаещи се от третиране.



Фиг. 4.37. Карта на делтата на река Мисисипи, идентифицираща вероятните области за атака от насекоми.

Източник: Перспективи на екологичното здраве, кн. 108 (3), март 2000 (Environmental Health Perspectives, Volume 108 (3), March 2000)

Областите от полето могат да се класифицират в много класове, в зависимост от стойността на вегетационния индекс, получена на базата на

дистанционни данни. В този случай е избрана праговата стойност на вегетационния индекс и областите от полето са разделени на два класа – такива, които се нуждаят от пръскане и такива, които не се нуждаят от пръскане.

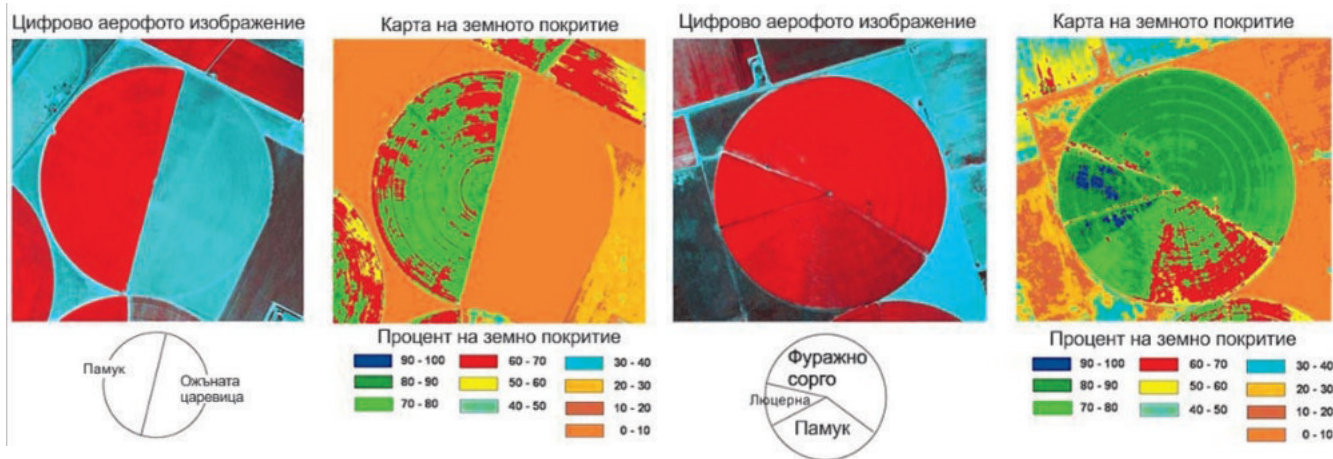
Въпреки че данните от дистанционните изследвания могат да ни покажат кои области от полето съдържат растения, които не се развиват достатъчно добре, не винаги е очевидно коя е реалната причина за проблема само въз основа на данните от дистанционните изследвания. Все пак, тези данни изпълняват предназначението си да привлекат вниманието на селския стопанин към конкретна част от полето, след което опитният земеделец може да реши дали проблемът е липса на хранителни вещества, вода или намеса на плевели и вредители.

Тракторите, снабдени с датчици и GPS, могат да събират спектрални данни и свързаните с тях географски координати с висока пространствена точност. Тази информация, в съчетание с апликатори за променливо прилагане, може да гарантира използването на минималното необходимо количество химикали и то само в онези области от полето, които реално имат нужда от тях. Това означава, че селските стопани ще дават по-малко пари за химикали и което е по-важно – в земеделската среда ще влязат по-малко химикали.

Спътникови данни в прецизното земеделие

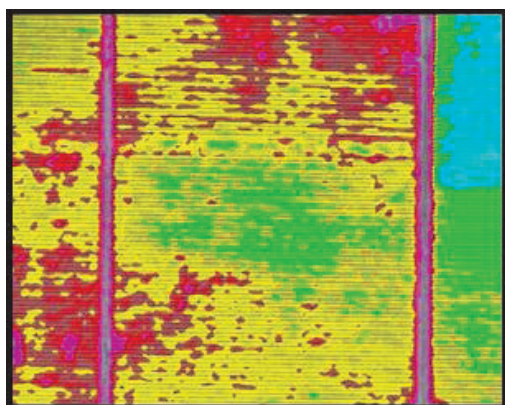
Дистанционните данни, регистрирани от датчиците, поставени на трактори, имат изключително висока пространствена разделителна способност, тъй като те събират данни почти непрекъснато по време на движението на трактора. За някои практики, като справянето с плевелите, тази пространствена разделителна способност е много полезна. Но, други приложения могат да се изпълняват и с данни с по-малка разделителна способност. В този случай, като алтернатива на данните, събрани от трактора, могат да се използват изображения от спътникови датчици.

Спътникът QuickBird е един такъв пример. QuickBird има пространствена разделителна способност от 2.5 m и четири канала в синята, зелената, червената и близко инфрачервена област на спектъра. Въпреки че няма канал в късовълновата инфрачервената област (с дължина на вълната над 1 100 nm), наличието на червена и близък инфрачервен канал е от особена полза за изчисляването на най-често използваните вегетационни индекси и тяхната употреба в земеделските приложения.



Фиг. 4.38. Изображение в условни цветове и висока пространствена разделителна способност и полученият процент земно покритие. *Източник:* Стефан Дж. Маас, Технически университет на Тексас (Stephan J. Maas, Texas Technical University)

Установяване на режим на напояване

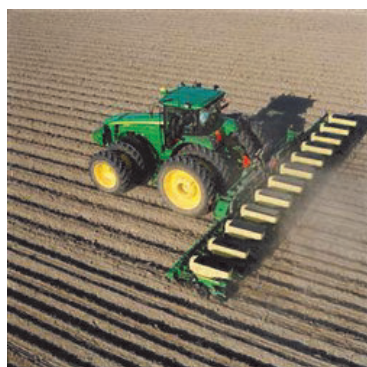


Фиг. 4.39. Изображение на различните изисквания към напояването в едно поле (зеленото е високо водно съдържание, жълтото – средно, червеното – ниско), видяна от спътника QuickBird. *Източник:* Корпорация за спътниково картографиране (Satellite Imaging Corporation) и „Диджитълглоуб“ (DigitalGlobe)

На горното изображение можем да видим разликата в изискванията към напояването в едно поле. Зелените области в центъра на полето са добре напоявани, докато червените области имат голяма нужда от напояване. Въпреки че QuickBird не притежава топлинните ленти, които се използват за оценка на водното съдържание, симптомите за липса на вода могат да се идентифицират с помощта на прости вегетационни индекси. Благодарение на тази информация селският стопанин научава кои области имат нужда от още вода и може да регулира съответно начина на напояване.

Въпрос 12: Какво представляват двете вертикални сиви линии на горното спътниково изображение?

Прецизно управление на посевите



Фиг. 4.40. Трактор. *Източник:* Интернет страницата на Precision Pays. *Източник:* <http://www.precisionpays.com>

Прецизното управление на посевите (Precision Crop Management – PCM) е система за земеделско управление, чиято цел е да достави на посевите това, от което те се нуждаят, когато и където се нуждаят от него. За това се изисква събиране на данни за посевите и почвата и идентификация на промените, които настъпват в полето с течение на времето. Целта е да се произведе максимално количество посеви с най-добро качество на най-ниска цена, но също и като се защитава околната среда и се гарантира

възможността да се използват тези методи и в бъдеще.

За РСМ имаме нужда от информация за устойчивите условия през сезона (като способността на полето да произвежда посеви – плодородност на почвата), информация за променливите условия през сезона (като наличие на хранителни вещества и вода, атаки на вредители, влага, температура и др.) и също – информация, необходима за идентифициране на причината за променливите добиви от посевите.

Горната информация може да се получи с помощта на дистанционните изследвания. Събирането на спектрални данни позволява да се изчислят индексите, които дават оценка за състоянието на растенията или могат да разграничат растенията на посевите от тези на плевелите. Влагата в растенията и почвата и температурата могат да се измерят и с

дистанционни датчици, инсталирани на комбайн. Добивът на посевите може да се оцени директно от вегетационния индекс или използвайки допълнителни данни (влага, температура, исторически данни) – с помощта на сложни математически модели.



Фиг. 4.41. Сензори (горе) и апликатори за променливо третиране (долу) на комбайн. *Източник:* Университет на щата Оклахома (Oklahoma State University)



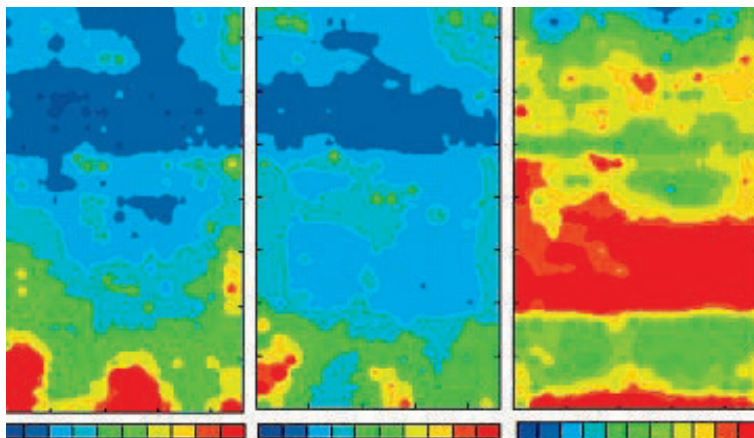
Фиг. 4.42. Соя, поразена от зараза с жилещ нематод. Вредителят не засяга еднакво всички растения. *Източник:* Университет на Флорида

По време на сезона на растеж мониторинговите способности на системата за точно управление на посевите дава възможност за незабавна идентификация на всеки фактор, който би могъл да бъде извън нормата и предполагаемите действия, които могат да се предприемат за справяне с проблема.

Липсата на хранителни вещества или вода на конкретно място в полето се преодолява с прилагането на подходящ изкуствен тор или с настройка на схемата за напояване. Прецизното земеделие може да идентифицира прецизно промяната и нейната причина, да направи количествена оценка на промяната и нейния обхват, да регистрира мястото ѝ на картата, за да може тя да се управлява. Заплахата от плевели или атаки на други организми се идентифицира рано и срещу нея се вземат мерки в отделни места, а не в цялото поле.

Използване на GIS в прецизното управление на посевите

Има случаи, в които е необходимо да се вземе под внимание пространственото изменение на повече от един фактор, за да може ефективно да се реши дадена ситуация. Например, за да се оцени колко бързо даден плевел ще се разпространи в полето, трябва да знаем не само първоначалното място, в което са открити плевелите. Влагата и органичните вещества в почвата могат също да варират в рамките на полето и да се отразят на скоростта на разпространение на плевелите.



Фиг. 4.43. Изследване на почвата за концентрация на фосфор, калий и pH⁺ на ферма в централната част на Мисури (САЩ). (Преходът от синьо към червено е преход от ниски към високи стойности за концентрацията и от киселинно към алкално за киселинността).
Източник: Дейвис Г., Касади В. и Маси Р., 1998, Точно земеделие: Увод, Университет на Мисури (Davis, G., Casady, W. and Massey, R., 1998, Precision Agriculture: An Introduction, University of Missouri)

Някои данни, като почвената влага, растителната покривка и хлорофилното съдържание, могат да се измерят с помощта на дистанционните изследвания. Други свойства на почвата, обаче, изискват да се вземат проби в дълбочина от почвата, които да се анализират в лаборатория. Ако мястото на вземане на тези проби бъде регистрирано с GPS, е възможно да се направи почвена карта на полето за всяка характеристика на почвата. В предишния пример можем да видим карта на полето за всяка от характеристиките фосфор (P), калий (K) и киселинност (pH⁺).

Ако цялата информация е геометрично привързана към една обща проекционна координатна система, е възможно тази информация да се преобразува в GIS и с помощта на GIS софтуер да се комбинират слоевете, за да се получи повече информация за положението на полето.

Въпрос 13: Погледнете предишните изображения. Можете ли да откриете някакви зависимости между трите изображения и да ги обясните? Дали концентрациите на киселинност, фосфор и калий са свързани по някакъв начин?

Използвайки подходящи изходни данни е възможно с помощта на GIS (Geographic Information System) да се моделират процесите, които са повлияни от тези данни, и да се предскаже какъв ще бъде ефектът от този процес в бъдеще. Например, комбинирайки почвени, растителни и метеорологични данни, е възможно да се оцени потенциалния добив от едно поле, ако се приеме, че няма други фактори, влияещи на нормалното развитие на растителността. С помощта на тези модели ние можем да локализираме проблемни области в полето, да определим причината за намаления добив и да вземем подходящи мерки за справяне с проблема.

Вече видяхме, че информацията от данните от дистанционните изследвания, като популация на растителността, могат да ни дадат приблизителна оценка за добива от

посевите. Използването на GIS, обаче, изисква повече информация (повече различни слоеве), но с помощта на моделирането може да даде по-точна прогноза за добива от посевите и да помогне за идентифицирането на потенциални проблеми.

Прецизното земеделие използва данни от дистанционните изследвания с висока пространствена разделителна способност. Тези данни се привързват геометрично, обикновено с помощта на GPS измервания. Използвайки тези данни ние можем да идентифицираме потенциалните проблеми на конкретни места от полето и да вземем подходящи мерки за справяне с конкретния проблем на конкретното място (например, контролирано прилагане на изкуствени торове или пестициди чрез системата на променливото третиране (VRT). Ако данните от дистанционните изследвания се комбинират с други данни (карти на почвата, климатични данни и др), е възможно да ги използваме в GIS и да създадем модели, които могат да оценяват нови параметри, като добив от посевите, с по-висока степен на точност.

Упражнение 4.1.

Пигменти в листата

Цели: Начертаване на отражателната способност на лист върху милиметрова хартия на базата на наличните пигменти. Идентифициране на наличните пигменти на базата на отражателната способност на лист.

Материали: цветни снимки на листа, милиметрова хартия (в края на упражнението)

Процедура: В края на упражнението използвайте милиметровата хартия, за да начертаете спектралната отражателна способност на листа, съдържащи хлорофили, ксантофили, каротеноиди и антоцианини. Не забравяйте, че количеството на енергията, погълната от всеки пигмент (при средна концентрация), е:

	СИН	ЗЕЛЕН	ЧЕРВЕН
Хлорофили	40%	-	40%
Ксантофили	40%	-	-
Каротеноиди	-	20%	40%
Антоцианини	-	30%	-

Въпросните листа съдържат:

Лист № 1: Хлорофили и ксантофили

Лист № 2: Каротеноиди и антоцианини

Лист № 3: Хлорофили, ксантофили и каротеноиди

Лист № 4: Ксантофили и антоцианини

Лист № 5: Хлорофил, каротеноиди и антоцианини

Лист № 6: Ксантофили, каротеноиди и антоцианини

Лист № 7: И четирите пигмента.

Погледнете цветните снимки по-долу и се опитайте да отгатнете колко енергия се поглъща в синия, зеления и червения сектор във всеки от случаите. Не е необходимо да бъдете прекалено точни, просто оценете дали поглъщането е силно (над 40%), средно (между 20 и 40%) или слабо (20% и по-малко):



A

Синя отражателна способност :

Зелена отражателна способност :

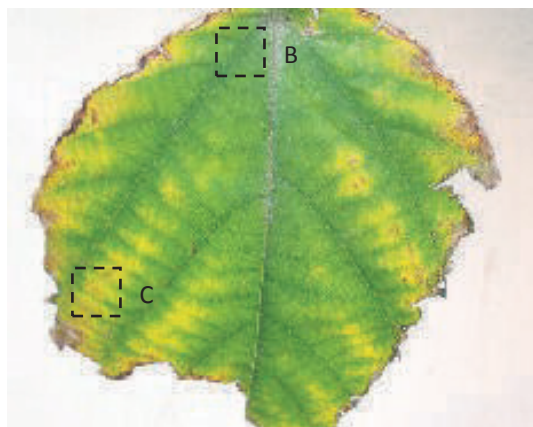
Червена отражателна способност:

B

Синя отражателна способност :

Зелена отражателна способност :

Червена отражателна способност:



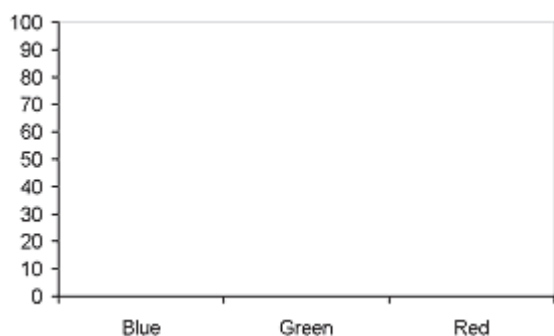
С

Синя отражателна способност :

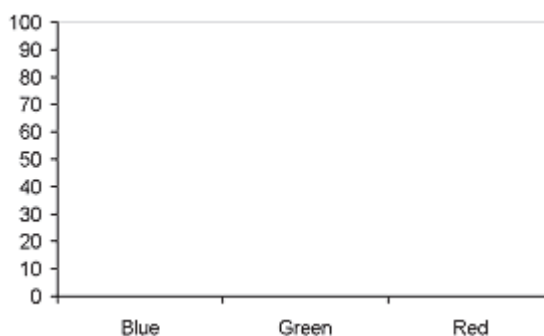
Зелена отражателна способност :

Червена отражателна способност :

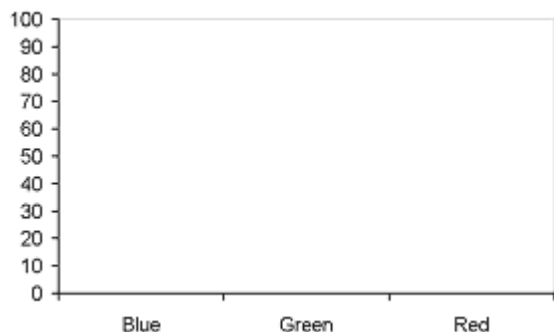
Сега погледнете таблицата от въпрос № 1. Използвайки информацията от нея, можете ли да отгатнете кои пигменти са налице във всеки от случаите А, В и С?



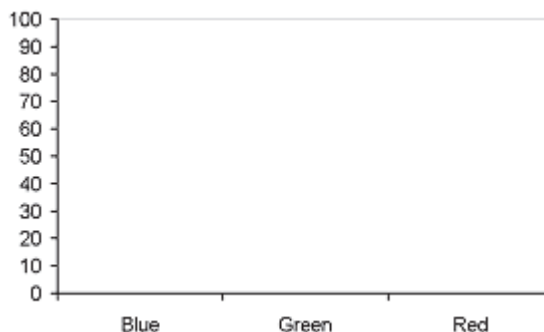
Лист №



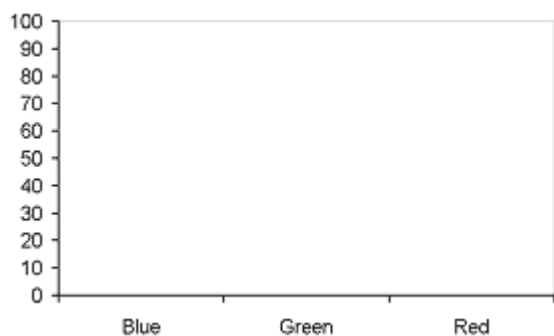
Лист №



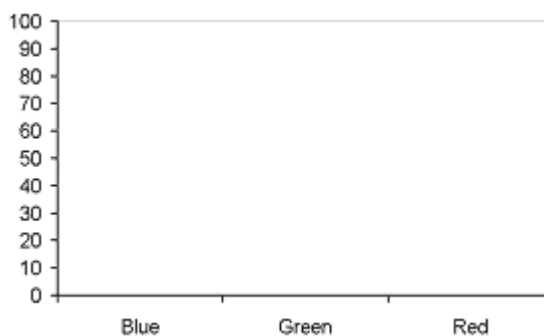
Лист №



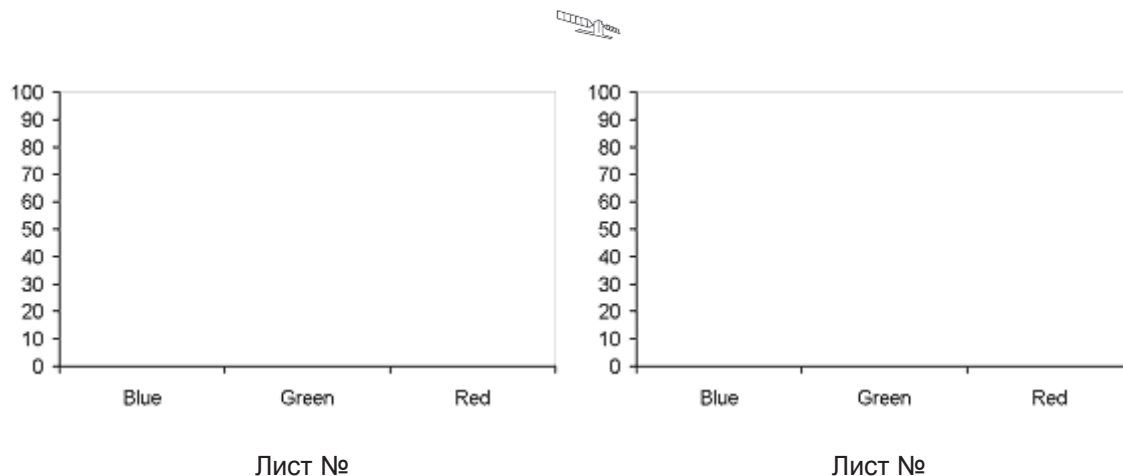
Лист №



Лист №



Лист №



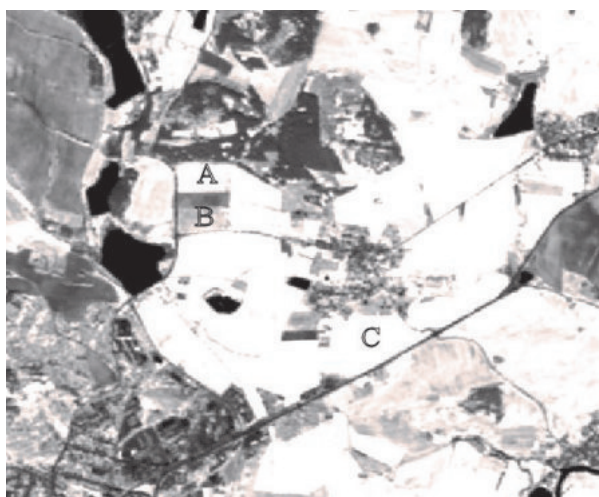
Упражнение 4.2. Оценка на добива от посевите

Цел: Изчислете какъв ще бъде добивът, получен от земеделско поле, засято с картофи.

Материали: Това упражнение

Процедура:

1) Погледнете близко-инфрачервеното и червеното изображение по-долу.



Близък инфрачервен канал



Червен канал

За пунктове А, В и С стойностите на пикселите за отражателната способност в близката инфрачервена и червената част от спектъра са дадени на долната таблица:

Пункт	Близка инфрачервена	Червена	NDVI
A	204	85	
B	185	57	
C	254	71	

Година	Добив	NDVI
1	15	0.45
2	12	0.38
3	18	0.52

Изчислете нормализирания разлик вегетационен индекс (NDVI), използвайки стойностите на червеното и близко инфрачервеното изображение.

2) Приемете, че и трите полета за засети с картофени растения. В трите предишни години са направени спътникови снимки на същия район в същия месец като на снимките по-долу. Стойностите на NDVI за тези години и окончателният добив в тонове за хектар за конкретните полета са дадени в таблицата:

Ако приемем, че зависимостта между NDVI и добива е линейна, оценете добива за тази година на базата на предварително изчисления NDVI.

Упражнение 4.3. Идентификация на посевите

Цел: Идентифицирайте посевите във всяко поле на базата на спътниковите изображения, заснети в различни моменти от годината.

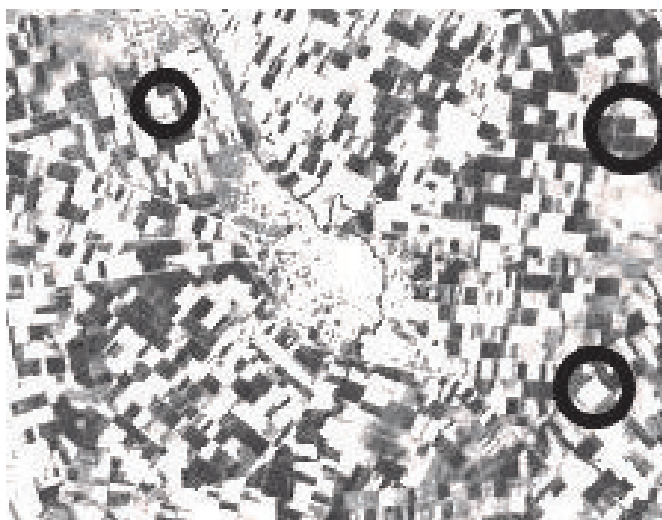
Материали: Спътникови изображения на едно и също място, заснети на различни дати (на гърба на листа)

Процедура: Спътниковите изображения на земеделска област в централна Гърция са заснети през април и ноември (виж на гърба на листа). Изображенията показват едно и също поле на тези две дати. Основните посеви в тази област са царевица, памук и зимна пшеница. Идентифицирайте кой посев се отглежда във всяко от заградените с кръгче полета на изображенията, като не забравяте, че:

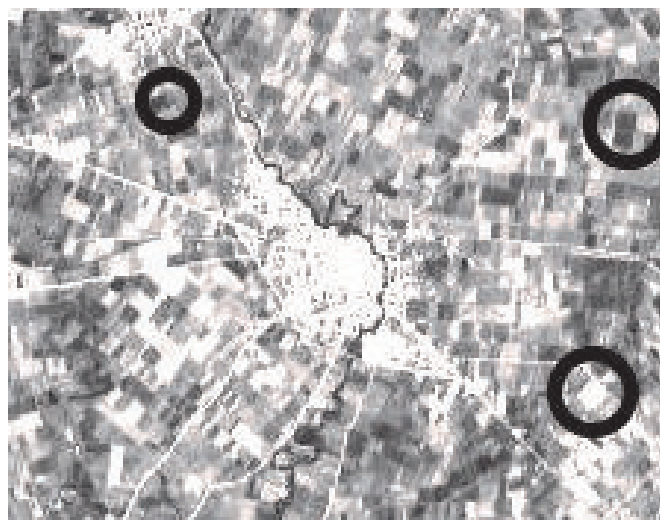
Царевицата се засажда между април и юни и се прибира между август и октомври. Освен това, на царевицата ѝ е необходимо известно време, за да достигне прилична височина (поради което не се вижда от спътник в ранните стадии).

Памукът се засажда през февруари/март и се прибира през юли/август.

Зимната пшеница се засажда през септември и се прибира през юни/юли.



а) Изображение на NDVI, заснето през април



б) Изображение на NDVI, заснето през ноември

Модул 5

Приложение на дистанционните изследвания и геоинформационните технологии в изследванията на природните и екологични катастрофи



Павлин Недков - "Среща в Космоса"

X клас, СУПНЕ „Фридрих Шилер” – гр. Русе

Втора награда в Конкурса за рисунка от 8-ми до 12-ти клас

на Ден на отворените врати ЕЕОБСС, РКИЦ, София, 02 ноември 2017 г.



Модул 5

Приложение на дистанционните изследвания и геоинформационните технологии в изследванията на природните и екологични катастрофи

Добра, щедра и красива е нашата Земя! Но когато се разгневи – става страшна и жестока! Наводнения, земетресения, тропични циклони, вулкански изригвания, лавини... Милиони загинали, не по-малко осакатени физически и духовно хора, неописуема човешка мъка и неизчислими материални щети.

