

ИНФОРМАЦИОННИ ТЕХНОЛОГИИ ЗА НАБЛЮДЕНИЕ НА ЗЕМЯТА ОТ КОСМОСА

Практическо ръководство



БЪЛГАРСКА АКАДЕМИЯ НА НАУКИТЕ
ИНСТИТУТ ЗА КОСМИЧЕСКИ ИЗСЛЕДВАНИЯ И ТЕХНОЛОГИИ

ИНОВАТИВНИ ТЕХНОЛОГИИ
ЗА НАБЛЮДЕНИЕ
НА ЗЕМЯТА ОТ КОСМОСА

Практическо
ръководство

Част 1

Проект „Иновативна лаборатория за изучаване на природни бедствия и екологични катастрофи от Космоса“ – E#КОСЛАБ

**по програма „Образование с наука“
между Министерството на образованието и науката
и Българската академия на науките**

Отговорен редактор

доц. д-р инж. Георги Желев

**© Институт за космически изследвания и технологии – БАН
София, 2020**

**ISBN 978-619-7490-05-3
eISBN (CD) 978-619-7490-06-0
eISBN (pdf) 978-619-7490-07-7
DOI: 10.3897/978-619-7490-07-7**

© Гаро Мардиросян, автор, 2020
© Димитър Димитров, автор, 2020
© Ива Иванова, автор, 2020
© Лъчезар Филчев, автор, 2020
© Георги Желев, художник на корицата, 2020
© Институт за космически изследвания и технологии – БАН, издател, София, 2020

ИНФОРМАЦИОННИ ТЕХНОЛОГИИ ЗА НАБЛЮДЕНИЕ НА ЗЕМЯТА ОТ КОСМОСА

Практическо ръководство

Част 1

Издателски екип:

Отговорен редактор:
доц. д-р инж. Георги Желев

Технически редактор:
маг. Цвета Среброва

Автори:

МОДУЛ 1
© проф. д.т.н. инж. Гаро Мардиросян

МОДУЛ 2
© проф. д.т.н. инж. Димитър Димитров

МОДУЛ 3
© доц. д-р Ива Иванова

МОДУЛ 4
© доц. д-р Лъчезар Филчев

Рецензенти:

Красимира Рачева Божкова,
старши учител по физика и
математика

Иво Стефанов Джокин,
учител по физика, астрономия,
химия и биология

ISBN 978-619-7490-05-3
eISBN (CD) 978-619-7490-06-0
eISBN (pdf) 978-619-7490-07-7
DOI: 10.3897/978-619-7490-07-7

СЪДЪРЖАНИЕ

ПРЕДГОВОР	9
СПИСЪК НА СЪКРАЩЕНИЯТА	11
КРАТЪК РЕЧНИК НА НЯКОИ ПО-ВАЖНИ НЕПОЗНАТИ ТЕРМИНИ	13
МОДУЛ 1.....	17
ВЪВЕДЕНИЕ В ДИСТАНЦИОННИТЕ ИЗСЛЕДВАНИЯ.....	17
1. <i>ОСНОВНИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ И ТЕРМИНОЛОГИИ</i>	17
2. <i>ФИЗИЧНИ ОСНОВИ НА ДИСТАНЦИОННИТЕ ИЗСЛЕДВАНИЯ</i>	18
1) Електромагнитно излъчване	18
2) Получаване на дистанционни данни	20
3) Отражена и собствена радиация.....	21
4) Основни фактори при дистанционните изследвания	23
а. <i>Пространствена разделителна способност (ПРС)</i>	23
б. <i>Разделителна способност по време</i>	24
в. <i>Понятие за пиксел</i>	24
5) Спектрални области, използвани за дистанционни изследвания на Земята	25
6) Влияние на атмосферата	26
3. <i>ОРБИТИ</i>	27
1) Околосемната орбита и елементите ѝ	27
2) Орбити за дистанционни изследвания на Земята	28
4. <i>АЕРОКОСМИЧЕСКИ ЛЕТАТЕЛНИ АПАРАТИ</i>	30
1) Класификация	30
2) Балони и аеростати	31
3) Самолети и вертолети.....	31
4) Безпилотни летателни апарати	31
5) Сателити/спътници	32
6) Космически кораби.....	33
7) Космически кораби за многократно използване	33
8) Орбитални станции	34
5. <i>МЕТОДИ И СРЕДСТВА НА ДИСТАНЦИОННИТЕ ИЗСЛЕДВАНИЯ</i>	35
1) Общи сведения и класификации	35
2) Фотографска снимка	36
3) Телевизионна снимка	37
4) Инфрачервена снимка	38

5) Микровълнова снимка	39
6) Радиолокационна снимка	40
а. Радиовисотомер	41
б. Радиолокатор със страничен обзор.....	41
в. Радиолокатор със синтезирана апертура	41
г. Скатерометър.....	42
7) Спектрофотометрична снимка.....	43
8) Лазернолокационна снимка.....	44
а. Лазернолокационна геодезична снимка	44
б. Лидари	45
9) Геодезична снимка чрез GPS.....	45
10) Поляриметрична снимка.....	46
11) Стереоскопична снимка	47
12) Визуални изследвания от околоземна орбита.....	48
ЛИТЕРАТУРА	50
ТЕСТ 1.....	51
МОДУЛ 2.....	53
ВЪВЕДЕНИЕ В СИСТЕМИТЕ ЗА ГЛОБАЛНО ПОЗИЦИОНИРАНЕ	53
1. ВЪВЕДЕНИЕ И ОСНОВИ НА GPS (ДЖИ ПИ ЕС) И GNSS (ГНСС)	53
1) GPS	53
2) GNSS.....	53
а. Структура на GPS/ГНСС.....	54
б. Измервани величини с GPS/ГНСС	56
в. Видове позициониране	56
3) ГЛОНАСС.....	56
4) BeiDou-2 „Compass“	56
5) Galileo.....	57
2. ПРИЛОЖЕНИЕ НА КОСМИЧЕСКИТЕ ТЕХНОЛОГИИ GPS/GNSS ЗА ИЗСЛЕДВАНЕ НА ПРИРОДНИТЕ БЕДСТВИЯ И ЕКОЛОГИЧНИ КАТАСТРОФИ.....	60
3. КОСМИЧЕСКАТА ТЕХНОЛОГИЯ РАДАРНА ИНТЕРФЕРОМЕТРИЯ InSAR (INTERFEROMETRIC SYNTHETIC APERTURE RADAR) И ПРИЛОЖЕНИЕТО ѝ	68
4. НАБЛЮДЕНИЯ И ИЗСЛЕДВАНИЯ НА АНТАРКТИКА И АНТАРКТИДА ОТ КОСМОСА	70
ЛИТЕРАТУРА	75
ТЕСТ 2.....	76

МОДУЛ 3.....	77
ПРАКТИЧЕСКА РАБОТА С ОПТИЧНИ САТЕЛИТНИ ИЗОБРАЖЕНИЯ	77
1. ОПТИЧНИ СПЪТНИКОВИ ИЗОБРАЖЕНИЯ	77
1) Пространствена разделителна способност на оптичните спътни- кови изображения. Видове спътници за наблюдение на природни бедствия.....	77
2) Примерни спътникови изображения с природни бедствия (пожа- ри, атмосферни замърсявания, наводнения).....	78
а. Горски и полски пожари	78
б. Атмосферни замърсявания	79
в. Наводнения	80
3) Достъп до оптични спътникови изображения	81
а. MODIS - Terra/Aqua.....	81
б. Landsat и Sentinel-2.....	83
2. ОБРАБОТКА НА ОПТИЧНИ СПЪТНИКОВИ ИЗОБРАЖЕНИЯ В ГИС СРЕДА.....	86
1) Географска информационна система. Програми за обработка на спътникови изображения в ГИС среда.....	86
2) Практическа работа с QGIS	86
а. Запознаване с потребителския интерфейс на QGIS Desktop и работа с приложението.....	86
б. Отваряне на спътниково изображение в програмата QGIS.....	88
в. Създаване на обект на интерес (AOI – Area of Interest). Създаване на векторен слой, тип полигон.....	89
г. Изрязване по обект на интерес (полигон).....	91
3. АНАЛИЗ И ИНТЕРПРЕТАЦИЯ НА ДАННИТЕ.	92
1) Отваряне на атрибутивна таблица и работа с нея.....	92
2) Изчисляване на площта на обекта на интерес	93
3) Създаване на композитно (в условни цветове) изображение от спектрални канали на Sentinel-2.....	94
ЛИТЕРАТУРА	96
ТЕСТ 3.....	97
МОДУЛ 4.....	99
ПРАКТИЧЕСКА РАБОТА С РАДАРНИ СПЪТНИКОВИ ИЗОБРАЖЕНИЯ	99
1. РАДАРНИ СПЪТНИКОВИ ИЗОБРАЖЕНИЯ.....	99
2. ПРОСТРАНСТВЕНА РАЗДЕЛИТЕЛНА СПОСОБНОСТ НА РАДАРНИ СПЪТНИКОВИ ИЗОБРАЖЕНИЯ. ВИДОВЕ СПЪТНИЦИ ЗА НАБЛЮДЕНИЕ НА ПРИРОДНИ БЕДСТВИЯ	100
3. ПРИМЕРНИ РАДАРНИ СПЪТНИКОВИ ИЗОБРАЖЕНИЯ С ПРИРОДНИ БЕДСТВИЯ	103

1) Зеетресения, свлачища	103
2) Наводнения	103
4. ДОСТЪП ДО РАДАРНИ СПЪТНИКОВИ ИЗОБРАЖЕНИЯ ОТ СПЪТНИКА Sentinel-1	104
5. ПРЕДВАРИТЕЛНА ОБРАБОТКА НА РАДАРНИ СПЪТНИКОВИ ИЗОБРАЖЕНИЯ	105
1) Програми за обработка.....	105
2) LEOWorks. Запознаване с потребителския интерфейс на LEOWorks и работа с приложението.....	105
3) Практическа работа с LEOWorks. Отваряне на спътниково изображение в програмата LEOWorks	107
<i>а. Отваряне на един единствен файл като един набор от данни (важи както за векторни, така и за растерни данни)</i>	107
<i>б. Отваряне на много единични файлове като отделни набори от данни (важи както за векторни, така и за растерни типове данни)</i>	108
<i>в. Отваряне на много единични файлове като един набор от данни (важи за данни от изображения)</i>	108
<i>г. Повторно отваряне на файлове (важи както за векторни, така и за растерен тип данни)</i>	109
<i>д. Импортиране (вмъкване) на данни</i>	109
<i>е. Запазване и експортиране на данни</i>	110
4) Работа с радарни изображения в LEOWorks	110
<i>а. Радиометрично калибриране на радарни данни</i>	110
<i>б. Теренни корекции</i>	111
<i>в. Океански инструменти</i>	112
<i>г. Създаване на маска на сушата/морето</i>	112
ЛИТЕРАТУРА	114
ТЕСТ 4	115
ПРИЛОЖЕНИЕ	117
ОТГОВОРИ НА ТЕСТОВЕТЕ	121

ПРЕДГОВОР

И днес, две десетилетия от началото на третото хилядолетие, екологичните бедствия и катастрофи продължават да взимат ежегодно стотици хиляди жертви и нанасят неизчислими материални щети. От всички известни на науката около 60 природни процеса, които могат да се развият до мащаби на бедствие, България не е изложена само на три – активни вулкани, процеси на пустинообразуване и вечни ледове. Всички останали, в една или друга степен, са потенциална заплаха. За нашата страна най-голяма опасност представляват земетресенията, наводненията, горските пожари, свлачищата, мълниите и др.

В световен мащаб категорично е доказано, че една от важните предпоставки за намаляване на жертвите и щетите от природните бедствия и екологичните катастрофи е правилното поведение и действие преди, по време и след тези събития. Но тези действия са много по-ефективни, ако не са механично, а осъзнато изпълняване на известни правила. А това може да стане само чрез изучаване и познаване на основните характеристики на тези опасни процеси, на познаване на физичните закони, на които те се подчиняват и т.н.

От друга страна, безспорно е, че аерокосмическите технологии са едно изключително мощно и ефективно средство за изучаване и борба с природните и антропогенни екологични бедствия и катастрофи. В европейски мащаб пример за това са някои от услугите на програма „Коперник“ (Copernicus EMS) като EFAS, EFFIS, DO на Европейската комисия и др.

Познаването и използването на глобалните навигационни и позиционни системи дава възможност за оптимизацията и контрола на автомобили, морски съдове и авиацията при провеждане на мониторинг на природните и антропогенни екологични бедствия и катастрофи.

Настоящото ръководство е създадено по проект „Изучаване на природни бедствия и екологични катастрофи от Космоса – Е#КОСЛАБ“ по програма „Образование с наука“ между Министерството на образованието и науката и Българската академия на науките. То е разделено на четири модула.

Целта е да се запознаят учащите се с основите на дистанционното аерокосмическо наблюдение на Земята, физичните принципи, залегнали в тях, най-подходящите параметри както на орбитите на летателните апарати, така и на измервателната апаратура на борда им.

В първите два модула са показани оптималните параметри за изучаване на конкретни природни бедствия. Представена е възможността от използването на системите за глобално позициониране и тяхното приложение.

Втората половина на ръководството, трети и четвърти модул, представя практическото приложение на използването на дистанционните методи и системите за глобално позициониране при провеждане на мониторинг при различни природни бедствия. Показана е възможността да се използват продукти и програми за обработка на спътникови изображения със свободен достъп. Практическа работа и запознаване с потребителския интерфейс на програми за работа с географските информационни системи (ГИС) и използване на облачни интернет услуги за достъп и обработка на спътникови данни.

При съставянето на практическото ръководство авторите са се стремили да вземат предвид и съобразят с възприемането и реакцията на ученици и учители по време на цикъла от лекции по този проект. Добавени са списък на съкращенията и кратък речник на някои непознати термини.

Настоящото ръководство изисква определени познания в областта на физиката, дистанционните изследвания, географските информационни системи, интернет пространството и работа с компютър.

Авторите не си правят илюзията, че в такъв ограничен обем може да се навлезе сериозно в технологиите на дистанционните изследвания на Земята. Онези читатели, които желаят да се задълбочат в дискутираните теми и проблеми, могат да ползват книгите и другите посочени материали и интернет източници в литературната справка към всеки модул.

Илюстрациите, използвани в ръководството, са от официални интернет страници на NASA, ESA, РОСКОСМОС, Wikipedia, от архива на ИКИТ-БАН, както и от лични архиви.

В края на всеки модул има примерен тест за самооценка на изучения материал.

Практическото ръководство ще бъде достъпно както отпечатано, така и в цифров вид. То е налично в pdf формат на официалната интернет страница на ИКИТ-БАН:

http://www.space.bas.bg/bg/publishing_activity/files/Books/E-COS_LAB_Tutorial.pdf.

СПИСЪК НА СЪКРАЩЕНИЯТА

- БАН** – Българска академия на науките
БЛА – Безпилотен летателен апарат
ГИС – Географска информационна система
ГЛОНАСС – Глобална навигационна спътникова система
ЕКА – Европейска космическа агенция
ЕС – Европейски съюз
ИКИТ-БАН – Институт за космически изследвания и технологии при БАН
ИСЗ – Изкуствен спътник на Земята
КК – Космически кораб
КЛА – Космически летателен апарат
КС – Космическа совалка
МКС – Международна космическа станция
НКУ – Наземен комплекс за управление
ОНИЛ – Орбитална научноизследователска лаборатория
ОС – Орбитална станция
ПКК – Пилотиран космически кораб
ПРС – Пространствена разделителна способност
РН – Ракета-носител
СВЧ – Свърхвисока честота
СНС – Сателитна/спътникова навигационна система
ТКК – Транспортен космически кораб
ФКА – Федерална космическа агенция на Русия
- ALOS (JAXA)** – Радарна мисия на японската аерокосмическа агенция
AOI – Area of Interest, обект на интерес
BeiDou „Compass“ – китайски спътникови навигационни системи BeiDou-1 (Бей Ду) и BeiDou-2
CCD – Charge Couple Device
CNES – Centre national d'études spatiales
DLR – Немска космическа агенция
DORIS – Doppler Orbitgraphic Radiopositioning Integrating System
EGNOS – European Geostationary Navigation Overlay Service, Европейската геостационарна служба за навигационно покритие на системите GPS и **ГЛОНАСС** като осигурява сведения за надеждността и точността на работата им. (покрива Европа и част от Африка).
ENVISAT – Сателит/спътник и на ЕКА за наблюдение на околната среда
EOS – Earth Observation System
ERS – European Remote Sensing *satellite*, европейски радарни изследователски спътници *ERS-1* и *ERS-2*
ESA – European Space Agency
ESRO – European Space Research Organization
Galileo – Глобална навигационна система на ЕКА
GEOS – Geodynamics Experimental Ocean Satellite
GMES – Global Monitoring for Environment and Security
GNSS – Глобална навигационна сателитна система
GOES – Geostationary Operations Environmental Satellite
GPS – Global Position System
IGS – International GNSS Service - Международна ГНСС служба

InSAR – Interferometric Synthetic Aperture Radar, интерферометрична радарна космическа технология SAR

ISS – International Space Station

MODIS - Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer, спектрорадиометър с умерена разделителна способност

MSAS – Японска многофункционална спътникова система за повишаване на прецизността

NASA – National Aeronautical and Space Administration

NAVSTAR – Navigation Satellite Providing Time and Range

RADSAT – Radar Satellite, радарен спътник

SAR – Радар със синтетична апертура

SRTM – Shuttle Radar Topography Mission, Топографска радарна мисия със совалки на НАСА, САЩ.

UTC – Coordinated universal time, Координираното универсално време

UTM – Universal Transverse Mercator

WAAS – Американска глобална спътникова система за определяне на изправността на спътниците и повишаване на прецизността на получените от тях координати (покрива Северно-Американския континент).

WGS – World Geodetic System

Å – Angstrom (Ангстрьом), от шведски ångström е извънсистемна мерна единица за дължина, която често се използва във физиката, $1 \text{ Å} = 10^{-10} \text{ m}$

КРАТЪК РЕЧНИК НА НЯКОИ ПО-ВАЖНИ НЕПОЗНАТИ ТЕРМИНИ

Абразия – обрушване (разрушаване) на морските и океански брегове

Азимут – на арабски: *السموت*, (ас-сумут, „направления“) е ъглова мярка в сферична координатна система. Векторът между позицията на наблюдател и точка от интерес се проектира върху референтна повърхнина. Ъгълът между проектирания вектор и друг, референтен вектор върху същата повърхнина, се нарича азимут. Азимутът се измерва в градуси ($^{\circ}$). Използва се в навигацията, астрономията, инженерната наука, картографията, минното дело и балистиката.

Алтиметър (висотомер) – прибор за измерване на надморска височина на базата на разликата в атмосферното налягане. Обикновено се използва anerоиден барометър. Измерването на надморска височина се нарича измерване на височина, докато батиметрията изучава измерването на дълбочина под вода.

Антарктика – географски регион, обхващащ континента Антарктида и водите и островите в Южния океан южно от 60° паралел ю. ш.

Арктика (ἄρκτος - мечка) – северната полярна област на Земята със Северен ледовит океан и островите и краищата на континентите Евразия и Северна Америка. Понякога ограничават Арктика от юг със Северния полярен кръг ($66^{\circ}33'$ с. ш.).

Атомен часовник – вид уред, който измерва времето, използвайки явления от атомната физика и по-точно резонансните честоти на поглъщане на електромагнитно излъчване от атомите.

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.

Геоид – (от гръцки *γεια* - Земя и *εἶδος* - форма или подобен на Земята) е повърхнина, нормалата (перпендикулярът към повърхнината) във всяка нейна точка съвпада с посоката на силата на тежестта. Геоидът съвпада с повърхността на водата в моретата и океаните в спокойно състояние. Геоидът може да се разглежда като форма на планетата и играе важна роля в геодезията.

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.

Геореферирание – процедура, която „подравнява“ различни типове географска информация към географска координатна система. Този процес включва изместване, мащабиране, завъртане, коригиране и др.

Геостационарен сателит/спътник – 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.

Геостационарна орбита – кръгова орбита, чийто период е равен на едно денонощие (24 h) и чиято равнина съвпада с равнината на земния екватор.

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.

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 (най-често спрямо Екватора).

Интерференция – наслагане на две или повече вълни.

Инфрочервена (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.

Координираното универсално време или UTC (на английски: Coordinated universal time) – часово време, спрямо което се изчислява времето в различните часови зони. Съвпада с остарелия термин „средно време по Гринуич“.

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 (M) – 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, процес, събитие и т.н.

- Надир** – (от арабски *ندير* надиир, *نظير* натиир, „противоположен“) астрономически термин, с който се обозначава точка на небесната сфера, противоположна на зенита или по-точно точката с инклинация -90° . Просто казано, ако стоите на земята, това е посоката "надолу" под краката ви.
- 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.
- Палеосеизмология** – раздел от сеизмологията, изучаващ къде и кога в миналото са ставали силни земетресения.
- Пиксел** – най-малката единица за площ в цифрово изображение
- 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 (ПРС)** – 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** – Скеперометърът или дифузиометърът е научен инструмент за измерване на отразените светлина или радарни вълни, разпръснати чрез дифузия в среда като въздух.
- 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.
- 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.
- Спектрални канали** – тесни спектрални интервали от електромагнитния спектър, в които регистрира даден инструмент на борда на спътника.
- Телевизионна камера** – устройство за преобразуване на оптично изображение в телевизионен видеосигнал или цифров поток на видео данни.
- 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.

Топлинно излъчване – често инфрачервените лъчи носят наименованието топлинни лъчи, поради силно изразения топлинен ефект върху човешката кожа при доближаване до силно нагreti тела, които са основните източници на инфрачервено излъчване.

Трилатерация – тригонометричен метод, използващ само дължини.

Тропосфера – най-ниската част от земната атмосфера, разположена на височини от 10 km при полюсите до 16 km при екватора.

Фитопланктон – (от старогръцки φυτόν (phyton) – растение, и πλάκτος (planktos) – блуждаещ) се нарича група микроводорасли, живеещи (суспендирани) във водните басейни (океани, морета, езера, реки и др.).

SAR интерферограма – От две SAR изображения се получава интерферограма, а от цифровия модел на релефа симулирана интерферограма (наричана още синтезирана интерферограма) със същата геометрия като реалната. Необходимо е да е известна прецизната позиция на сателитите.

SeaSAT – Първият орбитален апарат, проектиран за дистанционно наблюдение на земните океани и на борда на първия космически радар със синтетична апертура (SAR) (1978).

Sentinel-1 – Европейска космическа мисия за наблюдение на Земята чрез радар със синтезирана апертура, съставена от два спътника на полярна орбита в една и съща орбитална равнина, наречени Sentinel-1A и Sentinel-1B.

МОДУЛ 1

ВЪВЕДЕНИЕ В ДИСТАНЦИОННИТЕ ИЗСЛЕДВАНИЯ

1. ОСНОВНИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ И ТЕРМИНОЛОГИИ

Най-общо същността на дистанционните изследвания е в получаване на информация за обекта чрез измерване на негови характеристики от разстояние, без контакт с него, както и обработка на получената по този начин информация. На Фиг. 1 се илюстрира схематично разликата между дистанционните изследвания и контактните (*in situ*). За понятието дистанционно изследване на Земята от Космоса може да се даде и следното по-конкретно определение: **Наблюдение и измерване на енергетичните и поляризационните характеристики на собственото и отразеното излъчване на сушата, океана и атмосферата на Земята в различни области на електромагнитния спектър.**



Фиг. 1. а) контактни и б) дистанционни измервания

По тези характеристики се определят местоположението на обектите, описват се характерът и времевата динамика на развитието и състоянието им. Така се изследват основните природни образувания и явления, природните ресурси на Земята, околната среда, както и редица параметри на антропогенните обекти и образувания. Това е и общият смисъл на дистанционните аерокосмически изследвания, независимо от най-различните наименования в различните езици: **Remote Sensing** (английски), **Дистанционно зондирование Земли** (руски), **Teledetection** (френски), **Fernerkundung** (немски) и т.н. Напоследък все по-често се употребява и един друг термин – **Earth Observation** – "Наблюдение на Земята".

Във времето, когато не спи, т.е. през около 2/3 от живота си, всеки човек прави дистанционни изследвания. Щом очите ни са отворени, ние получаваме информация за заобикалящите ни обекти, без да имаме контакт с тях – т. е. дистанционно. По този начин човек възприема около 85–90 % от цялата информация за обкръжаващия го свят.