Трудно могат да се посочат съвсем точни и категорични числа за загубите, които човечеството понася от природните екологични катастрофи. По официални данни средният брой на загиналите по цялата Земя за една година е около 350 хил. души, а щетите, нанасяни на световната икономика, се оценяват средно на повече от 40 млрд. долара. Приблизителното разпределение на стихийните бедствия в световен мащаб е следното: наводнения – 40 %, тропични циклони – 20 %, земетресения – 15 %, изригвания на вулкани, лавини и студове – 15 % и т.н. По броя на човешките жертви на първо място са тропичните циклони, а най-големи материални щети причиняват наводненията.

Откакто съществува, човечеството е плащало жестоката цена на природните екологични катастрофи. Плащало, но никога не се е примирявало с това. Напротив, още от зората на своята цивилизация човекът се е опитвал да се бори по най-различни начини и с най-различни средства. И с най-различен успех.

- ♦ По няколко пъти на ден египетски жрец измерва нивото на река Нил, преценява скоростта на течението, търси облаци в ясното небе. После с часове съзерцава ярките звезди на нощния небосклон, разгръща древни папируси, чертае някакви странни фигури, прави изчисления... Кога ли водите на великата река ще се покачат изведнъж и ще залееят огромните плодородни поля около течението ѝ?...
- ♦ Долепил ухо до земята, африкански шаман се мъчи да чуе подземно бучене, да долови особена миризма във въздуха, да съзре невидимия дим над кратера на вулкана... Кога ли огнетечната лава ще изскочи от недрата на Земята и ще се понесе надолу по склона, изпепелявайки всичко по пътя си?...
- ♦ С присвити очи индиански вожд се взира в заснежените склонове отсреща. Опитва се сякаш с кожата на тялото си да „измери“ температурата на въздуха, да подуши с нос влажността му, по едва забележимото движение на листата на дърветата да прецени скоростта на вятъра... Кога ли снежната лавина ще се втурне надолу към селото на племето му?...

И тримата наблюдават природата – знаят, че това е най-сигурният начин да предугадят бедствието.

Още от дълбока древност жреци, магьосници и астролози са предсказвали, или по-точно са се опитвали да предсказват природни екологични катастрофи. Отначало единствените им „апарати“ били собствените им сетивни органи. Минавали векове. Трупали се опит и знания...

Още първите години на развитието си космическите технологии показаха ефективността си в изучаването и борбата с природните екологични катастрофи. Днес в лицето на аерокосмическите методи и технически средства човечеството разполага с едно изключително мощно и ефикасно оръжие в борбата си срещу природните бедствия.

5.1. От Космоса срещу наводненията

Борбата с всички видове природни бедствия, и най-вече с наводненията, се води в няколко направления. Най-важното от тях е навременното и точното им прогнозиране, което гарантира ефективност на всички други направления. След началото на космическата ера, аерокосмическите технологии станаха мощно и ефективно средство за изучаване и борба с наводненията. По-долу се разглеждат някои от основните елементи на използването на тези технологии при прогнозиране на наводнения.

Ролята на космическата глациология при прогнозиране на наводнения

Характерните свойства на снега и леда, както и високата контрастност на снежните и ледените обекти позволяват при наблюдаването и изследването им ефективно да се използват дистанционните аерокосмически методи, технологии и технически средства. Те навлязоха толкова широко и ефикасно в глациологията, че се оформи нов, изключително важен неин дял – *космическа глациология*. Още от самото начало на развитието на космическата метеорология изображенията на земната повърхност, получавани от Космоса, са използвани за изучаване на разпространението и на други характеристики на снежната и ледената покривка.

Три са основните задачи на глациологията, изпълнението на които е немислимо без използването на аерокосмически технологии:

- изследване на снежността на земното кълбо и ледовитостта на моретата, както и на динамиката им във времето;
- изследване на формирането и на измененията на снежно-ледовите явления в планините;
- наблюдения на режима на снега и леда на конкретни територии.

И трите формулирани задачи имат пряка връзка с изучаването на природни катастрофи, причинени от водата в течно и твърдо агрегатно състояние. Особено важна е третата. Тя се решава чрез едромащабни космически снимки с пространствена разделителна способност от порядъка на 5–10 m. Това позволява изследване на глациоложките обекти с голяма детайлност, включително и заприщвания на речни корита от ледове, което често причинява наводнения.

При използване на космическа информация за нуждите на глациологията се предявяват и редица специфични изисквания, главните от които са: разделяне на изображенията на снежно-ледените образувания от тези на облачността, както и реализиране на снимките в предварително определено време и с необходимата повторемост, даваща възможност за оценка на динамиката на процесите.

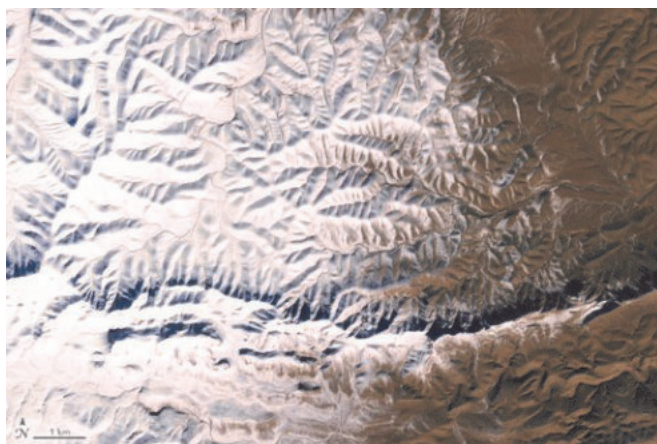
Характеристиките на леда и снега се изследват дистанционно във видимата, инфрачервената (ИЧ) и микровълновата (СВЧ) област на електромагнитния спектър. Изследванията се правят предимно от полярни и геостационарни орбити.

За използването на космическа информация за изучаване на снежната покривка са

създадени методики, като е изяснена възможността за използване на космически снимки за изчисление на стока в речните долини от стопен сняг на базата на изменение на относителното заснежаване на речните басейни и конфигурацията на границите на сезонния сняг. Съществуват и емпирични формули, изразяващи тази връзка за конкретни речни басейни.

Анализът на космически изображения във видимата и близката ИЧ област на спектъра позволява да се определят контурите на зоните на топящи се сняг и лед. Особено важно е това за басейните на реките, защото именно бързото топене на големи снежни и ледени маси причинява наводнения. Съвременната космическа апаратура дава възможност картирането на снега и леда да се направи с точност, не по-лоша от около 3 %.

Основна форма на снежната покривка в планините, особено в началото на снеготопенето, са снежниците. Топенето на снежниците при равни други условия зависи от формата и габаритите им. Съществуват методики и съответни програмни продукти, чрез които автоматично се определят контурите и формата на снежниците при компютърна обработка на космическите снимки.



Фиг. 5.1. Космическа снимка в реални цветове, направена на 19 декември 2016 г., регистрира едно изключително рядко природно явление – сняг над пустинята Сахара. На снимката е район от границата между Мароко и Алжир.

Използването на космически снимки със средна пространствена разделителна способност във видимата област на спектъра, направени с телевизионни камери, позволява приблизителна оценка на снежността в слабо изучени райони, на наличието на водоснежни потоци в тях и приблизителния им обем, изчислен на базата на обема на оставащата част от снежника.

На космическите снимки почти винаги надеждно се разпознава границата (височината) на захранване на ледниците, където натрупването на сняг за годината е еднакво с разтопяването му. Тази граница между снега и леда в планините се вижда добре от космическите кораби и орбиталните станции, а при полярните ледници дори и на телевизионните снимки, направени от метеорологични сателити. Точността на височинното определяне на границата на захранване може да достигне до около 100 m, която е малко по-ниска от точността при аероснимките.

За получената граница на захранване може да се изчисли средната лятна температура на въздуха, а оттам по емпирична формула - и мащабът на топенето. И тъй като на височината на ледниците топенето е равно на натрупването на снега, чрез

използване на космически снимки може да се определи полето на акумулация на сняг за големи планински системи. Такива анализи са правени още отпреди десетилетия за Памир, Тян-Шан, Скалистите планини и др. За добре изучените райони границата на захранване на ледниците може да се получи и по каталожни данни и по топографски карти на тези ледници, но достоверна информация за конкретни периоди от време може да се черпи единствено от космически снимки.



Фиг. 5.2. Космическа снимка на ледника “Федченко” в Памир, известен като най-дългият ледник в света. Дължината му е 77 km, а обемът му заедно с десетките негови притоци се оценява на 144 km³

Благодарение на космическата глациология се стига до един на пръв поглед парадокс – ние знаем за валежите, снегозапаса и стока на високите ледници повече, отколкото знаем за тях в пониските части в планините. Затова често се налага екстраполация на данните не нагоре, а надолу. И тук помагат космическите методи и средства, чрез които на базата на серия снимки се получават данни за движението нагоре на границата на сезонния сняг през лятото.

Обзорността и експресността на космическите телевизионни снимки при изучаване на ледовите режими в различни райони на света позволяват използването им за оперативни цели както при морската и речната навигация, така и за прогнозиране на наводнения. На такива снимки може да се проследи динамиката, положението и състоянието на ледените маси, както и взаимодействието им с водата.

Поради това, че на космически снимки на плаващи ледове във видимия диапазон на едно и също изображение могат да се наслагват ледове и облаци, тяхното надеждно разграничаване е много важно. Проблемът се решава по няколко начина, един от които е дублирането с ИЧ снимки.

На базата на космически снимки, може да се определи и дебелината на снежната покривка. Засега това става с не много висока точност. По изображенията е възможно да се определи само към коя от трите групи – до 10, 10–30 и над 30 cm – спада дебелината на снежната покривка.

В северните страни широко се използва и т.нар. *снегомер* - уред, който се монтира на откритите места в планините, фотографира се от самолет и от обработката на аеро-фотоснимките се съди за дебелината на снежната покривка.

Много важното предимство на дистанционните микровълнови (свръхвисокочестотни, СВЧ) снимки, а именно, че облачността не влияе върху получаваните резултати, обуславя широкото използване на този вид снимки за изучаване на снежната и ледената покривка. За пръв път изследване на радиотоплинното излъчване на снега и леда се осъществява чрез сателити от серията „Космос“, а по-късно и от серията „Nimbus“.

Експериментите потвърдиха теоретичното предположение, че най-ефикасна за изучаване на ледовата обстановка е комбинираната информация, получена синхронно във видимия и в СВЧ диапазон.

Важен параметър на снежната покривка, имащ връзка с големината на причинените

при топенето ѝ евентуални наводнения, е водният ѝ еквивалент. Познаването му е много необходимо за точното прогнозиране на количеството вода, което би се получило при стопяването на снега. Установено е, че има добре изразена зависимост между водния еквивалент и излъчвателната способност на снега в СВЧ диапазон.

На базата на редовно получаваните от сателитите „ESSA“, „NOAA“, „ITOS“ и „SMS“ изображения във видимата и ИЧ област от последната четвърт на миналия век в САЩ се правят ежеседмични карти на снежната и ледената покривка на Северна Америка, Европа и Азия. На тези карти се регистрират само снежни и ледени полета, които са се съхранили поне едно денонощие.

Много ценна информация за прогнозиране на наводнения е и температурата на въздуха над снежните и ледените покривки. Тя е един от основните фактори, определящ динамиката на топенето им. Тази температура се измерва с дистанционни снимки в ИЧ област на спектъра. Постигнатата точност е около 1 °C.

Една от основните задачи на комплекса научна апаратура „България-1 300“, създаден и изработен от български специалисти и работил на борда на сателита „Метеор-Природа“, е дистанционното изследване на снежната и ледената покривка на сушата и океана. Такава е и една от основните научни задачи на радиометричната система Р-400, също дело на български учени и специалисти, работила на борда на модула „Природа“ в състава на Орбиталния комплекс „Мир“.

Особено ефективни за космическата глациология се оказват визуалните наблюдения на космонавти. Първата специална глациоложка програма изпълнява екипажът на Орбиталната станция „Салют-6“. Определяни са граници на снежната покривка на повърхността на сушата, изучавани са различни характеристики на снега, топенето му и т.н. От борда на тази станция космонавти изучават басейните на реките Бурея и Зея в далекоизточната част на Русия, и по-конкретно, характерните особености при повишаване на нивата им по време на пролетното топене на снега и летните мусонни дъждове, водещи до наводнения на големи територии плодородни земи. Получената информация се оказва много ценна както за корекция и ремонт на съществуващите хидросъоръжения, така и за проектирането на нови такива.

От 1977 г. насетне всички космически екипажи преминават кратка глациоложка подготовка, включваща и наблюдения и снимки от самолет-лаборатория.

Визуалните наблюдения на снежно-ледовите явления, причиняващи наводнения срещат и сериозни пречки. Една от тях е облачността, която в някои случаи прави съвсем невъзможни подобни визуални изследвания от Космоса.

Дистанционно определяне на водните запаси в атмосферата

Оценка на количеството дъжд, което може да се излее над даден район, може да се направи на базата на количеството влага и вода, съдържащи се в атмосферата - в облаците над него. Проблемът за възстановяване на влаго- и водосъдържанието в атмосферата по дистанционни данни датира от края на 60-те години на миналия век, когато започва получаването на микровълнови дистанционни данни от сателита „Космос 243“.

Микровълновите снимки дават по-детайлна картина на пространственото разпределение на водните запаси в атмосферата, отколкото инфрачервените. Доколкото използваните алгоритми за числен анализ на общата атмосферна циркулация изискват данни за вертикален профил на разпределението на влагата, по-перспективни стават микровълновите снимки в по-високочестотни канали. Такива данни позволяват въз-

становяване на влаго- и водосъдържанието на атмосферата, както и на интензивността на валежите и вертикалния профил на температурата. Понастоящем получената информация е най-достоверна над океаните, излъчвателната способност на повърхността на които е стабилна и е по-малка в сравнение с излъчвателната способност на сушата.

Получените от геостационарния сателит „Meteosat“ глобални изображения на Земята характеризират влажността на средната тропосфера. Макар и неподходяща за количествен анализ, тази информация позволява да се проследят качествените особености на глобалното разпределение на водни пари.

Поради това, че всеки един от сателитите „TIROS“ и „NOAA“ гарантира глобални масиви от данни за вертикалните профили на температурата и влажността на всеки 12 часа, то се натрупва масив от данни за шестчасов интервал. Тези данни се обработваха в мрежа със стъпка 250 km. За специални цели, включително и за прогнозиране на обилни валежи, се прави обработка в мрежа с по-малка стъпка – например 50 km.

Дистанционно определяне на характеристиките на водни повърхности

За изучаването на наводненията интерес представлява и дистанционното определяне на характеристиките на водната повърхност и на първо място на скоростта на вятъра над водата (приводния вятър) и параметрите на водните вълни.

Многобройни космически експерименти за използване на радиометрични системи в СВЧ диапазон за определяне на скоростта на приводния вятър са осъществени още чрез сателитите от сериите „Космос“ и „Seasat“, орбиталната станция „Skylab“ и др. Влиянието на облачността се отчита чрез радиометрия в няколко честоти (многочестотна радиометрия). Опитът от приложението на методите и средствата на пасивната локация показва, че тяхното използване е ограничено, от една страна, от липсата на апробирани модели и методи за изчисляване на характеристиките на излъчване на водна повърхност в рамките на тези модели, а от друга – от ниската пространствена разделителна способност на пасивните локационни системи.

Перспективни за дистанционното изследване на океана, включително и за определяне на параметрите на вятъра над водната повърхност и характеристиките на водните вълни, са активните (радиолокационните) методи, базиращи се на измерване на параметрите на радиосигнали, разсеяни от развълнуваната океанска повърхност.

Скоростта на вятъра над океана може да се определи на базата на скатерометрични измервания в микровълновия диапазон. Теоретичните изследвания показват, че за скорости от 3 до 25 m/s точността при такива измервания е от порядъка на ± 2 m/s за скоростта и до $\pm 20^\circ$ за посоката на приводния вятър. Първите практически експерименти в тази насока са правени от борда на сателита „Seasat“.

Доказано е, че при скорост на приводния вятър $v > 7-8$ m/s количеството пяна върху водната повърхност зависи от тази скорост. От своя страна степента на покритие на водата с пяна определя радиояркостната температура. Но тъй като вятърът невинаги е причина за появяване на пяна, тези зависимости невинаги са в сила.

Изследване на скоростта на вятъра над океана беше основната задача на сателита „EOLE“ в последната четвърт на миналия век.

Чрез дистанционни космически технологии се следи и нивото на морската повърхност. Информацията за нивото, наред с полетата на температурата на по-

върхностния воден слой и скоростта на приводния вятър, има първостепенно значение за изучаване на динамиката на океана. С извеждането в орбита на геофизичните сателити от сериите „GEOS“ и „Seasat“ измерването на нивото на океана спрямо геоида става реалност. Точността на първите измервания с радиовисотомера на „GEOS-3“ е около 25 cm, а от „Seasat“ в района на Бермудските острови е постигната точност 5 cm.

Съществуват редица числови модели на динамиката на повърхността на океана, основаващи се на радиовисотометрични измервания от сателит. Резултатите от моделните изчисления потвърждават перспективността на съвместното използване на тези модели и данните, получени от сателитни измервания.

Радиолокационният комплекс на борда на сателита „ERS-1“ включва и радиовисотомер с диаметър на антената 1 m, който работи на честота 13.5 GHz с грешка на измерване по-малка от 5 cm.

За надеждното използване на дистанционните радиовисотометрични данни при получаване на топографията на повърхността на океана е необходима съпътстваща високоточна информация за морския геоид, за орбиталните параметри, за вълнението, за състоянието на атмосферата и др. Именно поради това основната задача на сателита „Gravsat“ е измерване на земното гравитационно поле с цел възстановяване на формата на земния геоид с точност 1–2 cm.

Сумарната средноквадратична грешка при определяне на нивото на океанската повърхност е обусловена от влиянието на приливите, на вълненията и на атмосферата, и е от порядъка на 5–10 cm. Главният дял в тази грешка се пада на неопределеността на амплитудата на приливите.

Една от най-мощните международни програми за изследване на океанската повърхност е „Торех - Poseidon“. Тя се основава предимно на радиовисотометрични измервания и даде уникални резултати. Наред с фундаменталните данни за деформациите на земното гравитационно поле, за глобалната едромасштабна циркулация на океанската вода, за глобалните изменения на полето на ветровите водни вълни и т.н. са получени и данни, даващи възможност за прогнозиране на повишаването на океанското ниво, заплашващо с наводнения ниските брегове.

Космическата геодезия навлезе бързо и ефективно и в дистанционното изследване на нивото на океана. Реализирани са мощни изследователски програми и проекти, в изпълнение на които чрез GPS системи се следят океанските динамични височини, измерва се морското ниво спрямо сушата, получава се топография на покритата с лед земна повърхност и т.н. Точността при тези изследвания е от порядъка на 1 cm. Всичко това е перспективна база и за прогнозиране на катастрофални наводнения.

Дистанционно изследване на наводнени територии

За прогнозиране на развитието на наводненията, както и за оценяване на щетите от тях, особено важно значение има точното определяне на залетите територии.

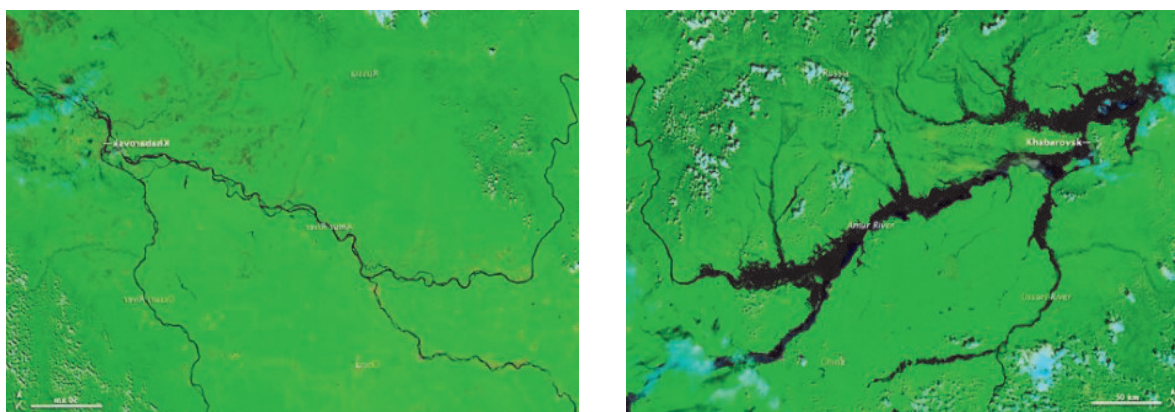
Основен източник на информация за следенето и прогнозирането на стока по време на катастрофални разливания на реки служат данните от точкови измервания, извършвани от стационарни и временни хидроложки обсерватории. Такива данни обаче никога не успяват да създадат пълна картина на процесите при наводненията, а съответно прогнозата направена на тази база, почти винаги е недостоверна.

Дистанционните аерокосмически технологии се оказаха изключително мощно и ефикасно средство за изучаване на големи наводнени територии. Особено важни са

експресността и оперативността на тези изследвания, даващи възможности за получаване на информацията и съответно за реагиране за минимално време.

Високата ефективност при изследване на повърхността на океана и на ледени покривки, която показаха *радиолокационните системи със страничен обзор* (РЛБО, SAR), стана предпоставка за използването им при изследване на залети при наводнения територии. Действително надеждите бяха оправдани, най-вече при дистанционното контролиране и диагностициране на речни разливи. Първите резултати се получиха през месец август 1984 г., когато през период на пълноводие на р. Амур практически цялата Долноамурска долина беше залята с вода. На получените радиолокационни изображения разливът се дешифрира достатъчно надеждно. Частите от земната повърхност, покрити с вода, се изявяват по-тъмни в сравнение със сухата повърхност, т.е. интензивността на разсейване на покритата с вода повърхност е по-ниска. Пространствената разделителна способност на тази радиолокационна система е 0.8×2.5 km, което означава че в един елемент могат да попаднат както заляти с вода участъци, така и по-високи участъци, останали над водата.

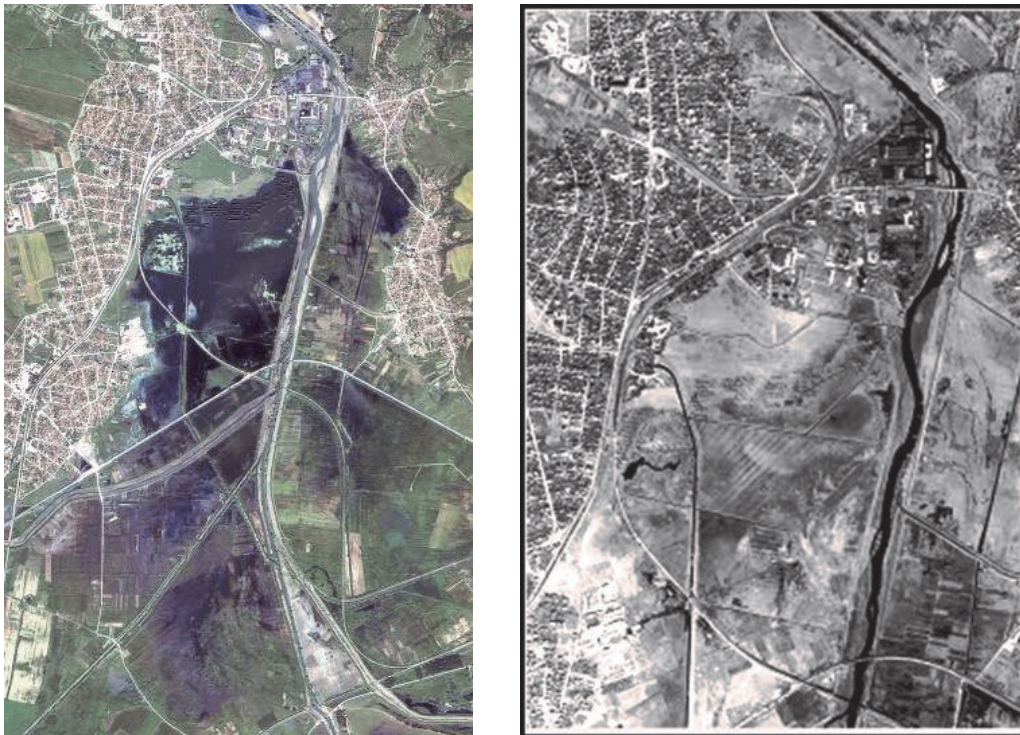
Поради това интензивността на радиосигнала, разсеян от частично заляти участъци от земната повърхност, приема междинни стойности между минималните – съответстващи на водна повърхност, и максималните – характеризиращи отражението от сушата. Това определя и трите зони по яркост на радиолокационните изображения.



Фиг. 5.3. На тези две космически снимки, направени от борда на сателита Terra на NASA се вижда басейнът на река Амур в нормално състояние и след катастрофалния разлив на реката през август 2013 г., когато ширината ѝ на някои места достига до 30 km.

Една от основните задачи при изследването на катастрофални наводнения се състои в определянето на площта на заетите територии. Автоматизирането на този процес повишава точността и оперативността. След филтрация на изображенията се отделят участъците с различна степен на заливане. За компютърната обработка в интерактивен режим се задава стойност на прагова яркост, правилният избор на която определя в най-общия случай точността на определяне на заетите територии. Съществуват емпирични формули за изчислението на залятата при наводнението площ.

Важно значение при дистанционното изучаване и прогнозиране на стока на водата в периода на разливане на реките има своевременното определяне на относителната площ в %, изцяло покрита с вода. Съществуват методики за такава оценка по космически изображения във видимия диапазон.



Фиг. 5.4. Последствия от наводнения в района на град Нови Искър
(вляво) снимка от сателита IKONOS от 16.06.2005 г.
(вдясно) снимка от сателита QUICKBIRD от 07.03.2007 г.

Сериозните екокатастрофи, причинени от наводнения на територията на Китай от разливания на големите реки, стимулира създаването и използването на системи за дистанционен мониторинг на залети територии. Ежегодно средната площ на такива територии е около $8 \cdot 10^6$ ha в гъсто населени райони. Основно място в мониторинга на наводнения в Китай заемат изследванията чрез самолетен радиолокатор със синтезирана апертура (SAR), което гарантира получаване на информация независимо от метеорологичните условия. През 1991 г., характеризираща се с интензивни дъждовни валежи в Китай, катастрофални наводнения станаха по р. Янцзъ и други реки. Съвместният анализ на самолетните радиолокационни снимки и многоспектралните изображения от сателити „NOAA“ и „Landsat“ на наводненията в Китай показва ефективността на системата за дистанционен мониторинг. Ефективни дистанционни изследвания на залети територии са осъществени и при разлива на р. Лайао, при което само за едно денонощие са получени самолетни радиолокационни снимки на територия от около $11 \cdot 10^3$ km². Аналогични изследвания са направени при наводнението в поречието на р. Хуанхъ. Във всички тези случаи оперативно получената информация изигра важна роля при мероприятията за преодоляване на отрицателните последствия от екокатастрофите.

Оперативни хидроложки карти в мащаб 1:50 000 за едноседмичен срок на базата на аерокосмическа информация се правят и в Индия. И нейната територия, и особено басейните на реките Брахмапутра, Ганг и притоците им, почти ежегодно е подложена на катастрофални наводнения. По време на наводнения милиони хектара земя в щатите Утар Прадеш, Асам, Бихар, Северна Бенгалия и др. остават под водата. Благодарение на оперативните карти се съди за мащабите на наводнението, щетите, тенденциите за развитието му и т.н., което позволява вземане на оптимални решения за краткосрочни и по-дългговременни мерки.



Фиг. 5.5. Чрез серия снимки, направени от екипажа на Международната космическа станция, се следи динамиката на разливите вследствие на интензивни дъждове на най-голямата река в ЮИ Азия – Меконг

На базата на аерокосмическа информация са създадени карти за риска от наводнения в някои райони, и преди всичко за басейна на р. Брахмапутра в щата Асам, Индия. Използват се преди всичко данни от сателитите „NOAA“ и „IRS-1A“.

Дистанционен аерокосмически контрол на състоянието на хидротехнически съоръжения

Не на последно място причина за катастрофални наводнения са и повреди и аварии в различни хидротехнически съоръжения. Особено мащабни катастрофи са станали при разрушаване на язовирни стени, тъй като тези случаи са характерни с голяма мощност на водния поток, достигащ до десетки хил. m^3 за 1 с.

Аерокосмическите технологии дават възможност експресно и ефективно да се следи за изправността на хидротехническите съоръжения, което гарантира оперативна намеса за отстраняване на повредите, за обявяване на тревога, за евакуация на хората от рисковите зони и т.н.



Фиг. 5.6. Тематично обработено изображение с цел контролиране на състоянието на защитните хидротехнически съоръжения по устието на река Ганг и Бенгалския залив

Съвременни сателити за изследване на наводнения

Понастоящем в околоземна орбита се намират десетки сателити, една от основните задачи, на които е изучаване на споменатите по-горе предвестници и причини за наводнения, следене на разливането или покачването на нивото на водата, оценка на щетите и т.н.

Характерни такива сателити са от сериите “Aqua”, “DMPS (Defense Meteorological Satellite Program)”, “EnviSat”, “ERS (European Remote Sensing Satellite)”, “FAME (Flood risk and damage Assessment using Modelling and Earth observation technologies)”, “GPM (Global Precipitation Measurements)”, “LandSat”, “NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration)”, “Sentinel”, “SMAP (Soil Moisture Active Passive)”, “Terra”, “TRMM (Tropical Rainfall Measuring Mission)”, геостационарните сателити “GOES (Geostationary Operational Environmental Satellites)”, “Himavari”, “INSat (Indian National Satellite)”, “MeteoSat” и др.

Чрез визуални наблюдения и апаратни измервания наводнения се изследват и от борда на Международната космическа станция (ISS). В таблицата са дадени някои ориентировъчни осреднени данни за основните орбитални характеристики на някои типични сателити, чрез които се изучават наводненията.

Табл. 5.1. Ориентировъчни осреднени данни за основните орбитални характеристики на някои типични сателити, използвани за изучаване на наводнения

Сателит	Височина (km)	Наклон (°)	Период (min)
Aqua	702	98	99
EnviSat	773	98	100
GRACE	500	89	91
Landsat	705	98	99
Sentinel	695	98	98
GOES	35 790	0	1 430
Himavari	35 800	0	1 436
MeteoSat	36 000	0	1 450

Ураган, тайфун, вили-вили, тропичен циклон...

Едно от новите неща, които Христофор Колумб донесъл от пътуването си до Американския континент, било понятието “ураган”. То произхожда от Големите Антилски острови, където на езика на местните аборигени хуракан означава вятър, който разрушава всичко. Отначало в района на Карибско море, а по-късно и в южните части на Тихия и Индийския океан, както и в северната част на Атлантическия океан циклоните се наричат урагани. А в Китайско море, в западната част на северната половина на Тихия океан и в района на Бенгалския залив тропичните циклони носят името “тайфуни”. Това наименование произлиза от “тай фън”, което на китайски език означава голям (висок) вятър. А в Северозападна Австралия тропичните циклони се наричат “вили-вили”.

Понятието *циклон* е въведено за пръв път от английския метеоролог Хенри Пидингтън. В метеорологията понятието циклон (нарича се още и *въздушна депресия* или *баричен минимум*) е област с ниско атмосферно налягане, в която въздухът се движи по спирала към центъра ѝ. В Южното полукълбо движението на вятъра е по посока на движение на часовниковата стрелка, а в Северното е в обратната посока. Циклоните и кинетичната енергия, която те освобождават, са част от общата циркулация на атмосферата и са необходим фактор за формиране на това, което наричаме *метеорологично време* или само *време*. Заедно с антициклоните или баричните максимуми, т.е. областите с повишено атмосферно налягане, циклоните представляват най-важната форма на едромасщабното атмосферно движение и способстват за преразпределяне на значителни маси въздух. В резултат на това хладният въздух може да прониква в тропиците, а топлият – във високите географски ширини. Но когато се проявят в екстремалната си форма, циклоните се превръщат в една от най-страшните екокатастрофи.

Тропичните циклони се зараждат при строго определен комплекс от условия. Най-благоприятното месторождение за тях е атмосферата над топлите тропични морета и океани, където температурата на повърхностния слой на водата е 26–28 °C, а разликата между температурата на водата и температурата на въздуха е поне 2–3 °C. Оттам и наименованието им *тропични циклони*.

От 1956 г. става традиция тропичните циклони, тези ужасни стихии, да се кръщават с нежни женски имена като Хилда, Дора, Бетси, Инес, Камила, Клеопатра, Габриела, Корин, Рита, Офелия, Катрин и т.н. Но еманципацията и натискът на феминистки движения си казаха думата, защото вече циклони се кръщават и с мъжки имена: Ендрю, Калвин, Дейвид, Борис, Айвън, Фран и др.

От всички природни екологични катастрофи най-много човешки жертви взимат тропичните циклони. Само през последните 30 години на миналия век тридесетина циклона са отнели живота на над 750 хил. души. Начело в мрачната класация е циклонът “Ада” от 1970 г., при който в Бенгалския залив загиват най-малко 350 хил. души, а общият брой на пострадалите достига 10 млн. души. Трябва да споменем, че според някои източници числата са двукратно по-големи. Колосални са и материалните щети. Например, циклонът “Катрин” нанесе на САЩ щети за над 300 млрд. USD.

5.2. Космическата метеорология при изучаване на циклони

Циклоните са най-лесно забележимите и разпознаващи се от Космоса природни явления, причиняващи екологични катастрофи. На космическа снимка, направена от метеорологичен сателит, даже и неспециалист може лесно да различи зараждащ се или вече зрял циклон.

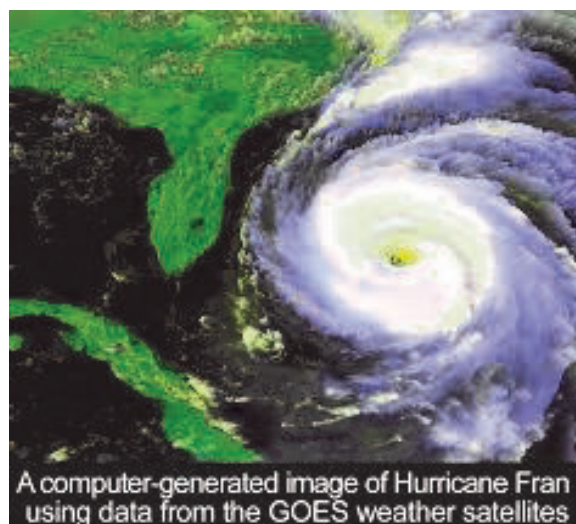
Оперативността, необходима както за редовната метеорологична прогноза, така и за прогнозиране и следене на метеорологични екологични катастрофи, налага използването на телевизионни космически снимки. Първите такива снимки, получени от Космоса, са за метеоролозите само интересни, след няколко седмици те вече са им необходими, а след още няколко стават незаменими. Още през първото десетилетие на космическата ера се обособява и нов раздел на метеорологията – *космическа (сателитна) метеорология*. Тя разработва методи за получаване и използване на метеорологична информация чрез апаратура, монтирана на метеорологични сателити.

Изключително ценна е получаваната чрез космическата метеорология информация за състоянието на атмосферата над океаните. От една страна, на тези територии няма много наземни метеорологични станции, а от друга, именно над тях се зараждат и развиват едни от най-страшните екологични катастрофи – тропичните циклони. Поради това ролята на космическата метеорология при своевременното прогнозиране, разпознаване и следене на циклоните е изключително важна.

Откриването и следенето на циклоните е една от основните задачи на космическата метеорологична система. Тя се състои от метеорологични сателити със съответните наземни служби и е предназначена за периодично и оперативно получаване на информация за състоянието на земната атмосфера. Орбиталните характеристики и апаратурната окомплектовка на метеорологичните сателити са съобразени с основната им цел – оперативно наблюдение на облачното покритие и топлинното излъчване на Земята. Такива сателити летят обикновено по орбити с височини H от 400 до 1 500 km, което осигурява поле на обзора около 1 000–1 500 km. При това за една обиколка около Земята един метеорологичен сателит събира информация за облачната ѝ покривка за около 8 % от повърхността ѝ, а за радиационното ѝ излъчване – около 20 %. Преобладаващата част от тази информация е в телевизионни и инфрачервени снимки.

Първата космическа метеорологична система TOS (TIROS Operational System) е създадена през 1966 г. от САЩ и се базира на сателити от типа TIROS. По-късно в системата са включени и сателити от типа NOAA и геостационарни сателити от сериите ATS и GEOS. Данните от тази космическа метеорологична система се предават към наземните пунктове на всеки 20 минути.

Първите сериозни резултати от космическото изследване на тропични циклони се изразяват в създаване на качествени критерии за определяне на различните стадии на развитие на циклона. Установено е голямо разнообразие на структурни форми на облачните системи. Като се използват за критерии геометричните им характеристики – размери, форма, компактност на облачните маси и др., тропичните циклони са разделени на четири категории. Благодарение на аерокосмическа информация е дефиниран нов клас тропични циклони, т.нар. *микротайфуни*. Установен е много малкият им (до 100 km) общ размер при сравнително голямо око, достигащо до 30 km. Твърде неочакван е полученият факт, че тези микротайфуни се генерират на много ниски географски ширини.



Фиг. 5.7. Тропичният циклон “Фран” приближава Флорида

На базата на космически снимки е изучен детайлно механизмът на зараждане и развитие на тропичните циклони. Благодарение на дистанционните изследвания още през първите години на сателитните наблюдения се изменят някои дотогавашни представи за тези процеси.

Съпоставянето на получените космически данни за топлинния баланс на Земята с изчислените данни от наземни изследвания показва, че в действителност поглъщането на слънчева енергия от системата земна повърхност-атмосфера е много по-голямо от приеманото дотогава. Оказва се още, че циклони се образуват много по-често, отколкото се приемаше по-рано. И това е лесно обяснимо, защото редица циклони се образуват и разпространяват над океана между разпръснатата по океанските острови рядка мрежа от метеорологични станции, без да бъдат регистрирани от тях. Докато за десетките метеорологичните сателити никой тропичен циклон не може да остане незабелязан.

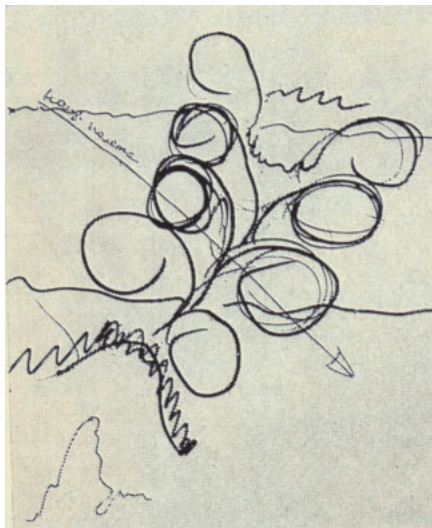
Експериментите по изследване на тропични циклони заемат значително място и в научната програма на модула „Природа“ в състава на Орбиталния комплекс „Мир“. В тази научна програма участват и български учени и специалисти.

Високата ефективност на космическите методи при изследване на генезиса, следене на движението и еволюцията на тропични циклони и даването на ефективна и своевременна тревога е демонстрирана и при катастрофални циклони като „Агнес“, „Айвън“, „Джеф“, „Ендрю“, „Ирма“ и др.

Значителен дял в изучаването на тропични циклони имат и експериментите, провеждани с авиационни летателни апарати. Самолетната ера в метеорологията датира от 1915 г., когато немски учени изучават визуално и апаратурно турбулентността на въздушните маси, облачността и т.н. от борда на самолет.

Визуални наблюдения на тропични циклони

Според повечето космонавти облачната покривка обхваща до 75–80 % от земната повърхност. Според космическите изображения степента на облачност е по-малка. И тъй като най-пълна картина по отношение на светлинните и цветовете контрасти дават визуалните наблюдения, за да се получи най-обективна информация, се налага взаимно допълващо се комбинирано изследване на облачните системи чрез апаратурни и визуални наблюдения. Това важи и за изследване на процесите на възникване и развитие на циклони. Още по време на първите пилотирани космически полети космонавтите наблюдават тропични циклони. Това става от борда на пилотираните космически кораби от сериите „Союз“ и „Apollo“ и орбиталните станции „Салют“, „Skylab“ и „Мир“.



Фиг. 5.8. Семейство циклони в района на Бермудските острови. Рисунка на космонавтите Коваленок и Иванченков на борда на орбиталната станция „Салют-6“

Установено е, че повечето от изследваните от космонавтите тропични циклони се зараждат в сравнително тесни зони от двете страни на екватора. Многократните наблюдения очертават и няколко района, в които особено често се формират мощни циклони, причиняващи екокатастрофи. Такива райони са Бермудският триъгълник, Филипините, Антилският архипелаг и районът в Тихия океан източно от

Коралово море. Анализът на получената информация показва, че тези циклони се образуват при състъпване на въздушни потоци, идващи от Северното и Южното полукълбо към екватора, които се движат успоредно на големите океански течения.

Специалното внимание, отделено на района на Бермудския триъгълник, дава своя резултат. Според наблюденията на втория екипаж на ОС „Салют-6“ в този район се срещат не два въздушни потока от север и от юг, а три. Третият поток се движи успоредно на пасатното течение и идва към Бермудския триъгълник от района на Панамския канал и Карибско море. Може би именно поради това Бермудският триъгълник се оформя като изключително мощна енергоактивна зона. Многобройните действителни случаи и легенди за загадъчна гибел на плавателни съдове и самолети отдавна са направили този район обект на редица изследвания с помощта на специални научноизследователски кораби и самолети. Съществуват редица хипотези, обясняващи ставащите там странни явления. Обаче едва благодарение на визуалните наблюдения от Космоса, обхващащи разстояния до около 2 000 km, са установени уникалните особености на атмосферните процеси в района на Бермудския триъгълник – зараждане на мощни циклони с диаметри от няколкостотин до около 1 000 km само за 3–4 часа.

Следене на зараждане и развитие на тропични циклони и предупреждение към съответните служби и ведомства са правени от почти всички екипажи на космическите совалки „Columbia“, „Atlantis“, „Challenger“ и „Discovery“.

Благодарение на снимките от космическите метеорологични системи и най-вече на визуалните наблюдения на космонавти от околоземна орбита може да се твърди, че на Земята средногодишно се образуват повече от 80 тропични циклона, а не петдесетина, както се смяташе допреди тридесетина години.

Прогнозиране на тропичните циклони и изучаване на глобалния циклогенезис по аерокосмически данни

Не всички областите с ниско атмосферно налягане се превръщат в екологична катастрофа. Според една статистика само 58 % от такива области, оформили се над територията на САЩ, са се развили до тропични циклони с мащаби на екокатастрофа.

Едно от важните условия, определящо образуването и развитието на тропичните циклони, е температурата на повърхността на водата в тропичните морета. Измерване на тази температура се прави ефикасно от борда на редица сателити и преди всичко от „Seasat“. За достоверното отчитане на тази температура е необходимо отчитането на влиянието на атмосферата, което също се прави чрез космически технологии.

Все по-голямо е значението на океанографските изследвания, включително и на измерване на температурата на водната повърхност, извършвано от геостационарните сателити. Тъй като тези сателити са на орбити с много по-голямата височина ~ 40 хил. km тяхната пространствена разделителна способност е по-ниска. Независимо от това те са много ценни за изследване на тропични циклони, тъй като на практика „висят“ над една и съща точка от Земята и наблюдават явленията продължителен период от време.

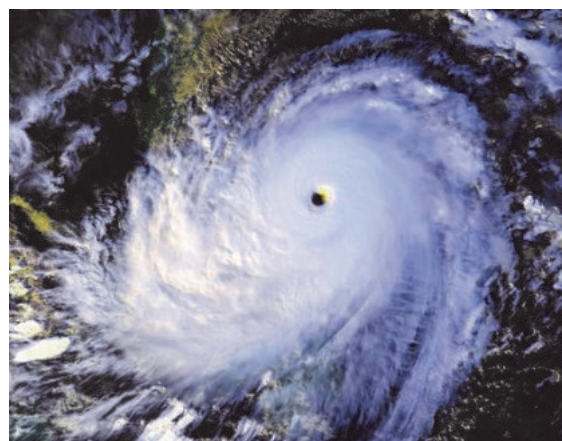
Независимо от десетилетните изследвания на циклони, едва през последните години на миналия век, и то благодарение именно на аерокосмическите методи и технологии, вече е налице достатъчна по обем и надеждност дистанционна информация, на основата на която е образувана база данни, годна за дефиниране на достатъчно цялостна пространствено-времева картина на глобалния циклогенезис.

Анализът на повечето геоинформационни бази данни за едромащабни тропични атмосферни смущения, например бюлетините на Световната метеорологична организация (WMO), показва, че тези бази от данни са създадени на регионално ниво и се отнасят за отделни райони от акваторията на Световния океан. От гледна точка на практическите задачи тази позиция е съвсем оправдана, тъй като регионалните центрове в Австралия, Япония и САЩ имат като основна задача – от която се финансира и съществуването им – прогнозиране на зараждането, интензивността и траекториите на движение на тропични циклони. Това дава основание за подозрение, че независимо от високото апаратурно и организационно ниво на дистанционните изследвания далеч не всички тропични циклони, възникнали дори и в най-наблюдавания район на земното кълбо – северозападната част на Тихия океан, се регистрират и изследват.

Интересни за перспективите на прогнозирането на тропични циклони могат да бъдат и проектите за едновременно измерване на скоростта на вятъра, температурата и съдържанието на водни пари в средната атмосфера в областта на мезопаузата чрез използване на два сателита. Това има отношение и към перспективите на прогнозирането на наводнения.

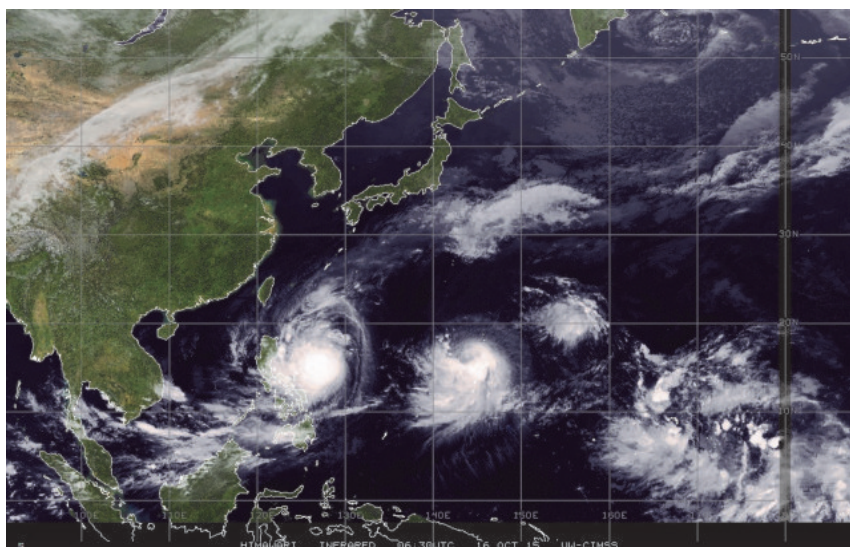


а)

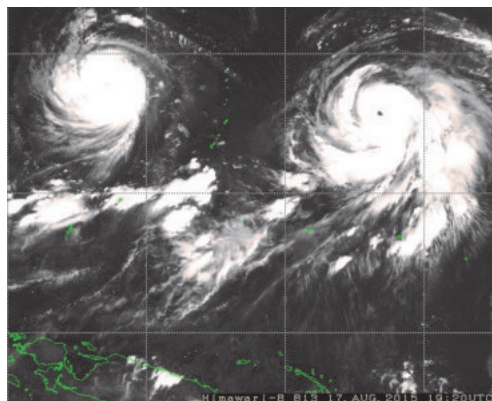


б)

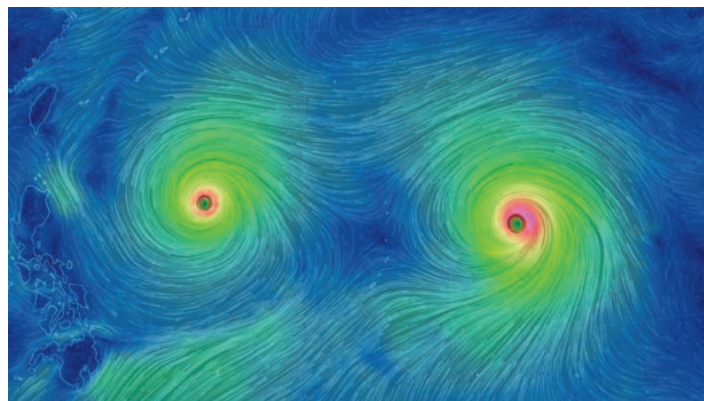
Фиг. 5.9. а) Така изглежда тропичният циклон “Катрина” от борда на Международната космическа станция (МКС). б) Фотографска снимка на тропичния циклон “Нина” от околоземна орбита.



Фиг. 5.10. Група тропични циклони в Тихия океан



а)

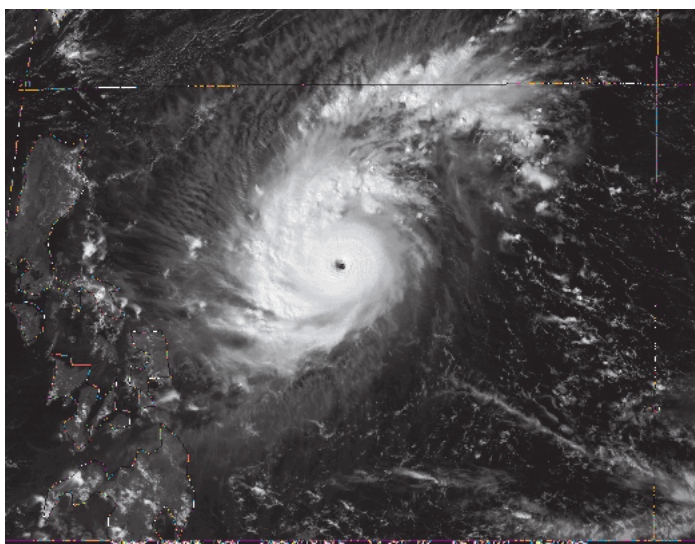


б)

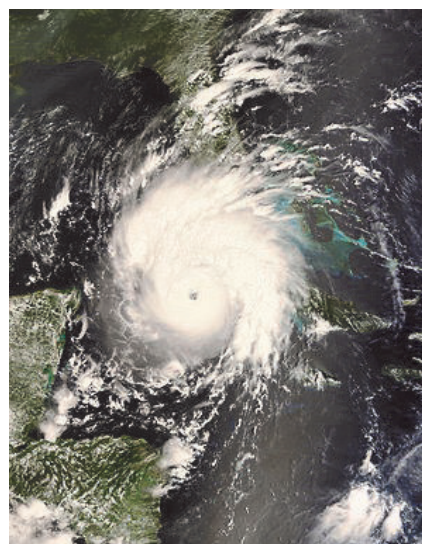
Фиг. 5.11. Двата мощни тропични циклона “Гони” и “Атсани” в северозападната част на Тихия океан: а) снимка от борда на спътника “Химавари” на 17 август 2015 г. б) обработка на снимката (НАСА)



Фиг. 5.12. Тропичният циклон “Суделор” близо до Тайван. Снимка от борда на Международната космическа станция. Вижда се скаченият със станцията космически кораб “Союз”.
Фотография: Стив Кели – НАСА



а)



б)

Фиг. 5.13. а) Тропичният циклон “Айвън” (Иван); б) Тропичният циклон “Густав” върхлита върху Куба.

5.3. Дистанционно откриване и мониторинг на горски пожари

Мониторингът на горски пожари е едно от най-ефикасните приложения на дистанционните аерокосмически методи и технически средства при изучаването на природни бедствия. До началото на космическата ера е имало случаи, когато в отдалечени и

труднодостъпни райони на света в продължение на седмици са горяли горски пожари, без да бъдат забелязвани. Днес това не може да се случи, защото само след броени минути или часове от началото на горски пожар той се регистрира или от апаратурата на изкуствените спътници на Земята (ИСЗ), които за по-кратко наричаме сателити, или от космонавтите от борда на пилотираните космически кораби и научноизследователските орбитални станции.

На космическите изображения горският пожар се характеризира с двата си основни елемента: огнището на огъня и димния шлейф. Шлейфът, наричан още и факел, се вижда от Космоса като тънък клин, насочен по посоката на вятъра. По върха на клина се определя местоположението на огнището, а по размерите му – интензивността на пожара. Понякога дължината на димния факел достига до стотици, дори и до хиляди километри.



Фиг. 5.14. От Космоса пожарът се вижда като клин, върхът на който е огнището

Експериментално е установено, че димните шлейфове се дешифрират най-добре на снимки, направени във видимия диапазон на електромагнитния спектър. На множество космически фотографии се виждат добре шлейфовете на горските пожари.

За откриване на огнища на горски пожари по-ефикасни са топлинните снимки в далечната инфрочервена (ИЧ) област на електромагнитния спектър, както и в микровълновата (свърхвисокочестотната, СВЧ) област.

При инфрачервени топлинни космически снимки се дешифрира и огнището на пожара, което е скрито под димния факел и е невидимо при снимките във видимата област на спектъра. Такива снимки се правят редовно от сателити над териториите на САЩ, Канада, Русия и други страни. Тези снимки имат пространствена разделителна способност около 3 km. Когато обаче се правят през нощта, благодарение на много големия температурен контраст между огнището на пожара и хладния нощен фон, разделителната способност се подобрява около два пъти, което позволява откриването и на по-малки пожари.

На нощния фон на Земята освен горски пожари има и множество други топлинни аномалии, прадизвикани от стационарни антропогенни източници – градове, промишлени обекти, енергетични съоръжения и др. Затова всяка новополучена космическа снимка трябва да се съпостави с по-стари, за да се открият действително новопоявилите се източници на топлинни аномалии, а именно пожарите. Различаването на горските пожари от стационарните източници на топлинни аномалии се улеснява и от факта, че радиационната температура на пожарите е значително по-висока от тази на стационарните източници.

Някои други източници на открит огън, например при нефтени сондажи или нефтопреработващи предприятия, независимо от високата си температура се отличават на космическите снимки от горските пожари с по-малките си размери, а, от друга страна, координатите на такива източници на топлинни аномалии са известни.

Перспективни за мониторинг на горски пожари са дистанционните снимки в микровълновия, т.е. СВЧ обхвата, защото излъчването в сантиметровия обхват прониква не само през дима, но и през облаците. Засега обаче разделителната способност на СВЧ космически измервателни системи е от порядъка на 3–5 km, което не е достатъчно за детайлното изучаване на горски пожари. За сметка на това обаче самолетните микровълнови изследвания на горски пожари дават много добри резултати.