Естествено, възниква въпросът колко отдалечен трябва да е измервателният апарат от обекта на измерването, за да бъде изследването дистанционно. Това е дискуссионен въпрос, включващ както физически, така и

философски и семантични аспекти, които тук няма да се разглеждат. В най-общия случай въпросното разстояние се приема от няколко стотици метра (ниско-летящи самолети и вертолети) до няколко хиляди километра (за космически летателни апарати). В по-ограничен брой случаи това разстояние може да бъде от порядъка на няколко десетки метра (безпилотни авиосредства – дронове), както и няколко десетки хиляди километра (геостационарни сателити).

Основните предимства на дистанционните аерокосмически изследвания на Земята могат да се формулират така:

- глобалност – възможност за едновременно изследване на огромни територии;
- възможност за изследване на опасни, труднодостъпни и недостъпни райони;
- осигуряване на периодични изследвания на едни и същи райони в продължителни интервали от време;
- независимост от локалното време на денонощието;
- независимост от климатичните условия и годишните сезони;
- висока дешифровъчна информативност на получените данни и изображения.

2. ФИЗИЧНИ ОСНОВИ НА ДИСТАНЦИОННИТЕ ИЗСЛЕДВАНИЯ

1) Електромагнитно излъчване

В основата на дистанционните методи за изследване на Земята лежат определени физически явления, свързани преди всичко с излъчване и предаване на енергия. Затова може да се каже, че физическите основи на дистанционно получената информация за земната повърхност и за околоземната атмосфера са методите на дистанционно измерване от Космоса на различни количествени характеристики на електромагнитното поле на излъчване. Обикновено това са характеристиките на слънчевата радиация, трансформирана от атмосферата и отразена от земната повърхност, или собственото топлинно излъчване на системата земна повърхност-атмосфера.

Електромагнитната радиация може да се представи в пространствена правоъгълна координатна система като синусоидални вълни, движещи се със скоростта на светлината в електрично и магнитно поле. Векторите на тези полета са взаимно перпендикулярни и от своя страна са перпендикулярни на посоката на разпространението им (Фиг. 2).

Дължините на вълните в електромагнитния спектър се означават с λ и се измерват в m, cm, μ m, nm, като съотношенията между тях са:

В дистанционните изследвания се използват последните две мерни единици: **1 μ m (микрометър)** – една милионна част от метъра и **1 nm (нанометър)** – една милиардна част от метъра.

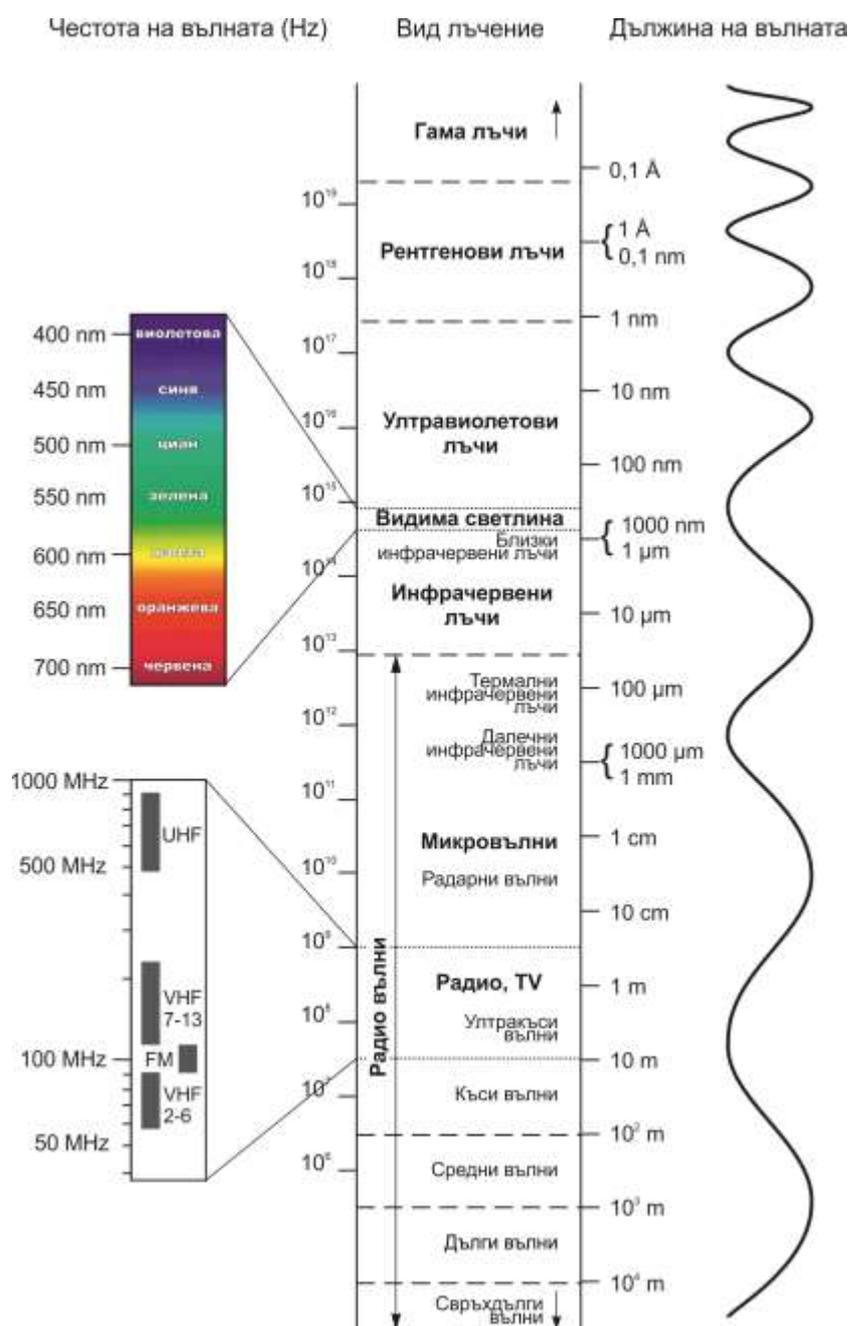
Различните видове излъчвания се обединяват от еднаквата скорост c на разпространение на вълните и от общите закони на отражение, пречупване, дифракция и поляризация. Електромагнитното колебание освен с дължина на вълната и скорост на разпространение се характеризира и с честотата f . Връзката между тези три основни величини се дава чрез съотношенията:

$$\lambda = \frac{c}{f} \quad \text{и} \quad f = \frac{1}{T},$$

където c е скоростта на светлината във вакуум ($c = 299\,792,458 \text{ km/s}$), а T е периодът на колебание.

В някои случаи вместо дължина λ се използва честота f . Това се отнася особено за вълни със сравнително големи дължини, т.е. ниски честоти. Например областта на **микровълните** се нарича също и **свърхвисокочестотна (СВЧ)**.

$$1 \text{ m} = 10^2 \text{ cm} = 10^3 \text{ mm} = 10^6 \text{ }\mu\text{m} = 10^9 \text{ nm} = 10^{10} \text{ \AA}$$



Фиг. 2. Спектър на електромагнитните вълни

Слънцето излъчва в целия спектрален диапазон – от космичните лъчи с дължина на вълната $\lambda = 10^{-10}$ μm до радиовълните с $\lambda = 10^{10}$ μm . От цялото многообразие на тези вълни най-голямо значение за дистанционните изследвания на Земята имат оптичното излъчване и микровълните.

Оптично е излъчването, дължините на вълните на което са разположени в диапазона от 0,01 до 300 μm . То включва областите на **ултравиолетовото (УВ)**, **видимото (В)** и **инфрочервеното (ИЧ)** излъчване. Видима е областта, в която човешкото око възприема излъчванията. Тя заема много тесен диапазон от електромагнитния спектър: от $\lambda = 0,38$ μm до $\lambda = 0,75$ μm . В таблицата е показан спектралният състав на видимата светлина.

λ , μm	Цвят
0,38 – 0,44	виолетов
0,44 – 0,47	синьо-виолетов
0,47 – 0,485	син
0,485 – 0,50	небесносин
0,50 – 0,52	синьо-зелен
0,52 – 0,55	зелен

λ , μm	Цвят
0,55 – 0,57	жълто-зелен
0,57 – 0,58	жълт
0,58 – 0,59	оранжево-жълт
0,59 – 0,60	оранжев
0,60 – 0,62	оранжево-червен
0,62 – 0,76	червен

В диапазона от $\lambda = 0,75$ μm до $\lambda = 300$ μm е разположена ИЧ област, разделена от своя страна на близка, средна и далечна ИЧ област.

Областта $\lambda = 0,38 \div 3$ μm обикновено се нарича и *отражателна*, защото основната част от енергията в тази област е отразеното от земните обекти и образувания слънчево излъчване.

Източници на електромагнитно излъчване са Слънцето, Земята и апаратурата на борда на летателните апарати за дистанционни изследвания.

2) Получаване на дистанционни данни

В процеса на получаване на дистанционни данни участват четири елемента:

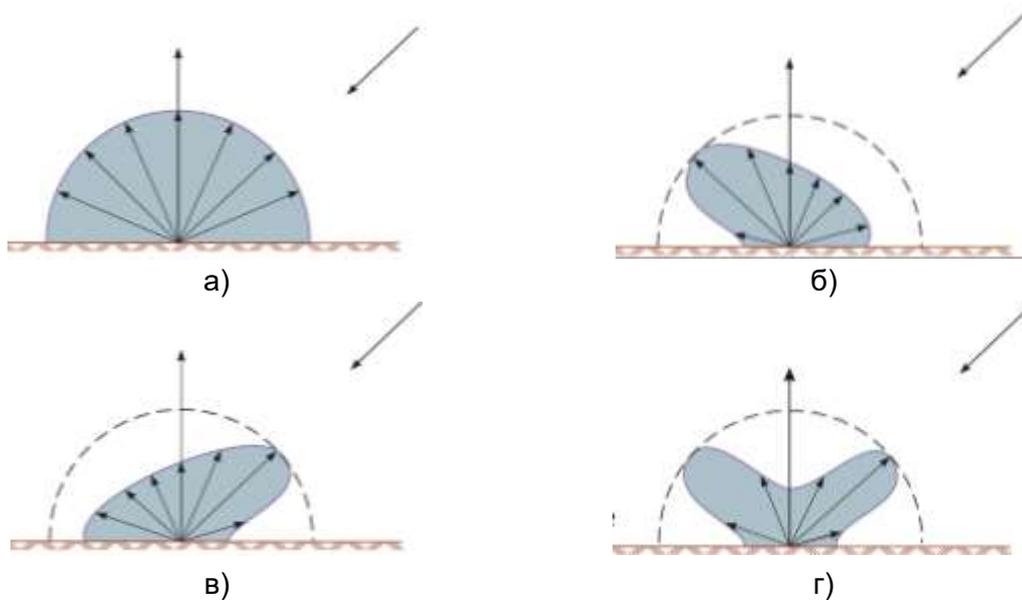
- обект на изследване;
- източник на излъчване;
- среда, в която се разпространява излъчването;
- измервателна апаратура.



Фиг. 3. Връзката между изследвания обект и сензора на борда на летателния апарат

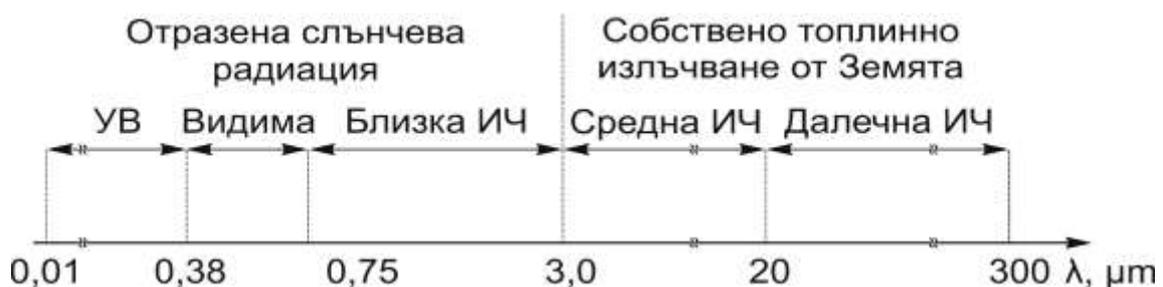
Отразената радиация е непостоянна и за даден обект зависи от условията на осветяване, физико-химичните и биометричните характеристики на обекта, взаимното разположение на обекта и измервателната апаратура (сензора) и др. От особено важно значение за разпределението на отразената от повърхността радиация има структурата на повърхността на изследвания обект. Условно могат да се дефинират 4 вида отразяващи повърхности:

- *ортотропни* (Фиг. 5 а)
- *антиогледални* (Фиг. 5 б)
- *огледални* (Фиг. 5 в)
- *комбинирани* (Фиг. 5 г) .



Фиг. 5. Видове отразяващи повърхности

Дифузното отражение от ортотропните повърхнини има важно значение за дистанционните изследвания, защото в него се съдържа спектрална информация и за „цветността“ на отразяващата повърхност.



Фиг. 6. Отразена слънчева радиация и собствено топлинно излъчване на Земята

Освен отразеното, всички обекти имат и **собствено топлинно** излъчване. Всяко тяло с температура, по-висока от абсолютната нула, излъчва електромагнитна енергия, като количеството на излъчената енергия и преобладаващите диапазони на дължини на вълните се изменят в зависимост от природата на материала.

Отразена радиация има само през деня, когато Слънцето огрява земната повърхност. Тогава собственото излъчване на обекта е пренебрежимо малко спрямо отразената слънчева радиация. Тази област се нарича *област на собственото излъчване*.

През нощта отразена радиация няма, има само собствено излъчване. В областта на собственото излъчване яркостта на различните природни обекти е в много по-силна връзка с тяхното състояние, физико-химични параметри, структура и т.н., отколкото в областта на отразеното излъчване.

4) Основни фактори при дистанционните изследвания

Основните фактори, определящи качеството и ефективността на дадена система за дистанционно аерокосмическо изследване на Земята, са:

- пространствена разделителна способност;
- спектрална разделителна способност;
- радиометрична разделителна способност;
- разделителна способност по време;
- степен на влияние от атмосферата.

а. Пространствена разделителна способност (ПРС)

Тя характеризира способността на дадена система за дистанционни изследвания да възпроизвежда и/или предава детайлно дадено изображение. Тя е една от най-важните характеристики на системите за дистанционни изследвания и се определя от размера на най-малкия детайл от обекта (или обекта), който се поддава на идентификация.

Основните фактори, които влияят на пространствената разделителна способност са височината на летателния апарат и размерите на елементите на сензора. Така че, разделителната способност на сензора се определя от площадката от земната повърхност, съответстваща на една елементарна клетка на сензора. Една аерокосмическа снимка има ниска ПРС, ако на нея се виждат само големи обекти. И обратно – на снимки с висока ПРС могат да се различат и малките детайли на изследвания обект. На Фиг. 7 са илюстрирани един и същ обект при изображения с различни пространствени разделителни способности.

Понастоящем се приема, че оптималната ПРС при дистанционните аерокосмически изследвания е около интервала 10–50 m.



Aster – 30 m

SPOT – 10 m

Quick Bird – 2,4 m

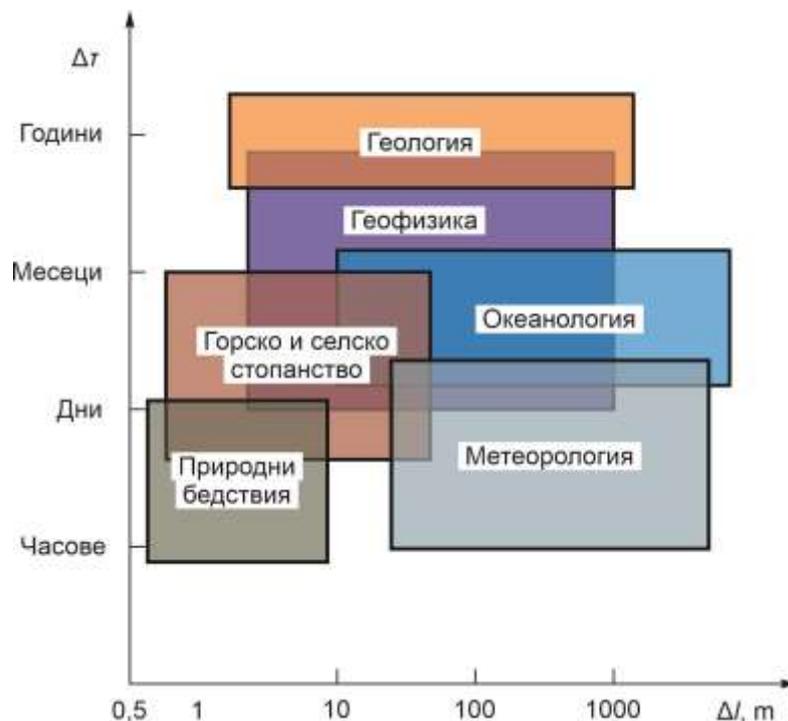
Фиг. 7. Изображения с различна пространствена разделителна способност

б. Разделителната способност по време

Тя се изразява с интервалите от време на получаване на аерокосмическите данни и изображения от един и същи участък от земната повърхност – минута, час, денонощие, месец и т.н. Тази способност е много актуална, когато трябва да се проследи динамиката на развитие на дадено природно образувание или процес във времето, особено когато това развитие е с висока скорост, каквито например са някои от природните бедствия и екологични катастрофи. Абсолютна разделителна способност по време на дадена система за дистанционно изследване на Земята се определя от периода на въртене на КПА около Земята, при което е възможна повторна снимка на участъка от земната повърхност под същия ъгъл на обзор. Сравнявайки снимките на изучавания земен обект или явление, получени по различно време, може да се проследи динамиката на изменение на характеристиките им.

в. Понятие за пиксел

Снимките, получавани чрез технологиите на дистанционните изследвания, са *растерни*. Те представляват матрица от елементи, които се наричат *пиксели*. Всеки пиксел на аерокосмическата снимка съответства на най-малкия елемент от земната повърхност, който може да се идентифицира. За разлика от пространствената разделителна способност, характеризираща апаратната система за дистанционна снимка, понятие пиксел се отнася за полученото от тази система изображение. Например, ако пространствената разделителна способност на апаратната система (сензора) е равна на 5 m, то на всеки пиксел ще съответства участък от земната повърхност с размери 5 × 5 m. Но ако изображението се намали 2 пъти, то тогава на всеки пиксел ще съответства участък с размери 10 × 10 m, при неизменна пространствена разделителна способност.



Фиг. 8. Необходимите за различните науки за Земята пространствени и времеви разделителни способности

Пикселите могат да бъдат „чисти“ и „смесени“. Чистите пиксели съдържат в себе си само еднородна информация, докато смесените съдържат разнородна информация.

Фиг. 8 дава ориентировъчна представа за необходимите за различните науки за Земята пространствени и времеви разделителни способности. Виждат се сравнително големите интервали на изменение на разделителните способности по време – от минути и часове до години.

5) Спектрални области, използвани за дистанционни изследвания на Земята

Преди да достигне до земната повърхност, слънчевата радиация преминава през земната атмосфера, което е съпътствано с редица процеси – поглъщане, разсейване, рефракция и сумиране със собственото излъчване на атмосферата. Например извън горната граница на атмосферата потокът от слънчева радиация във видимия и инфрачервения диапазон е около 140 mW/cm^2 , но до земната повърхност достига само половината от нея – около 70 mW/cm^2 .

Слънчевата енергия достига до Земята трансформирана. Тази трансформация е различна в различните области на електромагнитния спектър. В най-горните слоеве на атмосферата се разсейва или поглъща най-късовълновата част от излъчването на Слънцето – в спектралната област с $\lambda < 0,3 \mu\text{m}$. По-ниско, на височини между 60 и 400 km, земната йоносфера е бариера за радиовълните с дължини $\lambda > 20 \text{ m}$. Затова до земната повърхност достига само слънчева радиация в спектралния диапазон $0,3 \mu\text{m} < \lambda < 20 \text{ m}$. Именно този диапазон представлява интерес за дистанционните изследвания.

На сегашния етап дистанционни изследвания на Земята се извършват в следните области на електромагнитния спектър: **видима (В) и близка инфрачервена (БИЧ) област**; няколко тесни участъка от **топлинната инфрачервена област (ТИЧ)**, т.е. в средната и далечната ИЧ област; **свръхвисокочестотна (СВЧ) област** на милиметровите, сантиметровите и дециметровите вълни.

Преимствата на В и БИЧ област са сравнително най-широкият диапазон, най-големият обем получавана информация и усвоеността на диапазона. Недостатъци са приложимостта само през деня поради необходимост от осветяване от Слънцето и силното смущаващо влияние на хидрометеоритите и атмосферната мъгла.

Предимството на ТИЧ област е добрата зависимост на получаваните при измерването резултати от изменението на температурата на изследваните обекти. А тъй като се използва не отразена, а излъчена радиация, в тази област може да се работи и през нощта. Недостатък на този диапазон е малката чувствителност към промените на физико-химичните характеристики на природните обекти, която не позволява да се регистрират по-малките изменения на тези характеристики. Друг недостатък е поглъщането на топлинните вълни от аерозолните частици и от хидрометеоритите в атмосферата. Осветеността от Слънцето също влияе отрицателно върху получаваните при измерването резултати.

Електромагнитните вълни от СВЧ диапазон имат способността да проникват на сравнително големи дълбочини в земната повърхност и в леда. Друго тяхно предимство е добрата чувствителност към геометричните характеристики на повърхностите – например грапавост на земната повърхност или вълни на водна повърхност. Много добра е и чувствителността към съдържанието на влага в почвата. Микровълните не се влияят от хидрометеорити. Като недостатък на СВЧ диапазон могат да се посочат тесният честотен обхват и

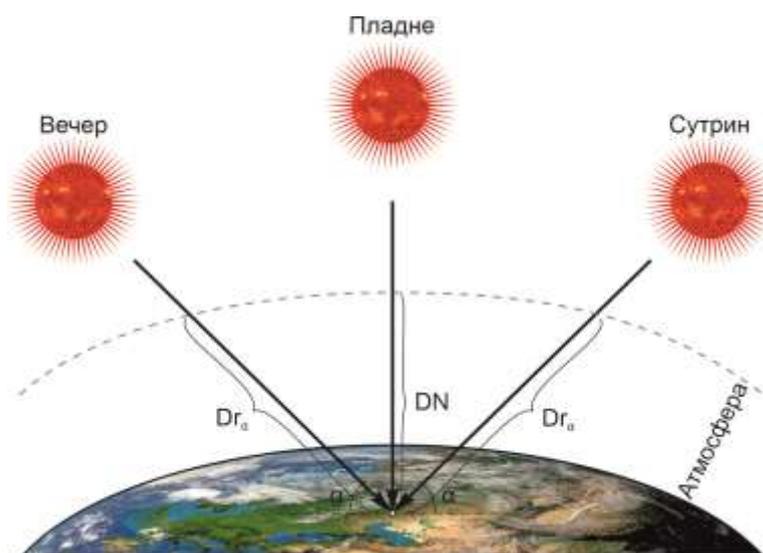
по-малкият обем получавана информация в сравнение с ВИЧ диапазони. Чувствителността към химичните и температурните изменения е по-малка. По-малка е и разделителната способност. Техническите средства, използвани за работа в СВЧ диапазон, са със сравнително големи маси, габарити и енергийна консумация.

Краткият анализ на предимствата и недостатъците при използване на различните области на електромагнитния спектър води до извода, че най-богата и разнообразна информация за вида и състоянието на изследваните обекти и явления може да се получи при едновременното измерване на възможно повече техни параметри. Това означава измерване и на отразената, и на собствената радиация на обектите, както и на самата атмосфера в няколко спектрални диапазона едновременно, т.е. използване на *многоспектралния метод* за дистанционно изследване на земните образувания, обекти и явления.

б) Влияние на атмосферата

Земната атмосфера е изключително динамична среда, характеризираща се с редица оптични параметри: *предавателна функция, прозрачност, оптична дебелина* и др. При преминаването си през атмосферата електромагнитните вълни, каквито са и слънчевата радиация, и собственото излъчване на Земята, се трансформират, т.е. променят се. Тази промяна се дължи на поглъщането на електромагнитните вълни от съдържащите се в атмосферата газове компоненти и аерозолни частици. В резултат излъчването на изследваните обекти отслабва. От друга страна, вследствие на разсейването и собственото излъчване на самата атмосфера става наслагване – *суперпозиция*, на излъчването на изследвания обект и на атмосферния фон.

Вследствие на разсейването в земната атмосфера, в сензора на борда на КЛА или на самолетната лаборатория попада радиация, свързана не само със свойствата на изследвания обект. В резултат на разсеяната радиация се намалява и контрастът на изследвания обект и се затруднява регистрирането на по-дребните детайли. Но, от друга страна, достигналият до сензора сигнал носи информация за състоянието и на самата атмосфера.