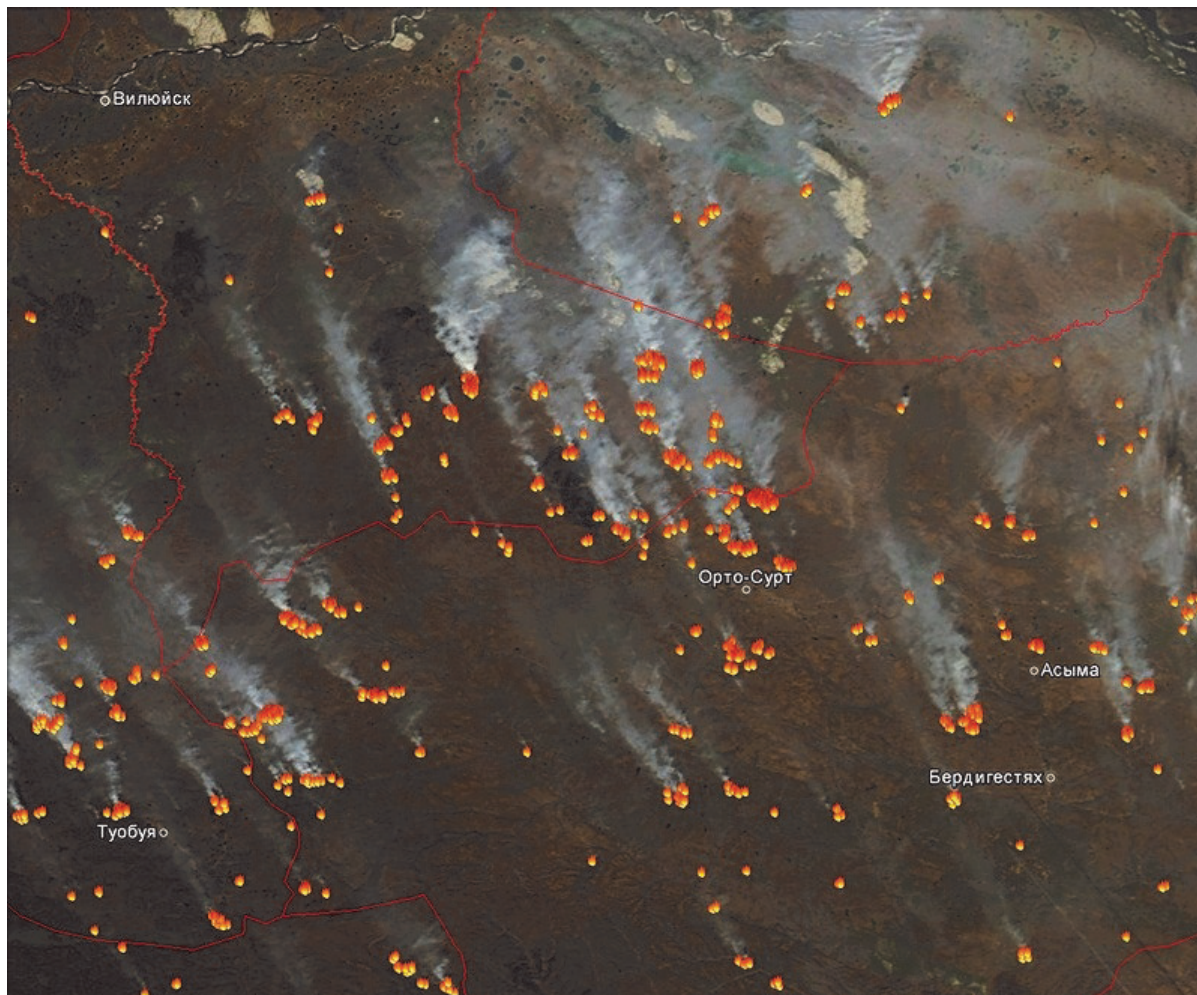
Дистанционни космически снимки, на които се откриват горски пожари, се получават редовно от сателитите „Landsat“, „Метеор“, „Meteosat“, „SPOT“ и други, предимно метеорологични, сателити.

Още в третата четвърт на миналия век, например през горещото лято на 1969 г. редица големи пожари на територията на Аляска са наблюдавани ежедневно чрез телевизионни снимки от сателити. В продължение на около два месеца през сухото и горещо лято на 1972 г. от сателити е следено развитието на десетки горски пожари, избухнали в централната и северната част на Руската равнина.

Космическият мониторинг на горски пожари е особено актуален за територията на Русия. Оперативният контрол на огромните горски масиви на Сибир и Далечния Изток с авиационни средства изисква големи финансови инвестиции. Поради това са разработени и предложени различни методи за оперативен космически мониторинг на горските пожари в Русия.

Изискването за оперативен контрол на големи територии е мотивация за използването на геостационарни ИСЗ от типа „Молния“ за откриване и следене на горски пожари. Естествено очевиден недостатък на такава схема е необходимостта от високочувствителна апаратура, способна да открива горски пожар от геостационарна орбита с височина $H \approx 40\,000\text{ km}$.

Много по-рационално за търсене на огнища на горски пожари се оказва използването на данни от радиометъра AVHRR, монтиран на метеорологичния сателит от серията „NOAA“. Едновременно на квазикръгови слънчевосинхронни орбити с височина $H \approx 850\text{ km}$ се намират поне два спътника от тази серия, което гарантира получаване на информация от даден район на земната повърхност с периодичност, не по-малка от четири пъти в денонощие.



Фиг. 5.15. Схема на разположението на огнища на горски пожари в Якутия по космически снимки от сателита "Аква". Ширината на снимката съответства на разстояние 325 km. *Източник:* РОССКОСМОС.

Разработени са методи за откриване на горски пожари по топлинното излъчване в ИЧ диапазон. При сравнителни анализи между съществуващите методи за обработка на данните чрез числено моделиране се оказва, че оптималността на метода на обработка не зависи от модела на атмосферата и от вариациите на температурата ѝ в границите на 285-303 °K. Същото е в сила и за яркостната температура на горския пожар, ако тя е в границите между 600 и 1 200 °K. Температурата обаче има решаващо значение за минималния размер на дешифрируемия пожар. Например при увеличаването ѝ от 800 на 1 000 °K относителният линеен размер на минималния различим пожар се намалява около 1.6 пъти.

От своя страна използването на оптимален метод за обработка на космическите ИЧ снимки дава възможност да се намали минималния размер на подавания се на дешифриране горски пожар, като например при температура 800 K този размер е около 8 m. И, ако например се приеме максимална скорост на разпространение на пожара във всички посоки около 20 cm/min, може да се види, че използването на оптимален метод на обработка дава възможност пожарът да се открие 20–30 min по-рано.

Получаваните от метеорологични сателити снимки на даден горски пожар са много ценни и за прогнозиране на по-нататъшното му развитие. Това е така, защото на тези снимки има информация и за метеорологичните параметри, които влияят на развитието и разпространението на огъня. Метеорологичната информация е решаваща и при взимането

на решение дали да се гаси огънят или да се ограничи разпространението му чрез изкуствено предизвикване на дъжд. Основен критерий за прилагането на този начин за борба с горските пожари са количеството и видът на облаците над огнището, от което пък зависи водосъдържанието им.

Съществена роля при откриване и следене на развитието на горски пожари имат и визуалните наблюдения. Едни от първите наблюдатели на горски пожари от Космоса са екипажите на ПКК „Ароло-7“ и „Союз-3“ през есента на 1968 г. В следващите години от борда на „Союз-6“, „Союз-7“, „Союз-8“, „Салют“ и „Skylab“ космонавтите откриват и следят редица пожари. На 20 юни 1975 г. екипажът на орбиталната станция „Салют-4“, прелитайки над Канада, вижда в тайгата неголям пожар, димният факел на който обаче е дълъг 250-300 km. Същият пожар наблюдават и описват и космонавтите, осъществили съвместния космически полет на „Ароло“ и „Союз-19“.

Големи горски пожари в Африка, Австралия, Южна Америка и Русия са наблюдавани от орбиталните станции „Салют-5“ и „Салют-6“, пилотираният космически кораб „Союз-25“, космическите совалки „Columbia“, „Challenger“ и „Discovery“. В някои случаи огнищата на пожарите са били толкова близко едно до друго, че създавали впечатление за димящи фабрични комини. Според някои космонавти пожарите в Сибир изглеждат по-различно от африканските – димният шлейф на сибирските пожари е по-черен и по-гъст. Космонавти наблюдават и генерирането на горски пожари при падане на мълнии.



Фиг. 5.16. Визуално наблюдение на горски пожар от борда на вертолет

Много горски пожари са наблюдавани от борда на орбиталния комплекс „Мир“. Рекордът е поставен през лятото на 1985 г., когато за петнайсетминутно прелитане над Африка космонавтите изброяват близо 40 огнища на пожари в саваната. Понастоящем ефективно визуално откриване и изследване на горски пожари се прави от борда на Международната космическа станция (МКС).



Фиг. 5.17. Валенсия (Испания) - снимка от борда на самолет



Фиг. 5.18. Горски пожар в щата Монтана (САЩ). Снимка от борда на Международната космическа станция (МКС)

Използване на аерокосмически изображения за оценка на последствията от горски пожари

Актуалността на изследването на последствията от горски пожари е обусловена от големите по мащаб и с дълготраен характер техни въздействия върху екологичната обстановка на огромни територии. За оперативно, надеждно и мащабно такова изследване дистанционните аерокосмически методи, технологии и средства са незаменими.

Една от основните задачи е районирането на засегнатите територии по степента на нарушеност от пожарите. Опитът показва, че картите на нарушеност на горите, съставени

с използване на аерокосмически снимки, дават обективна информация за състоянието на горите, подложени на продължителното влияние на пожари. Най-подходящи за такова картографиране са черно-бели и спектрозонални космически снимки, направени в периода юли-август, т.е. във времето от пълното развитие на листата в короните на дърветата до тяхното есенно оцветяване.

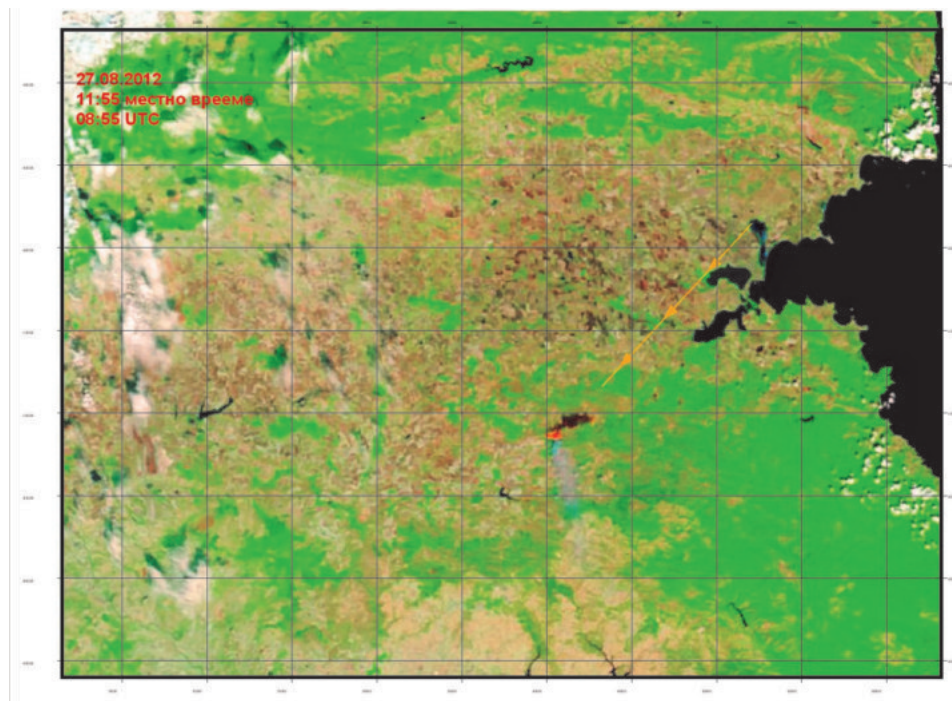


Фиг. 5.19. Обработено космическо изображение на последствията от горски пожар в Националния парк Валдо в Колорадо през месец юни 2012 г. В тъмен фототен са напълно уникожените горски площи.

В Института за космически изследвания и технологии при Българската академия на науките (ИКИТ-БАН) повече от 12 години се извършва аерокосмически мониторинг на горски пожари. Създадена е тематично ориентирана уеб база данни, съдържащи сателитни изображения за екологичен мониторинг на територията на България. Базата данни съдържа набор от ежедневни спътникови данни от 2004 г. досега за горски и полски пожари, класифицирани по различни критерии.



Фиг. 5.20. Изгорели площи от пожари през 2007 година в Хасковска област.
Изображение: Landsat TM



Фиг. 5.21. Пожар в община Средец от 27.08.2012 г. Изображение: MODIS „Terra“ (НАСА)

5.4. Приложение на дистанционните методи в сеизмологията

Силните земетресения се предхождат от аномално изменение на редица различни параметри – геофизични, геоложки, геодезични, геохимични, геоелектрични и др. – в района на бъдещия епицентър. Задачата за изследване на тези параметри на огромни територии, обхващащи стотици и хиляди квадратни километри върху земната повърхност, в земните недра и в атмосферата, при това с необходимите висока точност, надеждност, мащабност, експресност и оперативност, може да бъде решавана ефективно само чрез използване на аерокосмически методи, технологии и технически средства.

Космогеология

Най-важната предпоставка за очертаване на сеизмоопасните райони е определянето на геоложката обстановка. Космическите методи и средства са в състояние да дадат много ценни сведения за геоложките процеси – както за тези, които са се развивали в стари геоложки времена, така и за продължаващи в по-нови епохи, и за съвременни.

С появяването и развитието на космическите изследвания, и в частност на дистанционните аерокосмически методи и средства, геолозите, включително и занимаващите се с изучаване на причините, прогнозирането и последиците от силните земетресения, получиха ново мощно и уникално изследователско средство. Уникалността на дистанционните аерокосмически снимки по отношение на геологията се дължи преди всичко на големия им обзор, обективността при изобразяване на земната повърхност и естествената им интеграция и генерализация. Поради всичко това днес геологията заема едно от централните места сред науките, използващи аерокосмическите технологии за решаване на задачите си. Мащабното внедряване на новите космогеологични методи в геоложките изследвания е основание за оформяне на ново научно направление – *космическа геология* или *космогеология*.

Особен интерес за прогнозирането на земетресения представляват разломите –

местата на пресичане на отделните геоложки структури. Това са именно лабилните зони, по които става придвижването на земните блокове един спрямо друг и се освобождава сеизмична енергия, т.е. стават земетресения. Обикновено на космическите изображения разломните нарушения се разкриват предимно въз основа на геоморфоложки признаци – формите на релефа на земната повърхност, произхода и измененията, настъпващи в тях под действието на външни и вътрешни земни сили, и др.

Изучаване на сеизмоактивни разломи чрез дистанционни изображения

При дешифрирането на космически изображения са потвърдени известни стари разломи и са открити нови такива. Установен е и един много важен факт. Още при първите опити за дешифриране на космически снимки се оказва, че на тях се изясняват образувания, незабележими при изучаване на повърхностния слой на земната кора чрез традиционните геоложки методи. Изяснява се, че тези образувания съответстват по структура на слоеве, намиращи се по-дълбоко и които са установени по геофизични данни. Най-характерен пример за това са *линеаментите*. Те са линейни или дъгообразни структурни елементи на земната кора, обикновено представляващи разломи – разриви на земната кора. Линеаментите предизвикват интереса на геолозите вече над 150 години, но все още тяхната природа и геолошко значение крият загадки. А това, което днес знаем за тях, до голяма степен се дължи на дистанционните аерокосмически снимки. Линеаментите имат съществено значение при решаването на един важен приложен проблем, а именно прогнозирането на сеизмичността.

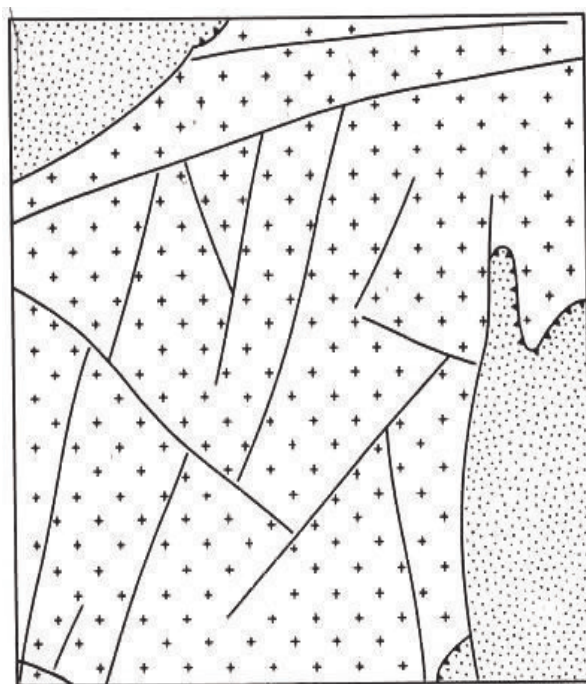
При геолого-геоморфоложката интерпретация на материалите от космически снимки се очертават границите на сеизмогенните зони. Те се откриват по редица признаци. При разкриването на сеизмогенните зони най-напред се определят активните разломи. В случаите на незначителни отмествания на релефа в зоната на разлома обикновено има повишена ерозионна разчлененост. При по-големи отмествания (от порядъка на стотици метри) се забелязва отчетлива линейна граница, разделяща различните в геоморфолошко отношение райони. Особено отчетливо се забелязват сеизмоактивните разломи на контактите между основни скали и рохкави отлагания.



Фиг. 5.22. Снимка на сеизмогенния разлом Сан Андреас в Калифорния, САЩ

На космическите снимки сеизмоактивните разломи имат различна морфоложка изразеност, като отделните морфоложки елементи са представени в различни съчетания. Дълбочинните разломи, които често са източници на сеизмични еокатастрофи, се проявяват на космическите снимки като зони, включващи разривни и нагънати дислокации, дайки и интрузии. В районите с мощна обвивка от рохкави отлагания дълбочинните разломи се фиксират по геоморфоложки признаци: рисунък на речната мрежа, линейни форми на релефа и др.

Като резултат от дешифриране на космически снимки и съпоставяне на получената информация с геоложка, геоморфоложка и геофизична информация, получена по традиционните наземни методи, се получава възможност за класифициране на разломите по дължина, ширина, дълбочина и т.н. Такава класификацията позволява отделянето на различни по размери блокове на земната кора, отличаващи се по ландшафтни признаци. За съседни блокове, изпитващи тектонски движения в различни посоки, е характерна рязка разлика в строежа на релефа, състава на скалите, растителната покривка и т.н. За блокове, движещи се в една посока, но с различни интензивности, подобни разлики в строежа на релефа са по-слабо забележими, докато разликите в характера на растителната покривка и в строежа на хидроложката мрежа са изразени отчетливо.



Фиг. 5.23. Схема на геологическо дешифриране на космическа снимка.
С линиите са отбелязани разломите.

Установено е, че съществува връзка между магнитуда на земетресенията и дължините и дълбочините на сеизмогенните разломи, размерите на ограничените от тях блокове на земната кора, неравномерността при преместване на отделните блокове по разломите и т.н.

Обаче далеч не всички разломи са сеизмогенни. Различаването на сеизмогенните разломи от асеизмичните става по няколко признака: по исторически и съвременни сеизмични дислокации и по макросеизмични и апаратурни данни. На космически снимки с достатъчна надеждност могат да се отделят два вида сеизмични дислокации: сеизмотектонски и сеизмогравитационни. Те се установяват чрез последователен анализ на космически снимки, направени преди и след земетресението.

Вече съществуват стотици хиляди космически снимки практически на цялата земна повърхност, на базата на геоложкото дешифриране и интерпретиране на които са получени редица различни карти на линеаменти и са направени различни изводи.

Важно значение за дистанционното изучаване на линеаментите имат и визуалните наблюдения от борда на пилотирани космически кораби, орбитални станции и космически совалки.

Аерокосмически методи при изучаване на последствията от катастрофални земетресения

В генетично отношение явленията, съпътстващи едно земетресение, могат да се подразделят на три вида: сеизмотектонски, сеизмохидродинамични и сеизмогравитационни. Изследванията на тези явления чрез аерокосмически технологии определят качествено нов етап в тази насока.

До началото на 90-те години на миналия век за дистанционно изучаване на сеизмодислокации след катастрофални земетресения се използват главно фотографски снимки във видимия и близкия инфрачервен диапазон. Динамиката на развитие и сложността на геоложките структури, обект на тези снимки, както и обективните затруднения при неблагоприятни метеорологични условия мотивират търсенето на възможности за използване и на други области на електромагнитния спектър и преди всичко на радиодиапазона. Основното предимство на радиолокационните снимки при такива изследвания е проникващата способност на радиосигнала, която дава възможност за получаване на информация и за обектите и структурите, намиращи се в дълбочина, маскирани от растителна или почвена покривка, наноси и т.н.

Редица примери от практиката потвърждават високата ефективност на космическите радиолокационни изображения. По отношение на активните тектонски структури тези изображения показват висока информативност дори и в условия на планински, ситно и дълбоко разпокъсан релеф, като позволяват изучаването не само на регионални, но и на достатъчно детайлни локални структури.

Дистанционни аерокосмически снимки са използвани много успешно и за изучаване на сеизмодислокациите след катастрофални земетресения. Чрез тях се прави привързване на районите на поражения със зоните на активизираните разломи, както и уточняване и оценяване на щетите, нанесени на населените места.



Фиг. 5.24. Космическа снимка на японския град Натори: преди (вляво) и след (вдясно) земетресението от 11 март 2011 г., разтресло полуостров Ошика, Япония.



Фиг. 5.25. Космически снимки на столицата на Хаити Порт о Пренс преди (вляво) и след (вдясно) катастрофалното земетресение на 12 януари 2010 г. В центъра на снимките е градският стадион, в който след трусове е организиран временен лагер.

Очевидно е, че използването на дистанционна аерокосмическа информация дава възможности оперативно и с висока степен на обективност да се изучат и охарактеризират условията за възникване на отрицателните ефекти на сеизмичните екокатастрофи. Така може да се прогнозира опасно уязвими участъци при микросеизмичното райониране и при други инженерно-геоложки мероприятия.

Дистанционно изследване на някои сеизмопредвестникови параметри

Явленията, предхождащи земетресения, се наблюдават на различни по големина територии. Предвестници на силните земетресения са регистрирани на разстояния няколко стотин километра от епицентъра. Едни от тях се проявяват години или месеци преди труса, други само няколко дни и часове, а в някои случаи и само минути преди това. Тук накратко ще разгледаме само някои сеизмопредвестникови параметри, които могат да се изследват чрез аерокосмически методи и средства, а именно – деформация на земната повърхност, аномално изменение на нивото на подпочвените води и температурни аномалии на повърхностния земен слой.

1. Деформации на земната повърхност

Безспорно е, че аномалното движение на земната повърхност, водещо до деформирането ѝ, е един от основните предвестници на сеизмична екокатастрофа. При това силата на земетресението е свързана с размерите на областта, в която става неговата подготовка. Това означава, че едно катастрофално земетресение би трябвало да деформира големи области от земната повърхност.

Движението на земната кора, ставащо на големи територии, може да се изучи единствено чрез геодезична снимка. Тя се прави въз основа на два основни метода: триангулация – чрез която се определя хоризонталното положение на точките от земната повърхност, и нивелация – определят се височините им спрямо морското равнище. Полу-

чените точки се фиксират върху земната повърхност във вид на репери и триангулационни точки. След време при повторни геодезични измервания може да се отчете промяната в тези положения и височини, а оттам и да се определи движението на земната повърхност.

Прецизни повторни геодезични измервания в редица области на бъдещи земетресения показват, че в период от няколко месеца до няколко години преди труса се изменят средната хоризонтална и вертикална скорост на движение на земната повърхност.

Съществуват и *емпирични формули* за приблизителни зависимости между предполагаемия магнитуд на земетресението и средния радиус на деформираната област от земната повърхност.

Експресното получаване на геодезични данни за деформации на земната повърхност дава възможност за повишаване при нужда на интензивността на изследване на други сеизмопредвестникови параметри – сеизмични, геофизични, хидроложки, геохимични и др., чрез съгъстяване на наблюдателната мрежа в района, увеличаване на честотата и точността на измерванията и т.н.

Изучаването на сеизмичните предвестници по геодезични и космически данни води началото си от около 1973 г. Особено успешно е изучаването на дългосрочните предвестници на специално подбраните за целта геодинамични полигони в сеизмоактивни райони.

Високоточните геодезични измервания с необходимата за прогностични цели експресност стават възможни благодарение на един модерен и бързо развиващ се дял на геодезичната наука – *космическата геодезия*. Тя е раздел от геодезията, в който с космически методи и средства се изучават взаимното разположение на точки от земната повърхност, размерите и формата на Земята и параметрите на гравитационното ѝ поле. Космическата геодезия разполага с два способа, чрез които се постигат необходимите високи точности на следене и изучаване на движенията и деформациите на земната кора в сеизмоактивните зони. Първият е *лазерната локация на геодезичен сателит*, а вторият е *радиоинтерференцията*.

Изключително ефикасни и перспективни при изследване на съвременната геодинамика, а оттам и за прогнозиране на силни земетресения, са измерванията чрез глобални позициониращи системи – GPS (*Global Position System*). Използването и на втора честота при тях позволява да се постигне точност от порядъка на милиметри.

2. Аномално изменение на нивото на подпочвените води

Още в древни японски ръкописи се споменава за изменението на някои параметри – ниво, температура, мътност, соленост, химичен състав и т.н., на подземните води в навечерието на силни земетресения. Всички тези явления са обект на научни изследвания като сеизмопредвестникови параметри при прогнозиране на земетресения. Резултатите потвърждават предположението, че аномално понижаване и повишаване на нивото на подземните води е тясно свързано с тектонските деформации, предшестващи земетресенията.

Стационарните измервателни точки в сондажи и кладенци не са в състояние да дадат оперативна и ефективна информация за измененията на това ниво, годна за прогнозиране на силни земетресения. Поради това дистанционните аерокосмически методи и средства могат да бъдат много ценни при експресно изучаване на големи територии на аномалното

изменение на нивото на подпочвените води.

Използването на дистанционните свръхвисокочестотни (СВЧ) методи позволява получаване на информация и за нивото на подпочвените води. Ако това ниво се използва в качеството на сеизмопредвестников параметър, е нужна информация не толкова за абсолютните стойности, колкото за относителните изменения на нивото.

Повишаването на точността на дистанционното измерване на нивото на подпочвените води изисква преди всичко установяване на възможно най-точни калибровъчни съотношения между коефициента на излъчване на почвата, влажността на повърхностния почвен слой и нивото на подпочвените води. Това може да стане чрез използване на регионални бази от данни за радиоизлъчвателните и хидрофизичните характеристики на почвата.

3. Температура на повърхностния земен слой

Дистанционните аерокосмически методи и технологии могат да бъдат много полезни при изучаване и на друг сеизмопредвестников параметър – аномалните изменения на температурата на повърхностния земен слой в района на подготвящото се земетресение.

Вече са натрупани достатъчно факти, които говорят за изменение на температурния режим в повърхностните земни слоеве през периодите на повишаване на сеизмичната активност. Най-напред това е установено в епицентралната област на катастрофалното Тяншанско земетресение през 1976 г. в Китай. Месеци преди труса метеорологичните наблюдения на обширна територия показват необикновено високо $\sim 2^{\circ}\text{C}$, повишение на температурата на почвата.

Повишаването на температурата на земната повърхност преди земетресение може да се обясни с различни причини. Една от тях е изменението на влажността. Аномалното поведение на нивото на подпочвените води в кладенци и плитки сондажи в навечерието на земетръсни екокатастрофи води до колебанията на влажността на почвата. В резултат на това се изменят топлофизичните характеристики, условията на топлообмена, влагообмена и съответно температурата.

Топлинни аномалии в почвата могат да се създадат и чрез други механизми, например локален парников ефект.

Съвременната апаратура за дистанционно изследване на Земята в инфрачервения (ИЧ) диапазон позволява да се осъществи мониторинг на топлинното поле с пространствена разделителна способност, по-добра от 1 km, и температурна $\sim 0.4^{\circ}\text{C}$.

Има достатъчно примери, при които е установена статистически значима корелация между активизирането на топлинното излъчване на земната повърхност в определени райони и повишаването на сеизмичната активност в тях. Следователно дистанционното изследване на Земята в ИЧ диапазон може да служи за изучаване на сеизмоактивни райони и в близко бъдеще да даде принос в решаване на проблема за прогнозиране на сеизмични екокатастрофи.

Дистанционни аерокосмически изследвания в палеосеизмологията

Не всички активни разломни зони и не по цялото си протежение могат да пораждат земетресения. Натрупаната енергия може да се освобождава както във вид на мигновени импулси, т.е. земетресения, разделени от епохи на относително спокойствие, така и плавно или скокообразно, но с толкова слаби и чести скокове, че те да се възприемат като

непрекъснато движение. Следователно един от основните въпроси на сеизмопрогнозирането се свежда до това, кои са активните разломи с импулсен режим на освобождаване на натрупаната енергия. Отговорът се състои в колкото елементарен на пръв поглед, толкова и доказал правилността си принцип – където е ставало силно земетресение, там пак ще стане сеизмична екокатастрофа. На този принцип се базира *палеосеизмологията* – раздел от сеизмологията, изучаващ къде и кога в миналото са ставали силни земетресения.

Палеосеизмологичните изследвания са особено ценни за райони, за които липсват или са недостатъчни историческите и археологичните данни за станалите сеизмични катастрофи. За ефективността на такива изследвания са необходими и благоприятни ландшафтно-климатични условия, гарантиращи доброто изразяване и съхраняване на остатъчните *сеизмодеформации (палеосеизмодислокации)* през вековете.

Днес палеосеизмологичните изследвания са нискоефективни, а често и невъзможни без използването на дистанционни аерокосмически технологии. Чрез аерокосмически снимки се търсят следи от древни сеизмични екокатастрофи, както и доказателства за повтарянето им. След дешифриране на аерофотоснимки и космически снимки са открити следи от силни земетресения, станали преди много векове в южните части на Сибир, в Средна Азия, в Индия, в Монголия и др. Оказва се, че трусове с различни интензивности са оформяли различни специфични деформации на релефа. По тях е възможно да се определят и честотите на повтаряне на земетресенията.

В редица случаи размерите на изследваната територия са толкова големи, че търсенето на палеосеизмодислокации е затруднено дори и при използване на аерофотоснимки. В тези случаи единствената възможност са космическите снимки.

Една особено благоприятна за изучаване на сеизмичността на базата на палеосеизмични данни с използване на аерокосмически методи е територията на Централна Азия. От една страна, липсват пълни статистични данни за станалите в далечно минало земетресения, а от друга, ландшафтно-климатичните условия са благоприятни и добре са съхранили палеосеизмодислокациите. Важна особеност на силните исторически земетресения в Централна Азия е еднообразието на остатъчните сеизмодеформации. Практически всички тези земетресения са съпроводени с образуване на повърхностни разриви с дължини десетки и стотици километри, отличаващи се със специфични морфоложки признаци, което позволява надеждното им дешифриране. Ефективността от използването на аерокосмическите технологии се обуславя от голямата територия и трудната достъпност на района.

Безспорно е, че космическите снимки могат с успех да се използват за търсене и изучаване на палеосеизмодислокации, тъй като позволяват оперативно и с достатъчна прецизност да се изследват обширни територии, да се откриват в тях предполагаемите палеосеизмични структури, да се определят на предварителните етапи от изследването на взаимоотношенията между отделните палеосеизмодислокации и да се анализира тяхното взаимно разположение както спрямо елементите на древните, така и спрямо най-новите тектонски структури. От своя страна, едромащабните аерофотоснимки допълват космическите снимки, защото позволяват по-детайлно да се изследват отделните палеосеизмодислокации. Съвместното използване на аероснимки и на космическите снимки, допълнени с информация от наземните изследвания, позволява получаването на пълна и обективна характеристика на палеосеизмодислокациите, което в крайна сметка е ценна база за прогнози.

„Там Слънцето никога не се показва... Там цари вечна нощ!“ – със суеверен страх разказвали за „морето на мрака“ завърналите се от далечни плавания в района на Канарските острови в Атлантическия океан древни мореплаватели, опитвайки се да обяснят преживяното с намесата на божествени и свръхестествени сили.

5.5. Приложение на дистанционните и геоинформационни технологии за изучаване на прахови бури

В историческите хроники могат да се намерят редица описания на „внезапно настъпила нощ“, която продължавала „от няколко часа до няколко денонощия“. В „Книгата на книгите“ – Библията, също се споменава за „Тъма египетска“, която скрила Слънцето.

Няма съмнение, че във всички тези случаи става въпрос за природни екологични катастрофи, причинени от огромни маси прах и пясък, попаднали в земната атмосфера – *прахови бури*. Независимо че още от края на XIX в. *праховите бури*, наричани още и *пясъчни бури*, *черни бури*, *прахови мъгли* и др., са обект на сравнително систематично наблюдаване и изучаване, както и на редица научни публикации и монографии, все още няма общоприето точно определение на понятието прахова буря. Според една дефиниция от средата на XX в. това е явлението, когато при силен вятър във въздуха се вдигат много прах, пясък и частици суха почва, следствие на което настъпва затъмнение на атмосферата и видимостта значително намалява. Според други определения под прахова буря трябва да се разбират силни ветрове, които при определени условия причиняват издухване и пренасяне на повърхностния почвен слой чрез въздушни потоци, понякога на далечни разстояния. Тези и други определения на прахова буря недостатъчно точно отразяват същността и природата на явлението. Поне що се отнася до селското стопанство и фермерството, би трябвало да се добави и разрушаване (ерозия) на повърхностния почвен слой. Може да се предложи следната дефиниция: праховата или пясъчната буря е едромащабно замърсяване на атмосферата с частици почва и пясък, причинено от силни ветрове, които разрушават и издухват повърхностния почвен слой. Образованите турбулентни вихри повдигат частиците почва и ги пренасят на значителни разстояния. Заедно с тези частици във въздуха могат да бъдат вдигнати посеви или току-що засети семена.

Специалисти от различни области на науката и практиката отдавна се занимават с изучаване на праховите бури, но механизмът на формирането им е окончателно изяснен едва след анализа на данните от многобройни космически снимки и визуални наблюдения от Космоса на това явление. Причината е, че праховите бури възникват предимно в трудно достъпни и слабо изучени райони на Земята от една страна и се разпространяват на огромни разстояния, от друга.

Дистанционните изследвания от Космоса позволяват да се разкрият както местоположението на огнището на праховата буря, така и да се получи информация за характера и структурата на земната повърхност в огнището и данни по пътя на движение

на бурята. Това е особено важно, защото освен метеорологичните фактори решаваща роля за появяването на прахови бури играят и съставът на повърхностния почвен слой, топографията на района, здравината на закрепване на растителността върху почвата, наличието на пресъхнали езера и т.н. Обективна информация за всички тези параметри може да се получи от космически снимки с пространствена разделителна способност 50-100 m, направени преди възникването на бурята. От такива снимки, съпоставени със снимки по време на праховата буря, могат да се определят и границите на огнището ѝ.



Фиг. 5.26. Космическа снимка от 1 април 2015 г. Праховата буря е обхванала атмосферата над Саудитска Арабия и Обединените арабски емирства (ОАЕ). На 4 април 2015 г. праховите облаци достигнаха Пакистан и Индия.

Много информативни са космическите топлинни инфрачервени (ИЧ) снимки, на които праховите бури се дешифрират надеждно както през деня, така и през нощта. На такива снимки добре се виждат и местата, където праховото образувание е най-мощно, т.е. концентрацията на прахови частици е най-висока.

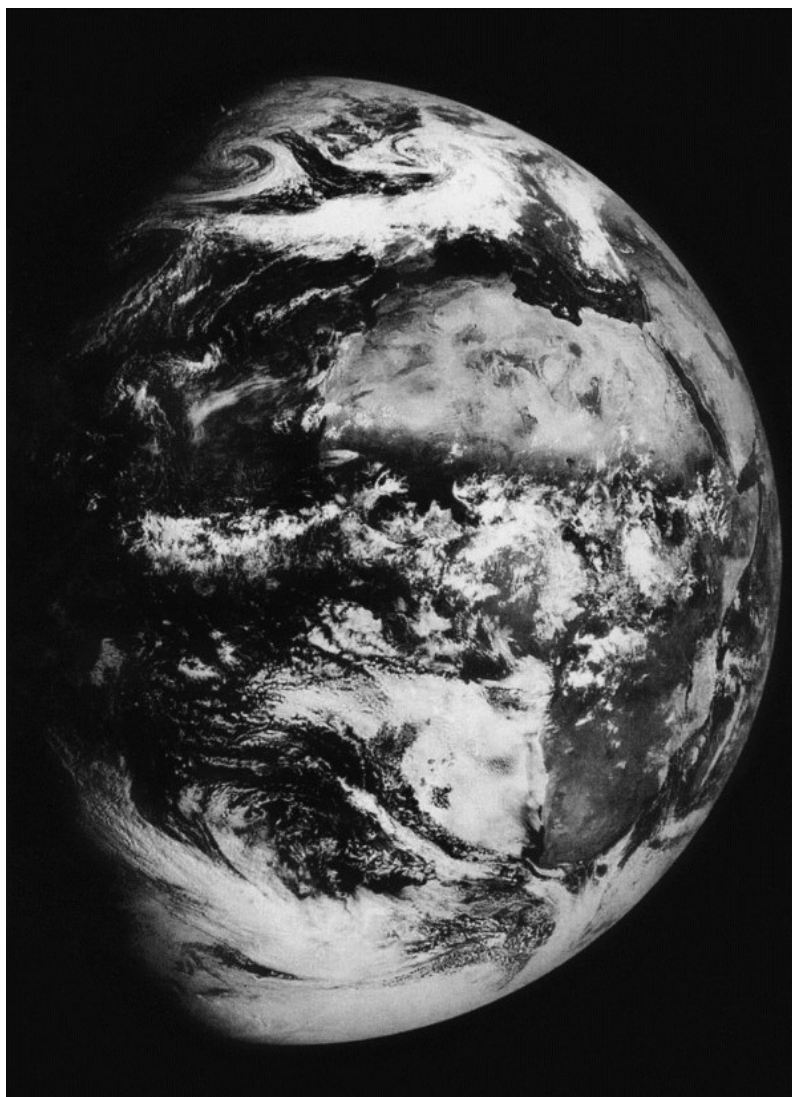
За огнища на прахови бури, разположени в крайбрежни зони, са полезни и снимките в близката ИЧ област на спектъра, защото на тях най-надеждно се открива разликата между праховото замърсяване на атмосферата и замърсяването на акваторията от наносите на реките.

Космически изображения на прахови бури, обхванали огромни територии, са получавани и от междупланетни космически летателни апарати. Една от първите такива снимки е направена от „Зонд-5“ през месец септември 1968 г. От глобалната космическа фотоснимка се вижда, че праховата буря, обхванала южната част на Сахара, е на територия с размери приблизително 2 500 × 600 km. Прахта е вдигната от пясъчните пустини на Мавритания и Нигер. Най-отчетливо праховият облак се дешифрира над земна повърхност с тъмен цвят, какъвто в случая е районът на платото Адрар-Ифараз. Подобни снимки са получавани и от междупланетната автоматична станция „Зонд-7“.

Досегашният опит показва, че най-ефективни в изучаването на прахови бури са едромащабните телевизионни изображения, получавани от метеорологични сателити. Благодарение на такива телевизионни космически снимки се потвърждава хипотезата, че е възможен трансокеански пренос на прахови частици. Това обяснява защо в повърхностния почвен слой на някои райони на американския континент са открити прахови частици, абсолютно идентични с тези от африканската почва.

Освен на видимите телевизионни изображения трансокеански пренос на прах се дешифрира надеждно и на топлинни ИЧ снимки, направени от геостационарни сателити.

Информацията от еднократна космическа снимка на действащо огнище на прахова буря невинаги дава възможност за надеждно определяне на границите на огнището или



района, обхванат от бурята. Затруднения от такъв характер има за огнища на територията на Китай, в южната част на Иран, в Северна Америка и др. Само серия от снимки на нееднократно активизиращо се едно и също огнище дава гаранция за надеждно определяне на границите му.

Фиг. 5.27. Глобална космическа снимка на Земята, направена от „Зонд-5“ на път за Луната през месец септември 1968 г.

На базата и на дистанционна космическа информация, получена от метеорологични сателити, пилоти-

тирани космически кораби (ПКК) и главно от сателитите „Landsat“ и „ESSA“, са съставени карти на огнищата на прахови бури. Въпреки че според тази карта огнища на прахови бури има на всички континенти на полукуълбото, все пак на нея с интензивния си генезис се откроява Африканският континент. Пак на базата на космическа информация могат да се дефинират няколко района на Земята, характеризиращи се с по-високата честотата на повторение и големите мащаби на праховите бури: Средиземноморско крайбрежие, Източноафриканско-Судански район, Централно-запандоафрикански район, Арабски полуостров и Долно Поволжие-Северен Кавказ.

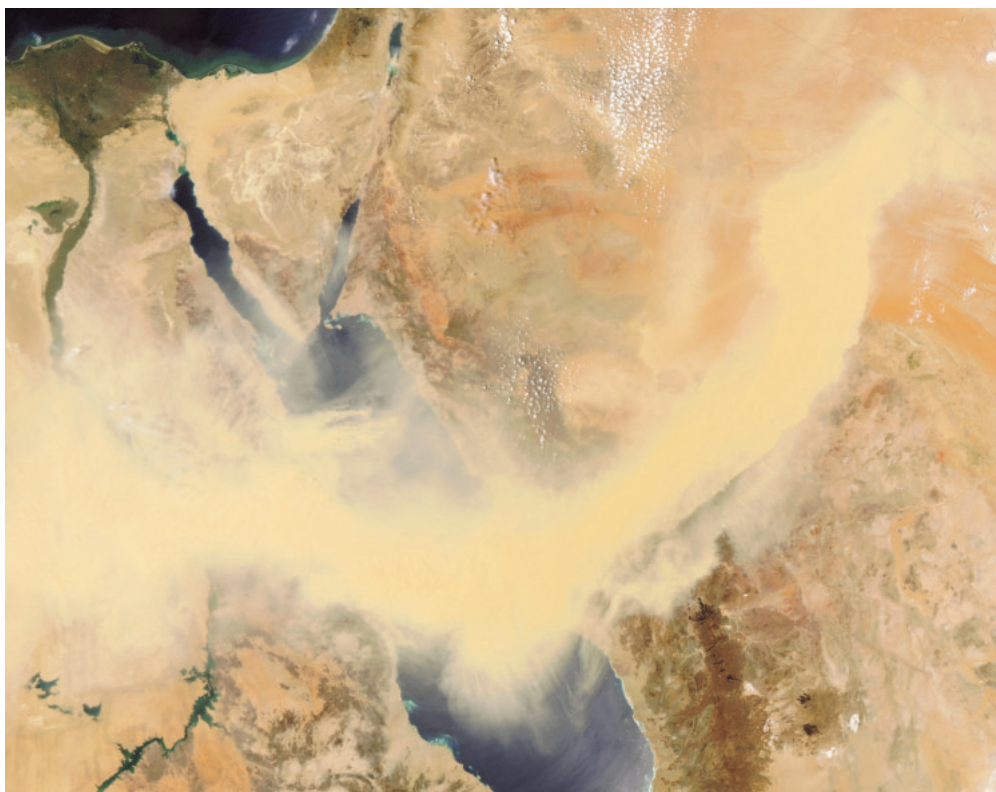
Най-характерни места на възникване на прахови бури в Средиземноморското крайбрежие са африканските брегове на териториите на Мароко, Алжир, Тунис, Либия и Египет. Там те се генерират основно при преминаването на хладен въздух от циклоните в Северна Африка.

По данни от космически снимки са открити огнища на прахови бури и по бреговете на Каспийско море, в Централно-черноземните райони на Русия, в Монголия, в равнините на Украйна и т.н.

Оскъдни са космическите данни за огнища на прахови бури в Северна Америка. На североамериканския континент е отбелязано само едно такова огнище, дешифрирано по космическа телевизионна снимка. То е разположено в пустините на щатите Ню Мексико и Колорадо.

Опитът показва, че за изучаване на прахови бури трябва да се използват различни

космически снимки – от локални до глобални, което да гарантира както диференциране на подстилащата повърхност, така и да дава възможност за проследяване на движението на големите прахови облаци.



Фиг. 5.28. Космическа снимка на прахова буря над Червено море, направена от борда на сателита MODIS „Aqua“. Източник: NASA

Ценни сведения за праховите бури се получават и от визуалните наблюдения от борда на пилотираните космически летателни апарати. Първото визуално наблюдение на прахова буря от Космоса е направено от борда на ПКК „Gemini-5“ през 1965 г. Оттогава десетки космонавти са наблюдавали визуално или са фотографирали както огнища на зараждане на прахови бури, така и движението на облаци от прахови частици в атмосферата.

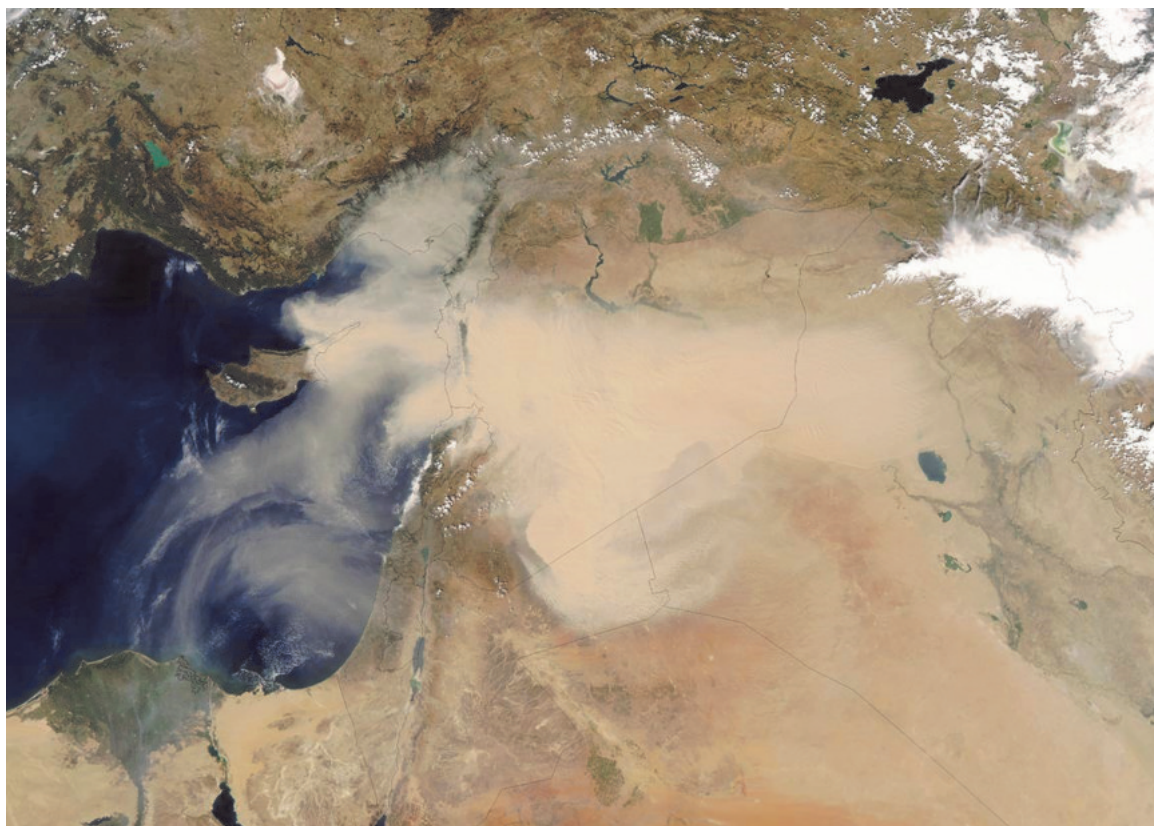
Всички екипажи на орбиталната станция (ОС) „Салют“ наблюдават прахови бури. Прахови бури наблюдават и екипажите на ОС „Skylab“, „Мир“ и на космическите совалки „Columbia“, „Challenger“, „Discovery“ и „Atlantis“.

По космически данни е установено, че средната продължителност на съществуване на праховите облаци е около пет денонощия.

Благодарение на дистанционните аерокосмически изследвания е потвърдено и конкретизирано, че роля за появяване на нови огнища на прахови бури играе и антропогенният фактор. Така например, унищожаването на макар и оскъдната растителност в сухи райони рязко разрушава повърхностния почвен слой и улеснява издухването му от вятъра. Характерни примери за това са Синай и Сахел в Североизточна Африка.

Въпреки получената предимно чрез космическите методи и средства сравнително богатата информация за възникването и разпространението на праховите бури, все още някои детайли от механизма на образуването им при различни типове подстилаща повърхност не са изцяло изяснени. Пред дистанционните аерокосмически изследвания

стоят задачите за изучаване на условията за образуване и връзката с различните типове подстилаща повърхност, динамиката и структурата, повторяемостта и т.н. на праховите бури, както и за изучаване на геоложкото действие на праховите бури като мощен геоложки агент за пренос на минерални частици на дълги и свръхдълги разстояния.



Фиг. 5.29. От Космоса беше проследена праховата буря в Близкия Изток, възникнала на 31 август 2015 г. и достигнала пика си на 8 септември 2015 г.

5.6. Изучаване на мълнии чрез дистанционни аерокосмически изображения

Независимо от честото си проявяване, електрическите разряди в атмосферата са едно от най-загадъчните и недостатъчно изучени явления. Благодарение на космическите технологии през последните години е налице сериозно изменение на нашите представи за причините и механизмите на пораждане и действие на мълниевите разряди.

Ефективното изучаване на мълнии чрез космически технологии води началото си от 80-те години на миналия век. Дотогава информацията, получена от сателити, се използва предимно за качествен анализ. Едни от първите изследвания на мълниевите разряди с космически методи и средства са направени чрез орбитални слънчеви обсерватории от типа „OSO” (Orbital Sun Laboratory). Това са сателити, летящи по орбити с височини в апогей $H \approx 600$ km, в перигей $H \approx 530$ km и с наклони $a \approx 30^\circ$. За изследване на мълнии са използват оптични сензори на мълнии OLS (Optical lightning Sensor), които се състоят от 12 силициеве фотодиода с поле на обзора на ниво земна повърхност 700×700 km. Амплитудата на регистрирания светлинен ефект на мълнията се цифрова в 16 дискретни нива с честота на дискретизация 1 s.

Поради други приоритетни задачи сателитите от типа „OSO” предават към Земята само ограничен обем данни за регистрираните мълнии. При анализа на данните от 15 статистически подбрани орбити в периода от септември 1974 г. до март 1975 г., е установено, че на 10 от тях са регистрирани около 10 хил. мълниеви разряда. Изчислената средна електрическа мощност на мълниите е от порядъка на $1 \cdot 10^5 \text{ kW}$, като само около 2 % от всички мълнии са с мощности, превишаващи 10^7 kW .

За да се установи разпределението на мълниите в глобален мащаб, сензорите OLS са монтирани и на метеорологични сателити „DMSP-8531” (Defense Meteorological Satellite Program). Тези сателити са на Военновъздушните сили на САЩ и летят на слънчево-синхронна полярна орбита с височина $H \approx 840 \text{ km}$, наклон $a \approx 99^\circ$ и период $T \approx 102 \text{ min}$. Сензорите се включват, когато сателитът е на нощната страна на Земята, около полунощ по местно време.

По нощните изображения на Земята, получени от метеорологични сателити в диапазона $0.45 \mu\text{m} < \lambda < 1.1 \mu\text{m}$, чрез установяване на броя и мястото на мълниите могат да се очертаят границите на силни бури. Като индикатор за развитието им може да служи плътността на мълниите. Първият характерен сполучлив опит в тази насока е още при силната буря на 14 ноември 1972 г. над западната част на Флорида, когато е изчислена плътност на мълниите около $2.4 \cdot 10^{-5}$ мълнии за 1 s на 1 km^2 . При втория случай в зоната на много силна буря на 3 април 1974 г. е регистрирана около 6 пъти по-висока плътност – $1.5 \cdot 10^{-4}$ мълнии за 1 s на 1 km^2 .

Глобално изследване на мълнии е организирано на базата на данни, получавани от скенери с висока разделителна способност, монтирани също на сателити от серията „DMSP”. Високочувствителният скенер има максимална чувствителност при $\lambda = 0.80 \mu\text{m}$, а ширината на работния диапазон е от 0.57 до $0.97 \mu\text{m}$. Това позволява получаване на изображения на мълнии през много голяма част от денонощието. Мълниеви разряди са дешифрирани на нощни изображения, направени в диапазона географски ширини между $60^\circ \text{ ю.ш.} - 60^\circ \text{ с.ш.}$ Мълниите се откриват лесно, защото за разлика от факлите на горски пожари, от открит огън на нефтени сондажи или от светлини на големи градове на изображенията те се характеризират с много по-малката си ширина. Освен това мълниите винаги са на фона на облачност.

В редица последващи изследвания, базиращи се на сателитни данни, е установена разлика между плътността на мълниите над сушата и над океаните. С цел установяване на вероятния механизъм за генериране на тази разлика са използвани регистрираните чрез сателити от сериите „OSO”, „DMSP”, „Explorer” и други в няколкомесечни интервали мълнии над географски ширини между 60° с.ш. и 60° ю.ш. за два момента през денонощието: при смрачаване и при разсъмване.

За изучаване чрез космически методи и технологии на процесите на образуване и разпределение на електрическите заряди в атмосферата, на глобалната електрическа система и на йоносферно-магнитосферните връзки се използва сензорен комплект LIP (Lighting Instrument Package). В тези изследвания се набляга и на разработването на алгоритми, които използват данни за мълнии, както и координатен достъп до тези данни. Използват се оптични сателитни сензори за регистриране на светкавици като например OTD (Optical Transient Detector), LIS (Lighting Imaging Sensor) и др.