Фиг. 9. Изменение на оптичната дебелина D на атмосферата в зависимост от ъгъла на падане α на слънчевата радиация

По отношение на разглеждания процес основен параметър на атмосферата е нейната оптична дебелина. Прието е във вертикална посока тя да се нарича *нормална оптична дебелина* - D_N (Фиг. 9). А *реалната оптична дебелина* D_{Ri} зависи от ъгъла, под който потокът радиация преминава през атмосферните слоеве. Този ъгъл е най-голям сутрин и вечер.

Влиянието на атмосферата има важно значение и при визуалните наблюдения, които правят космонавтите от борда на орбиталните станции.

3. ОРБИТИ

1) Окологземната орбита и елементите ѝ

Окологземна орбита е траекторията, по която се движат около Земята тела. За да се движи едно тяло с постоянна орбита около Земята е необходимо ускорението g на свободното падане и центрострежното ускорение $a_{цб}$ да са равни:

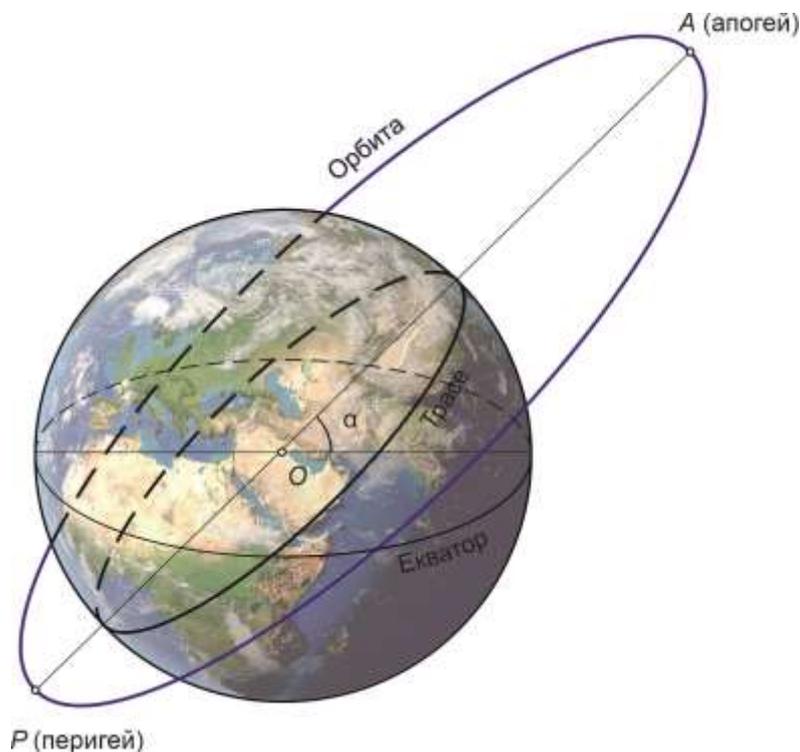
$$g = a_{цб} .$$

Минималната начална скорост, която трябва да получи едно тяло за да стане изкуствен спътник на Земята (сателит), се нарича *първа космическа скорост*, бележи се с v_0 , и близо до земната повърхност е $v_0 \approx 7,91 \text{ km/s}$.

Окологземната орбита се характеризира със следните основни елементи: наклон, апогей, перигей, голяма полуос, ексцентрицитет и период (Фиг. 10).

Наклонът на орбитата се определя от ъгъла α , който равнината на орбитата сключва с равнината на екватора.

Апогей (A) е точката от орбитата, най-отдалечена от центъра на Земята (най-високата точка), а *перигей* (P) – съответно най-близката (най-ниската).



Фиг. 10. Елементи на окологземната орбита

Голямата полуос на орбитата определя дължината ѝ, а формата ѝ се определя от ексцентрицитета e . В зависимост от ексцентрицитета орбитите биват четири вида:

- I) кръгова – при $e = 0$;
- II) елиптична – при $e < 1$;
- III) параболична – при $e = 1$;
- IV) хиперболична – при $e > 1$.

Орбитите от I и II вид са *затворени*, а от III и IV вид – *отворени*. В дистанционните изследвания на Земята се използват КЛА, движещи се по затворени орбити.

Времето за една пълна обиколка при затворените орбити е *периодът* T на орбитата:

Трасе се нарича проекцията на орбитата на КЛА върху земната повърхност.

2) Орбити за дистанционни изследвания на Земята

Околоземните орбити се наричат *геоцентрични*. Съществуват редица различни видове орбити, удовлетворяващи различни изисквания за дистанционно наблюдение на Земята. В най-общи линии тези изисквания са:

- гарантиране на еднаква пространствена разделителна способност и еднаква големина на изследвания участък от земната повърхност за различни географски области;
- осигуряване на слаби изменения на осветеността на Слънцето по цялото трасе на КЛА;
- получаване на снимки от цялата земна повърхност за минимално време;
- постигане на глобален обзор на цялата Земя;
- практически непрекъснатост на изследванията.

Изискването за еднаква пространствена разделителна способност може да се удовлетвори при кръгова орбита на КЛА. При нея височината H на КЛА над земната повърхност ще бъде практически постоянна, което при дадена измервателна апаратура на борда на КЛА ще осигурява еднакъв мащаб на получаваните снимки и еднаква големина на обзора.

Второто изискване – практически еднаква осветеност по цялото трасе, може да се осъществи при слънчевосинхронна орбита на КЛА. При такава орбита равнината ѝ запазва постоянен ъгъл спрямо посоката към Слънцето и се гарантират еднакви условия на осветеност. Много важна характеристика на слънчевосинхронната орбита е, че при преминаването на КЛА над дадена произволна точка от земната повърхност местното слънчево време е винаги едно и също, като зависи само от времето на извеждане на КЛА в околоземна орбита.

Постигането на практически глобален обзор на цялата земна повърхност е възможно при квазиполярна орбита на КЛА с наклон $\alpha \approx \pi/2$.

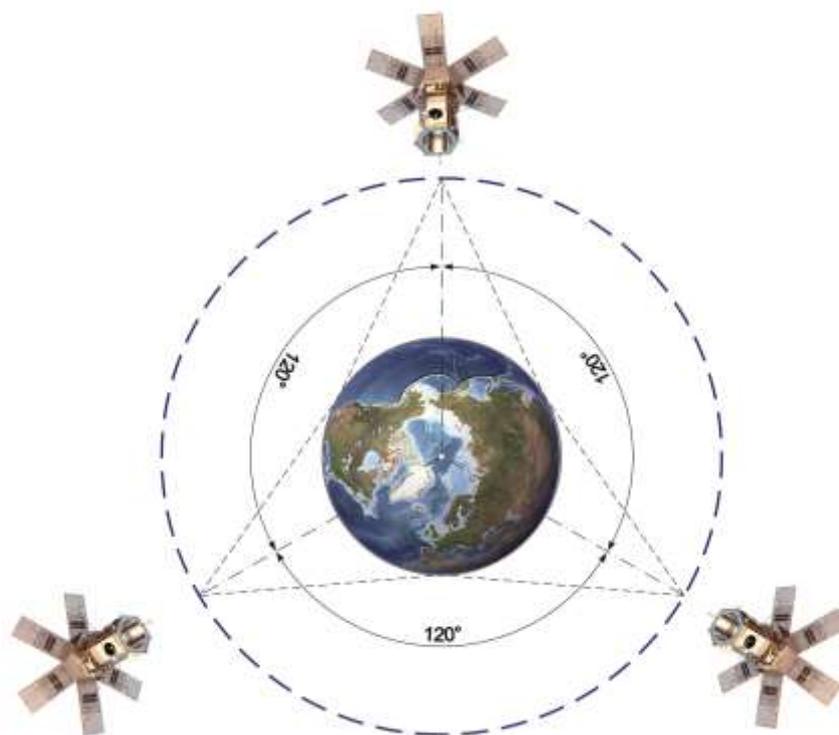
Очевидно е, че за удовлетворяване на тези условия оптимална орбита на КЛА за дистанционно наблюдение на Земята е **кръговата слънчевосинхронна квазигеосинхронна** орбита. Условието за непрекъснатост на изследванията може да се удовлетвори от космически системи, състоящи се от n на брой КЛА.

Другият вид орбита за дистанционно наблюдение на Земята е **геостационарната орбита**.

Кръгови орбити, периодът на които е равен на едно денонощие ($T \approx 24$ h), се наричат *геосинхронни*. Ако техните равнини съвпадат с равнината на земния екватор и посоката на движение на КЛА съвпада с посоката на въртене на Земята, орбитите са *геостационарни*. Поради равенството на ъгловата скорост на сателит, движещ се по такава орбита, с ъгловата скорост на въртене на Земята, той на практика „виси“ над една и съща точка от нея. Геостационарният сателит се вижда в зенит само от екватора.

В реални условия идеални геостационарни орбити не съществуват и затова орбиталните параметри на геостационарните сателити са близки до идеалните. От такъв сателит на реална орбита с височина $H \approx 35\,800$ km Земята се вижда под ъгъл около 17° , което прави възможно наблюдение и осъществяване на директна радиовръзка на територия от земната повърхност, площта на която е равна приблизително на $1/3$ от повърхността на цялата Земя. Три геостационарни сателита, разположени над екватора един спрямо друг на ъгли по 120° (Фиг. 11), могат да осигурят практически непрекъснат обзор на цялата Земя в диапазона на географски ширини от $\varphi = +65^\circ$ до $\varphi = -65^\circ$, макар и с по-ниска пространствена разделителна способност поради голямата височина. Особено добре се наблюдават екваториалните и средните ширини. Високите северни и южни географски ширини ($\varphi = 50^\circ \div \varphi = 60^\circ$) са по-малко удобни за наблюдение от геостационарна орбита, но и в тези случаи от нея добре се забелязват едромащабни обекти и явления.

Поради относителната си неподвижност спрямо земната повърхност КЛА на геостационарни орбити са много удобни за наблюдение на всякакви геофизични процеси и явления. Те могат да се наблюдават и изследват практически неограничено дълго време – месеци и години.



Фиг. 11. Практически пълен обзор на Земята чрез три геостационарни сателита над екватора

Немаловажно предимство на геостационарните орбити е, че управлението и приемането на данни от сателити на такива орбити става от една единствена наземна станция, при това с неподвижни антенни системи. Недостатък е отслабването на радиосигнала поради големите разстояния, което налага радио-предавателна апаратура с по-висока мощност и приемни антени с по-големи размери. Като недостатъци на геостационарните орбити могат да се посочат и сравнително ниската пространствена разделителна способност при наблюдение на Земята, по-трудното и съответно по-скъпоструващо извеждане на КЛА на такива орбити и необходимостта от периодични корекции на орбитите.

4. АЕРОКОСМИЧЕСКИ ЛЕТАТЕЛНИ АПАРАТИ

1) Класификация

Аерокосмическите летателни апарати могат да се класифицират по различни критерии. Един от критериите за класификация на летателни апарати е мястото на експлоатацията им над земната повърхност, т.е. височинният диапазон. Според този критерий летателните апарати могат да се разделят на *авиационни* и *космически*.

Авиационните летателни апарати, наричани още и авиосредства или аеросредства, са аеростати, самолети, вертолети и безпилотни самолети, които могат да летят на височини от няколко десетки метра до около 15 km над земната повърхност.

Според това дали са по-леки или по-тежки от въздуха най-общо летателните апарати (ЛА) могат да се подразделят на:

- по-леки от въздуха – балони, аеростати, дирижабли;
- по-тежки от въздуха – самолети, вертолети, безпилотни самолети.

От друга страна, тези летателни апарати могат да действат в автоматичен (безпилотен) режим или в пилотируем режим. Безпилотният режим се осъществява или чрез дистанционно радиоуправление или чрез бордови компютър.

Космическите летателни апарати (КЛА) са предназначени за изпълнение на целеви задачи в Космоса. От своя страна те биват: КЛА за околоземното космическо пространство, КЛА за междупланетното космическо пространство, космически совалки, сателити и т.н. Съществуват и други класификации и определения, например за близкия Космос, за далечния Космос и т.н.

По предназначението си космическите летателни апарати биват:

- ракети-носители (РН);
- геофизични ракети;
- сателити или изкуствени спътници на Земята;
- космически кораби (КК);
- орбитални станции (ОС);
- междупланетни (автоматични междупланетни станции).

От своя страна космическите кораби могат да бъдат: пилотирани (ПКК) или автоматични, за еднократно използване или за многократно използване, за транспортиране на космонавти (транспортни кораби) или на товари (товарни кораби).

В следващите точки се дава обща представа за аерокосмическите летателни апарати, използвани за дистанционни изследвания на Земята.

2) Балони и аеростати

Типичен представител на летателно аеросредство, по-леко от въздуха, е аеростатът. Той представлява огромен балон от непроницаема за газове материя, напълнен с топъл въздух или с лек газ – водород, хелий и др. Първият аеростат, който на 4 юни 1783 г. се издигнал за кратко в небето над Лион, е построен от братята Жозеф и Етиен Монголфие. Стотина години след първия си полет аеростатът бил използван и за научни цели. През 1887 г. руският учен Дмитрий Менделеев се издигнал с аеростат, за да наблюдава слънчевото затъмнение.

Днес погледите на специалистите отново се обръщат към аеростатите, защото те са сравнително евтини и икономични летателни апарати, имащи и екологични предимства, тъй като не замърсяват атмосферата.

В миналото използвани предимно за военни цели, днес аеростатите са твърде целесъобразни за дистанционни изследвания на Земята и преди всичко за екологичен мониторинг. Чрез аеростатни комплекси, окомплектовани със съответна апаратура и комуникационни средства може да се организира постоянно или само в определено време следене на замърсеността на атмосферата над техногенно натоварени райони – включително и в случаите на трансгранично замърсяване, изследване на акватории, измерване на концентрацията на озона, откриване и следене на горски пожари, контролиране на състоянието на селскостопански насаждения, горски масиви и др.

Понастоящем за дистанционно изследване на Земята и земната атмосфера се използват различни по големина и съответно различни по товароподемност и височина на издигане балони. В най-общия случай това са балони както с обеми от порядъка на десетки кубически метра, способни да издигнат апаратури с маса от порядъка на няколко килограма, така и огромни балони с обеми десетки и стотици хиляди m^3 с товароподемност до хиляда и повече kg. Максималната височина, до която се издигат такива балони, варира от 20 km до 40 km.

3) Самолети и вертолети

Съвременните самолети-лаборатории, които могат да се използват за различни научни изследвания, включително и за дистанционно изследване на Земята, имат височина на полета до около 12 km, далечина на полета достигаща до около 20 000 km и товароподемност от порядъка на десетки тонове.

Измежду стотиците ескизи на технически изобретения, оставени от Леонардо да Винчи, особено значение има *хеликоптерът*. Поради това че подъемната сила при него се получава от винт с вертикална ос, благодарение на което хеликоптерът се издига вертикално нагоре, той се нарича и *вертолет*. Много важно достоинство на хеликоптера е, че той може да се издига вертикално, да „виси“ във въздуха, да лети встрани и даже назад, а за излитане и кацане му е нужна съвсем малка площадка.

4) Безпилотни летателни апарати

За дистанционно изследване в някои случаи се налага получаване на снимки от малки височини ($10 \div 100$ m) и с мащаби от порядъка например на 1:500 или 1:700. Площта, обхваната при такива снимки, може да бъде от порядъка на няколкостотин, дори и няколко десетки квадратни метра. Използване на самолетни или вертолетни лаборатории в такива случаи е икономически необосновано. В други случаи са необходими дистанционни изследвания на

опасни в радиационно или друго отношение обекти и площи, големи пожари, взривоопасни обекти и др. Във всички тези случаи е целесъобразно използването на безпилотни летателни апарати (БЛА), наричани още и радиоуправляеми или дистанционно пилотирани авиосредства, авиомодели и т.н. През последните години масово навлезе наименованието *дронове*.

Използват се различни конфигурации многооторни хеликоптери: с две витла, с три витла и т.н. Най-разпространени са четири витловите хеликоптери, т.нар. *квадрокоптери*, защото този брой витла е минималният брой, който осигурява пълен контрол без нужда от допълнителни контролни повърхнини или накланяне на роторите.

5) Сателити/спътници

Всяко тяло, изведено на геоцентрична орбита и ненапускащо границите на земното гравитационно поле, е *изкуствен спътник на Земята* или *сателит*. Тъй като напоследък двете понятия придобиват гражданственост, се използват като синоними от различните автори в текста. Разбира се, понятието сателит се използва и за естествените небесни тела.

Работещите в автоматичен режим сателити се използват за различни научни изследвания в областта на геофизиката, геодезията, астрономията, географията, биологията, медицината, екологията и изучаването на околната среда и т.н., както и за комерсиални цели – сателитни съобщения, сателитна телевизия, сателитна навигация и др. Някои сателити имат и спускаеми апарати, чрез които на Земята се връщат апаратура, фотографски материали, опитни животни, технологични образци и др.

Първият сателит „Спутник-1“ е изведен в околоземна орбита от бившия Съветски съюз на 4 октомври 1957 г. с ракета-носител „Р-7“.

За около 60 години около нашата планета се изведени почти 10 хиляди сателита от десетки модели и стотици модификации и с най-различни предназначения. Например за измерване на метеорологичните параметри на Земята и околоземното космическо пространство са предназначени метеорологичните сателити. Те са от серията „Метеор“, някои от серията „Космос“, „TIROS“, „Nimbus“, „NOAA“, „ESSA“ и др. Данните и информацията от всички тях в една или друга степен се използват и за изучаване на околната среда.



Фиг. 12. Научноизследователски сателити за дистанционни изследвания

Дистанционното изследване на Земята от Космоса е главното предназначение на сателитите от сериите „Космос“, „TIROS“, „Nimbus“, „Метеор“, „Landsat“, „Ресурс“, „SPOT“ (Sattelite Pour l’Observation de la Terre), „Ikonos“, „Океан“, „Aqua“, „Terra“, „Landsat“, „Sentinel“ и др. „Terra“ е основният космически апарат в програмата EOS (Earth Observing System), на борда на който има три апаратурни комплекса за изследване на Земята.

На Фиг. 12 са илюстрирани някои от най-използваните за дистанционни изследвания сателити.

За решаването на някои задачи, най-вече за дистанционни изследвания на Земята, се налага сателитът да заема точно определено положение в Космоса. Например при наблюдение на Земята една от осите му трябва винаги да е насочена по вертикалата към земната повърхност. В някои случаи се ориентира не целият сателит, а само част от съоръженията му – антени, слънчеви батерии или специални платформи, на които е монтирана научно-изследователска апаратура.

През 90-те години на миналия век се появи понятието „малък сателит“. Очевидно под този термин се има предвид сателит с малка маса и малки габарити. Но все пак, колко малка маса и доколко малки размери? В края на миналия век Аrianespace предлага следната условна класификация на малки сателити.

Наименование	Малък сателит	Микро-сателит	Нано-сателит	Пико-сателит
Маса, kg	500–100	100–10	10–1	под 1

Все по-високата степен на миниатюризация на електронните елементи и намаляването на електрическата им консумация е предпоставка за ефективността на използването на малките сателити, които и в бъдеще ще се използват много ефективно за дистанционно изследване на Земята.

6) Космически кораби

Космическите кораби (КК) служат за транспортиране на космонавти или товари. Според това те се подразделят на пилотирани космически кораби (ПКК) и автоматични. Освен това биват за еднократно използване и за многократно използване. Според предназначението си могат да бъдат околоземни и междупланетни. От междупланетни космически апарати са получени глобални фотографски снимки на Земята, като едни от първите са от автоматичните междупланетни станции на бившия Съветски съюз – „Зонд-5“, „Зонд-6“ и „Зонд-8“.

Първият ПКК е „Восток-1“ на бившия СССР. Стартира на 12 април 1961 г. и с него за пръв път в света космонавтът Юрий Гагарин обикаля Земята за 1 h и 48 min. От борда на „Восток-1“ Юрий Гагарин всъщност прави първото визуално дистанционно изследване на Земята.

Първото дистанционно изследване на Земята с апаратни средства прави космонавтът Герман Титов от борда на ПКК „Восток-2“. На 6 август 1961 г. той осъществи цветни киноснимки на земната повърхност с 35-милиметровата камера „Конвас-автомат“ и стана първият „космически фото- и кинооператор“.

7) Космически кораби за многократно използване

През 80-те години на миналия век в САЩ е създаден пилотиран космически кораб – космическа совалка (КС) за многократно използване, наречена

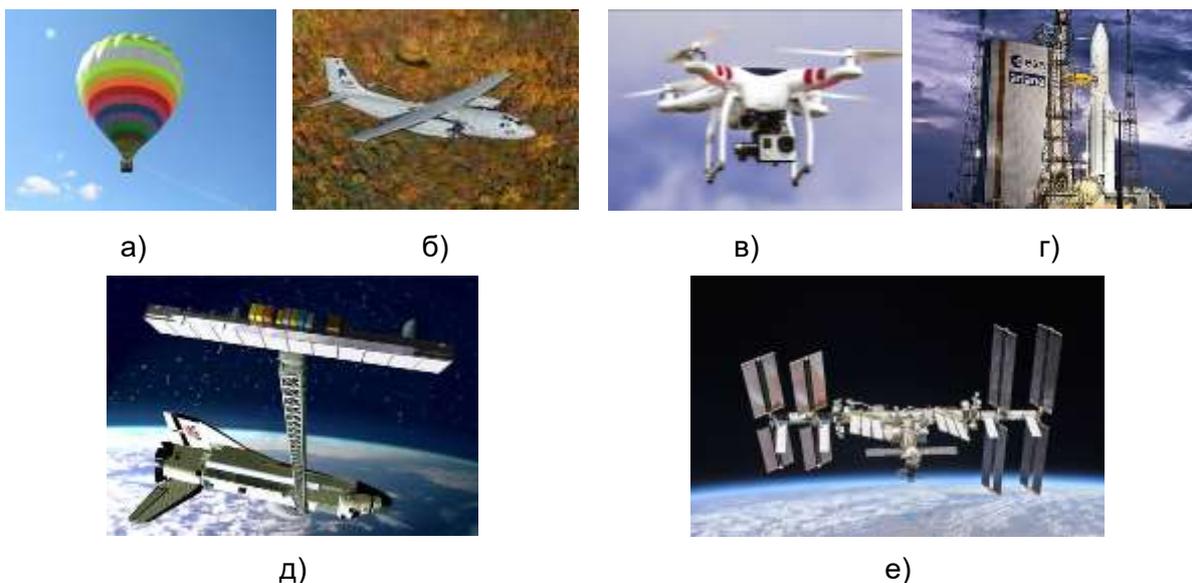
„Space Shuttle“. КС е предназначена за провеждане на научноизследователски и технически експерименти, за извеждане в околоземна орбита на различни сателити и малки орбитални станции, за обслужване и ремонтване на намиращи се в орбита КПА, за връщане на Земята на отделни апаратури и цели КПА, за спасяване на екипажи на аварирали КПА и т.н.

„Space Shuttle“ е най-сложната летателна машина, правена някога – състои се от около 2,5 млн. детайли. Дължината ѝ е 56 m, стартовата ѝ маса е около 2 000 t. Сравнително комфортните условия на полета дават едно изключително предимство за научноизследователска работа на борда ѝ – четирима от екипажа не са професионални космонавти, а учени и специалисти в различни области.

До края на ХХ в. САЩ извършват над 100 полета с космическите совалки „Atlantis“, „Challenger“, „Columbia“, „Discovery“ и „Endeavour“, от борда на които са извършени десетки експерименти по дистанционно изследване на Земята.

8) Орбитални станции

Орбиталните станции (ОС) са тежки сателити, функциониращи продължително време на околоземна орбита. Различават се от обикновените сателити преди всичко по размерите, масата, обзаведеността и универсалността си. Орбиталните станции могат да бъдат пилотируеми или работещи в автоматичен режим и, за разлика от ПКК, не се завръщат на Земята.



Фиг. 13. Видове аерокосмически летателни апарати
а) научноизследователски аеростат (балон); **б)** самолет-лаборатория;
в) безпилотен летателен апарат (дрон); **г)** ракета-носител „Ариана-5“;
д) совалка от мисията SRTM; **е)** орбитална станция ISS

От 1971 в околоземна орбита са функционирали 8 орбитални станции от серии „Салют“ и „Skylab“. През 1986 г. е изведена в орбита съветската орбитална станция от трето поколение „Мир“. Тази станция, с обща маса 143 t, прекрати съществуването си през март 2001 г., след като за 15 години прелетя в околоземна орбита 2,2 млрд. km. На борда ѝ живяха и работиха 104 космонавти, 62-ма от които от други държави, между които и 32-ма американци. Около 30 от тях извършиха експерименти за дистанционно изследване на Земята.