LIP носи своето начало още от 1980 г. и включва сензори, които измерват оптичните и

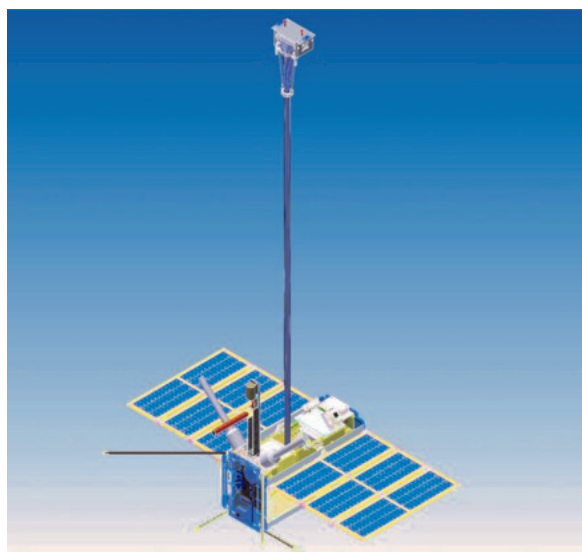
електричните емисии, свързани с мълниите. Регистрира се и спектърът на светкавиците във видимия и в близкия инфрачервен диапазон. През нашия век се използват и подобрени LIP-версии, които могат да регистрират общото количество на мълниите при буря и да правят разлика между вътрешнооблаковите разряди и разрядите облак-земя.

Мълнии са изследвани и чрез сателити от сериите „NOAA“, „Ariel“ и др.

Безброй мълнии наблюдават и почти без изключение всички космонавти. Според тях от Космоса мълниите изглеждат по-различно, отколкото от Земята. По време на буря от борда на космическия летателен апарат те се виждат като „непрекъснати“ и „във всички посоки“, „осветяващи почти целия хоризонт“.

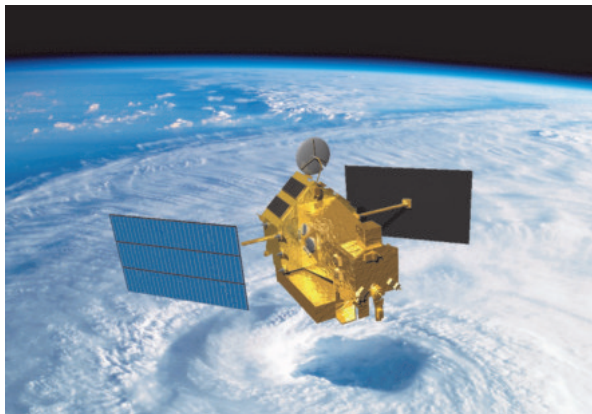
Космическата апаратура за изучаване на мълнии трябва да притежава редица специфични характеристики, и на първо място апаратурата да има изключително висока разделителна способност по време – от порядъка на наносекунди. Обемът на получаваните данни е изключително висок – много кратко време (от порядъка на 10 микросекунди) трябва да се анализират и зарегистрират до 100 гигабайта данни. При такива параметри непрекъснат запис на наблюденията е невъзможен.

През 2011 г. от борда на товарния космически кораб „Прогрес М-13М“ в околоземна орбита е изведен руският микроспътник „Чибис-М“. Неговото основно предназначение е изследване на физичните процеси при електрически разряди в атмосферата.



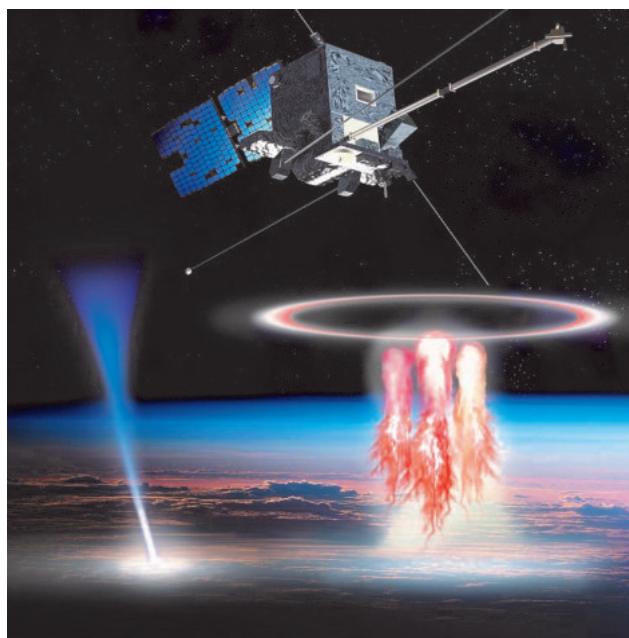
Фиг. 5.30. Микроспътника „Чибис-М“

На микросателита „БалканСат“ разработван от балканските страни с водещо българско участие, наред с другите апарати и системи за дистанционно изследване на Земята и контактни измервания на космическата плазма, се предвиждат и сензори за регистрация на атмосферни мълнии. На борда на сателита на НАСА – TRMM (Tropical Rainfall Measuring Mission) вече 17 години успешно работи модернизираният вариант на системата LIS за регистрация на атмосферни мълнии.



Фиг. 5.31. Артистично представяне на сателита TRMM (ляво) и на GOES-16. *Източник: NASA*

Френският сателит “Таранис”, разработен от CNES, носи името на келтския бог на гръмотевиците. На височина около 700 km този сателит е идеално позициониран за изучаване на бурите и мълниите в горните слоеве на атмосферата.



Фиг. 5.32. Артистична рисунка на сателита “Taranis”. *Източник: CNES*

Специалисти от НАСА твърдят, че благодарение на сателита GOES-16 (Geostationary Operational Environmental Satellite) изучаването на мълнии стана много по-лесно и ефективно.

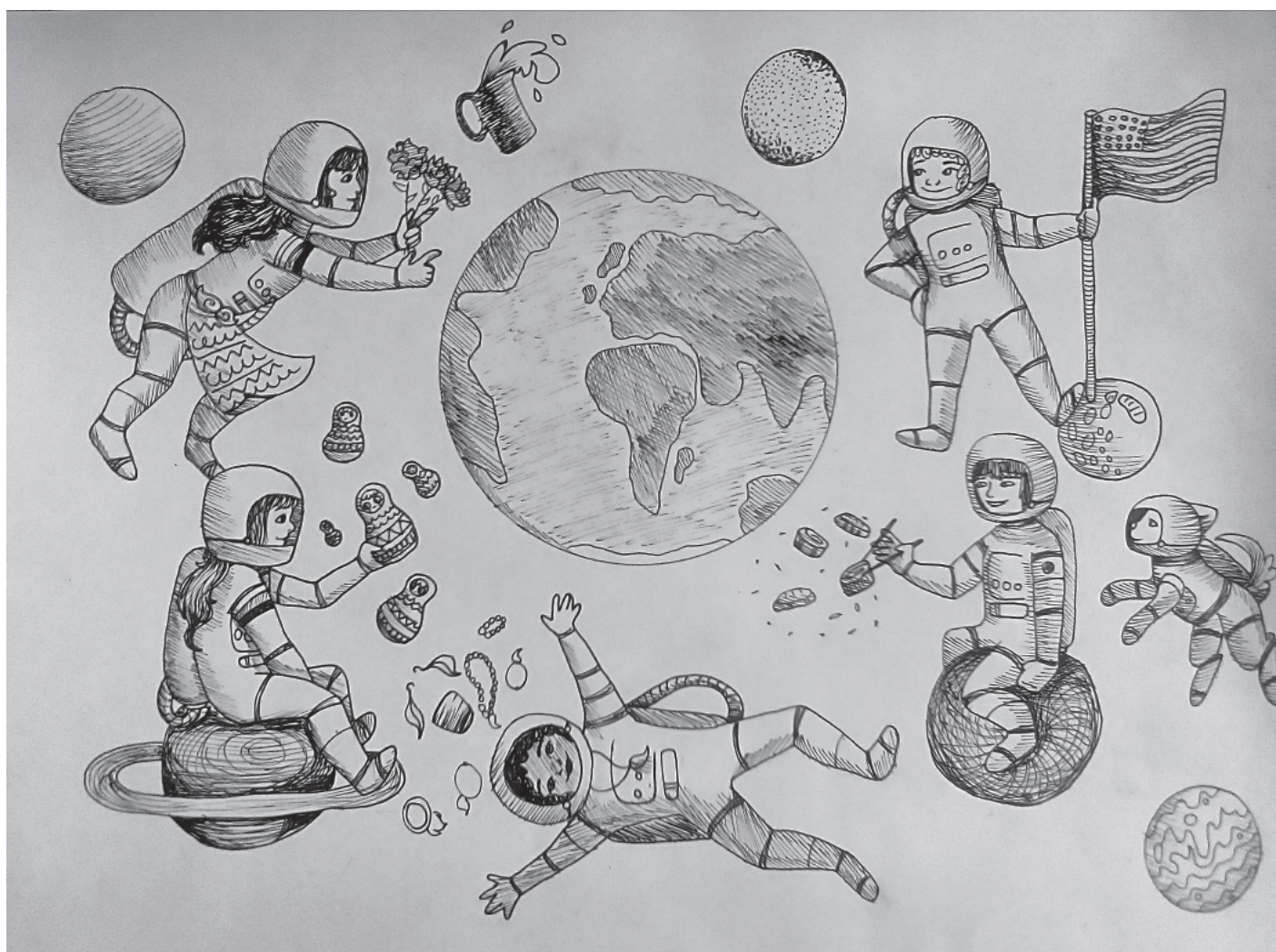
Сателитът е изстрелян от Кейп Канаверал на 19 ноември 2016 г., с планиран активен „живот“ 15 години. Първите снимки са направени на 14 февруари следващата година. От геостационарна орбита с височина около 36 хил. km чрез системата за геостационарно картографиране на мълнии GLM (Geostationary Lightning Mapper) се прави непрекъснато наблюдение на мълниеносната дейност в западното полукълбо. Системата е способна да определя и енергията на мълниите в kWh.

Тази спътникова информация, заедно с радиолокационните данни и информация от други сателити, позволява с висока точност да се прогнозира бури, да се води ефективна борба с пожари предизвикани от падане на мълнии в сухи райони и да се предупреждава населението за опасна мълниеносна дейност.

Въпроси към Модул 5 “Приложение на дистанционните изследвания и геоинформационните технологии в изследванията на природните и екологични катастрофи”

1. Какви са дължините на вълните във видимата област на електромагнитния спектър?
2. Кои дистанционни снимки са най-ефикасни за откриване на огнища на горски пожари?
3. Колко е минималната начална скорост, която трябва да получи тяло, за да стане изкуствен спътник на Земята (сателит)?
4. Какво представлява *лидарът*?
5. До каква максимална височина достига Тропосферата?
6. Кои дистанционни изображения са най-ефективни при изучаването на прахови бури?
7. За какво е предназначен *скатерометърът*?
8. В кой диапазон на електромагнитния спектър се дешифрират най-добре димните шлейфове на горски пожари?
9. Колко е периодът на сателит, движещ се по геостационарна орбита?
10. При инфрачервената аерокосмическа снимка кой параметър на изследвания обект се използва?
11. Какво е най-общото определение за орбитална космическа станция?
12. В кои области на електромагнитния спектър се изследват дистанционно характеристиките на леда и снега?

Отговори на въпросите, задачите и упражненията



Деница Маринова - "Дом"

VII клас, НУИ „Добри Христов“ – гр. Варна

участник в Конкурса за рисунка от 5-ти до 7-ми клас на

Ден на отворените врати ЕЕОБСС, РКИЦ, София, 02 ноември 2017 г.



Приложение на различните спектрални области

Спектрални канали на LANDSAT 7 и радар	Диапазон на дължината на вълната	Приложения
1	Син (0.45–0.52 μm)	Идентифициране на водни обекти , крайбрежни води, разграничаване на растителност от почва, широколистни от иглолистни гори (различни видове гори), идентифициране на различни класове на растителност и земеползване , сгради и др., измерване на замърсяването и планктона на водата (което дава възможност да се правят заключения за наличните количества риба)
2	Зелен (0.52–0.6 μm)	Идентифициране на растителността и нейната жизнеспособност , както и на различните класове на земеползване.
3	Червен (0.63–0.69 μm)	Поглъщане на хлорофила на растенията с цел идентифициране на различните растителни видове, почвени типове, минерално съдържание и използване в геоложки приложения.
4	Близък инфрачервен (0.76–0.9 μm)	Картографиране на биомасата и жизнеспособността на растителността , разграничаване на различните растителни видове, определяне на почвената влага.
5	Среден инфрачервен (1.55–1.75 μm)	Определяне на влагата в растителността и почвата , разграничаване на облаците, снега и леда.
6	Топлиннен инфрачервен (10.4–12.5 μm)	Определяне на температурата на повърхността с цел климатичен анализ на градовете и териториите, регистриране на щети на растителността и почвената влага, педоложки (почвен) и геоложки анализ .
7	Среден инфрачервен (2.08–2.35 μm)	Откриване на различни минерали за геоложки приложения и определяне на разпространението и разпределението на влагата в почвата и растителността.
3/1	Червен / Син	Откриване на железен окис в почвите и влага в почвата и растителността .
3/4	Червен / Близък инфрачервен	Създаване на вегетационните индекси , напр. <i>нормализиран разликков вегетационен индекс NDVI</i> (Normalized Difference Vegetation Index); определяне на жизнеността и гъстотата на растителността и анализ на биомасата.
5/4	Среден инфрачервен / Близък инфрачервен	Откриване на глинести минерали в почвите , разграничаване на угарите от запечатаните области.
5/7	Среден инфрачервен / Среден инфрачервен	Откриване на желязосъдържащи минерали в почвата, разграничаване на угарите от запечатаните области.
Радар	С диапазон (5.6 cm)	Определянето на неравността на водната повърхност може да даде информация за скоростта и посоката на вятъра, която е от значение за проследяването на образуването на бури и наводнения. Използва се и при моделирането на климата и планирането на дейността на летателни и спедиционни компании.

Упражнение 1.1. Електромагнитен спектър

Цели

Упражнение 1.1. “Електромагнитен спектър” запознава учениците с особеностите на електромагнитния спектър. То ги въвежда в дистанционните изследвания и представя основните елементи по темата.

Коментар за учителя

Учениците трябва да направят упражнението, като попълнят на картинката липсващите технически термини от електромагнитния спектър, а в таблицата – липсващите думи, които са дадени в задачата.

Решение на Упражнение 1.1. “Електромагнитен спектър”

Използвайте следните думи, за да опишете различните спектрални области на електромагнитния спектър и да попълните приложената таблица:

Близка инфрачервена – Определяне на температурата на повърхността, почвената влага – Видима – Микровълнова – Отразена слънчева радиация – Средна инфрачервена – Много силно – Незначително – Ултравиолетова – Идентифициране на растителността и почвената влага, геоложки приложения, океански течения – Видима светлина – Незначителна – Петролен слой върху водата, концентрация на озон – Слабо-Микровълнова – Топлинна инфрачервена – Излъчена топлинна радиация – Близка инфрачервена – Отразена слънчева радиация – Идентифициране на растителност, водни тела и почви за картографиране на земното покритие и земеползването – Ултравиолетова – Топлинна инфрачервена – Излъчена и отразена радиация – Средна инфрачервена.

Табл. 1.1. Спектрални области на електромагнитния спектър и тяхното приложение

	Ултравиолетов	Видима	Близък инфрачервен	Среден инфрачервен	Топлинен инфрачервен	Микровълнов
Измерена величина	Отразена слънчева радиация	Отразена слънчева радиация	Отразена слънчева радиация	Излъчена топлинна радиация	Излъчена топлинна радиация	Излъчена и отразена радиация
Атмосферно влияние	Много силно	В синия и зеления диапазон	Слабо	Незначително	Незначително	Незначително
Приложения	Нефтен слой върху водата, концентрация на озон	Идентифициране на растителност, водни обекти и почви за картографиране на земното покритие и земеползването	Картографиране на биомасата и жизнеността/щетите на растителността	Идентифициране на растителност и почвена влага, геоложки приложения, океански течения	Определяне на температурата на повърхността, почвената влага	Откриване с помощта на радар, метеорологични и приложения, земни премествания

Упражнение 1.2. Спътникови орбити

Цели

Спътникът за наблюдение на Земята е изкуствен летящ обект, който се върти около планетата (напр., Земята) с научни, търговски или военни цели. Орбитите биват два вида: геостационарни и блискополярни (квазиполярни) орбити.

Коментар за учителя

Целта на това упражнение е учениците да се запознаят с различните видове спътници. От упражнението учениците ще научат разликата между двата вида орбити, тяхното приложение, както и различните видове спътници.

Преди всичко е важно учениците да разберат разликата между възможните приложения на геостационарните и блискополярните спътници, но също да направят връзка между спътниците и ежедневието.

Решение на Упражнение 1.2. “Спътникови орбити”

Нанесете наименованията на двете орбити на горната картинка.



Фиг. 1.8. Земята и важните орбити

Обяснете защо един спътник може да обикаля около Земята без да използва енергия.

Тъй като орбитата на спътниците се намира извън атмосферата, няма въздушно съпротивление, затова съгласно законите на инерцията скоростта на спътника е постоянна, което води до стабилна орбита около Земята в продължение на много години.

На геостационарна орбита на разстояние 36 000 km, времето за една обиколка е 24 h, което съвпада с времето за завъртане на Земята. На тази височина спътникът над екватора ще изглежда неподвижен по отношение на Земята.

След като напусне устойчивата орбита спътникът намалява скоростта си. Неработещите спътници представляват космически отпадък на орбита.

Спътниците на “червената” орбита се използват за няколко вида граждански услуги. Посочете няколко спътници и техните приложения и обяснете защо те могат да повлияят на качеството Ви на живот както в положителен, така и в отрицателен смисъл.

Примери за спътници с геостационарна орбита са Meteosat, GOES, GMS, GOMS, KALPANA, and INSAT.

Приложения: Прогнозиране на времето, телекомуникации, радио- и телевизионни предавания и др.

Влияние върху живота ни и качеството му: (+) прогноза за времето в новините по телевизията и радиото: телекомуникациите и телевизионните и радиопредавания са част от ежедневието ни.

(-) старите и повредени спътници и техните части замърсяват орбитите и представляват опасност за функциониращите спътници.

Защо спътниците, показани на “синята” орбита, са важни за наблюдението на Земята?

Те “гледат” върху (големи) площи през последните 30 години.

Те наблюдават непрекъснато Земята и изпращат данни към наземните станции.

Те помагат да се следи околната среда и промените върху земната повърхност, обхващайки всичко – от градското планиране до мониторинга на растителността и др. в зависимост от пространствената разделителна способност.

Тези спътници имат много приложения, напр. мониторинг на природните бедствия, картографиране, построяване на цифрови модели на терена, картографиране на земеделието, контрол на пътното движение и др.

Промените могат също да се сравняват лесно, тъй като спътниците записват една площ винаги по едно и също време (те са слънчево-синхронни).

Напишете вида на орбитата срещу името на всеки от следващите спътници: Landsat, KALPANA, IRS, Meteosat, INSAT, Radarsat, SPOT, GMS, QuickBird, GOES, ERS, GOMS, Envisat, Ikonos, NOAA.

Слънчево-синхронна, блискополярна орбита	Геостационарна орбита
Landsat	Meteosat
IRS	GOES
Radarsat	GMS
SPOT	GOMS
QuickBird	KALPANA
ERS	INSAT
Envisat	
Ikonos	
NOAA	

Упражнение 1.3.

Въпрос на пространствена разделителна способност

Цели

Пространствената разделителна способност (ПРС) е указание за това как инструмента на борда на спътника може да регистрира пространствените обекти на земната повърхност, като езера, къщи, коли и хора. Тази разделителна способност е от много голямо значение и трябва да бъде избрана в зависимост от съответното приложение и размера на анализираната територия. За мониторинга на климатичните условия спътниковите изображения обхващат по-голяма област, но необходимата пространствена разделителна способност е по-малка. При мониторинга на градското планиране се изисква много висока разделителна способност, но областта на заснемане е по-малка.

Коментар за учителя

За да направят упражнението, учениците трябва да са запознати с предимствата и недостатъците на различните видове използвана разделителна способност, след което да изберат подходящата пространствена разделителна способност за конкретните приложения, дадени в таблицата. Освен това, учениците трябва да потърсят основните приложения на спътниците Landsat, SPOT и QuickBird в Интернет.

Решение на Упражнение 1.3. “Въпрос на ПРС”

Различна пространствена разделителна способност за различните приложения.

а). Попълнете таблицата, която илюстрира различните видове разделителна способност, които са подходящи за различните приложения. Използвайте следната скала: + (най-подходяща за целта), о (средно подходяща), - (неподходяща).

Табл. 1.4. Видове разделителна способност и нейните приложения

Приложения	Ниска пространствена разделителна способност	Средна до висока пространствена разделителна способност	Много висока пространствена разделителна способност
Контрол на транспорта	-	о	+
Регионално картографиране на околната среда	о	+	-
Актуализация на топографски карти	о	+	-
Картографиране в земеделието	-	+	о
Преброяване на дърветата	-	+	о
Градско планиране	-	о	+
Мониторинг на времето	+	-	-

б). Съставете таблица, която да показва предимствата и недостатъците на използването на изображения с ниска, средна до висока и много висока ПРС.

Табл. 1.3. Предимства и недостатъци на пространствената разделителна способност

	Ниска пространствена разделителна способност	Средна до висока пространствена разделителна способност	Много висока пространствена разделителна способност
Предимства	⇒ не е скъпа ⇒ много добра времева разделителна способност ⇒ за глобален мониторинг и прогноза на времето	⇒ средно скъпа ⇒ предлага голямо множество от данни (също и добра времева поредица) ⇒ може да извършва мониторинг на промени в околната среда и др.	⇒ може да различи и малки обекти ⇒ полезна в градското планиране, строителството, отбраната, селското стопанство и др.
Недостатъци	⇒ може да се различат само големи обекти ⇒ не може да види полярните области	⇒ не може да различи по-малки обекти ⇒ не е подходяща за градско планиране	⇒ много скъпа ⇒ достъпна само през последните няколко години

Изборът на спътниковата система обикновено представлява компромис между цена и пространствена разделителна способност. Каква трябва да бъде разделителната способност на спътниковата система, за да...

а). извършва мониторинг на растителността на дадена област?

За тази цел трябва да се използват изображения със средна до висока пространствена разделителна способност, които са по-евтини от данните с много висока пространствена разделителна способност и покриват по-големи области. Данните от спътника Landsat предлагат големи и лесно достъпни изображения. Документацията съдържа все още изображения от различни дати. Тези изображения са на разположение в последните 30 години.

б). провери напредъка на строителството на едно летище?

За да се направи мониторинг на строителството на едно летище, се изисква много висока пространствена разделителна способност – от порядъка на метри. Такива данни се предлагат от спътниците Ikonos, QuickBird и SPOT.

в). начертае топографска карта на дадена област?

За тази цел са необходими данни с ниска ПРС, обхващащи една цяла област. Такава информация предоставят спътниците NOAA и ASTER.

Открийте основните задачи и видове употреба на спътниците Landsat, SPOT и QuickBird в Интернет

- **Landsat:** Мониторинг на земната повърхност, растителността, мониторинг на околната среда и класификация на земното покритие и др.
- **SPOT:** Картографиране, сигурност и отбрана, земеделие и горско стопанство, рибарство, управление и планиране на земята, геология и борба с рисковете.
- **QuickBird:** Различни приложения, напр. градско планиране, управление на природните бедствия, земеделие, горско стопанство.

Упражнение 1.4.

Визуална интерпретация на спътникови изображения

Цели

Едно спътниково изображение в реални цветове представлява комбинация от различни ленти от видимия спектър на светлината, в резултат от което се получава очевидно естествено изображение, подобно на това, което би било видно от пътник в самолет, гледащ надолу към Земята.

Мозайката на спътниковото изображение (мозайката представлява адаптирана комбинация от спътникови изображения) от упражнението изобразява Европа и е регистрирана от сензора за растителност на борда на спътника SPOT през 2002 г.

Коментар за учителя

- Упражнението 1.4. “Визуална интерпретация на спътникови изображения” ще научи учениците как да разчитат и интерпретират спътникови изображения в реални цветове. Целта е да се опише мозайката на спътниковото изображение на Европа и различните цветове да бъдат отнесени към различни видове земно покритие.
- Учениците трябва да анализират през кой сезон от годината са заснети изображенията.
- Накрая резултатите трябва да се документират върху прозрачен лист.

Решение на Упражнение “Визуална интерпретация на спътникови изображения”

Опишете мозайката на спътниковото изображение на Европа. Какви различни рисунъци и повърхностни структури (регионални ландшафти) можете да различите? Можете да използвате различни репери, като топографски, геоложки и почвени карти или карти на регионалното планиране.

Използвайте училищния атлас на ЕКА, стр. 52/53 или който и да е друг училищен атлас с топографска карта на Европа, за да потвърдите своите резултати.

Основните цветове на изображението (зелен, жълт, кафяв) отразяват промените в земното покритие. Как са свързани те с типовете земно покритие, като гори, пасища и др. и къде се забелязват големи населени области?

Цветове/картина на изображението	Типове земно покритие
Черни и тъмносини области	Водни форми, океан
Бели области	Снежна покривка, ледници
Червени области	Градски зони
Бледозелени области	Пасища и земеделска земя
Средно- и тъмозелени области	Широколистни и иглолистни гори
Червени до кафяви области	Скали и планински области без растителност
Кафяви до жълти области	Области без растителност, пустини
Тюркоазни области	Солени езера (в Тунис, Алжир и Турция)

Една мозайка е съставена от голям брой изображения, взети от различни спътници. Според вас, през кой сезон (пролет, лято, есен, зима) са заснети изображенията? Обосновете отговора си.

Изображенията са заснети между юли и септември 2002 г.

Липсващата снежна покривка на земята и наличието само на малки покрити със сняг

области в Алпите, Норвегия и Исландия (ледници) говорят в полза на лятото.

Големи области в Европа и Северна Африка са много зелени поради наличието на богата растителност, особено в Северна Европа.

Вземете прозрачно фолио и покрийте изображението с него; използвайте клипсове за хартия, за да не загубите прозрачността. Обозначете характерните точки и проследете крайбрежната линия.

а). Начертайте държавните граници на европейските страни с помощта на атлас. Обсъдете в клас защо някои граници следват естествените обекти от повърхността, а други – не.



Фиг. 1.23. Мозайка на спътниково изображение на Европа, регистрирано от SPOT Vegetation през 2002 г.
Източник: Beckel 2007

б). Очертайте важните регионални пейзажи и ги обозначете с помощта на атлас.

Използвайте училищния атлас на ЕКА, стр. 52/53 или който и да е друг училищен атлас с топографска карта на Европа, за да потвърдите своите резултати.

Упражнение 1.5.

Обработка на изображения

Георектифициране - Подобряване на качеството и мозайкиране

Цели

За да се получат смислени и ценни спътникови изображения, каквито ги познаваме от всекидневния живот, или мозайка от изображения, както в Упражнение 1.4. (за визуалната интерпретация на изображения на Европа), суровите спътникови данни трябва да се обработят, качеството им да се подобри и да се свържат в мозайка. Освен това, изображенията трябва да бъдат георектифицирани, за да се сравнят данните с други източници. В този процес се установява зависимостта между пикселите на изображението и положението на съответните точки от повърхността на Земята.

Коментар за учителя

Упражнение 1.5. “Обработка на изображения” показва, че данните от спътниковите изображения трябва да се обработят, да се подобри качеството им и да преминат през

различни етапи на работа, преди да могат да се използват.

Учениците трябва да разберат, че смущенията, като облаци или слънчеви отражения, трябва да се елиминират чрез смесване на различните изображения, така че да се получи “ясен” изглед на повърхността.

Учениците трябва да опишат и да възпроизведат различните стъпки от обработката на изображения.

Решение на Упражнение 1.5. “Обработка на изображенията”

Обяснете защо подобряваме качеството на данните.