В научната програма по проекта „Шипка“ за полета на нашия космонавт Ал. Александров също са включени експерименти за дистанционно изследване на Земята.

Понастоящем около Земята лети Международната космическа станция (МКС) или International Space Station (ISS), с маса от 450 t, дължина над 100 m и свободен обем около 1 200 m³. Тя е най-голямото космическо съоръжение, създадено досега от хората. МКС се движи по ниска околоземна орбита с височина около 350 km. От борда ѝ са извършени стотици експерименти за дистанционни изследвания на Земята.

На Фиг. 13 са илюстрирани различни видове аерокосмически летателни апарати – балон, самолет, дрон, сателит, космическа совапка и орбитална станция.

5. МЕТОДИ И СРЕДСТВА НА ДИСТАНЦИОННИТЕ ИЗСЛЕДВАНИЯ

1) Общи сведения и класификации

В дистанционните изследвания на Земята се използват различни методи. Съществуват редица класификации на апаратурните методи според различни критерии: използван физичен принцип, активност, обзорност, разделителна способност, начин на регистриране и предаване на данните към Земята и др.

Най-съществената класификация е според използвания физичен принцип. Ако приемем един най-общ за дистанционното изследване термин – дистанционна снимка, то според използвания физичен принцип можем да формулираме фотографски, телевизионни, многозонални, инфрачервени, микровълнови, лазернолокационни, стереоскопични, поляриметрични и други снимки. Тук терминът „дистанционна снимка“ във философски аспект има смисъл на дистанционно регистриране на изследвания обект и неговите характеристики в конкретен момент от време. Употребяват се и други понятия като „дистанционно изображение“, „космическо изображение“, „сцена“, „портрет“ и др.

По критерия активност технологиите за дистанционни изследвания на Земята са два вида – *пасивни* и *активни*.

При пасивните се използва естественото отражение или вторичното топлинно излъчване на обектите от земната повърхност, без да им се влияе изкуствено. Това отражение или излъчване е обусловено от слънчевата активност (Фиг. 14 а). Типични представители на пасивните методи са фотографската и телевизионната снимка.

При активните методи за дистанционно изследване на Земята се регистрира отразен от земните обекти изкуствен сигнал, насочено излъчен към тях, без значение дали е през деня или през вечерта (Фиг. 14 б). Типичен представител на тези методи са радиолокационните снимки.

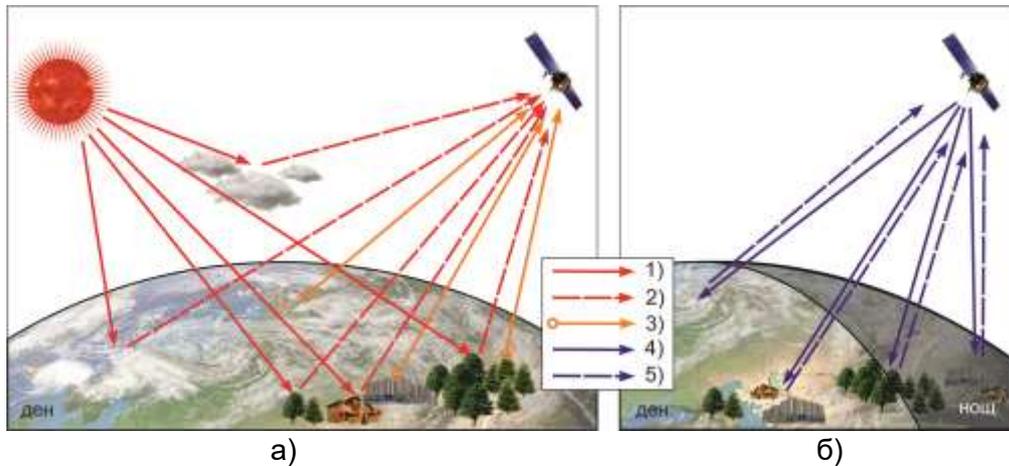
По отношение на обзорността си космическите снимки се разделят на детайлни, местни (локални), регионални, континентални и глобални.

Според пространствената си разделителна способност (ПРС) аерокосмическите снимки биват с висока (под 2 m), средна (2–30 m) и ниска (над 30 m) разделителна способност.

Начините на предаване на данните към Земята са: чрез спускаем апарат, по телеметричен канал в реално време, по телеметричен канал на предварително запаметена на борда информация и др.

Във всички тези класификации има известна доза условност, обусловена преди всичко от историческото развитие на различните методи – различните

периоди от време на създаването и прилагането им, различната степен на използване и др., от някои терминологични проблеми, от постоянното повишаване на качествата и възможностите на апаратурата и т.н.



Фиг. 14. а) Пасивни и б) Активни дистанционни изследвания;
 1) слънчева радиация, 2) отразена слънчева радиация, 3) собствено излъчване,
 4) изкуствен сигнал от спътника, 5) отразен изкуствен сигнал

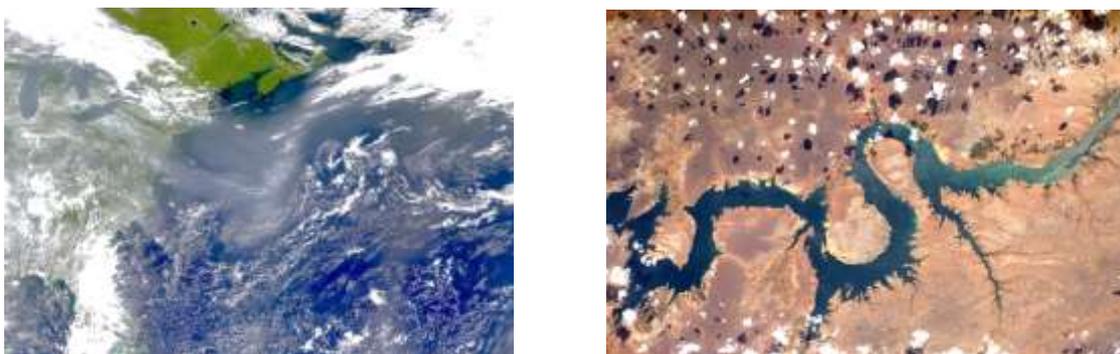
По-нататък последователно се разглеждат съвсем накратко принципите, особеностите, възможностите и ефективността на различните видове дистанционни аерокосмически снимки, както и най-характерните технически средства, с които те се реализират. Естествено, по-голямо внимание е отделено на онези методи и средства, които се използват най-широко за изследвания за целите на екологията и за изучаването на околната среда.

2) Фотографска снимка

Аерокосмическата фотография се използва за заснемане на обекти, разположени на повърхността на Земята, като в резултат се получава фотоснимка. Това е изображението – документът, по който се прави изследване на оригинала, т.е. по изображението се изучава заснетият обект или явление.

Първата фотоснимка от борда на самолет е направена над Сан Диего (САЩ) през 2011 г. Първата фотографска снимка от Космоса е направена от борда на сателита „Explorer-6“ на 14 август 1959 г.

Най-общите изисквания за обективността на една аерокосмическа фотоснимка са тя да осигурява предаване с минимални изкривявания на формите, разпределенията на яркостите и цветовете на обекта.



Фиг. 15. Аерокосмическа фотоснимка

Аерокосмическата фотоснимка притежава три вида интеграционни свойства: териториални, факторни и динамични. Най-важна е факторната интеграция, която позволява на една и съща аерокосмическа фотоснимка да се получат съвместими изображения на различни елементи на геосферата – например обекти от земната повърхност и облаците над нея (Фиг. 15). А чрез динамичната интеграция, като се получават многократно изображения на един и същи обект в различни моменти от време, може да се проследи динамиката в развитието на природните и антропогенните явления и процеси. Този вид интеграция е особено ценна при изучаване на екологични процеси в околната среда.

В зависимост от ъгъла между оптичната ос на фотоапаратурата и местната вертикала се различават: *планово, перспективно, планово-перспективно и панорамно* аерокосмическо фотографирание.

Предимство на плановата аерокосмическа снимка е еднаквият мащаб във всички посоки. Недостатък на този вид снимки е, че обектите се виждат само фронтално, а не и от страни.

Перспективните аерокосмически фотографски снимки са пригодни и за измервателни цели. При тях се обхващат по-големи територии от земната повърхност, отколкото при плановите.

Най-големи части от повърхността на Земята се обхващат при панорамното фотографирание.

Поради недостатъците на класическата фотографска технология, понастоящем дистанционно фотографирание от Космоса се прави изцяло с цифрови фотокамери. Днес космическите фотоснимки представляват интерес предимно като архив за сравняване и отчитане на измененията на обектите във времето.

3) Телевизионна снимка

Оперативните задачи на аерокосмическите изследвания не могат да бъдат решавани чрез фотографските аерокосмически снимки. Това налага създаването и бързото развитие на космическите телевизионни системи (Фиг. 16). Независимо от общите физични принципи с конвенционалните телевизионни системи, телевизионната апаратура на борда на КЛА трябва да работи при редица специфични условия, което определя съществуването и развитието на космическата телевизионна техника като сравнително самостоятелен дял на телевизионната техника.

Освен за дистанционни изследвания на Земята и други планети монитраните на борда на КЛА телевизионни системи се използват и за други цели: контрол на състоянието на космонавтите и на бордовата апаратура, ретранслация на информация, следене на състоянието и движението на други КЛА и т.н. Много важно приложение имат телевизионните системи при решаване на навигационни задачи в междупланетни космически полети.

Във връзка с реализацията на Международния космически проект „Фобос“ за изследване на планетата Марс и нейния естествен сателит Фобос, с активното участие на български учени и специалисти е създаден видеоспектрометричен комплекс (ВСК), включващ триканална телевизионна камера и спектрометър, даващи възможност за получаване на изображения в три зададени спектрални зони, извършващ едновременно с това спектрометриране на изследвания обект.



а)



б)



в)

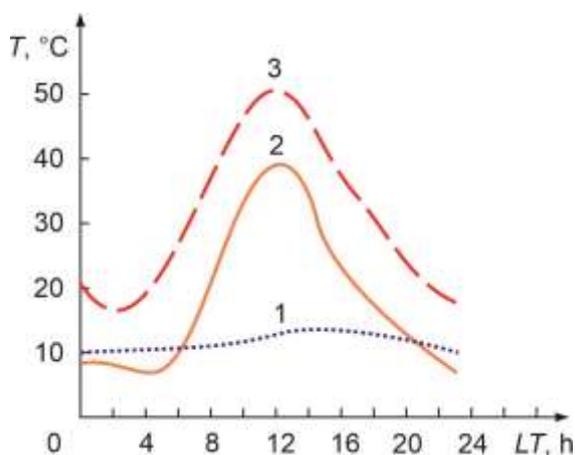
Фиг. 16. Телевизионна снимка на Земята от Космоса

- а)** първата телевизионна снимка на Земята от Космоса от спътника „Tiros 1“, 1960 г., НАСА, **б)** телевизионна снимка на Земята, от руски спътник „Молния“, 1966 г., **в)** телевизионна снимка на Земята от борда на „Аполо 17“, 1972 г.

4) Инфрачервена снимка

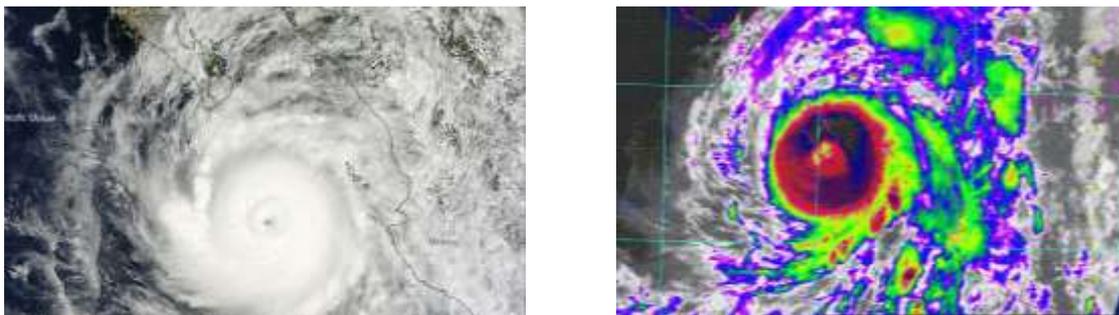
При инфрачервената (ИЧ) аерокосмическа снимка се използва собственото излъчване на изследвания обект. Източници на радиация в инфрачервената област на електромагнитния спектър са всички природни и антропогенни обекти, които имат температура по-висока от абсолютната нула. От друга страна, с температурата и температурните контрасти са свързани почти всички явления и процеси в обкръжаващата ни среда. Аерокосмическите снимки в ИЧ област носят информация за изследвания обект, независимо от условията на осветеността му. Инфрачервеният диапазон на спектъра е признат от специалистите като един от най-важните за дистанционни изследвания в геологията, горското стопанство, водните ресурси и агротехниката.

Най-общо природните обекти и явления, изучавани чрез ИЧ снимки, могат да се разделят на две групи. Тези от първата изменят температурата си в зависимост от слънчевото греене и имат сравнително малки температурни контрасти спрямо фона в зависимост от природните условия и от часа на денонощието. На фиг.17 са дадени примери за изменението на температурата на няколко характерни природни обекта от първата група през различните часове на денонощието. Във втората група са обекти и явления със значително по-висока собствена температура - вулкани, горски пожари, геотермални води, урагани и др. (Фиг. 18).



Фиг. 17. Илюстрация на изменението на температурата на някои характерни природни обекти през различни часове на денонощието:

1 – река; 2 – ливада; 3 – гранит

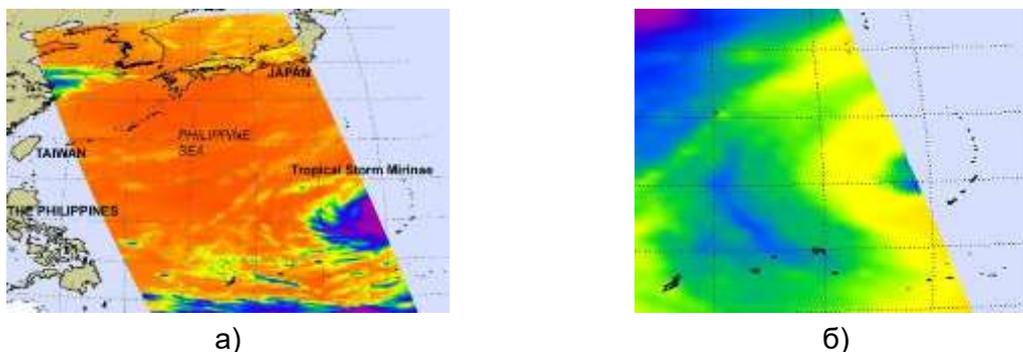


а) б)
Фиг. 18. Изображение на големия ураган „Одил“, който се „блъсна“ на 15 септември 2014 г. в 12:45 ч. в полуостров Баджа, Мексико
 а) във видимия диапазон и на б) ИЧ снимка

ИЧ диапазон се подразделя на три зони: близка ИЧ зона – от 0,7 до 2,5 μm ; средна зона – от 3,4 до 4,2 μm , и далечна – от 8,8 до 12,3 μm , всяка от които е специфична по своята информативност и съответно се използва за различни цели. В близката ИЧ зона се получават качествени данни за картографията и комплексните географски изследвания. По снимки в тази зона може отчетливо да се проследи брегова линия и да се оцени ледова обстановка. Разделителната способност на ИЧ снимки в близката зона е от няколко десетки до няколко стотици метра. Средната ИЧ зона се използва за изучаване на пространствено-времените характеристики на топлинното излъчване на Земята, локалните топлинни нееднородности и аномалии, областите на млад вулканизъм и подпочвените води. Разделителната способност в тази зона варира от няколко километра до няколко десетки километра. Регистрираната радиация в далечната ИЧ зона се използва за изучаване на вулкански райони, за съставяне на температурни карти, за целите на геоложкото картографиране и др. Изследванията в тази зона се извършват и през деня, и през нощта, като разделителната способност на снимките е от порядъка на 2 km през деня, и съответно 4 km през нощта.

5) Микровълнова снимка

Чрез микровълновите снимки се измерват интензивността и поляризацията на собственото радиотоплинно излъчване на различните природни образувания в свръхвисокочестотния (СВЧ) диапазон с дължини на вълните от 0,3 до 30 cm, т.е. в диапазона от честоти от 1 000 до 100 000 MHz (Фиг. 19).



а) б)
Фиг. 19. а) Инфрочервена и б) Микровълнова снимка на тропическия циклон „Марина“ от 27 октомври, НАСА

За количествена оценка на топлинното радиоизлъчване е прието понятието *радиояркостна температура*.

Много често радиацията от природните обекти е поляризирана. Поляризацията е тясно свързана с характеристиките на повърхността на изследвания обект.

Собствената радиация на природните обекти се измерва със свръхвисоко-честотна радиометрична апаратура. В най-общия случай СВЧ радиометърът се състои от приемно устройство с антена и регистрираща апаратура. Приемното устройство приема и измерва интензивността на излъчването от елемента на земната повърхност, обхванат от зрителното поле на антената. Данните във вид на електрически сигнали с различна интензивност се регистрират на борда на ЛА или се предават непосредствено към Земята.

За изследване на райони от земната повърхност, размерите на които превишават значително по ширина и дължина размерите на елемента на обзор на радиометъра, се използват сканиращи СВЧ радиометрични системи. Сканирането при тях става по два начина – механично и електронно.

На борда на модула „Природа“ в състава на орбиталния комплекс „Мир“ от 1996 г. до края на съществуването на комплекса (2001 г.) работи двуполяризационната свръхвисокочестотна сканираща радиометрична система Р-400, създадена в ИКИТ-БАН (Фиг. 20).



Фиг. 20. Сканиращата антенна система, електронният блок и колективът от ИКИТ-БАН, разработил системата Р-400

б) Радиолокационна снимка

Значително по-големият динамичен диапазон в радиообхвата в сравнение с оптичния обхват позволява в радиовълновата област на електромагнитния спектър да се търсят спектрални различия на изследваните обекти в значително по-голям честотен диапазон.

Радиолокационната аерокосмическа снимка спада към активните методи на дистанционните изследвания. При нея се регистрира не само естественото радиоизлъчване на обектите, но и отразеният, изпратен към тях, изкуствен радиосигнал.

Активните аерокосмически дистанционни технологии притежават следните най-важни характерни особености и възможности:

- независимост от метеорологичните условия и от часа на денонощието;
- получаване на изображения на различни слоеве на изследвания обект;
- възможности за получаване на контрастни изображения и от неконтрастни обекти;
- възможности за постигане на по-добра разделителна способност в сравнение с пасивните СВЧ радиометрични снимки.

При формирането на радиолокационните аерокосмически снимки влияние оказват физичните свойства на изучаваните обекти: влажност, плътност и електропроводимост, както и морфологията на релефа, ъглите на склоновете, растителната покривка, характерът на земната повърхност – зърнистост, грапавост и т.н.

Технологичните възможности за генериране на радиоизлъчване със спектрална плътност, не по-малка от тази на слънчевата радиация, както и добре усвоените и управляеми параметри – честота, поляризация, продължителност на импулса, диаграма на излъчване, мощност и т.н., позволяват създаване на редица различни технически средства за реализиране на активна радиолокационна аерокосмическа снимка.

а. Радиовисотомер

Радиовисотомерът е типична радиолокационна апаратура, работеща в СВЧ диапазон. Принципът на действие е излъчване на импулси от предавателя му, които достигат земната повърхност и, отразявайки се от нея, се приемат от приемника му. Височината на полета на ЛА над земната повърхност се определя на базата на измерения времеви интервал от излъчването на импулса до приемането на отразения сигнал.

На базата на точно и достатъчно често измерване на височината може да се получи височинен профил на земната повърхност по трасето на ЛА.

За точно измерване на нивото на големи водни басейни и параметрите на ледовите покрития се използва *алтиметър*. Един типичен пример е алтиметърът на борда на сателита ERS.

б. Радиолокатор със страничен обзор

Радиолокаторът със страничен обзор е предназначен за получаване на радиолокационни портрети на наземни обекти. Чрез предавателното устройство на радиолокатора през равни интервали от време се изпращат кохерентни радиоимпулси с малка продължителност, които, отразени от наземните обекти, се приемат от приемното устройство. Ориентацията на антената остава постоянна, а сериите импулси се подават така, че във всяка серия всеки от двата последователни импулса да има обща част от обзора с предхождащия импулс.

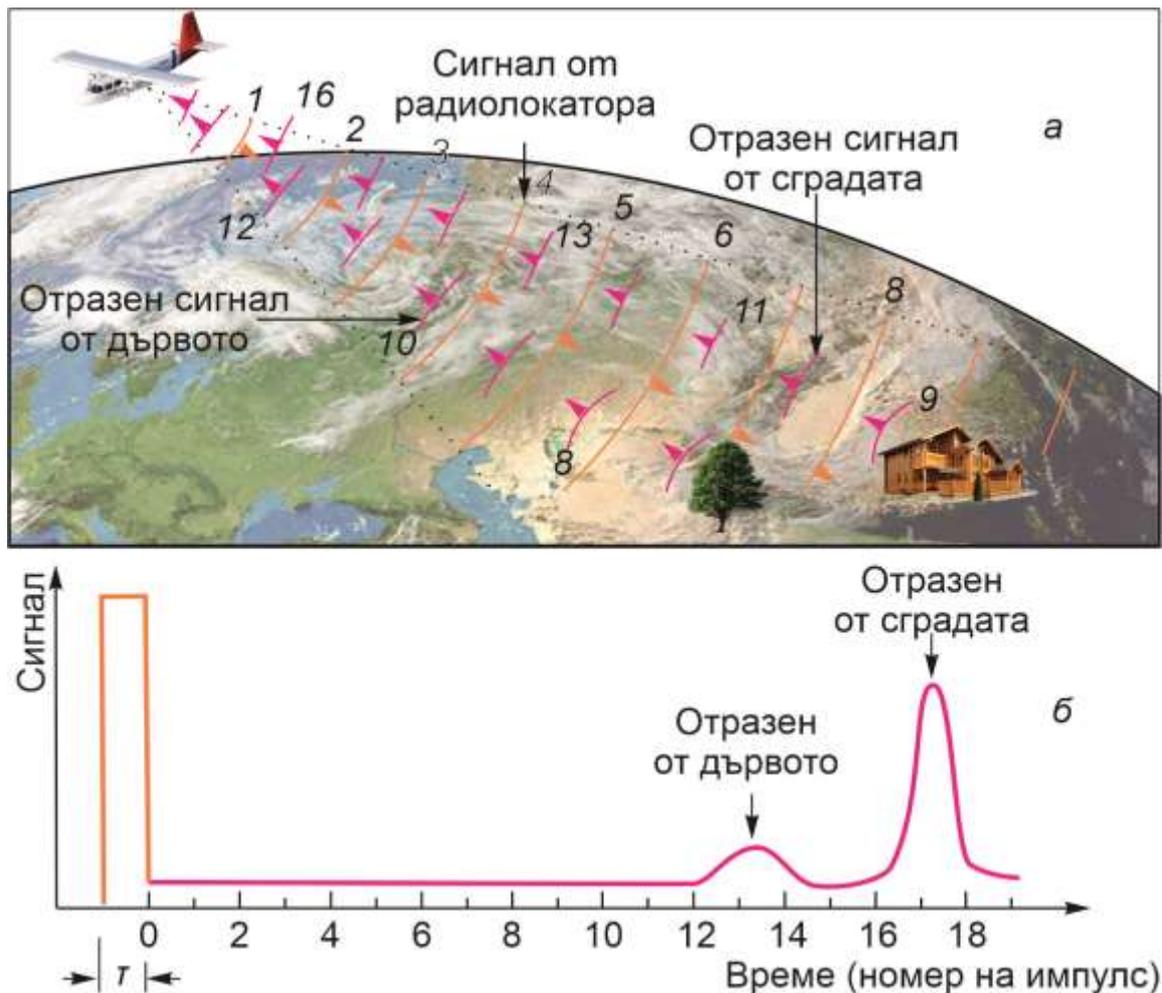
На Фиг. 21 са илюстрирани отразените от постройка и дърво сигнали на радиолокатор със страничен обзор, работещ на борда на самолетна лаборатория.

в. Радиолокатор със синтезирана апертура

За повишаване на разделителната способност, без увеличаване на физическите размери на антената, се използва принципът на синтезираната апертура. В своята същност локацията на земната повърхност чрез радиолокатор със синтезирана апертура представлява определяне на координатите и на радиояркостите на наземните обекти с помощта на радиолокационно устройство,

приемно-предавателните елементарни антени на което са разположени в няколко точки на орбитата, т.е. синтезират се като антенна решетка с много големи, достигащи до десетки километри, размери. Поради това такава радиолокация се нарича със синтезирана антена или със синтезирана апертура (РСА) или SAR (Synthetic Aperture Radar).

Радиолокаторът със синтезирана апертура е един от най-важните и перспективни апаратни средства за дистанционно изследване на Земята. Чрез него се получава визуална информация независимо от времето през денонощието, от осветеността и от метеорологичните условия.



Фиг. 21. Отразени от постройка и дърво сигнали на радиолокатор със страничен обзор

г. Скатерометър

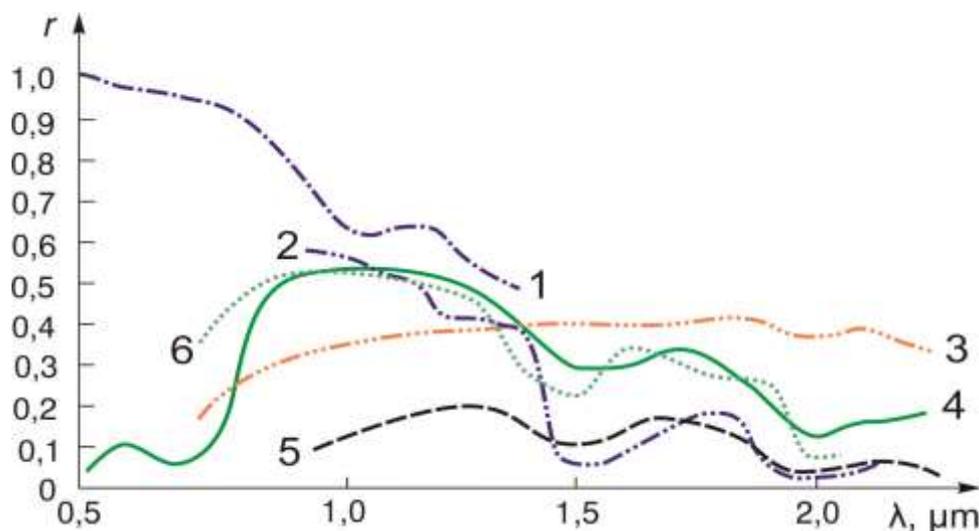
За определяне на балността на вълнението на водните повърхности и скоростта на вятъра над тях се използва скатерометър (измервател на разсейването). Той представлява радиолокационна апаратура, работеща в СВЧ диапазон на електромагнитния спектър. В скатерометъра се използват няколко антенни устройства с еднакви диаграми на насоченост, но ориентирани по различен начин спрямо равнината на орбитата и вектора на скоростта на ЛА. Полетата на обзор на отделните антенни устройства оформят зрителното поле на антенната система като цяло. Антенните устройства последователно излъчват

импулси и приемат отразения сигнал. Големината на този сигнал зависи от състоянието на морската повърхност и от ъгловата ориентация на попадащия върху фронта на водната вълна радиосигнал. При спокойна водна повърхност приетите във всички антени (обикновено четири) отразени сигнали ще бъдат еднакви. При развълнувана водна повърхност обаче те ще бъдат различни. Именно тези различия в приетите от отделните антени сигнали са база за определянето на балността на вълнението.

Съществува и друга принципна възможност за реализиране на радиолокационни изследвания, която се базира на *Доплеровия ефект*. В този случай по изменението на честота отразения сигнал се определя радиояркостта на повърхността, от което може да се определи скоростта на водните вълни.

7) Спектрофотометрична снимка

Спектралният коефициент на отражение (СКО) на природните обекти и образувания е функция на редица техни физикохимични и биологични свойства, на степента им на влажност, на фенологичното състояние, на проективното покритие и т.н. Затова може да се каже, че СКО е многофакторна фотометрична функция. Именно тази многофакторност определя високата дешифровъчна информативност на спектралния коефициент на отражение, съответно на спектралните отразителни характеристики (СОХ). На Фиг. 22 са илюстрирани СОХ на някои характерни природни образувания.



Фиг. 22. Спектрални отразителни характеристики (СОХ) на някои естествени повърхности: 1 – сняг, 2 – пресно навалял сняг, 3 – ситен пясък, 4 – листа на растения, 5 – черен влажен торф, 6 – брезова гора

За експерименталното определяне на СКО се използва спектрометричната снимка. Когато спектрометричното изследване е само във видимия диапазон, снимката е *спектрофотометрична*.

Чрез спектрофотометрите най-общо се получава *спектрограма* – интензивността на отразената радиация от наземния обект в зависимост от дължината на вълната.

Главното достоинство на спектрофотометъра е сравнително простото му устройство и действие. За един цикъл на работа се получават едновременно характеристиките на интензивностите за целия спектрален диапазон. Като недостатък може да се посочи невисоката точност.

Във връзка с изпълнението на програмата „Шипка“ за полета на българския космонавт Александър Александров и по-специално на програмата „Георесурс“ за дистанционно изследване на Земята в Института за космически изследвания и технологии при БАН е разработена и реализирана многоканална спектрометрична система „Спектър-256“ (Фиг. 23 б). С нея работиха в продължение на повече от 10 години и почти всички екипажи на орбиталния комплекс „Мир“.

Системата „Спектър-256“ е усъвършенстван и модернизиран вариант на спектрометричната система „Спектър-15“ (Фиг. 23 а), също разработена от български специалисти във връзка с Научната програма за полета на първия български космонавт Георги Иванов. И в тази програма особено място заема дистанционното изследване на Земята с цел изучаване на природни образувания, геофизични процеси и явления, антропогенното въздействие върху околната среда и т.н.



а)



б)

Фиг. 23. Системите а) „Спектър-15“ и б) „Спектър-256“

в) Лазернолокационна снимка

а. Лазернолокационна геодезична снимка

Съвременната технология на сателитната геодезия може да се раздели на *оптична* и *радиотехническа*. Към оптичните технологии спада лазерната локация на геодезичен сателит. За дистанционни изследвания на Земята тази технология има приложение в лазерната локация на геодезичен сателит и е един от основните методи в космическата геодезия. При такава локация се измерват разстоянията от лазерния локатор до сателита, на външната повърхност на който са монтирани специални отражатели, наричани *трипел-призми*, представляващи равностранни триъгълни пирамиди, изработени от кварц или друг висококачествен стъклен материал.

Външната повърхност на специалните геодезични сателити е покрита изцяло с лазерни отражатели. В околоземна орбита се движат десетки такива сателити.

За лазернолокационни снимки са експериментирани и сателити с общо предназначение. Типичен пример е съветско-българският „Интеркосмос-България 1300“, изведен в околоземна орбита на 7 август 1981 г. Монтираният на него лазерен отражател имаше основно предназначение определяне на положението на спътника при измерването на физичните параметри на йоносферата и магнитосферата на Земята. Това беше първият на практика успешен експеримент за лазерна локация на сателит със сравнително големи габарити и слънчеви батерии.

б. Лидари

За дистанционно изследване на атмосферата от борда на КПА се използват и лазерни локатори с оптични квантови генератори – лидари (Light Detection and Ranging). Методът на тези изследвания се основава на регистрацията на изменението на интензивността на отразения сигнал, дължащо се на разсейващия слой на атмосферата по пътя на оптичния лъч.

Изследването на атмосферата с лидари се прави на две или повече честоти. Едната от тях съвпада с линията на поглъщане на една от изследваните атмосферни компоненти, а другата не съвпада с нито една от останалите възможни компоненти. Разликата между приетите отразени сигнали дава възможност за оценка на влиянието на средата върху отслабването на сигнала, а оттам и за определяне на концентрацията на съответното вещество в изследвания атмосферен слой.

Използване на лидарите позволява заснемане на 3D изображения, поради способността на камерата да излъчва по-голям сигнал и да регистрира пространствените връзки и измерения. Това дава възможност за по-прецизни изображения, тъй като заснетите кадри не е необходимо да бъдат „зашити“ и системата не е чувствителна към движението на платформата, което води до по-малко изкривяване (Фиг. 24).



Фиг. 24. 3D лидарно изображение

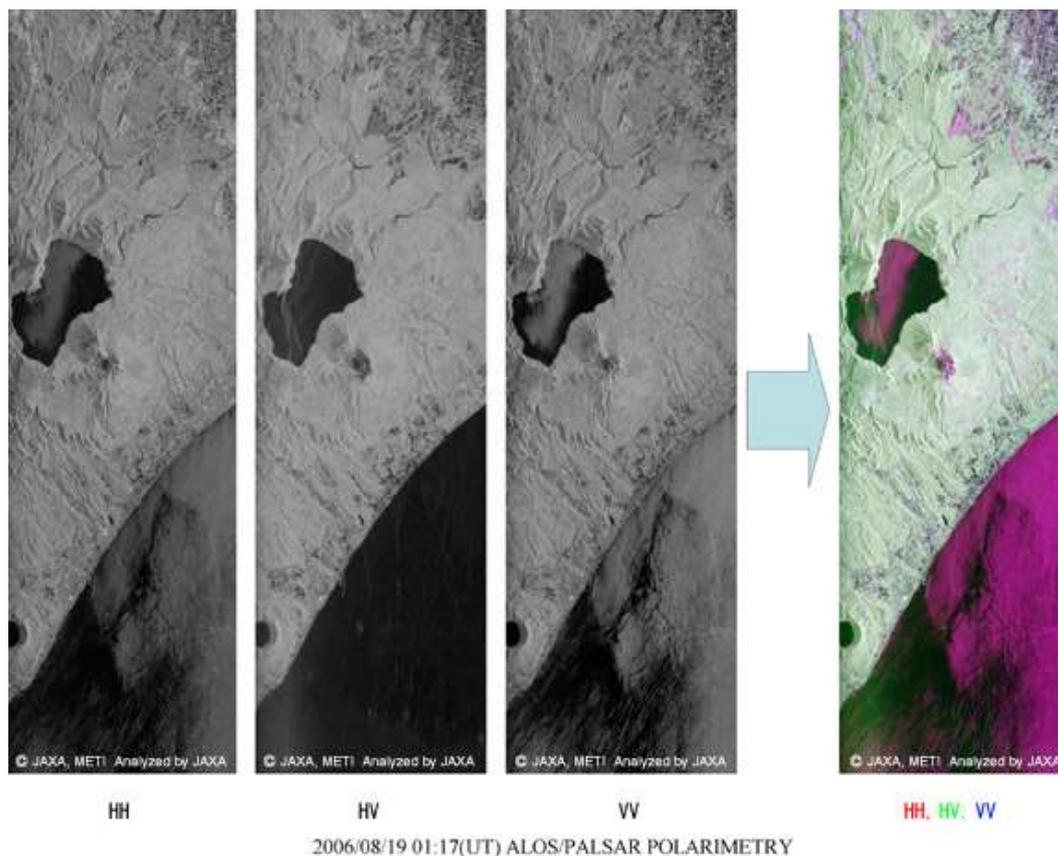
9) Геодезична снимка чрез GPS

При изследването на съвременната геодинамика особено перспективни са глобалните сателитни системи за определяне на местоположението на точки от земната повърхност. Тези системи са добили гражданственост като глобални позиционни системи – GPS (Global Position System). Те са разгледани подробно в Модул 2 на тази книга.

Навигационните сателитни системи намират приложение в опазването на околната среда и в чисто навигационен аспект. При изследването на озоновия слой се използват балони, оборудвани с GPS, чрез които се определят точно мястото на изтъняване на слоя и намаляване на концентрацията на озон в него. Чрез вертолетите, летящи по периметъра на горски пожари, практически в реално време се получава точно картографиране на обхванатия от огъня район. Точното местоположение на плаващите радиобуйове, регистриращи нефтени разливи в океана, също определя с висока точност мястото на тези разливи. GPS намира приложение и при авиационното разпръскване на изкуствени торове и пестициди, като гарантира наторяване на точно определени територии.

10) Поляриметрична снимка

В най-широк смисъл поляриметрията е метод за измерване на степента и вида на поляризацията на светлината при преминаването ѝ през оптично активни среди. Степента на поляризация на светлината е един от най-информативните параметри, описващ отражателните свойства на обектите. Въпреки това изследване на земната повърхност чрез поляриметрични дистанционни измервания не е широко разпространено. Причини за това са техническите трудности при получаване на поляриметрични характеристики с висока точност, както и доскоро сложната и нееднозначна интерпретация на поляриметричните данни.



Фиг. 25. Поляриметрично изображение на ALOS/PALSAR

Първите реално използвани поляризационни дистанционни снимки от борда на самолет са направени в бившия Съветския съюз през 1973 г. с цел изучаване на вълненията и на нефтеното замърсяване на водни повърхности.

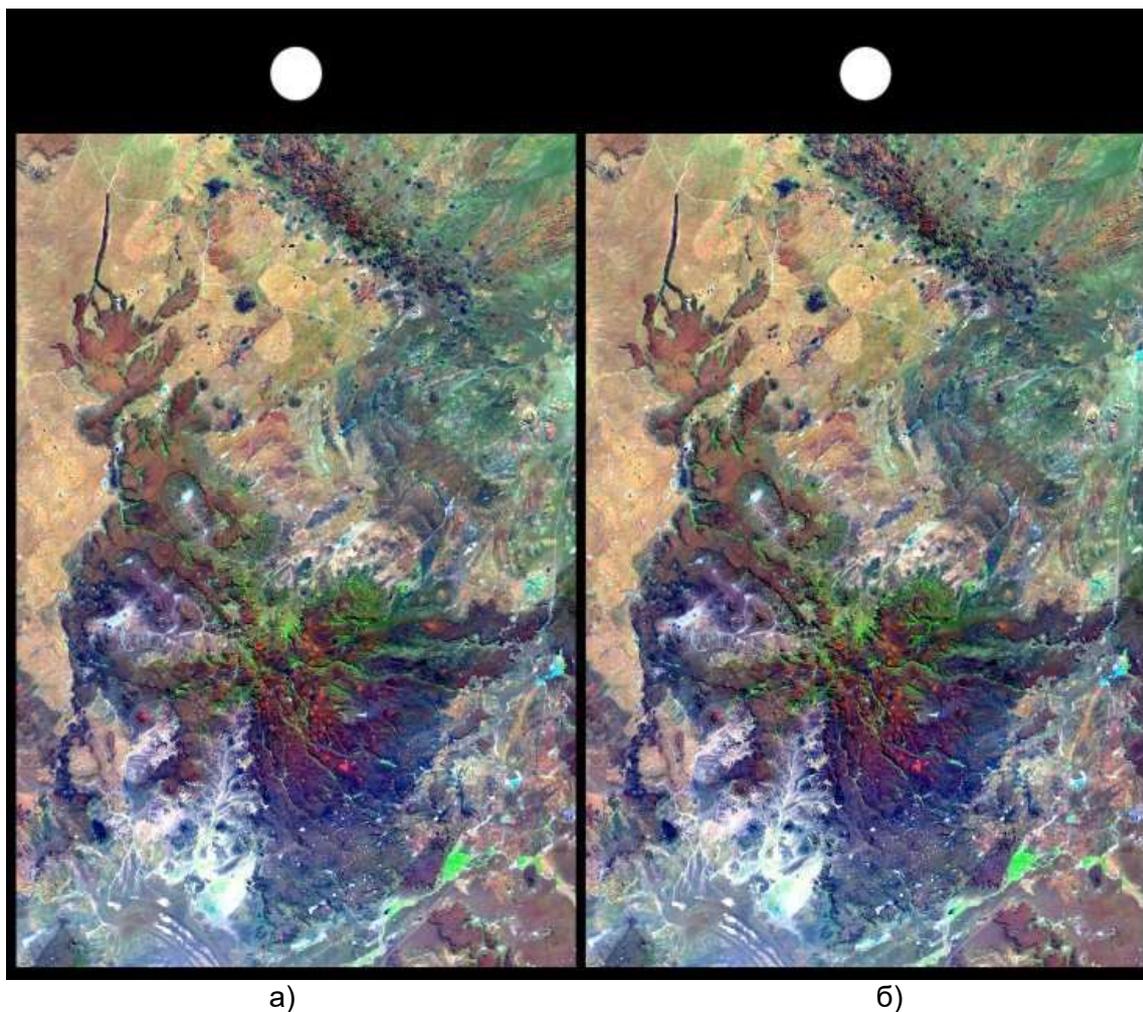
Поляриметрични снимки са използвани успешно за различаване на фазовото състояние на облаците и за очертаване на зоните на проливни валежи. Чрез поляриметрични дистанционни изследвания може точно да се определят границите на нефтени замърсявания в океана и се даде преценка за дебелината на нефтения слой.

През 2006 г. Япония изведе в околоземна орбита сателита ALOS (Advanced Land Observing Satellite), на борда на който се експлоатира поляризационна апаратура PALSAR, предназначена за изучаване на динамичните явления в системата океан-атмосфера и морския лед в северозападната част на Тихия океан, както и регистрация на нефтени замърсявания на океанската повърхност (Фиг. 25).

11) Стереоскопична снимка

Стереоскопичните снимки (Фиг. 26) са особено ценни, когато трябва да се определи разликата между височините на отделни обекти върху земната повърхност. Този вид снимки могат да се получат от околоземна орбита по два начина.

Първият е чрез едновременно фотографиране на съответните територии от борда на един и същи КПА в един и същи момент от време с две камери, оптичните оси на които сключват малък ъгъл помежду си.



Фиг. 26. Стерео двойка изображения на вулкани в Патагония, Аржентина.
Комбинация от SRTM и Landsat изображения, NASA
а) ляво и б) дясно изображение

При втория начин фотографирането се прави от две последователни точки от орбитата в два последователни момента от време с една и съща камера. Така се получава необходимият ъгъл между оптичните оси на камерите при осъществяването на отделните снимки. Стереоскопично изображение се получава само в онези части от снимките, които се припокриват.

Един типичен пример за апаратура за стереоскопични снимки е HRS (Haute Resolution Stereoscopique), монтиран на борда на сателита „SPOT-5“, изведен в околоземна орбита през месец май 2002 г.

12) Визуални изследвания от околоземна орбита

Визуалните изследвания заемат особено важно място в дистанционното аерокосмическо изследване на Земята. Още първите полети на човек във въздуха са свързани с наблюдения на земната повърхност. Това се отнася както за полетите с балони, аеростати, самолети и хеликоптери, така и за полетите на човек в Космоса. Първият човек, летял в Космоса през 1961 г. – Юрий Гагарин, прави от борда на ПКК „Восток-1“ и първото визуално наблюдение на Земята от околоземна орбита. Известно е неговото художествено-лирично описание на Земята, каквато я видяха за първи път човешки очи от Космоса.

На Земята човек възприема около 85 % от цялата информация чрез очите си. А в условията на космически полет ролята на човешкото зрение става още по-важна. Чрез нея човек, живеещ и работещ на околоземна орбита, получава почти 95 % от информацията за обкръжаващия го свят.

Жизнените и работните условия по време на космически полет съществено се различават от нормалните условия на човешкия живот на Земята. Динамичните фактори, определящи „космическите“ условия, могат да се групират в три групи: *скорост, ускорение и претоварване; шум и вибрации; безтегловност*. Всички те влияят върху организма на човека, включително и на зрителната му система.

Един от най-важните и характерни фактори, влияещи върху космонавтите по време на космически полет, е безтегловността. Това състояние настъпва след извеждане на КЛА в орбита. Безтегловността влияе върху кръвообращението, дишането, сърдечната дейност, работата на централната нервна система, сетивните органи и т.н. Под въздействие на безтегловността се нарушава ориентацията на човека в пространството. Тази ориентация се осъществява чрез сложно функционално взаимодействие между зрителния, слуховия и вестибуларния апарат. Визуални изследвания от орбита се правят когато КЛА се установи на орбита, поради това за тези изследвания главно влияние има безтегловността.

Определени са няколко функционални показателя на зрителната система, за които може да се приеме, че до голяма степен обуславят ефективността на визуалните наблюдения от Космоса (Фиг. 27). Тези показатели са: *острота на зрението* (разделителна способност), *контрастна чувствителност*, *цветоразделно зрение* и *оперативна зрителна работоспособност*. Последният параметър в известна степен е обобщаващ, защото отчита едновременно честотно-контрастната характеристика и инертността на зрението.

Едно сравнение на зрителната система на човека със съществуващите понастоящем оптични апарати и системи показва някои много ценни нейни характеристики:

- голям динамичен диапазон – над 200 dB;
- достатъчно високо цветоразделно зрение – праг на различаване на дължините на вълните във видимата област на спектъра до 1 nm;
- добра пространствена разделителна способност, която при благоприятни условия на осветление и висок контраст може да е по-добра от 1';
- малка инерционност – времеконстанта $\tau < 0,2$ s;
- добра адаптивност и продължителна работоспособност.

Независимо че съществуват апаратури, които по отделни показатели превъзхождат характеристиките на човешкото зрение, ясно е, че засега е невъзможно да се създаде оптична апаратура, притежаваща уникалното съчетание на

всичките прекрасни качества на човешката зрителна система. Всичко това, съчетано с оперативността и селективността на визуалните наблюдения от Космоса ги правят едни от най-важните и ефективни методи и средства за дистанционни изследвания на Земята от Космоса.



Фиг. 27. Визуално наблюдение

Атмосферата оказва значително влияние върху ефективността на визуалните наблюдения от околоземна орбита. Прозрачността на безоблачна атмосфера във видимата част на електромагнитния спектър зависи главно от влажността и аерозолното съдържание. Съществено значение има и стратификацията на атмосферата (зависеща от годишния сезон) и височината над морското ниво на наблюдаваните земни обекти.

За достоверността на получаваната на борда на КЛА визуална информация съществено значение има и състоянието на илюминаторите.

Десетки космонавти от борда на ПКК, орбитални станции и космически совалки са наблюдавали, документирали и описвали стотици наземни обекти и явления по земната суша, в световния океан и в атмосферата. Значителна част от тези изследвания са за целите на екологията и изучаването на околната среда, включително и при изучаване на природни бедствия и екологични катастрофи.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Мардиросян, Г. От Космоса срещу екологичните катастрофи. Изд. на БАН, София, 1993, 210 с.
2. Мардиросян, Г. Аерокосмически методи в екологията и изучаването на околната среда. Акад. издат. „Проф. Марин Дринов“, 2003, 208 с. ISBN 954-430-939-X (1)
3. Мардиросян, Г. Въведение в космонавтиката. Акад. издат. „Проф. Марин Дринов“, София, 2012, 262 с. ISBN 978-954-322-519-4
4. Мардиросян, Г. Основи на дистанционните аерокосмически технологии. НБУ, София, 2015, 240 с. ISBN 978-954-535-882-1
5. Наблюдение на Земята от Космоса. Учебно помагало за самостоятелна подготовка в извънкласни дейности по природни науки. ИКИТ-БАН, 2018, 190 с. ISBN N978-619-7490-03-9

ТЕСТ 1

върху Модул 1

- 1. Колко е минималната начална скорост, която трябва да получи тяло, за да стане изкуствен спътник на Земята (сателит)?**
 - A) 1000 km/h
 - Б) 7,9 km/s
 - В) 12 km/s
- 2. Колко е периодът на сателит, движещ се по геостационарна орбита?**
 - A) 6 h
 - Б) 12 h
 - В) 24 h
- 3. Кой вид орбита на космически летателен апарат удовлетворява изискването за еднаква пространствена разделителна способност?**
 - A) елиптична
 - Б) параболична
 - В) кръгова
- 4. При инфрачервената аерокосмическа снимка кой параметър на изследвания обект се използва?**
 - A) собственото топлинно излъчване
 - Б) влажността
 - В) електропроводимостта
- 5. Към активните методи за дистанционни изследвания спада:**
 - A) микровълновата снимка
 - Б) радиолокационната снимка
 - В) спрлектрофотометричната снимка
- 6. Лидарът представлява:**
 - A) лазерен локатор с оптичен квантов генератор
 - Б) система за стереоскопични снимки
 - В) поляриметрична система
- 7. Какви са дължините на вълните във видимата област на електромагнитния спектър**
 - A) от ≈ 200 до ≈ 300 nm
 - Б) от ≈ 400 до ≈ 700 nm
 - В) от ≈ 900 до ≈ 1200 nm

8. При дистанционната стереоскопична снимка се определят:

- A) разликата между температурите на отделните обекти
- Б) спектралните отражателни характеристики на отделните обекти
- В) разликата между височините на отделните обекти

9. Какво е най-общото определение за орбитална космическа станция

.....
.....
.....
.....

10. Дайте най-общо определение за дистанционни изследвания на Земята

.....
.....
.....
.....

11. Какво означава „пиксел“ на една аерокосмическа снимка?

.....
.....
.....
.....

12. Предимства и недостатъци на безпилотните летателни апарати (дронове) при дистанционното изследване на Земята

.....
.....
.....
.....