Некоригираните спътникови изображения зависят от атмосферните и метеорологичните условия. Подобряването на качеството, като геометричните и радиометричните корекции, дава възможност да се извлече по-лесно информацията и да се приложи в различни задачи. Атмосферната корекция включва допълнителна информация от други източници за смущенията в атмосферата между спътника и земната повърхност, като например аерозолите. С помощта на тази допълнителна информация смущенията могат да се премахнат.

Помислете как са били манипулирани спътниковите сцени на горното изображение. Какъв вид обработка на изображения са преминали?

Най-напред изображенията са били радиометрично и спектрално коригирани, което означава че атмосферните влияния (мараня, замъгленост) са били редуцирани, а цветовете – оптимизирани.

След това изображенията са били геометрично коригирани. Така се установява зависимост между пикселите на изображението и положението на съответните точки от земната повърхност. В резултат от това, изображенията от различни дати могат да се комбинират в мозайка.

Опишете и разтълкувайте разликите в цвета на различните сцени.

На спътниковите снимки океанът е представен в различни цветове, които варират от средно синьо до черно.

Някои изображения в района на бивша Югославия са оцветени в по-тъмно зелено в сравнение с други изображения на Европа.

Изображенията на Северна Африка показват напълно различни цветове, което се дължи на пустини, геоложки образувания и др.

а). Какво може да представляват белите петна над Исландия?

Те представляват облаци над острова.

MERIS е оптически сензор, който не може да проникне през облаци и дъжд, за разлика от активните радарни системи, затова облаците се виждат в бяло.

б). Какво може да представляват белите области в южната част на Средиземно море?

Тези бели области са слънчеви отражения в Средиземно море.

Помислете как са били манипулирани спътниковите сцени на горното изображение. Какъв вид обработка на изображения са преминали?

Спътниковите сцени трябва да бъдат спектрално адаптирани към съседните изображения, за да се получат равномерно разпределени цветове.

В мозайката трябва да се вградят липсващите изображения.

Упражнение 1.6.

Класификация на изображения -

Сравнение на спътниково изображение с класификация

Цели

Спътниковите изображения често се класифицират с цел по-нататъшен анализ и интерпретация. По време на този процес информацията за различните цветове и структурата на данните за изображението се подлагат на клъстъризация и категоризиране. Всеки пиксел и област могат да бъдат отнесени към конкретен клас или тип на земно покритие.

Коментар за учителя

Упражнение 1.6. “Класификация на изображения” помага на учениците да разберат процедурите на класификация с помощта на пример със спътниково изображение от областта на Дюселдорф, Германия. Учениците трябва да попълнят легенда, като присвоят правилния цвят на различните класове земно покритие в дадената таблица. Освен това, учениците трябва да оценят процента на областта на всеки клас от легендата.

Във втората стъпка учениците се запознават с предимствата и възможните приложения на спътниковите изображения в реални цветове и на класифицираните изображения.

Решение на Упражнение 1.6. “Класификация на изображения”

Моля, попълнете легендата, като нанесете верния цвят срещу 10-те класа на земно покритие. Дадени са следните цветове: *жълто – светло зелено – средно червено – синьо – жълто-зелено – тъмно червено – сиво – светло червено – тъмно зелено – средно зелено*. Определете процента на площта на всеки клас земно покритие (внимавайте общата стойност да не превиши 100 %).

Табл. 1.4. Процент на площта на всеки клас земно покритие

Легенда на класовете	Цвят	Процент (%) на областта
Висока степен на потвърждение (> 80 %)	тъмно червен	9
Средна степен на потвърждение (40–80 %)	средно червен	33
Ниска степен на потвърждение (< 40 %)	светло червен	-
Сметища, каменни кариери, строителни площадки	сив	-
Земеделска земя	жълт	16
Пасище	жълто зелен	7
Иглолистна гора	тъмно зелен	13
Смесена гора	средно зелен	-
Широколистна гора	светло зелен	-
Водни обекти	син	6

Посочете защо класификацията е полезна.

Класификацията на изображения категоризира всички пиксели от дадено изобра-

жение в класове на земно покритие или теми.

Класифицираните изображения имат по-голяма стойност за специалистите по регионално планиране, научните работници и др.

Те могат да се използват за мониторинг на земното покритие и други приложения в земеползването.

Спътниково изображение в реални цветове или класифицирано изображение?

Посочете предимствата и недостатъците на спътниковите изображения в реални цветове и на класифицираните спътникови изображения и къде те са най-полезни.

Спътникови изображения в реални цветове	Класифицирани спътникови изображения
+ естествените цветове могат да предоставят информация за реалното състояние на растителността и сезонните промени	- класифицираните изображения не правят разлика между сезоните
- висока гъстота на информацията, няма разлика между важна и неважна информация	+ на класифицираните изображения се виждат само важни класове на земеползване или теми
	- тези изображения са обобщени и им липсва информация
- не е възможно да се присвои ясен цвят и тип земно покритие	+ всеки пиксел може да бъде отнесен към определен клас на земно покритие благодарение на цвета си
	+ отлична разпознаваемост на (инфра)структури и градове
+ общ поглед върху областта	+ много полезни за регионално планиране и мониторинг / планиране и мониторинг на околната среда
	+ инвентаризация на земното покритие
	+ откриване на промени

Отговори на въпросите от Модул 2 “Въведение в ГНСС”

Въпрос 1. Какво означава ГНСС?

Отговор: ГНСС е глобална радио-навигационна система за определяне на пространственото положение, скоростта и времето във всяка точка на земното кълбо и околоземна орбита в реално време.

Въпрос 2. Какво е Джи Пи Ес (GPS)?

Отговор: GPS е американската глобалната система за позициониране (Global Positioning System).

Въпрос 3. В колко орбити са спътниците на Джи Пи Ес (GPS) системата?

Отговор: Системата GPS се състои от минимум 24 спътника, разположени на 6 орбити.

Въпрос 4. Каква е височината на орбитите на спътниците от ГНСС?

Отговор: Средната височина на орбитите на спътниците от ГНСС е около 20 000 km.

Въпрос 5. Чрез кой тригонометричен метод се изчислява позицията на антената?

Отговор: Тригонометричният метод, чрез който се изчислява позицията на антената се нарича „трилатерация“.

Въпрос 6. Кои два фактора влияят най-значимо на точността на позиционирането?

Отговор: “Мултипат” – грешките и йоносферните закъснения, оказват най-голямо влияние върху точността на позиционирането.

Въпрос 7. Какви са тъй наречените „умишлените грешки“?

Отговор: „Умишлени“ грешки е преднамереното въвеждане на грешки от страна на Министерствата на отбраната на САЩ и Русия.

Въпрос 8. Колко орбити и колко спътника има системата „Галилео“?

Отговор: Европейската навигационна система „Галилео“ има 3 орбити с по 10 спътника.

Въпрос 9. В коя област е най-голямото приложение на ГНСС?

Отговор: ГНСС намира най-голямо приложение в навигация и контрола на автомобилния транспорт.

Въпрос 10. Кое е за Вас най-невероятното приложение на ГНСС?

Отговор: Мониторинг и изследване на земетръсни зони.

Отговори на въпросите от Модул 3 “Приложение на дистанционните методи и геоинформационните технологии в изследването на земното покритие и промените в земеползването”

Упражнение 3.1. Аградация на Аралско море



Фиг. 3.20. Аградация на Аралско море между 1973 и 2000 г.
Източник: Beckel 2007

Коментар за учителя

Аралско море е подложено на една от най-големите екологични катастрофи в света, причинена главно от потреблението на

огромни количества вода от земеделието в района (предимно за отглеждането на памук). Черпенето на водата от морето и неговия приток водят до трайното му свиване. С течение на времето у населението започнаха да се проявяват здравословни проблеми в резултат от използваните торове и пестициди и от растящото засоляване на морето. Това доведе и до пълно прекратяване на риболовната дейност в района. През последните няколко години, с помощта на дига се повиши нивото на водата в северното море, изсушаването на което се беше ускорило.

Дидактически коментар

В началото на това упражнение трябва заедно да се обсъдят изображенията. Учениците трябва да опишат изображенията и да направят първите си предположения. В следващата стъпка в обсъждането трябва да се включи вестникарската статия.

Втората задача има за цел да използва творчеството на учениците и компетентността им по темата. Тази задача е подходяща за различни социални форми. Подходящата социална форма може да се избере в зависимост от класа. В общия случай, учителят трябва да се отдръпне и да даде възможност на учениците да обсъждат помежду си. Учениците трябва да имат възможност да проведат мозъчна ата-ка. Следващата стъпка

The Aral Sea tragedy
Shrinking of Aral Sea Causes Regional Health Crisis
A vanished sea reclaims its form in Central Asia
Aral dam project surpasses expectations
Disappearance of the Aral Sea
By Karen Bennett on May 23, 2008
Return of the Aral Sea
The desiccation of a remote island lake in Central Asia is one of the world's worst ecological disasters. Now, with an \$85 million engineering project, the doomed sea is coming back to life.
by Eve Conant
From the September 2006 issue, published online September 1, 2006
Anthrax 'time bomb' ticking in Aral Sea, researchers say

изисква компетентност по отношение на метода, тъй като учениците трябва да могат да изберат стила, в който да напишат статията си (а. технически / специализиран или б. популярен).

Превод на вестникарските заглавия отгоре-надолу и отляво-надясно

- ♦ **Трагедията на Аралско море**
- ♦ **Свиването на Аралско море предизвиква криза на здравето в региона**
- ♦ **Изчезнало море в Централна Азия възвръща формата си**
- ♦ **Проектът за язовир на Аралско море надминава очакванията**
- ♦ **Изчезването на Аралско море.** Карен Бенет, 23 май 2008 г.
- ♦ **Антраксна „бомба със закъснител“ цъка в Аралско море, учените казват**
- ♦ **Завръщането на Аралско море.** “Пресъхването на далечно островно езеро в Централна Азия е една от най-големите екологични катастрофи в света. Сега, благодарение на един технически проект на стойност 85 млн. долара, обреченото море се връща към живот.” Ив Конант, издание от септември 2006 г., публикувано онлайн на 1 септември 2006 г.

Решения на Упражнение 3.1. “Аградация на Аралско море”

1. Разгледайте различните спътникови изображения на Аралско море от различни години и прочетете отзивите във вестниците.

От спътниковите изображения може да се получи впечатление за степента на влошаване на състоянието на Аралско море. Развитието на морето през последните десетилетия води до неговото изчезване. Вестникарските изрезки и заглавия дават представа за състоянието на района, морето и евентуалните последици. Но, мненията в това отношение са противоречиви.

Отговори на въпросите от

Модул 4 “Приложение на дистанционните изследвания и геоинформационните технологии в земеделието”

Въпрос 1: Сравнете листата, засегнати от *Phakospora* (горе) и *Cercospora* (долу). Какви са разликите между симптомите на инфекцията?

Отговор: Различните гъбички са причина за различни симптоми върху листата на растенията. На горното изображение гъбичката *Cercospora* е заразила части от листа и инфекцията е започнала да се разпространява навън. С разпространението на инфекцията клетките първоначално загубват своя хлорофил, след което изсъхват и умират (кафявите участъци).

Въпрос 2: Какъв очаквате да бъде спектралният отклик на тези листа във видимата и инфрачервената област, сравнен с този на здрави листа?

Отговор: Спектралният отговор на тези листа ще има по-висока отражателна способност в червената област, поради намаленото съдържание на концентрацията на хлорофил, и по-ниска отражателна способност в близко инфрачервената област, поради загубата на вода и разрушаването на клетъчните стени.

Въпрос 3: Каква е разликата между здравословната жизнеспособност в области А и В? Можете ли да обясните защо?

Отговор: В област А промяната в здравословното състояние на растението е

много рязка. Малкият участък от стресирани растения (червените пиксели) се намира много близо до по-здрави растения (зелените пиксели). В област В промяната от здрави към стресирани растения е по-постепенна (отдясно наляво от заградената с кръгче област). В област А причината за стреса може да бъде свързана с неравномерното разпределение на изкуствен тор или вода чрез напояване. В област В съществува голяма вероятност причината за стреса да е свързана със заболяване. Жълтите/кафявите пиксели може да са растения, засегнати от болестта, докато зелените пиксели може да са растения, които още не са засегнати от нея. В този случай развитието на стресовите симптоми е постепенно. Но, ние не можем да сме сигурни за причината за стреса, докато не видим реалната ситуация на полето и не съберем допълнителна информация.

Въпрос 4: Разгледайте горните изображения. През август и септември се наблюдава рисунък, при който някои площи имат по-малко вода от други. Можете ли да се досетите за причините, поради които този рисунък се променя с времето?

Отговор: Гледайки изображението, заснето на 24 юни, виждаме, че липсва рисунък "X", което ни кара да мислим, че има друг фактор, който води до по-бързо намаляване на количеството вода в средата на всеки квадрант в сравнение с другите области от полето. Възможно е на 24 юни да не е имало никаква растителност, тъй като семената са били току-що посадени и още не са били покълнали. Впоследствие растителността покълва и започва да расте, допринасяйки за загубата на вода чрез изпарение. По правило, здравата растителност има по-висока степен на изпарение от нездравата.

Въпрос 5: Вижте рисунъка на горното изображение. Можете ли да обясните защо някои растения на памука се развиват по-бързо от другите?

Отговор: Можем да видим, че бързоразвиващи се растения се явяват предимно в полетата от дясната страна на изображението. Тъй като ефектът се проявява в големи участъци, причината вероятно е свързана с общото третиране на различните области. Вероятно растенията са били посадени в различни моменти от време и следователно, възрастта им е различна. Другата причина може да е свързана с начина на напояване. Малките площи от растения, които не се развиват толкова бързо, може да се свързани с условията на почвата в тези площи.

Въпрос 7: Въпреки малкият им брой някои от полетата изглеждат червени през август и синьозелени през май. Каква според вас е причината за това?



Отговор: Различните земеделски посеви имат различни периоди на засаждане и беритба, които зависят и от климатичните условия. Въпреки че повечето от тях се засаждат в късна пролет и се берат в края на лятото, някои се засаждат през лятото и се берат през есента. В случая с тези посеви полетата изглеждат празни през май, но пълни с

жизнеспособна растителност през август.

Въпрос 8: Какви прилики виждате между двете изображения?

Отговор: В общия случай полетата, които изглеждат червени на изображението с условни цветове, изглеждат бели на изображението на NDVI (високи стойности), което

предполага обилна растителност в добро здраве. Обаче, това не винаги е вярно, защото има случаи, в които "червените" полета на първото изображение изглеждат сиви на второто. Това се дължи на факта, че NDVI използва червената отражателна способност, освен близко инфрачервената, което се отразява на неговата стойност.

Въпрос 9: Защо лявото изображение изглежда много по-ясно от дясното?

Отговор: Изображенията са заснети от два различни спътника. Датчикът, регистрирал лявото изображение, има по-добра разделителна способност от датчика, регистрирал дясното изображение, следователно той може да регистрира данни с по-големи подробности.

Въпрос 10: Двете изображения по-горе показват гориста област с пасищен участък в средата. Освен разликата в цвета, какви други разлики има между дърветата и пасището? (Вижте изображенията отляво за подсещане).

Отговор: Пасището изглежда с гладка повърхност, докато дърветата изглеждат по-неравномерно. Тъй като дървесната растителност не е плоска, повърхността на група дървета предизвиква сенки. Тези сенки изглеждат като малко по-тъмни области, понеже до тях достига по-малко светлина и пропорционално на това се отразява по-малко енергия. Това им придава тази неравномерна текстура.

На двете спътникови изображения по-горе гората изглежда по-тъмна, поради тези сенки. Ако премахнем всички клони на дърветата и ги положим хоризонтално върху земята, отражателната способност в близко инфрачервената област ще изглежда по-висока и ще се прояви като по-силен червен цвят.

Въпрос 11: Погледнете двете класификационни изображения. Можете ли да обясните защо има две вертикални линии в класификацията на добива от посевите, които говорят за много нисък добив (син цвят)?

Отговор: Изглежда, че няма никаква зависимост между растителната популация и добива на посева. Всъщност, има някои области, в които макар че популацията е висока, приблизителната оценка за добива е много ниска. Дадената информация не е достатъчна, за да се каже защо прогнозираният добив в тези вертикални области е нисък. Фактът, че те са вертикални и вероятно разположени по пътя на трактора, когато селският стопанин работи на полето, предполага, че може да става дума за грешка в приложенията. Например, тези две линии може да не са били достатъчно напоени или да не са получили достатъчно количество изкуствен тор.

Въпрос 12: Какво представляват двете вертикални сиви линии на горното спътниково изображение?

Отговор: Двете линии, естествено, са пътища или пътеки. Те имат много малко влага и това се дължи на това, че а) полетата се напояват само по хоризонталните линии, или б) пътищата са павирани и асфалтът не задържа вода.

Отговори на въпросите от Модул 5 “Приложение на дистанционните изследвания и геоинформационните технологии в изследванията на природните и екологични катастрофи”

1. Какви са дължините на вълните във видимата област на електромагнитния спектър?
Отговор: от ~ 400 до ~ 700 nm.
2. Кои дистанционни снимки са най-ефикасни за откриване на огнища на горски пожари?
Отговор: топлинните снимки в далечната инфрачервена (ИЧ) и в микровълновата (свърхвисокочестотна - СВЧ) области.
3. Колко е минималната начална скорост, която трябва да получи тяло, за да стане изкуствен спътник на Земята (сателит)?
Отговор: около 7.91 km/s
4. Какво представлява лидарът?
Отговор: лазерен локатор с оптичен квантов генератор
5. До каква максимална височина достига Тропосферата? *Отговор: до около 16 km.*
6. Кои дистанционни изображения са най-ефективни при изучаването на прахови бури?
Отговор: едромащабните телевизионни изображения, получавани от метеорологични сателити.
7. За какво е предназначен скатерометърът?
Отговор: за дистанционно определяне на характеристиките на водни повърхности.
8. В кой диапазон на електромагнитния спектър се дешифрират най-добре димните шлейфове на горски пожари?
Отговор: във видимия диапазон.
9. Колко е периодът на сателит, движещ се по геостационарна орбита?
Отговор: 24 h.
10. При инфрачервената аерокосмическа снимка кой параметър на изследвания обект се използва?
Отговор: собственото топлинно излъчване на обекта.
11. Какво е най-общото определение за орбитална космическа станция?
Отговор: тежък сателит, функциониращ продължително време на околоземна орбита.
12. В кои области на електромагнитния спектър се изследват дистанционно характеристиките на леда и снега?
Отговор: във видимата, инфрачервената (ИЧ) и микровълновата (СВЧ) области.



Списък на използваната литература



Михаела Петрова - ***

IX клас, СУПНЕ „Фридрих Шилер” – гр. Русе

Първа награда в Конкурса за рисунка от 8-ми до 12-ти клас

на Ден на отворените врати ЕЕОБСС, РКИЦ, София, 02 ноември 2017 г.

Модул 1 “Основи на дистанционните изследвания”

1. Albertz J, 2007. Einführung in die Fernerkundung. Grundlagen der Interpretation von Luft- & Satellitenbildern. (Darmstadt) 254 pp.
2. ESA Eduspace. www.eduspace.esa.int
3. Institut für Photogrammetrie und Fernerkundung, Universität Karlsruhe www.geoinformation.net
4. Lillesand T, R Kiefer & J Chipman, 2004. Remote Sensing and Image Interpretation. (New York), 763 pp.
5. Löffler E, U Honecker & E Stabel, 2005. Geographie und Fernerkundung (Berlin) 287 pp.
6. Naumann S, 2008. Einführung in die Fernerkundung - Skriptum. (Heidelberg) 45 pp.
7. Siegmund A & G Menz, 2005. Fernes nah gebracht - Satelliten- und Luftbildeinsatz zur Analyse von Umweltveränderungen im Geographieunterricht In: Geographie und Schule, 154: 2-10.

Модул 2 “Въведение в ГНСС”

ГНСС

1. Хофман-Феленхоф Б. „Глобална система за определяне на местоположение. Теория и практика“. София, 2002.
2. J.-F. Pascual-Sánchez, Introducing relativity in global navigation satellite systems, Annalen der Physik, 16, 4, Wiley-VCH, Leipzig.
3. "Beidou satellite navigation system to cover whole world in 2020". Eng.chinamil.com.cn.
4. "A Beginner's Guide to GNSS in Europe" (PDF). IFATCA
5. "Boost to Galileo sat-nav system". BBC News. 25
6. "India to build a constellation of 7 navigation satellites by 2012". Livemint.com.
7. Laiqh A. Khan (May 24, 2016). "NAVIC could be operationalised during July-August this year". The Hindu. Retrieved September 2, 2017.
8. Irene Klotz, Tony Osborne and Bradley Perrett (Sep 12, 2018). "The Rise Of New Navigation Satellites". Aviation Week & Space Technology.

InSAR

1. Massonnet, D.; Feigl, K. L. (1998), "Radar interferometry and its application to changes in the earth's surface", Rev. Geophys., 36 (4), pp. 441–500, Bibcode:1998RvGeo..36..441M, doi:10.1029/97RG03139
2. Burgmann, R.; Rosen, P.A.; Fielding, E.J. (2000), "Synthetic aperture radar interferometry to measure Earth's surface topography and its deformation", Annual Review of Earth and Planetary Sciences, 28, pp. 169–209,
3. Hanssen, Ramon F. (2001), Radar Interferometry: Data Interpretation and Error Analysis, Kluwer Academic, ISBN 9780792369455
4. Zebker, H.A.; Rosen, P.A.; Hensley, S. (1997), "Atmospheric effects in interferometric synthetic aperture radar surface deformation and topographic maps", Journal of Geophysical Research, 102, pp. 7547–7563,
5. "TerraFirma.eu.com: A pan-European ground hazard information service".
6. <http://revistapesquisa.fapesp.br/en/2003/07/01/flights-of-innovation/>
7. Longstaff, I.D. (2011). "Comparing real beam and synthetic aperture techniques for Slope Stability Radar" (PDF). Whitepaper, University of Queensland, Australia.
8. Massonnet, D.; Rossi, M.; Carmona, C.; Adragna, F.; Peltzer, G.; Feigl, K.; Rabaut, T. (1993), "The displacement field of the Landers earthquake mapped by radar interferometry", Nature, 364 (6433), pp. 138–142, Bibcode:1993Natur.364..138M, doi:10.1038/364138a0
9. "Envisat's rainbow vision detects ground moving at pace fingernails grow". European Space Agency. 2004.
10. "The Izmit Earthquake of 17 August 1999 in Turkey". European Space Agency. Retrieved 2007-03-22.
11. Wadge, G. (2003), "A strategy for the observation of volcanism on Earth from space", Phil. Trans. Royal Soc.Lond., 361, pp. 145–156
12. Massonnet, D.; Briole, P.; Arnaud, A. (1995), "Deflation of Mount Etna monitored by spaceborne radar interferometry", Nature, 375 (6532), pp. 567–570, Bibcode:1995Natur.375..567M, doi:10.1038/375567a0
13. InSAR, a tool for measuring Earth's surface deformation Matthew E. Pritchard
14. USGS InSAR factsheet
15. InSAR Principles, ESA publication, TM19
16. InSAR Frequently Asked Questions (FAQs)

Модул 3 “Приложение на дистанционните методи и геоинформационните технологии в изследването на земното покритие и промените в земеползването”

Глобална промяна на земното покритие и земеползването

1. DeFries *et al.*, 2002. Human modification of the landscape and surface climate in the next fifty years. In: *Global Change Biology*, 8: 438-458.
2. Duraiappah A *et al.*, 2005. *Ecosystems and Human Well-being: Biodiversity Synthesis* (Island Press, Washington, District of Columbia) 100 pp.
3. Fischlin A *et al.*, 2007. Ecosystems, their properties, goods, and services. In: *Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* edited by M L Parry, O F Canziani, J P Palutikof, P J van der Linden & C E Hanson (University Press, Cambridge), 211-272.
4. Foley J A *et al.*, 2005. Global consequences of land use. In: *Science*, 309: 570-574.
5. Klein Goldewijk K, 2001. Estimating global land use change over the past 300 years: The HYDE Database. In: *Global Biogeochemical Cycles*, 15: 417-433.
6. Lamprey B L *et al.*, 2005. Simulation of the relative impact of land cover and carbon dioxide to climate change from 1700 to 2100. In: *Journal of Geophysical Research*, 110: 17 pp.
7. Lepers E *et al.*, 2005. A synthesis of information on rapid land-cover change for the period 1981-2000. In: *BioScience* 55: 115-124.
8. Meyer W B, 1995. Past and Present Land Use and Land Cover in the USA. In: *Consequences* 1: 25-33.
9. Schininger I, 2008. *Globale Landnutzung* (Zürich, Berlin) http://www.wbgu.de/wbgu_jg2008_ex09.pdf, 53 pp.
10. Voldoire A, 2006. Quantifying the impact of future land-use changes against increases in GHG concentrations. In: *Geophysical Research Letters*, 33: doi:10.1029/2005GL024354.

Урбанизация

1. Appleby M, 2007. Luftverschmutzung der Megastadt Mexiko-Stadt. In: *Diercke 360°* (2), 8-11.
2. Battle G, 2007. Sustainable Cities. In: *The endless city*, edited by R Burdett (Phaidon), 386-393.
3. Bauer J, W Englert, U Meier, F Morgeneyer & W Waldeck, 2005. *Entwicklungsländer*. (Braunschweig) 176 pp.
4. Blakely E J, M G Snyder, 1997. Putting up the Gates. <http://www.nhi.org/online/issues/93/gates.html>
5. Blotevogel H H, 2003. *Lehrveranstaltungsskript Sommersemester 2003*. <http://www.uni-duisburg.de/FB6/geographie/Studium/Lehrveranstaltungen/SS2003/Blotevogel/Grundlagen-Humangeographie-KuSo/06Verstaedterung.pdf>, (Universität Duisburg-Essen, Fachgebiet Wirtschaftsgeographie),
6. Bremner L, 2007. Recovering from Apartheid. In: *The endless city*, edited by R Burdett (Phaidon), 203-213.
7. Brenner N & R Keil, 2006. *The Global Cities Reader* (Routledge, London) 436 pp.
8. Bronger D, 1996. Megastädte. In: *Geographische Rundschau* 48 (2): 74-81.
9. Bronger D, 2004. *Metropolen, Megastädte, Global Cities. Die Metropolisierung der Erde* (Wissenschaftliche Buchgesellschaft) 216 pp.
10. Burdett R, 2007. *The endless city* (Phaidon) 510 pp.
11. Burdett R & P Rode, 2007. The Urban Age Project. In: *The endless city*, edited by R Burdett (Phaidon), 8-31.
12. Burdett R, 2007. The Capital of Suburbia. In: *The endless city*, edited by R Burdett (Phaidon), 145-154.
13. CIA World Fact Book. <https://www.cia.gov/library/publications/the-world-factbook/>
14. Claaßen K, 2008. *Die Stadt. Diercke Spezial* (Braunschweig) 128 pp.
15. De Blij H & A Murphy, 2003. *Human Geography. Culture, Society, and Space* (New York) 597 pp.
16. Deutsche Stiftung Weltbevölkerung. www.weltbevölkerung.de
17. Dutt A & A Noble, 2003. Challenges to Asian urbanization in the 21st century: an introduction. In: *Challenges to Asian urbanization in the 21st century*, eds. A Dutt, A Noble, G Venugopal & S Subbiah (Dordrecht), 1-17.
18. El Nasser H, 2002. Gated communities more popular, and not just for the rich. http://www.usatoday.com/news/nation/2002-12-15-gated-usat_x.htm
19. Gavron N, 2007. Towards a Carbon Neutral London. In: *The endless city*, ed. R Burdett (Phaidon), 372-385.
20. Gresh A, 2007. Das unaufhaltsame Wachstum der Städte. In: *Atlas der Globalisierung. Le Monde diplomatique*, edited by A Gresh (Berlin), 40-41.
21. Joburg.org: Johannesburg. <http://www.joburg-archive.co.za/2008/pdfs/overview2008.pdf>
22. Kraas F, 2003. Megacities as Global Risk Areas. In: *Petermanns Geographische Mitteilungen*, 147 (4): 6-15.

23. Kraas F, 2007a. Megastädte. In: Geographie, edited by H Gebhardt, R Glaser, U Radtke & P Reuber, (München, Heidelberg), 876-880.
24. Kraas F, 2007b. Weltweite Urbanisierungsprozesse und aktuelle Entwicklungsdynamik in den Städten, Metropolen und Megastädten der Entwicklungsländer. In: Handbuch des Geographieunterrichts, Band 8.1, edited by D Böhn (Köln), 155-163.
25. Kunzmann K R & M Wegener, 1991. The Pattern of Urbanization in Western Europe 1960-1990. In: Report for the Directorate General XVI of the Commission of the European Communities (Institut für Raumplanung, Universität Dortmund, Dortmund).
26. Latz W et al., 2007. Diercke Geographie (Braunschweig) 544 pp.
27. Le Goix, 2003. The Suburban Paradise or the Parceling of Cities? - An analysis of discourses, fears and facts about the sprawl of gated communities in Southern California. <http://www.international.ucla.edu/article.asp?parentid=4664>
28. Lichtenberger E, 2002. Die Stadt. Von der Polis zur Metropolis (Wissenschaftliche Buchgesellschaft, Darmstadt) 304 pp.
29. London.gov.uk: London. http://www.london.gov.uk/mayor/sustainable-development/susdevcomm_footprint.jsp
30. Marcuse P & R van Kempen, 2000. Globalizing Cities. A New Spatial Order? (Blackwell Publishers, Oxford u.a.) 318 pp.
31. Margulis S, 1992. Back-of-the-Envelope Estimates of Environmental Damage Costs in Mexico. In: Policy Research Working Paper (WPS 824, World Bank, Washington DC) 158 pp.
32. Mehta S, 2007. Metropole Bombay, Zukunft der Welt. In: Atlas der Globalisierung. Le Monde diplomatique, edited by A Gresh (Berlin), 190-191.
33. Mertins G, 1992. Urbanisierung, Metropolisierung und Megastädte. Ursachen der Stadt"explosion" in der Dritten Welt - Sozioökonomische und ökologische Problematik. In: Mega-Städte - Zeitbombe mit globalen Folgen?, edited by Deutsche Gesellschaft für die Vereinten Nationen (Bonn). In: Dokumentationen, Informationen, Meinungen 44: 7-21.
34. Meyers Lexikon Online: Ozeanien. <http://lexikon.meyers.de/lexikon/Startseite>
35. Mitchell J G, 2007. The American Dream-Urban Sprawl. In: National Geographic: <http://environment.nationalgeographic.com/environment/habitats/urban-sprawl.html>
36. NASA Earth Observatory: London. http://earthobservatory.nasa.gov/Newsroom/NewImages/images.php3?img_id=10917
37. NASA Aster: Los Angeles. <http://asterweb.jpl.nasa.gov/gallery-detail.asp?name=LA>
38. NASA Visible Earth: Johannesburg. http://visibleearth.nasa.gov/view_rec.php?id=16595
39. NASA Visible Earth: Los Angeles. http://visibleearth.nasa.gov/view_rec.php?id=2574
40. NASA Visible Earth: Mexico City. http://visibleearth.nasa.gov/view_rec.php?id=3419
41. NASA Visible Earth: Mumbai. http://visibleearth.nasa.gov/view_rec.php?id=3424
42. NASA Visible Earth: Sydney. http://veimages.gsfc.nasa.gov/2889/sydney_AST2001oct12_lrg.jpg
43. Pacione M, 2001. Urban Geography. A Global Perspective (London, New York) 663 pp.
44. Parnwell M, 1993. Population Movements and the Third World (London) 158 pp.
45. Patel S, 1985. Street children, hotel boys and children of pavement dwellers and construction workers in Bombay: how they meet their daily needs. In: Environment and Urbanization (2), Nr. 2: 9-26.
46. Petersen B, 2007. Mumbai. Die Slum-Schlacht. In: fluter, Ausgabe 1.10.2007: 6 pp.
47. Renwick W & J Rubenstein, 1995. An Introduction to Geography. Peoples, Places, and Environment (Prentice Hall, Englewood Cliffs, New Jersey) 587 pp.
48. Sassen S, 1991. The Global City (New York, London, Tokyo) 397 pp.
49. Soja E & M Kanai, 2007. The Urbanization of the World. In: The endless city, ed. R Burdett (Phaidon), 54-69.
50. Sudjic D, 2007a. Theory, Policy and Practice. In: The endless city, edited by R Burdett (Phaidon), 32-53.
51. Sudjic D, 2007b. Governing the Ungovernable. In: The endless city, edited by R Burdett (Phaidon), 142-144.
52. Südseeträumereien: Ozeanien. <http://www.suedseetraeumereien.de/Ozeanien.html>
53. The Urban Age Project: Mexico City, London, Johannesburg, Mumbai. http://www.urban-age.net/10_cities/_data/data_UAC.html
54. Thornley A, 2000. Globalization, Urban Planning and Local Democracy (London School of Economics, London).
55. Travers T, 2007. Towards a Europe of Cities. In: The endless city, edited by R Burdett (Phaidon), 155-159.
56. UNFPA, 2008. State of the World Population 2007: Unleashing the Potential of Urban Growth. Excerpt from the Press Summary. In: Geographische Rundschau International Edition, 1, 4: 54-57.
57. UN-Habitat, 2001. Cities in a globalizing world. Global report on human settlements, edited by United Nations Centre for Human Settlements 344 pp.

58. UN-Habitat, 2006. State of the world's cities, edited by United Nations Centre for Human Settlements 204 pp.
59. United Nations, 1987. Population Growth and Policies in Mega-Cities (Bangkok. New York) Population Policy Paper 10
60. United Nations Environment Programme (UNEP). Atlas of our changing environment: Mexico City. http://na.unep.net/digital_atlas2/webatlas.php?id=140
61. Weidner W, 2002. Diercke Erdkunde BW, Kursstufe (Westermann, Braunschweig).
62. Wikipedia: Gated Communities. http://en.wikipedia.org/wiki/Gated_community
63. Yip M & P Madl, 2008. Air Pollution in Mexico City. In: <http://www.sbg.ac.at/ipk/avstudio/pierofun/mexico/air.htm#crudeoil>

Синдром на глобалната промяна

1. Beckel L, 2007. The European Space Agency School Atlas: Geography from Space (Geospace) 287 pp.
2. Cochrane M, 2001. Understanding the Impacts of Tropical Forest Fires. In: Environment, 43 (8): 29-38.
3. Conrad C, 2002. Auswirkungen intensiver Bewässerungswirtschaft in Zentralasien. In: Petermanns Geographische Mitteilungen, 146: 4-5.
4. European Space Agency (ESA): Aralsee. http://earth.esa.int/cgi-bin/satimsgsl.pl?show_url=1476
5. Eva H & E Lambin, 2000. Fires and land-cover change in the tropics: a remote sensing analysis at the landscape scale. In: Journal of Biogeography, 27 (3): 765-776.
6. Goldammer J, 1997. Report on Early Warning for Fire and other Environmental Hazards. International Decade for Nature Disaster Reduction. IDNDR Early Warning Programme.
7. Kollar I, 2006. Quality assessment of a vegetation Fire Threat Analysis System developed within the framework of a development cooperation project in South Sumatra, Indonesia 178 pp.
8. Latz W et al., 2007. Diercke Geographie (Braunschweig) 544 pp.
9. Leser H, 2005. Geographie der Freizeit und des Tourismus. In: Geographie, edited by H Leser, H D Haas, S Meier, T Mosimann, R Paesler & J Huber-Fröhli (München, Braunschweig) 1119 pp.
10. Minera Escondida. <http://www.escondida.cl/mel/>
11. Mining Journal: Pampa Escondida find. <http://www.mining-journal.com/exploration--and--development/pampa-escondida-find>
12. NASA Visible Earth: Aralsee. http://visibleearth.nasa.gov/view_rec.php?id=16553
13. Reuschenbach M, 2005. Umweltkatastrophe am Aralsee. In: Geographie heute, 235: 14-21.
14. Schlager E, 2007. Aralsee. Neuigkeiten von einer ökologischen Katastrophe. www.scinexx.de: http://www.g-o.de/inc/artikel_drucken_komplett.php?f_id=333,
15. Scholz U, 2003. Die feuchten Tropen (Braunschweig) 173 pp.
16. The Santiago Times: Chile's private Escondida copper mine to invest in water. <http://www.santiagotimes.cl/santiagotimes/index.php/2008090814611/news/mining-news/chile-s-private-escondida-copper-mine-to-invest-in-water.html>
17. The Santiago Times: Mine endangers Chile's northern flamingos. <http://www.santiagotimes.cl/santiagotimes/index.php/2008080614362/news/environmental-news/mine-endangers-chile-s-northern-flamingos.html>
18. umbruch-bildarchiv.de .http://www.umbruch-bildarchiv.de/bildarchiv/ereignis/plastikmeer_almeria.html
19. United Nations Environment Programme (UNEP). Atlas of our changing environment: Almeria. <http://na.unep.net/atlas/webatlas.php?id=172>
1. United Nations Environment Programme (UNEP). Atlas of our changing environment: Escondida, Chile <http://na.unep.net/atlas/webatlas.php?id=98>
2. Wissenschaftlicher Beirat der Bundesregierung Globale Umweltveränderungen (WBGU), 1996. Welt im Wandel: Herausforderung für die deutsche Wissenschaft (Bonn) 200 pp.

Модул 4 “Приложение на дистанционните изследвания и геоинформационните технологии в земеделието”

1. Vineyards in California, Flickr.com, URL: <http://www.flickr.com>
2. A farmer walks on a dried-up pond on the outskirts of Baokang, central China's Hubei province, in 2007, Reuters, URL: http://i244.photobucket.com/albums/gg33/alireza1_photo/74_RTR1QNJ3.jpg

Мониторинг на статуса на земеделските култури

1. Loss of chlorophyll in a leaf (chlorosis), Wikimedia Commons, URL: http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/f/f4/Leaf_1_web.jpg
2. Development of a fungus (Uncinula necator - commonly known as powdery mildew) on a melon plant, Wikimedia Commons, URL: http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/0/07/Powdery_mildew.JPG

3. Effects of soybean rust (fungus Phakospora) on soybean leaves, Wikimedia Commons and US Agricultural Research Service, URL: http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/f/f8/Soybean_rust.jpg
4. Cercospora fungus on a leaf, Wikimedia Commons, <http://www.ctahr.hawaii.edu/nelsons/coffee/leafspot3.JPG>
5. Structure and spores of the fungus Fusarium verticillioides, Wikimedia Commons and Centre for Disease Control and Prevention / Dr. Libero Ajello, URL: http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/9/95/Fusarium_verticillioides_01.jpg
6. Effects of nitrogen deficiency on leaves, Wikimedia Commons, URL: [http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Spitskool_stikstofgebrek_\(nitrogen_deficiency\)_Brassica_oleracea_convar._capitata_var._alba.jpg](http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Spitskool_stikstofgebrek_(nitrogen_deficiency)_Brassica_oleracea_convar._capitata_var._alba.jpg)
7. Lack of nitrogen on corn leaves, Government of Ontario, Canada, Ministry of Agriculture, Food and Rural Affairs, © Queen's Printer for Ontario, <http://www.omafra.gov.on.ca/english/crops/pub811/images/3nitro2.jpg>
8. Lack of manganese in a rose leaf, Wikimedia Commons, URL: <http://www.hcs.ohio-state.edu/images/cd0006/404/cd0006-326.jpeg>
9. The Dornier Do228-101 D-CALM aircraft operated by the German Aerospace Centre (DLR), Natural Environment Research Council (NERC - UK), URL: <http://arsf.nerc.ac.uk/images/d-calm3.jpg>
10. Identification of stressed vegetation from AVIRIS data, U.S. Geological Survey (USGS), URL: <http://speclab.cr.usgs.gov/PAPERS.veg1/slv.veg+stress.labels.tgif.gif>
11. Agricultural fields as seen by the IKONOS satellite, Belgian Science Policy Office and Satellite Imaging Corporation
12. Variations of crop health within the fields, using QuickBird data, Satellite Imaging Corporation, URL: <http://www.satimagingcorp.com/media/images/4.jpg>
13. Stoma on a tomato leaf, Wikipedia Commons, URL: http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/0/09/Tomato_leaf_stomate_1-color.jpg
14. Water content of crop fields with thermal imaging. Blue, green and red pixels represent plants with sufficient, average and low water concentration, Wikimedia Commons and US Department of Agriculture - Agricultural Research Service, URL: http://www.angielenvirosafe.com/index_files/PlantStress.jpg
15. Vegetation response to irrigation and its diminishing effects through time, Satellite Imaging Corporation, URL: <http://www.satimagingcorp.com/media/images/agriculture-5.jpg>
16. Mississippi River delta mapping, Environmental Health Perspectives, URL: http://www.ehponline.org/docs/2000/108-3/innovationsfig_mapB.GIF
17. Gypsy Moth Larvae eating a leaf, Mel Evans, Associated Press, URL: http://www.ncagr.gov/plantindustry/plant/entomology/images/GM_larvae_defoliation_AP.jpg

Оценка на добивите

1. A field of barley, Wikimedia Commons, URL: http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/d/db/Barley_field-2007-02-22%28large%29.jpg

Идентификация на посеви

1. Fields in a row, containing various vegetables, Wikimedia Commons, URL: http://commons.wikimedia.org/wiki/File:R%C3%A9union_Dosd%27%C3%82ne_Lettuces.jpg,
2. A vector layer over a true colour satellite image, showing different fields, MAICh
3. View of rural area near Eloyes, southwest of Strasbourg, France, from IKONOS-2, © 2004, DigitalGlobe
4. Crop fields in Belgium, in May, © 2005 Space Imaging Europe
5. The same fields, in August, © Korea Aerospace Research Institute 2007
6. A forest canopy, URL: <http://commons.wikimedia.org/wiki/File:AnshiForestCanopy.jpg>, Wikimedia Commons
7. A type of grassland, URL: http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Nyika_grassland.jpg Wikimedia Commons
8. True and false colour images of a forest and grassland in France, © 2004 DigitalGlobe
9. Part of the San Luis valley. View from satellite (true colour image)., Google Earth
10. Image classification showing the various crop types., URL: <http://speclab.cr.usgs.gov/PAPERS/tetracorder/> U.S. Geological Survey
11. Different GIS information layers, stacked together., URL: <http://www.ncddc.noaa.gov/technology/gis/>, Last access: National Coastal Data Development Centre (NCDDC), NOAA, USA
12. Points, lines and polygons on a GIS map. http://en.wikipedia.org/wiki/File:Simple_vector_map.svg, Wikimedia Commons
13. Elevation map with contours., URL: <http://en.wikipedia.org/wiki/File:Gislayers.jpg>, Wikimedia Commons

Прецизно земеделие

1. Agricultural tractor used in precision agriculture., URL: http://www.claas.com/omaha/generator/cl-pw/us/products/combines-rotary/lexion-590-595-r/yield-mapping/start,lang=en_US-OMAHA.html, Agricultural Research Service, USDA
2. GPS receiver., URL: http://en.wikipedia.org/wiki/File:Magellan_GPS_Blazer12.jpg, Wikimedia Commons
3. Maps of harvest population and crop yield developed from combine-mounted population sensor and yield monitor data collected at 1-second intervals (Missouri, 1996)., URL: <http://www.ipm.iastate.edu/ipm/icm/1999/5-5-1999/cornpopsense.html>, Integrated Crop Management newsletter, Iowa State University
4. Combine with sensors for recording reflectance., URL: http://nue.okstate.edu/VRT_rig_pictures.htm#recognize_scale, Oklahoma State University

5. Adjustment of ultra-low volume herbicide applications. With this method the use of chemicals in agriculture is greatly reduced., URL: http://earthobservatory.nasa.gov/Features/PrecisionFarming/precision_farming3.php, Keith Weller, USDA Agricultural Research Service
6. Variable-rate applications., URL: http://nue.okstate.edu/VRT_rig_pictures.htm#recognize_scale, Oklahoma State University
7. Mapping of Mississippi River delta, identifying the most probable areas where insects might attack., URL: <http://www.ehponline.org/docs/2000/108-3/innovations.html>, Last access: 18.05.2009 Environmental Health Perspectives, Volume 108 (3), March 2000 and ITD-Spectral Visions/NASA
8. High spatial resolution false colour image and the derived percent ground cover., URL: http://webpages.acs.ttu.edu/smaas/pag_projects.htm, Stephan J. Maas, Texas Technical University
9. High spatial resolution false colour image and the derived percent ground cover., URL: http://webpages.acs.ttu.edu/smaas/pag_projects.htm, Stephan J. Maas, Texas Technical University
10. Pattern of variable requirements for irrigation within one field (green is high, yellow is average, red is low water content) as seen from the QuickBird satellite., URL: <http://www.satimagingcorp.com/svc/agriculture.html>, Satellite Imaging Corporation and DigitalGlobe
11. A tractor, URL: <http://www.precisionpays.com/topics/precision-in-practice/page/2/>, Precision Pays website
12. Sensors (top) and variable-rate applicators (bottom) on a combine., URL: http://nue.okstate.edu/VRT_rig_pictures.htm#recognize_scale, Last access: 19.05.2009 Oklahoma State University
13. Soybeans stunted by sting nematode infestation. The pest does not affect all plants equally., URL: <http://edis.ifas.ufl.edu/IN395>, University of Florida
14. Soil test of phosphorus, potassium and pH for a central Missouri (USA) farm. (Blue to red is low to high for the concentrations and acidic to alkaline for the acidity)., URL: <http://extension.missouri.edu/publications/DisplayPub.aspx?P=WQ450>, Davis, G., Casady, W. and Massey, R., 1998, Precision Agriculture: An Introduction, University of Missouri

Модул 5 “Приложение на дистанционните изследвания и геоинформационните технологии в изследванията на природните и екологични катастрофи”

1. Мардиросян Г. Физични аспекти на екологичните катастрофи. Сп. Физика, № 4, 1996, с. 13–20.
2. Мардиросян Г. Екокатастрофи, ИК „Ванеса“, София, 19
3. Мардиросян Г. Природни екокатастрофи и тяхното дистанционно аерокосмическо изучаване. Акад. издат. "Проф. Марин Дринов", 1999, 368 с., ISBN 954-430-616-1
4. Мардиросян, Г. Природни бедствия и екологични катастрофи – изучаване, превенция, защита. Акад. издат. „Марин Дринов“, 2007, 372 с., ISBN 978-954-322-349-7
5. Мардиросян, Г.. Природни бедствия и екологични катастрофи – изучаване, превенция, защита. Акад. издат. „Марин Дринов“, София, 2009, 382 с. (второ допълнено издание)
6. Мардиросян, Г., Б. Рангелов, Ат. Близнаков. Природни бедствия. Възникване, последици, защита. АВИТ Консулт, София, 2011, 170 с. ISBN 978-954-92214-2-8
7. Мардиросян Г. Списание „Природа“, № 1/2017, № 3/2017, № 4/2017, № 2/2018, БАН.
8. Мардиросян, Г. Основи на дистанционните аерокосмически технологии. НБУ, 2015, 240 с. ISBN 978-954-535-882-1
9. Мишев, Д. Дистанционни изследвания на Земята от Космоса, БАН, София, 1985, 209 с.

Кратък речник на някои по-важни непознати термини

Абразия – обрушаване на земната повърхност, причинено от разрушаващото действие на морската (океанската) вода

Видима област на електромагнитния спектър – част от електромагнитния спектър, която може да се възприема от човешкото око, обикновено с дължини на вълните от 400 до 700 nm

Времева разделителна способност – изразява се с интервалите от време (минута, час, денонощие, месец и т.н.) на получаване на аерокосмически данни и изображения от един и същи участък на земната повърхност

Геостационарна орбита – кръгова орбита точно на 35 786 km над земната повърхност, чиито период е равен на едно денонощие (24 h) и чиято равнина съвпада с равнината на земния Екватор с орбитален период, равен на периода на завъртане на Земята. Спътник на геостационарна (геосинхронна) орбита би изглеждал сякаш виси неподвижно над дадена точка от земната повърхност

Геостационарен сателит – сателит на геостационарна орбита. Поради равенствата на ъгловата скорост на такъв сателит с ъгловата скорост на Земята и съвпадането на техните посоки, на практика той „виси“ винаги над една и съща точка от Земята

Геоморфология – наука за възникването и развитието на релефа на сушата, на океанското и морското дъно, взаимната зависимост между строежа на релефа и строежа на земната кора, между външните и вътрешните земни сили

Глациология – наука, занимаваща се с изучаването на процесите и съпътстващите ги явления при формирането и разпространението на ледниците по Земята

Електромагнитен спектър – диапазонът (обхватът) на всички възможни електромагнитни излъчвания

Звезден ден – период, необходим на Земята, за да извърши едно пълно завъртане около своята ос

Земно гравитационно поле – поле на силата на тежестта, обусловено от земната гравитация и центробежната сила, възникваща от денонощното въртене на Земята

Инклинация – наклон на орбитата спрямо изходна равнина (обикновено Екватора)

Интерференция – явление, при което в резултат на наслагването на две (или повече) сигнала

Интерферометрия – приложение на наслагването на два или повече сигнала за измерване

Инфракчервена (ИЧ) област – област на електромагнитно излъчване с дължина на вълната от 0.7 до 300 μm , т.е. от края на червената област на видимия спектър до микровълновото излъчване

Космическа геология (космогеология) – геологични изследвания чрез използване на космически технологии

Космическа совалка – пилотиран космически кораб за многократно използване, излитащ като ракета и приземяващ се като обикновен самолет на писта за кацане на големи самолети

Лидар – лазерен локатор с оптичен квантов генератор

Магнитуд на земетресение – безразмерна величина, характеризираща количеството сеизмична енергия, отделена в сеизмичното огнище

Метеорологични сателити – сателити, предназначени за метеорологични изследвания и наблюдение на климата на Земята

Микровълнова (СВЧ) област на електромагнитния спектър – обхваща дециметровия, сантиметровия и милиметровия диапазони на радиовълните с дължина на вълната приблизително в диапазона от 1 m до 1 mm, съответно честоти от 300 MHz до 300 GHz

Микрометър – една милионна част от метъра ($1 \mu\text{m} = 10^{-6} \text{ m}$)

Мониторинг – наблюдение, анализ и оценка на дадено явление, събитие и др.

Нанометър – една милиардна част от метъра ($1 \text{ nm} = 10^{-9} \text{ m}$) или на една хилядна част от микрометъра ($1 \text{ nm} = 10^{-3} \mu\text{m}$)

Орбита – траектория, по която се движат около централно тяло масовите центрове на планети, сателити на планети, космически летателни апарати и други космически тела

Орбитална станция – тежък сателит, функциониращ продължително време на околоземна орбита

Палеосейсмология – раздел от сейсмологията, изучаващ къде и кога в миналото са ставали силни земетресения

Пилотиран космически кораб (ПКК) – космически кораб с херметична кабина и животоосигуряващи системи, способен да извършва по-значителни маневри и да реализира меко кацане на спускаемия си апарат

Пространствена разделителна способност – характеризира способността на дадена система за дистанционни изследвания да възпроизвежда и/или предава детайлно дадено изображение. Определя се от размера на най-малкия детайл от обекта, който се поддава на идентификация

Радиолокация – процес на установяване на местоположението на обекти и предмети чрез радиовълни

Сателит (изкуствен спътник на Земята) – всяко тяло, изведено на геоцентрична орбита и не напускащо границите на земното гравитационно поле

Скатерометър (Измервател на разсейването) – радиолокационна апаратура, работеща в СВЧ диапазона на електромагнитния спектър и предназначена за определяне на балността на вълнението на водни повърхности и скоростта на вятъра над тях

Скорост на светлината – 300 000 km/s (по-точно е 299 792 458 m/s)

Снежник – неподвижна маса сняг на места защитени от вятър и слънчеви лъчи, запазваща се след стопяване на околната снежна покривка или не стопяваща се в течение на цялата година

Спектър – диапазон

Телевизионна камера – устройство за преобразуване на оптично изображение в телевизионен видеосигнал или цифров поток на видеоданни

Топлинен баланс на Земята (Радиационен баланс) – разликата между потока слънчева радиация погълнат от Земята, и топлинното ѝ излъчване което успява да излезе извън пределите на атмосферата

Тропосфера – най-ниската част от земната атмосфера, разположена на височини от 10 km при полюсите до 16 km при Екватора

Топлинно излъчване – често инфрачервените лъчи носят наименованието топлинни лъчи, поради силно изразения топлинен ефект върху върху човешката кожа при доближаване до силно нагreti тела, които са основните източници на инфрачервено излъчване

Трилатерация – метод за определяне на позицията на обекти, използвайки само разстояния



Earth Observation from Space

Tutorial for individual work in extracurricular activities in natural sciences

Publishing Team

Editor

Assoc. Prof. Lachezar FILCHEV, Ph.D.

Technical Editor

Tsveta SREBROVA, M.Sc.

Translation in English

Dipl. Eng. Lubomira KRALEVA, M.Sc.

Authors

Module 1, 3

Dr. Alexander SIEGMUND

Dr. Isabelle KOLLAR

Module 2

Prof. Dipl. Eng. Dimitar DIMITROV, DSc.

Module 4

Dr. Chariton KALAITZIDIS

Dr. Ioannis MANAKOS

Module 5

Prof. Dipl. Eng. Garo MARDIROSSIAN, DSc.

Circulation - 180 pcs., Book format - A4, Submitted for print - 17 December 2018

Signed for print - 21 December 2018, Published - 31 January 2019

Printed by - Bulged Ltd. Printing House, Sofia, Bulgaria

ISBN 978-619-7490-03-9

eISBN 978-619-7490-04-6

DOI: 10.3897/9786197490046

On the front cover: "Dream", Iva Pencheva, 11th grade, 35th Dobri Voynikov Foreign Language School, Sofia, participant in the Drawing Competition "My Meeting with the Earth from Space", EEOBSS Open Day, 2017.



The tutorial "Earth Observation from Space" is published within project EEOBSS "Education in Earth Observation for Bulgarian Secondary Schools" implemented under Contract № 4000117592/16/NL/NDe between the Space Research and Technology Institute, Bulgarian Academy of Sciences (SRTI-BAS) and the European Space Agency (ESA) under ESA-PECS for Bulgaria.

The subject of EEOBSS is "Awareness and Education Activities".

The views expressed herein can in no way be taken to reflect the official opinion of the European Space Agency.



Tutorial "Earth Observation from Space" is distributed under Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 2.0 Generic License.



Настоящото учебно помагало се издава по Проект
ЕEOBSS: Education in Earth observation for Bulgarian secondary schools
(Образование по наблюдение на Земята за българските средни училища),
изпълняван по договор № 4000117592/16/NL/NDe, сключен между ИКИТ-БАН и
Европейската космическа агенция (ЕКА).

Мненията, изразени в тази публикация, по никакъв начин не отразяват
официалната позиция на ЕКА.



© Институт за космически изследвания и технологии
Българска академия на науките (ИКИТ-БАН)

ISBN 978-619-7490-03-9

eISBN 978-619-7490-04-6

2018

Безплатен екземпляр