МОДУЛ 2**ВЪВЕДЕНИЕ В СИСТЕМИТЕ
ЗА ГЛОБАЛНО ПОЗИЦИОНИРАНЕ****1. ВЪВЕДЕНИЕ И ОСНОВИ НА GPS (ДЖИ ПИ ЕС) И GNSS (ГНСС)****1) GPS**

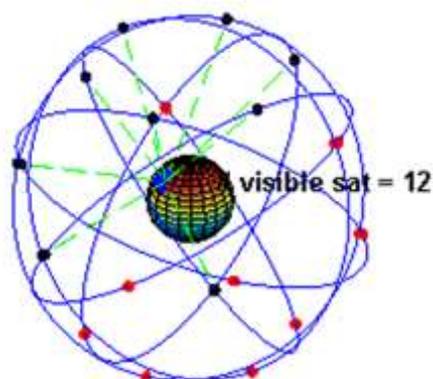
GPS (Global Positioning System) или Джи Пи Ес е радио-навигационна спътникова система за определяне на пространственото положение, скоростта и времето с точност до 1 ns (наносекунда) във всяка точка на земното кълбо и околоземна орбита в реално време.

Системата, проектирана и контролирана от Министерството на отбраната на САЩ и американците, я наричат „NAVSTAR GPS“. GPS се състои от минимум 24 спътника, разположени на 6 орбити с наклон спрямо екватора 55°, на височина 20 200 km и наземен контролен център с наблюдателни станции, разположени в 5 различни места на Земята (Фиг. 1).

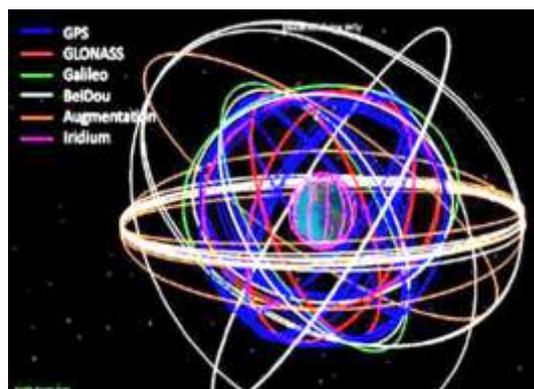
Началото е положено 1978 г., но пълното развитие и покритие на земното кълбо е осъществено в края на 1993 г. Всеки един от 24-те спътника излъчва навигационните си сигнали на две високи честоти от електромагнитния спектър:

- честота L1 = 1575,42 MHz ;
- честота L2 = 1227,60 MHz .

Целта на използването на две честоти е елиминирането 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 цивилните потребители, останалите са запазени за военни цели. От 1983 г. GPS се използва безплатно от всеки потребител.



Фиг. 1. Системата „NAVSTAR GPS“



Фиг. 2. Глобална навигационна сателитна система

2) GNSS

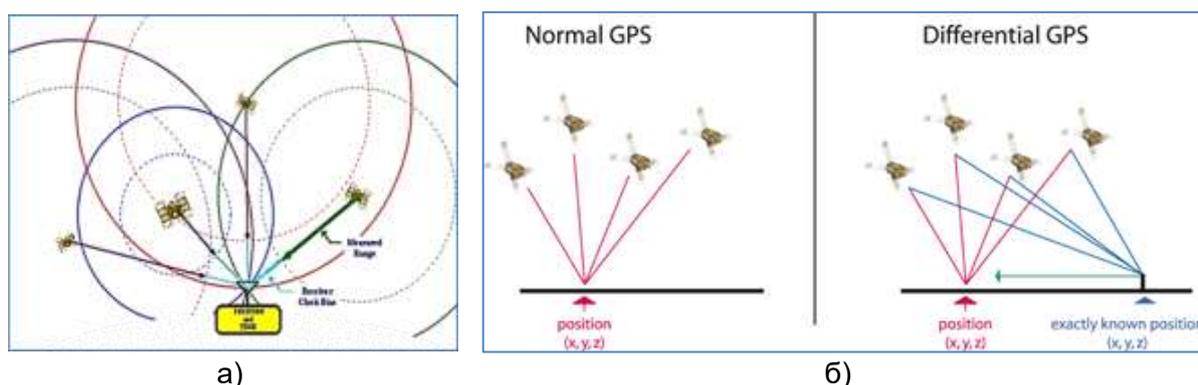
GNSS (Global Navigation Satellite System) или ГНСС - Глобална навигационна сателитна система) представлява комбинация от съществуващите и

действащи четири глобални навигационни системи – GPS, GLONASS, Galileo и Compass.

Едновременното използване на сигнали от GPS, GLONASS, Galileo и Compass (Фиг. 2) повишава значително броя на наблюдаваните сателити, което дава възможността да се получат по-точни резултати при работа в реално време и в неблагоприятни условия (горски, 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 местоположението.

В настоящия момент системите GPS, Galileo и Compass съдържат съответно 32, 15 и 24 сателита, като техният брой ще се увеличава през следващите години. След 2020 г. с окомплектоването и на китайската навигационна система „Compass“ ще бъдат на разположение от 80 до 100 навигационни спътници в орбита, което ще подобри точността на позициониране и ще има голямо приложение за граждански цели.

Принципът на действие на GPS/GNSS се базира на измерване на разстоянията от мястото, чиито координати търсим, до група спътници, чиито координати са известни и точно определени (Фиг. 3). Разстоянието от всеки спътник до потребителя се пресмята като времето, за което радиосигналят изминава разстоянието от спътника до приемника, умножено по скоростта на светлината (скоростта, с която се разпространяват електромагнитните вълни).



Фиг. 3. Принципът на действие на GPS/GNSS

Времето, за което сигналът достига до потребителя, е разликата във времето на приемане и на изпращане на сигнала. Координатите на потребителя се изчисляват с геодезически метод *трилатерация* – позицията на една точка се определя като пресечената точка на няколко окръжности (или сфери) с известен радиус и известни координати на центъра (Фиг. 3 а).

Сравнението на параметрите на четирите глобални навигационни спътникови системи, представени в Таблица 1, показват, че те имат еднакъв принцип на действие и много близки стойности на височина, наклон на орбитата и честоти на излъчваните радиосигнали.

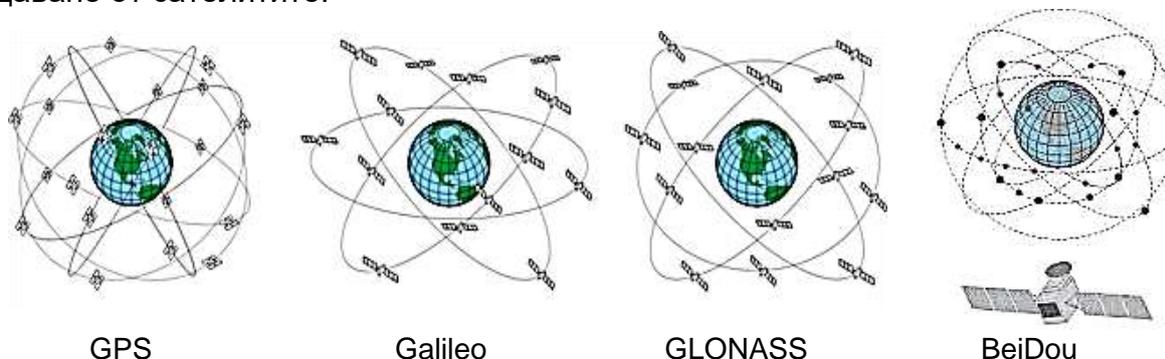
а. Структура на GPS/ГНСС

Структурата се състои от:

- Космически сегмент – изкуствени спътници на Земята;
- Контролен сегмент - наземен контролен център и станции;
- Потребителски сегмент – GPS/GNSS приемници.

Космическият сегмент са изкуствените спътници на Земята (Фиг. 4).

Контролният сегмент на GPS/GNSS се състои от наблюдателни наземни станции (наземни антени), разположени по Земното кълбо (Фиг. 5) и един главен контролен център, който контролира работата на всеки спътник, параметрите на орбитите на спътниците, отклонението на часовниците и данните за препредаване от сателитите.



Фиг. 4. Спътници на Глобална навигационна сателитна система

Таблица 1

Параметри	GPS	GLONASS	Galileo	BeiDou
Първо изстрелване	22-Feb-78	12-Oct-82	28-Dec-05	13-Apr-07
Пълна оперативна способност	17-Jul-95	18-Jan-96	2012	2013
Приложение	военно	военно	търговско	разрешено
	гражданско	гражданско	свободно	свободно/ търговско
Брой спътници	31	24	27	27
Орбитална равнина	6	3	3	3
Наклон	55°	64,8°	56°	55°
Голяма полуос на орбитата [km]	26 560	25 508	29 601	27 840
Период	11h 58m	11h 15m	14h 05m	12h 50m
Координатна система	WGS-84	PZ-90	GTRF	CGCS2000
Времева система	GPST	UTC (SU)	GST	China UTC
Кодиране	CDMA	FDMA	CDMA	CDMA
Честоти [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)



Фиг. 5. GPS/GNSS сателит и наземна контролна станция

Потребителският сегмент на GPS/ГНСС се състои от приемници (Фиг. 6), използвани както за военни, така и за цивилни приложения. Приемникът декодира времевите сигнали, подавани от атомните часовници на няколко сателита и изчислява позицията си с помощта на трилатерация.



Фиг. 6. Приемници за цивилни приложения от 1983, 2003 до 2013 г.

б. Измервани величини с GPS/ГНСС:

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

в. Видове позициониране:

- Определяне координатите на точка – статично (нормално), (Фиг.3 б);
- Диференциално определяне на координати на позицията – спрямо базова станция и приемане на диференциални поправки (Фиг.3 б);
- Релативно (относително) – от синхронни наблюдения се определят пространствени вектори между две и повече антени.

Радиосигналите се излъчват от спътниците с достатъчна мощност и на всяка точка на Земята се получават сигнали от най-малко 4 спътника (Фиг. 1). Всеки спътник има на борда 4 атомни часовника и извършва една пълна обиколка на своята орбита за 11 часа и 58 минути (половин звезден ден).

Спътниците от GPS с височина 2,5 m и тежина 600 kg имат по 4 двигателя и могат да променят положението си в Космоса (фиг.4).

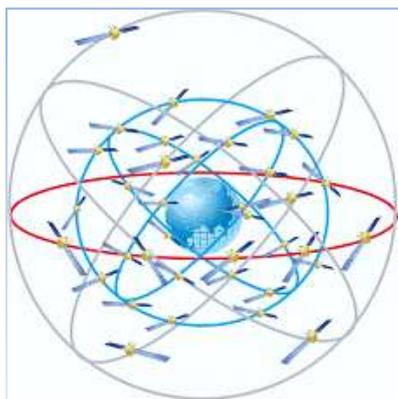
3) ГЛОНАСС

ГЛОНАСС (ГЛОбальная НАвигационная Спутниковая Система) е Руската радионавигационна система, европейската „Galileo“, както и китайската „Compass“ са подобни на американската GPS, като принципът на определяне на положението, скоростта и времето на потребителя във всяка точка на земното кълбо е идентичен с GPS системата. В завършен вид „ГЛОНАСС“ се състои от минимум 24 спътника, разположени в 3 орбити наклон спрямо екватора $64,8^\circ$ на височина от 19 100 km. Всяка орбита съдържа по 8 спътника. Пълната конфигурация на „ГЛОНАСС“ съдържа 32 спътника, от които 8 геостационарни (Фиг. 7).

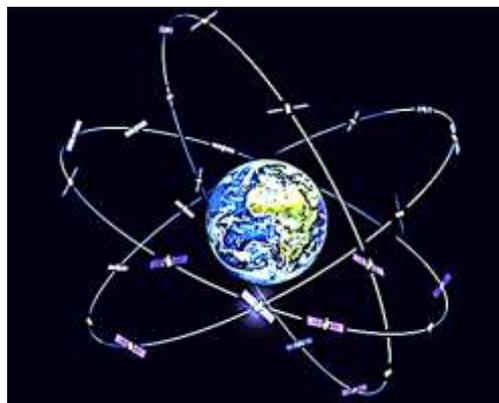
4) BeiDou-2 „Compass“

BeiDou-2 „Compass“ е проект на Китай за развитие на независима спътникова навигационна система. Първата BeiDou-1 System се състои от 3

геостационарни спътника и има ограничен обхват и приложение. Системата за глобална навигация “Compass” ще включва 35 спътника, от които 5 ще са на геостационарни орбити (на 38 000 km) и 30 спътника на почти кръгова орбита, с наклон спрямо екваториалната равнина 55.5° и на средна височина 21 150 km. От 2013 г. услугите на китайската навигационна спътникова система са отворени за публично ползване.



Фиг. 7. Пълната конфигурация на системата „ГЛОНАСС“



Фиг. 8. Конфигурация на системата „Галилео“

5) Galileo

Galileo („Галилео“) е глобалната навигационна система на Европейската космическа агенция (ЕКА) и се състои от:

- 30 спътника в 3 орбитални равнини (Фиг. 8);
- 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 x 1,2 m x 1,1 m (Фиг. 9);
- размах на слънчевите панели: 18,7 m (Фиг. 9);
- мощност на слънчевите панели: 1500 W.

Европейската навигационна система „Галилео“ ще предоставя четири различни услуги:

- свободната услуга ще е безплатна за всички потребители и позиционирането е с хоризонтална точност <4 m и вертикална <8 m (Фиг. 10);
- кодирана 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;
- кодираната публична регулирана услуга;
- 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.



Фиг. 9. Спътник от системата „Галилео“



Фиг. 10. Услуги на системата „Галилео“

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

От 2021 г. всички смартфони ще могат да правят спешни повиквания за бедствия и катастрофи на телефон 112 (E112) през системата „Галилео“.

Навигационната система „Galileo“ има следните предимства:

- по-висока точност за всички потребители в сравнение с GPS, ГЛОНАСС и Compass – под 10 cm (директно заснемане и трасиране в геодезията);
- диференциално определяне на координати в реално време в Европейската геодезическа система;
- подобро покритие над 75° северна географска ширина;
- система за позициониране за граждански цели, на която ще може да се разчита дори и по време на война.

Съществуват фактори, които влияят и ограничават точността на измерванията и позиционирането. Както всяка сложна техническа система, така и GPS/ГНСС се влияят 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 са:

- неточна позиция на спътниците;
- грешка в часовниците;
- йоносферни влияния;
- тропосферни ефекти;
- многократни отражения (мултипад);
- непознаване на фазовия център на антената;
- умишлени грешки;
- лични (персонални) грешки на оператора.

При ГНСС със значителния брой на спътници от четирите глобални навигационни системи голяма част от източниците на грешки се елиминират.

Определянето на позицията зависи от броя и разположението на спътниците. Колкото повече спътници са на разположение, толкова по-точно се определя положението. Разпределението на спътниците на небосклона има съществено значение – колкото по-равномерно са разположени, толкова по-точна е позицията.

Йоносферата е една от основните причини за грешки при определянето на позицията с GPS/ГНСС. Поради наличието на свободни електрони в атмосферата от 50 до 350 km над земната повърхност (т.н. Йоносфера), 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.

Тропосферата е най-ниският слой от атмосферата – до 10 km при полюсите и около 15 km при екватора. Промяната в температурата, налягането и влажността на въздуха, и пясъчни бури, в тази зона водят до промяна на скоростта на радиовълните. Подобно на йоносферния модел за корекция на грешката и при тропосферните отклонения се използва моделиране от метеорологични данни за изчисление на закъснението.

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.

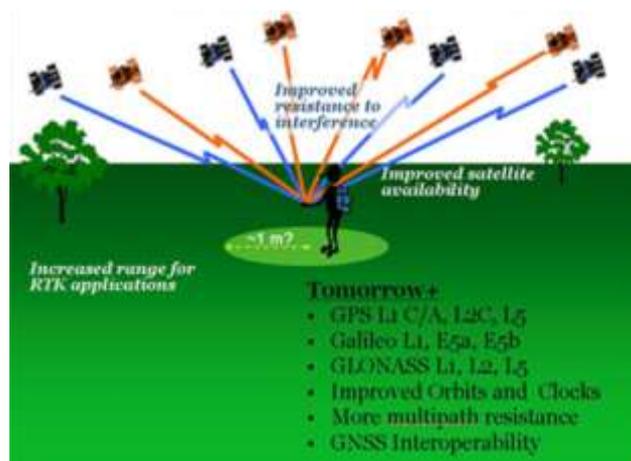
Преднамереното въвеждане на грешки (т.н. Умишлени грешки) от страна на Министерствата на отбраната на САЩ и Русия се изразява в промяна на параметрите на бордовите часовници и въвеждане на грешни орбитални параметри. Приемниците с военно предназначение са снабдени с кодове, които анулират тези грешки, но цивилните потребители нямат достъп до тях.

Центрирането над земен репер, неправилното измерване на височината на антената и непознаването на височината до фазовия център на антената също водят до грешки в точното определяне на позицията.

За подобряване на точността при определяне на координатите се използват т.н. диференциални системи. Тези системи включват една или няколко неподвижни контролни станции с точно известни координати, сравняват действителното и изчисленото положение, и се пресмятат корекции.

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 (покриваща Северно-Американския континент), EGNOS (покрива Европа и част от Африка) и MSAS (Япония). Принципът на работа на тези системи и начините им за обратна връзка

към приемника са практически идентични, и повечето от GPS/ГНСС устройства поддържат корекция чрез една от тези три системи.



Фиг. 11. Точност на определяне на местоположението на граждански потребители

В заключение, към настоящия момент ГНСС с развитието си и използване на сигнали от функциониращите четири глобални спътникови системи за позициониране и навигация (GPS, GLONASS, Galileo и Compass) елиминира повечето от източниците на грешки и осигурява в реално време точност в местоположението на граждански потребители в границите на 1 m. (Фиг. 2 и 11).

Предимства и недостатъци на спътниковото позициониране и ориентирание с ГНСС:

Предимствата са, че определянето на положението се осъществява безплатно и за секунди, апаратурата се настройва и ориентира автоматично, точността може да бъде от порядъка на сантиметри, не изисква специални знания и умения, ориентирание навсякъде, където работи човек.

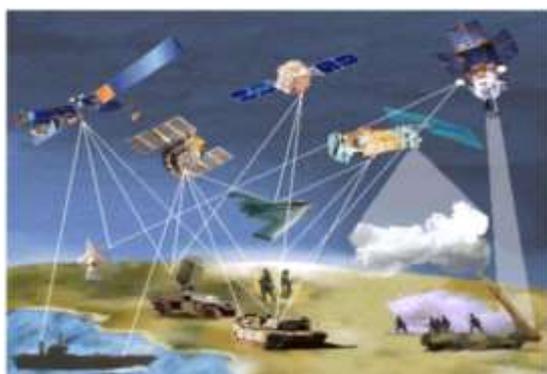
Недостатъците на ГНСС са, че изисква скъпа и енергозависима апаратура, която може да авариира и при отказ и/или грешка на апаратурата шансовете за ориентирание са нищожни.

За класическото определяне на местоположение (ориентирание) са необходими само карта и компас или секстант в моретата и океаните, и не изисква енергоносители. За правилно ориентирание са необходими от 2 до 30 минути, но максималната точност е от порядъка на десетки метри.

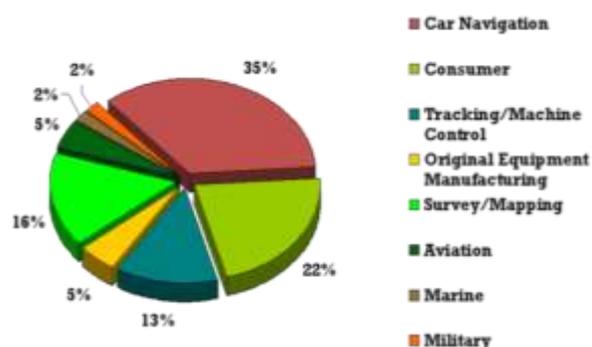
2. ПРИЛОЖЕНИЕ НА КОСМИЧЕСКИТЕ ТЕХНОЛОГИИ GPS/GNSS ЗА ИЗСЛЕДВАНЕ НА ПРИРОДНИТЕ БЕДСТВИЯ И ЕКОЛОГИЧНИ КАТАСТРОФИ

GPS/ГНСС са проектирани за военни цели, но основно се употребяват за цивилни цели (Фиг. 12):

- навигация и контрол в транспорта – в пътния, морския и въздушния транспорт, и за оптимизация на маршрути;
- проследяване – на транспортни средства, хора и животни;
- науката и изследователската дейност – в геодезията, географията, картографията, геологията, геофизиката, археологията и др.;
- селското стопанство – планиране на терени, навигация на машини;
- комуникациите – за синхронизиране на комуникационни системи;
- туризъм и спорт – ориентирание, планински спасителни служби;
- определяне на точното време.



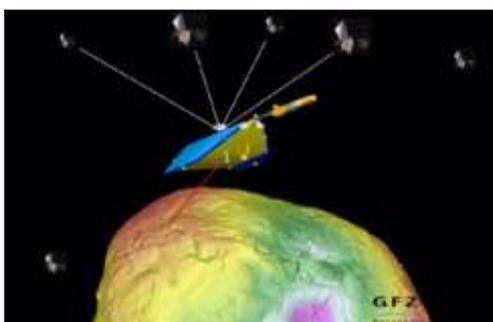
а)



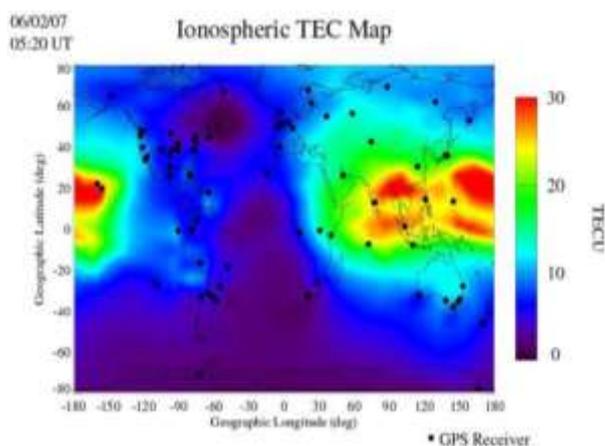
б)

Фиг. 12. Приложение на ГНСС на Земята

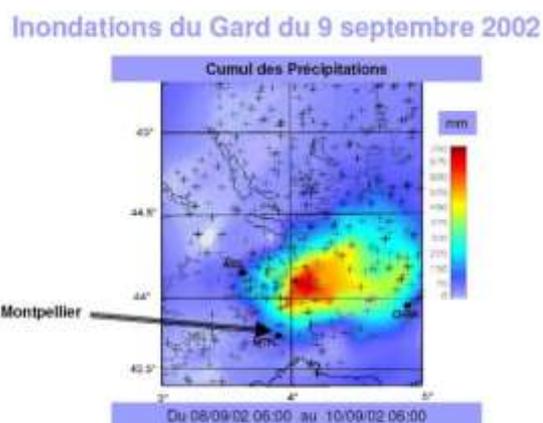
Най-голямо приложение на ГНСС е в навигацията, оптимизацията и контролът на автомобили, морски съдове, в геодезията и авиацията (Фиг. 12). В момента 30% от автомобилите в света са екипирани с ГНСС системи. От 2018 г. всички автомобили, произведени в Европейската общност са екипирани с приемници „Галилео“.



Фиг. 13. Приложение на ГНСС в Космоса

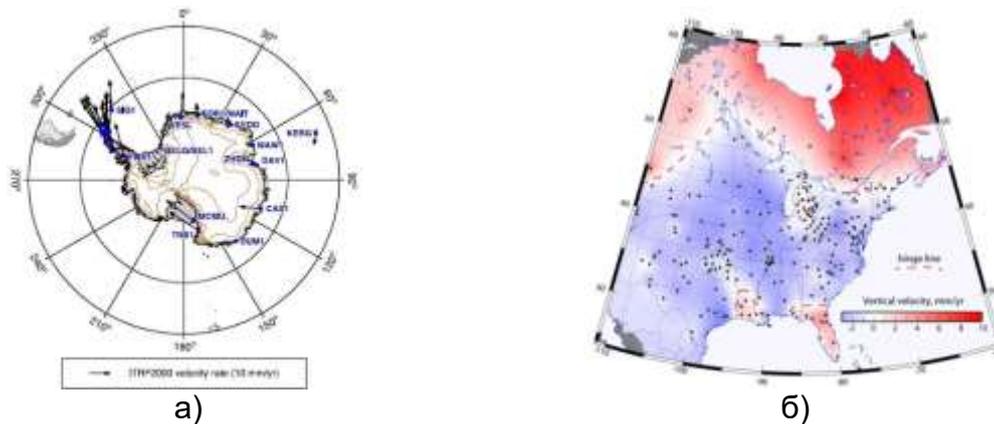


Фиг. 14. Приложение на ГНСС в йоносферата



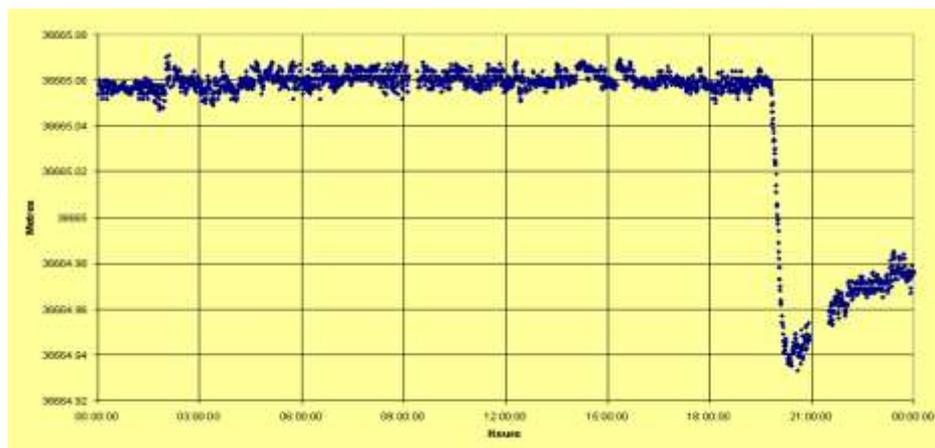
Фиг. 15. Приложение на ГНСС за прогноза на екстремни метеосъбития

ГНСС е основно приложение за контрол и прецизиране на орбитите на изкуствените спътници на Земята и на Международната космическа станция (Фиг. 13), както и за мониторинг на йоносферата (Фиг.14) и прогноза на екстремни метеосъбития (обилни валежи, градушки) (Фиг. 15).



Фиг. 16. Скорости и вектори на а) придвижване на Антарктида и б) издигане на Северна Америка

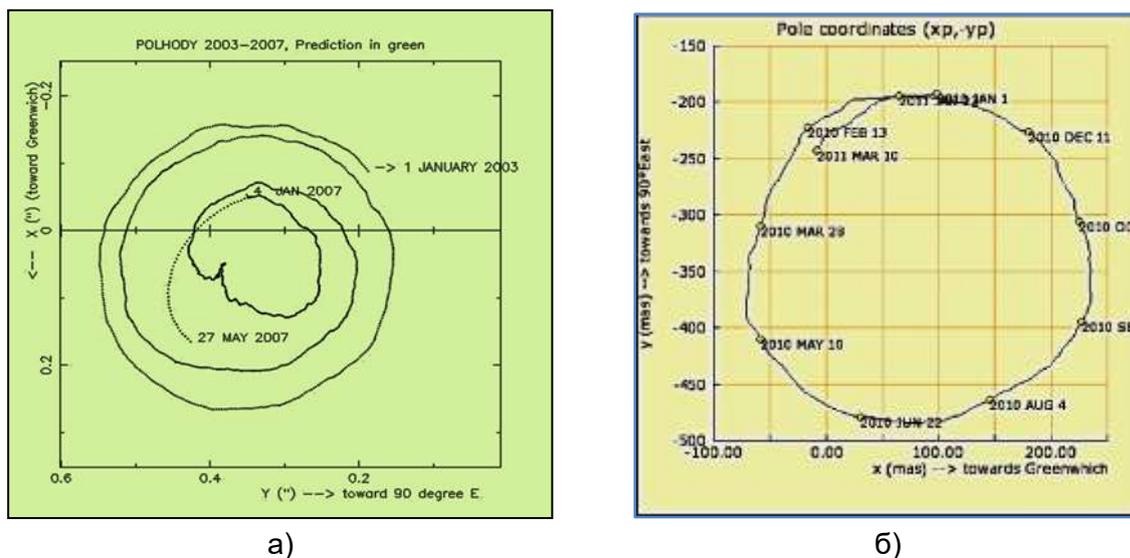
Мониторинг с ГНСС позволи да се установи след-ледниковото връщане на Антарктида към Южна Америка (Фиг. 16 а) и след-ледниково издигане на Северна Америка (Фиг. 16 б), в резултат на глобалното затопляне.



Фиг. 17. Мониторинг на вулканична дейност и прогнозиране на изригване

ГНСС се прилага за мониторинг на вулканична дейност и прогнозиране на изригване. Примерът (Фиг. 17) е от мониторингова станция и регистрирано аномално движение преди изригването на вулкан на остров Реюнион.

ГНСС позволява следене за промени в ротацията на географския полюс на Земята, водещи до климатични промени. На Фиг. 18 а и 18 б са представени аномални движения на географския полюс, предизвикани от циклони и от силното земетресение от 2011 г. в Япония.



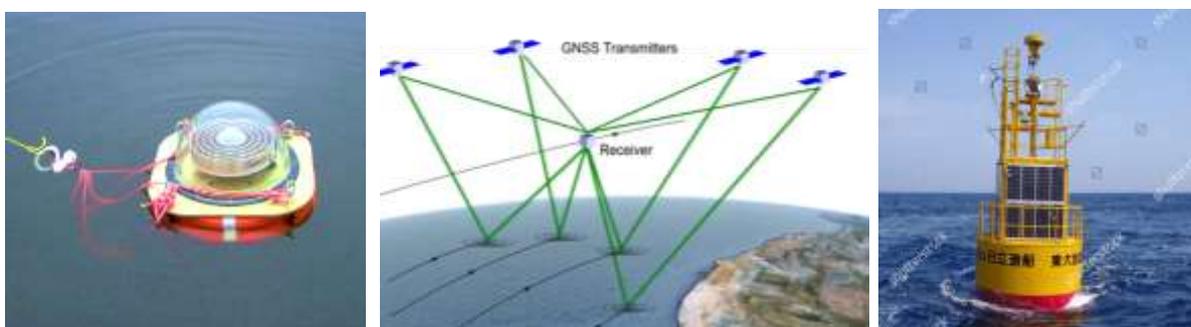
Фиг. 18. Движения на географския полюс

ГНСС намира приложение при следене движението на планински ледници, както и на арктическите и антарктическите ледове (Фиг. 19).



Фиг. 19. Определяне на движението на планински ледници

Следенето (мониторинг) на морското ниво и за вълни цунами с ГНСС (Фиг. 20) са нови приложения на системата.



Фиг. 20. Мониторинг на морското ниво и за вълни цунами

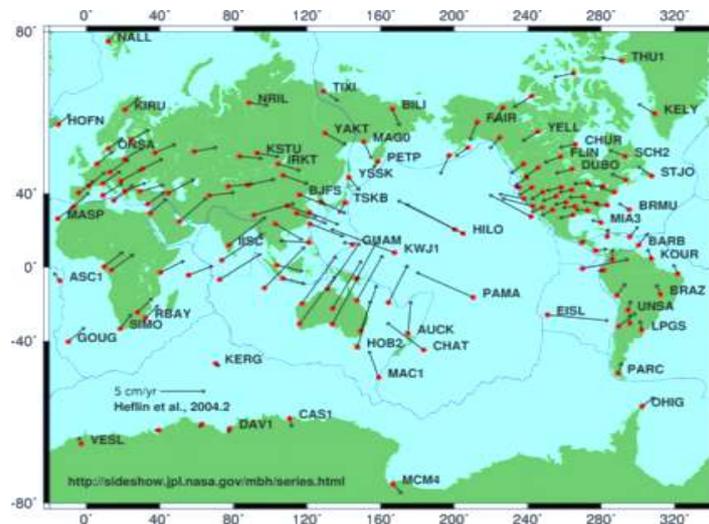
ГНСС намира широко приложение при трасиране и прецизен контрол на инженерни съоръжения, следене на свлачища и абразия (Фиг. 21).



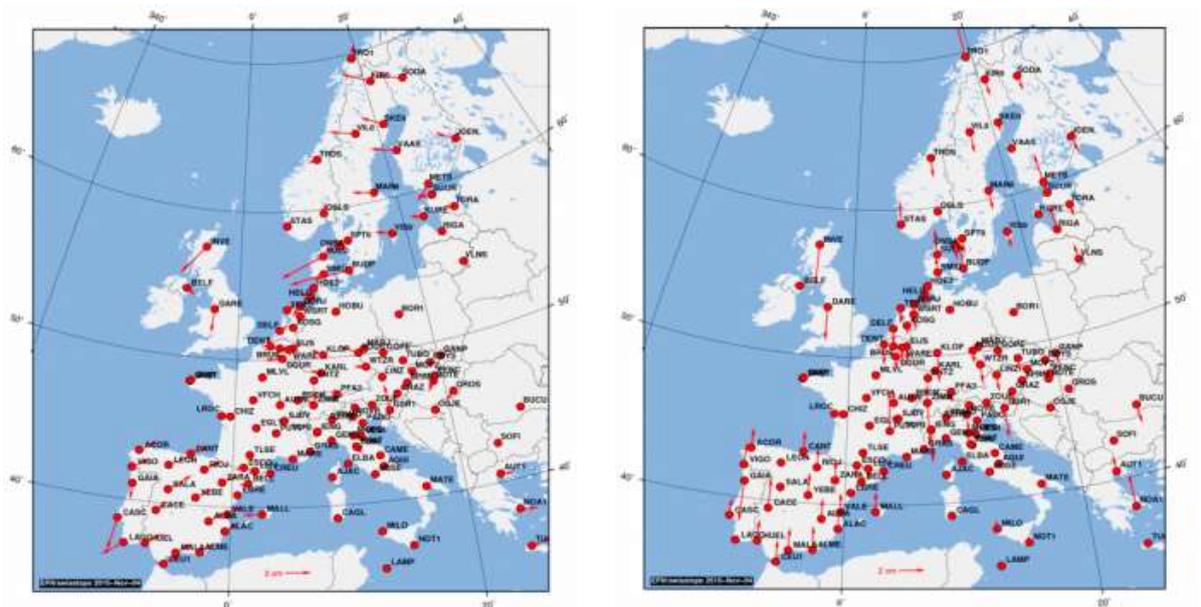
Фиг. 21. Трасиране и прецизен контрол на инженерни съоръжения

Приложение на ГНСС в геодинамиката – регистрациите от постоянните станции определят и следят глобалната тектоника на плочите (Фиг. 22 а).

Мониторинг с перманентни станции установи и наблюдава съвременните хоризонтални и вертикални движения в Европа (Фиг. 22 б).



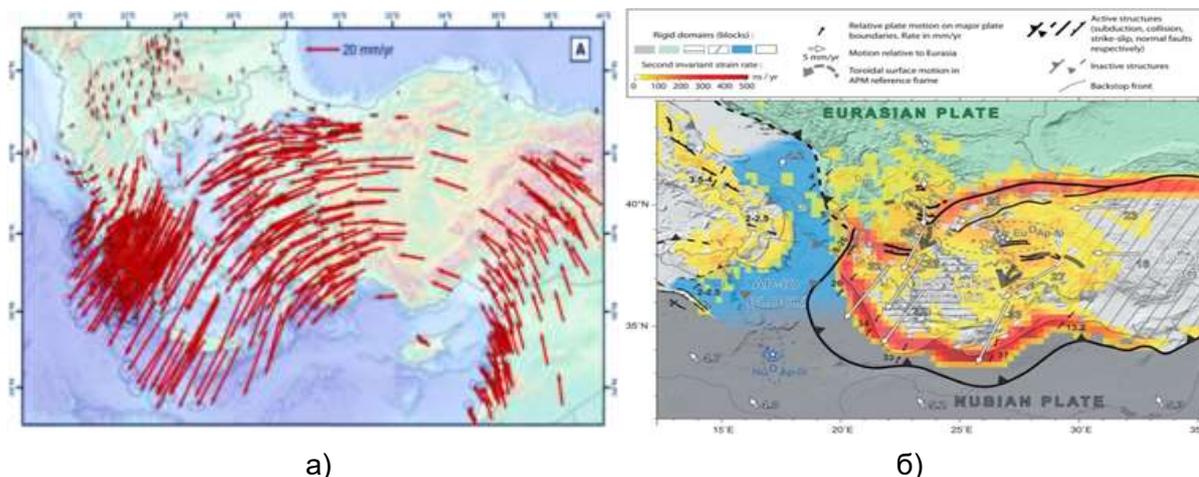
а)



б)

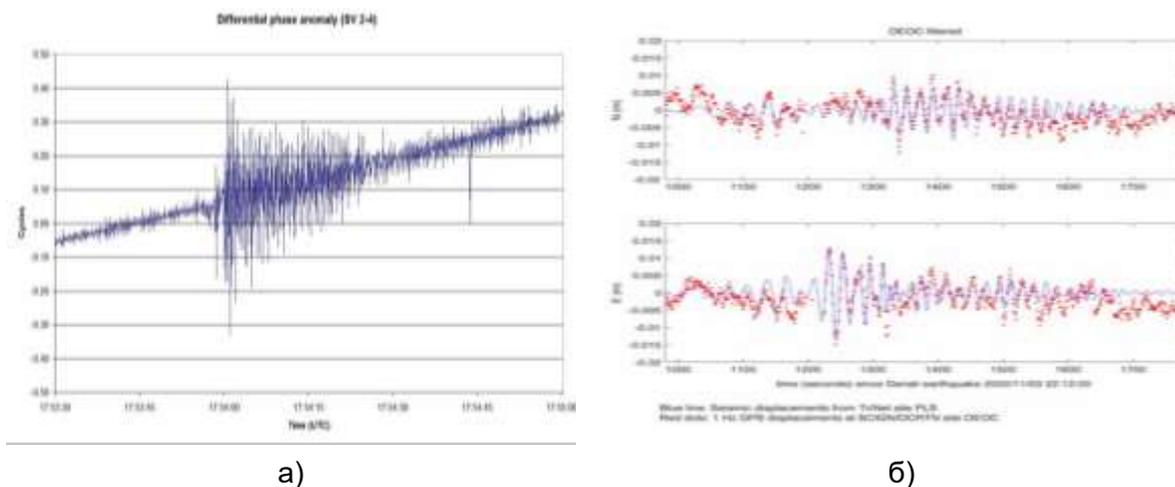
Фиг. 22. Следене на а) глобалната тектоника на плочите и б) съвременните хоризонтални и вертикални движения в Европа

Постоянни и периодични наблюдения с GPS/ГНСС следят от 30 години съвременните тектонски движения в Източното Средиземноморие (Фиг. 23 а), за оценка на сеизмичния риск. Кинематичен модел на съвременните тектонски напрежения по данни от 30-годишния мониторинг оцени сеизмичния риск в района (Фиг. 23 б).



Фиг. 23. Следене на тектонски движения и сеизмичен риск

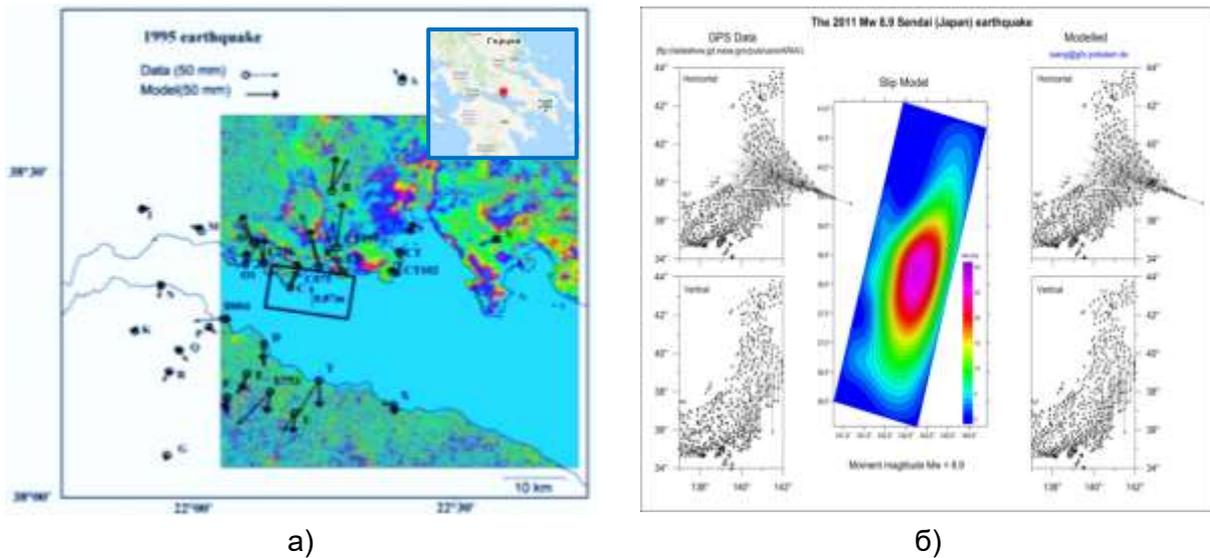
Съвременните постоянни ГНСС приемници с честоти от 1 и 10 Hz регистрират т.н. „GPS сеизмограми“ (Фиг. 24 а). Сравнението между регистрациите на земетресения от сеизмометър и от ГНСС регистрации на 1 s (секунда) показва много доброто им съвпадане (Фиг. 24 б).



Фиг. 24. GPS „сеизмограми“

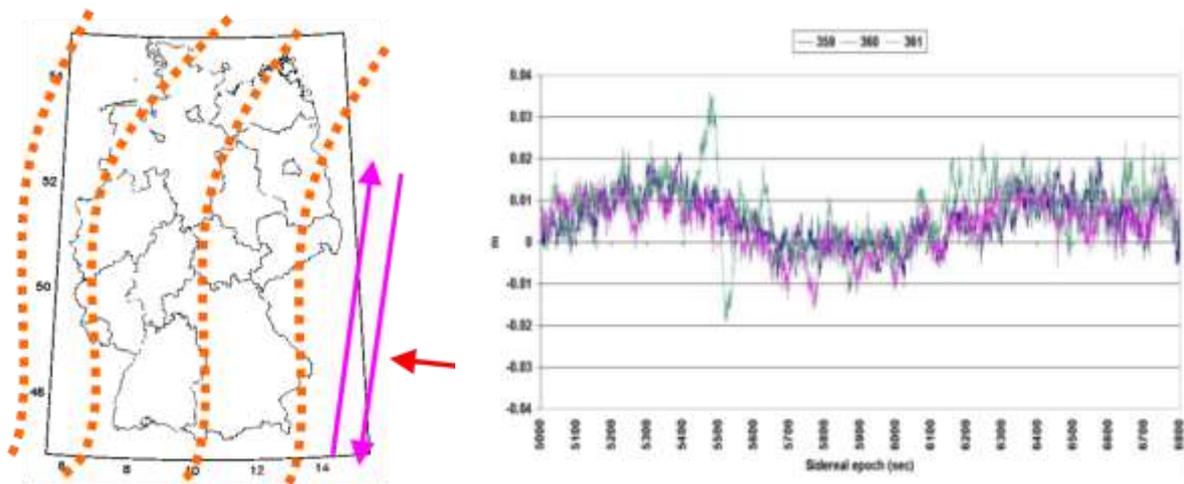
Изследването на земетресението в Гърция от Aigion, 1995 г., с GPS и InSAR методът (радарна интерферометрия) (Фиг. 25 а), установи местоположението и геометричните, и динамични параметри на разлома, активирал се на дъното на Коринтския залив.

Данните, регистрирани от постоянните ГНСС станции в Япония, дадоха възможност да се изясни физическия механизъм на голямото земетресение от 2011 г. и предизвиканото от него цунами, като хлъзгането по разлома в епичентралната зона е достигнало 30 m (Фиг. 25 б).



Фиг. 25. Изследване на последиците от земетресения в а) Гърция и б) Япония

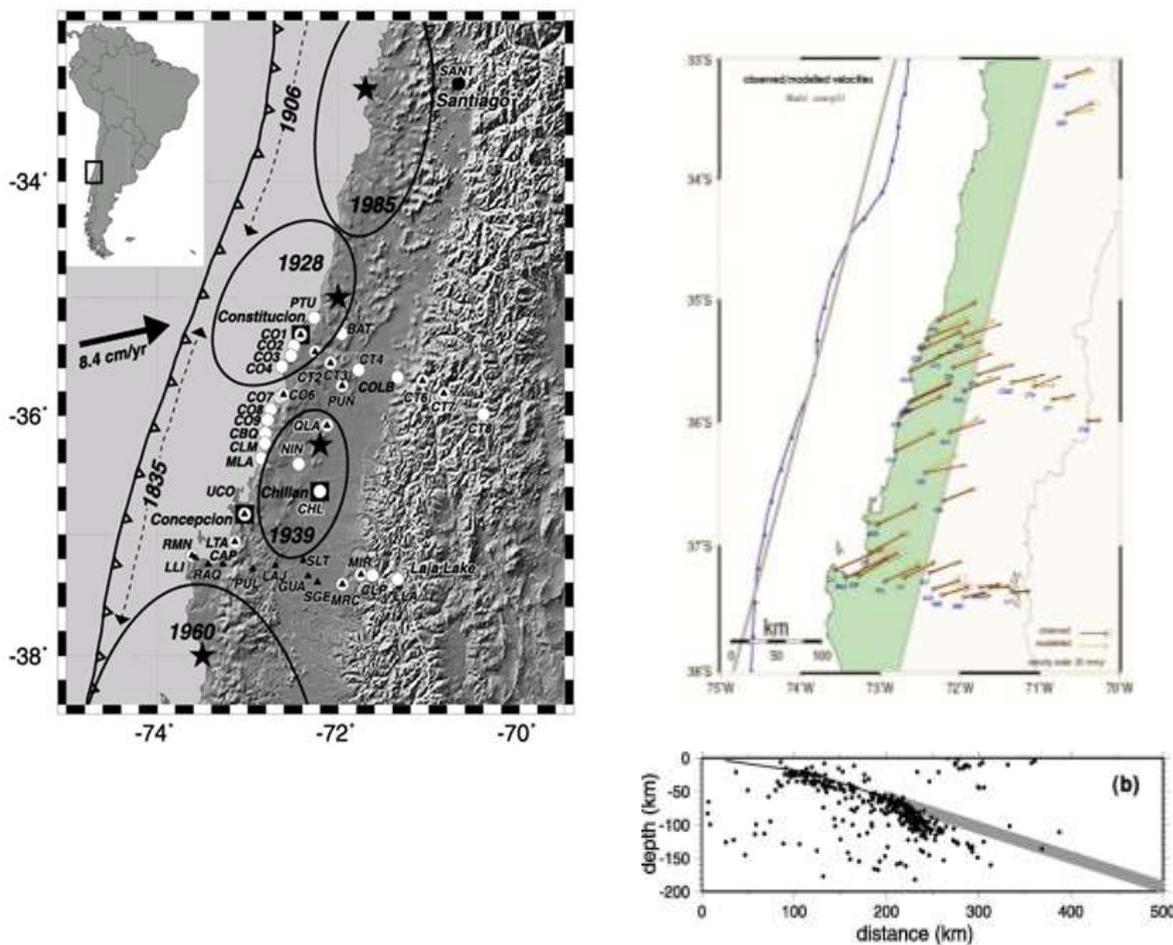
При анализа на данните от 100-те постоянни GPS станции в Германия бяха регистрирани движения на земната кора в Германия, предизвикани от трусове от земетресението в Суматра през 2004 г. до ± 2 cm (Фиг. 26).



Фиг. 26. Регистриране на движения на земната кора

GPS мониторинг, 1996 г., 1999 г. и 2002 г. в южно централно Чили, позволи да се установи мястото и скоростта на подпъване на тектонската плоча Наска под тази на южна Америка (Фиг. 27).

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. с магнитуд $M = 8,9$, което спаси стотици човешки животи.



Фиг. 27. Подпъхване на тектонската плоча Наска под тази на южна Америка

На Фиг. 28 е представена постоянната ГНСС станция „SOFI“ (от май 1997 г.) на Международната геодинамична служба (IGS) в района на гр. София, част от Световната и Европейската перманентни ГНСС мрежи, участваща в глобалната мрежа за ГНСС мониторинг.



Фиг. 28. Постоянна ГНСС станция „SOFI“ в района на гр. София

3. КОСМИЧЕСКАТА ТЕХНОЛОГИЯ РАДАРНА ИНТЕРФЕРОМЕТРИЯ InSAR (INTERFEROMETRIC SYNTHETIC APERTURE RADAR) И ПРИЛОЖЕНИЕТО ѝ

Технологията InSAR използва сравнения на тридименционални радарни изображения, получени чрез излъчени от спътник и отразени от земните обекти микрочестотни 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. 29).



Фиг. 29. Технологията InSAR

Първият радарен спътник SeaSAT (1978 г.) е едночестотен американски спътник за заснемане на повърхността на океаните и моретата е имал максимална точност в заснемането на земната повърхност ± 50 m.

Европейските двучестотни спътници ERS1 (1991 г.) ERS2 (1995 г.) по програмата Scopus достигнаха точността $\pm 3,4$ cm. Американските спътници RADSAT 2 и ENVISAT (до 2012 г.) работеха на честота 5,36 GHz. От 2014 г. работят европейските двучестотни спътници Sentinel 1A и 1B (Фиг. 30 а), TerraSAR –X (Фиг.30 б) от 2020 г., САЩ – SRTM, и на Япония ALOS (JAXA).



а)

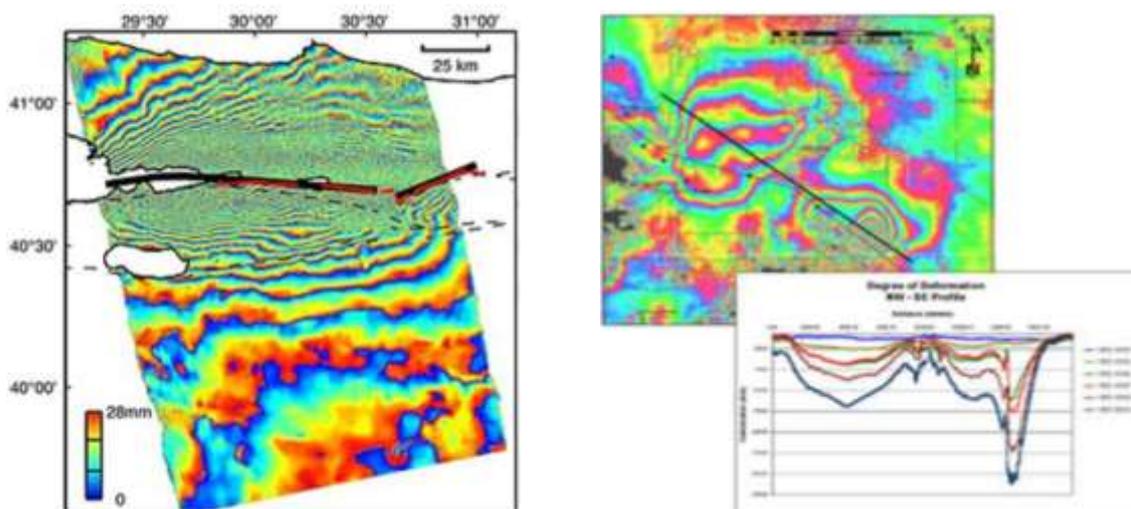


б)

Фиг. 30. Европейските спътници а) Sentinel 1 и б) TSX 1

Резултатите от съвременната InSAR радарна интерферометрия позволяват да се заснеме релефа (земната повърхност) на обширни райони с точност $\pm 2,8$ cm. Тази възможност се използва за мониторинг на деформации,

локализиране на разломни структури, за определяне степента на потъване на големите градове, за изкопни и насипни дейности, ерозия, абразия, както и още много други явления, случващи се на земната повърхност (Фиг. 31, 32 и 33).

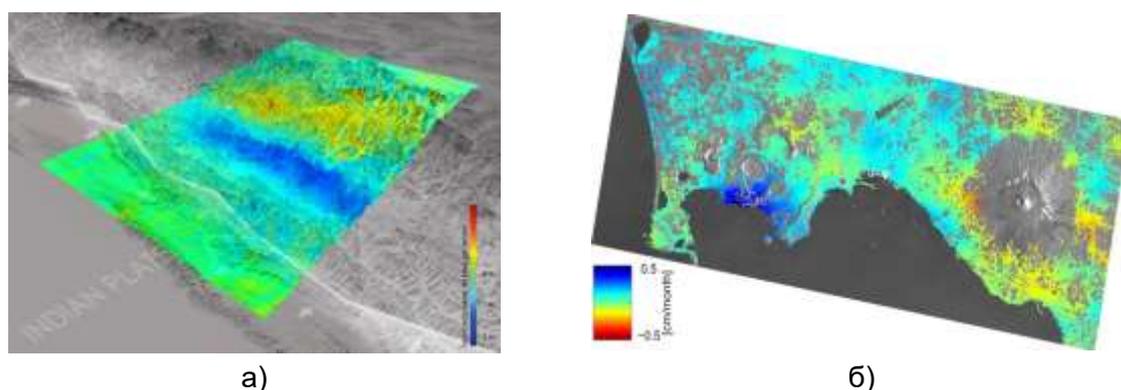


Фиг. 31. InSAR радарната интерферограма на деформации на земната повърхност от земетресението в Измит от 17.8.1999 г.

Интерферограма на деформациите на земната повърхност от земетресението в Измит от 17 август 1999 г. и сравнение на напречни профили, измерени от InSAR изображение с геодезически определени (Фиг. 31), показват голямото предимството на този метод.

Вследствие на земетресението с $M = 7,8$ в Непал през 2015 г. с ГНСС е регистрирано потъване от 0,8 m (синята зона) и зона на издигане (в жълт цвят). Отчетено е хоризонтално преместване от около 2 m в посока север-юг (Фиг. 32).

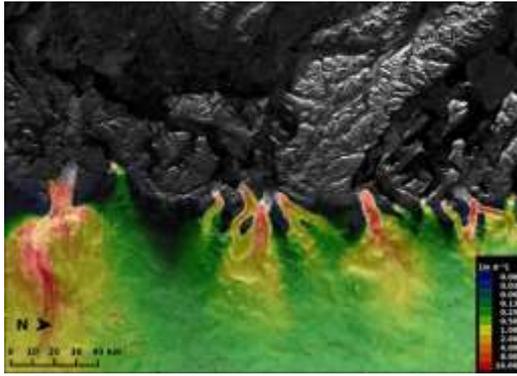
Sentinel-1A изображения (октомври 2014 – март 2015) са използвани за създаване на карта на деформациите на земната повърхност в района на гр. Неапол и на активния вулкан Везувий (Фиг. 32).



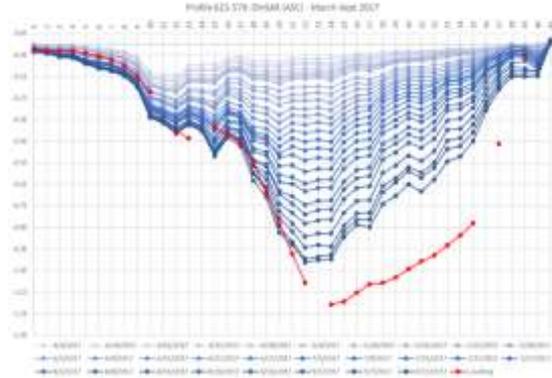
Фиг. 32. InSAR радарната интерферограма на деформации на земната повърхност **а)** в Непал и **б)** в района на гр. Неапол, Италия

Комбинация от две Sentinel-1A изображения от 3 и 15 януари 2015 г. показва скоростта на движение на ледниците на западния бряг на Гренландия (Фиг. 33 а).

Мониторинг с InSAR методът на изкопните работи в открита мина в областта Силезия в Полша (Фиг. 33 б).

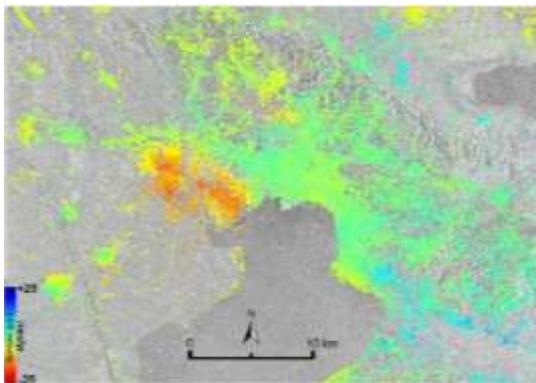


а)

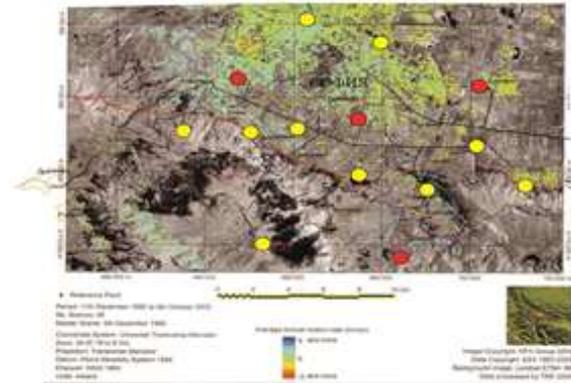


б)

Фиг. 33. InSAR методът при **а)** определяне на скорост на движение на ледниците на западния бряг на Гренландия и **б)** в открит рудник в Полша



а)



б)

Фиг. 34. InSAR методът при определяне на потъване на зони (в жълто до оранжево) в градовете **а)** Солун и **б)** София

InSAR изследвания установиха потъване на зони (в жълто до оранжево) в градовете Солун (Фиг. 34 а) и София (Фиг. 34 б).

В настоящия момент резултатите от радарната интерферометрия позволяват да се заснеме земната повърхност на обширни райони с ширина 250 km с точност $\pm 2,8$ cm. Това дава възможност методът InSAR да се използва широко за мониторинг на деформации, локализиране на разломни структури, за определяне на потъване на големите градове, за изкопни и насипни дейности, ерозия, абразия, както и още много други явления, случващи се на земната повърхност.

4. НАБЛЮДЕНИЯ И ИЗСЛЕДВАНИЯ НА АНТАРКТИКА И АНТАРКТИДА ОТ КОСМОСА

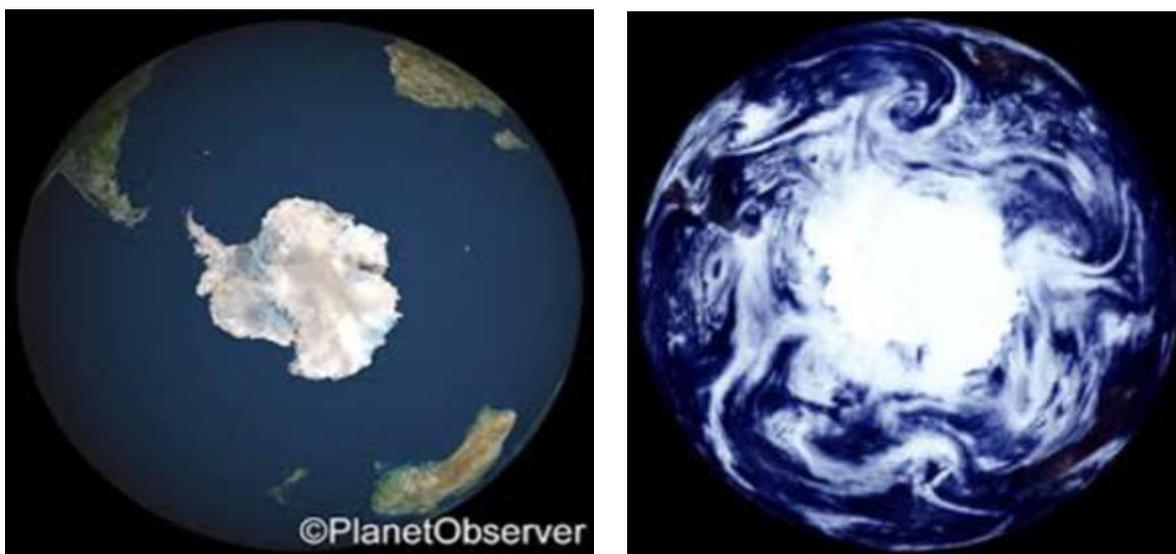
Арктика (на гръцки: ἄρκτος, мечка) е северната полярна област на Земята със Северен ледовит океан и островите. Антарктика е географски регион, обхващащ континента Антарктида и водите и островите в Южния океан южно от 60° . Антарктида е така наречения континент, заемащ Южния полюс на Земята, част на географския регион Антарктика и е ограден от Южния океан.

Антарктида (Фиг. 35) е:

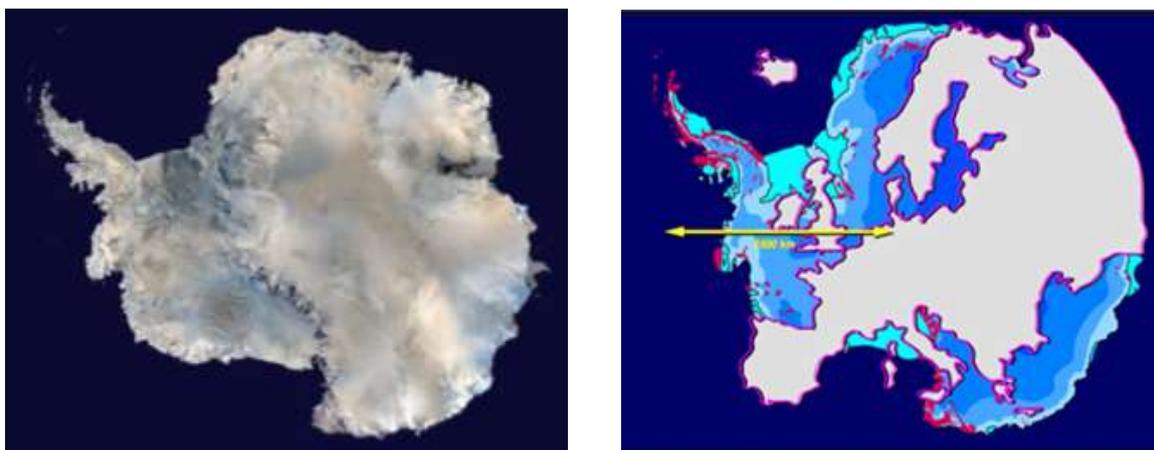
- 5-тият по големина континент – 1/10 от сушата на Земята (Фиг. 36);
- най-студеният континент – температури до -89.6°C ;
- най-високият – средно 2 050 m (средна за Земята 600 m);

- най-ветровитият – скорост до 360 km/h = 100 m/s;
- най-сладкият – 68 % от сладката вода на планетата Земя;
- най-дебелата ледена покривка – средно 1 750 m Връх 4 892 m;
- открит е през 1820 г. от руска експедиция;
- Роналд Амундсен покорява Южния полюс на 14 декември 1911 г.;
- Робърт Скот – на 16 януари 1912 г.;
- богата геология, животински свят и атмосферни феномени.

При огромните размери на географския район Антарктика и на континента Антарктида, и при екстремните метеорологични условия най-големи възможности за наблюдение и изследвания дават космическите технологии.



Фиг. 35. Антарктида



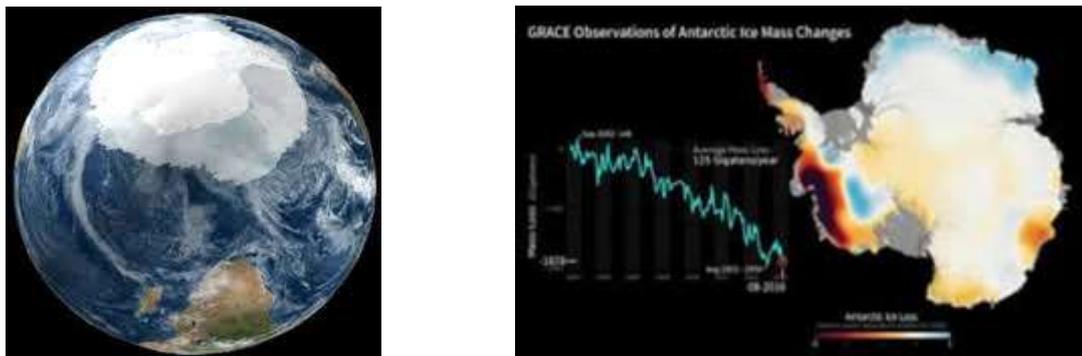
Фиг. 36. Антарктида и Европа

Група (Съзвездието) спътници със специализирани мисии за наблюдение и изследване на Антарктика са представени на Фиг. 37.



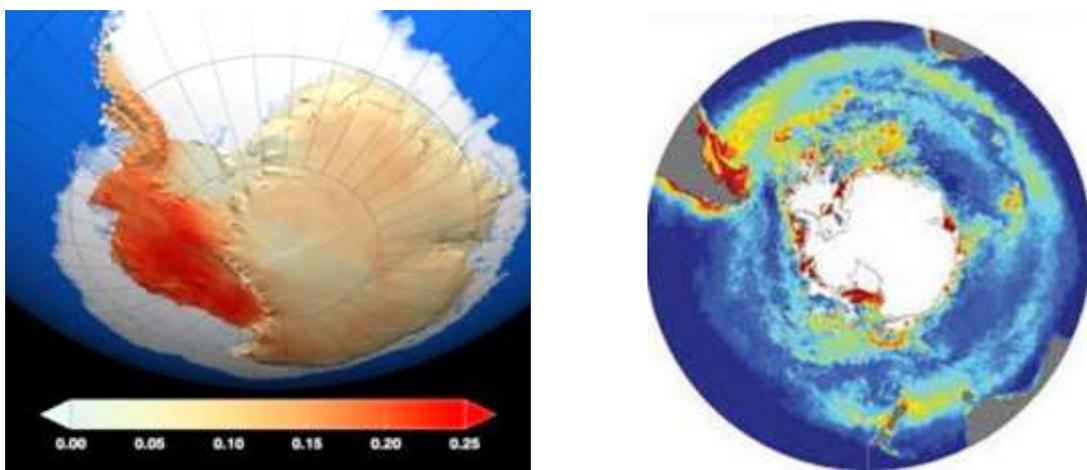
Фиг. 37. Спътници за наблюдение и изследване на Антарктика

От Космоса се осъществяват метеорологичните наблюдения на Антарктика, обледяването на Антарктида през различните сезони и количеството лед (масата на ледовете) Фиг. 38.



Фиг. 38. Обледяване на Антарктида

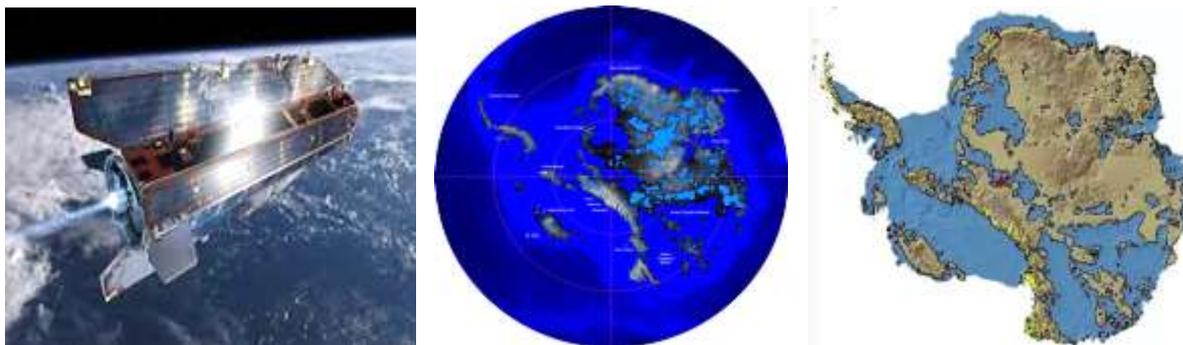
От Космоса се наблюдава температурата на континента (Фиг. 39 а) и се определя разпространението на фитопланктона в района (Фиг. 39 б).



а)

б)

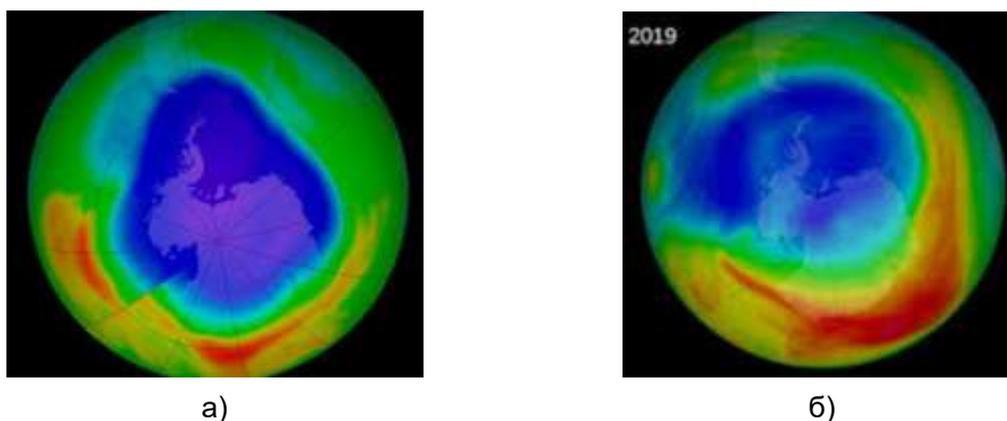
Фиг. 39. Мониторинг на а) температурата на Антарктида и б) разпространение на фитопланктона



Фиг. 40. От Космоса за Антарктида

Наблюденията и изследванията от Космоса позволиха и дават възможност да се направят нови открития:

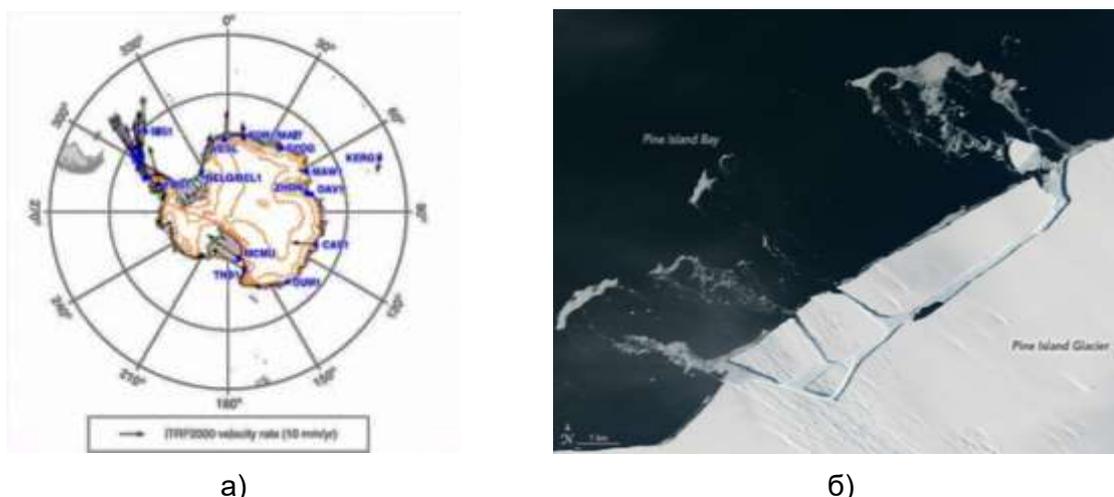
- наблюденията от Космоса установиха температурни аномалии от вулканична дейност в западната зона на Антарктида (Фиг. 39 а);
- гравиметрични измервания от Космоса със спътника „GOCE“ откриха, че Антарктида не е континент, а архипелаг Фиг. 40;
- от Космоса се следи озоновата дупка над Антарктида. На Фиг. 41 а е озоновата дупка 1988 г., а на Фиг. 41 б – през септември 2019 г.;



а)

б)

Фиг. 41. Озоновата дупка над Антарктида **а)** 1988 г. и **б)** 2019 г.

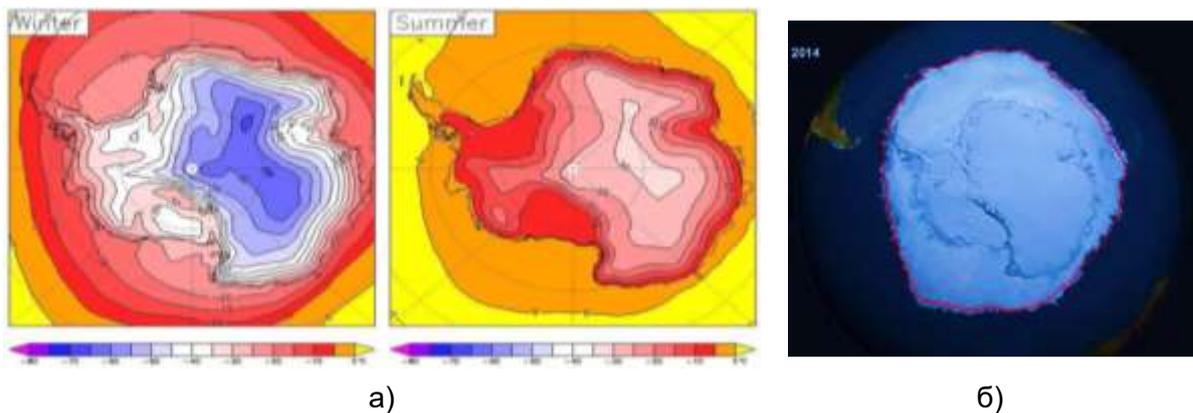


а)

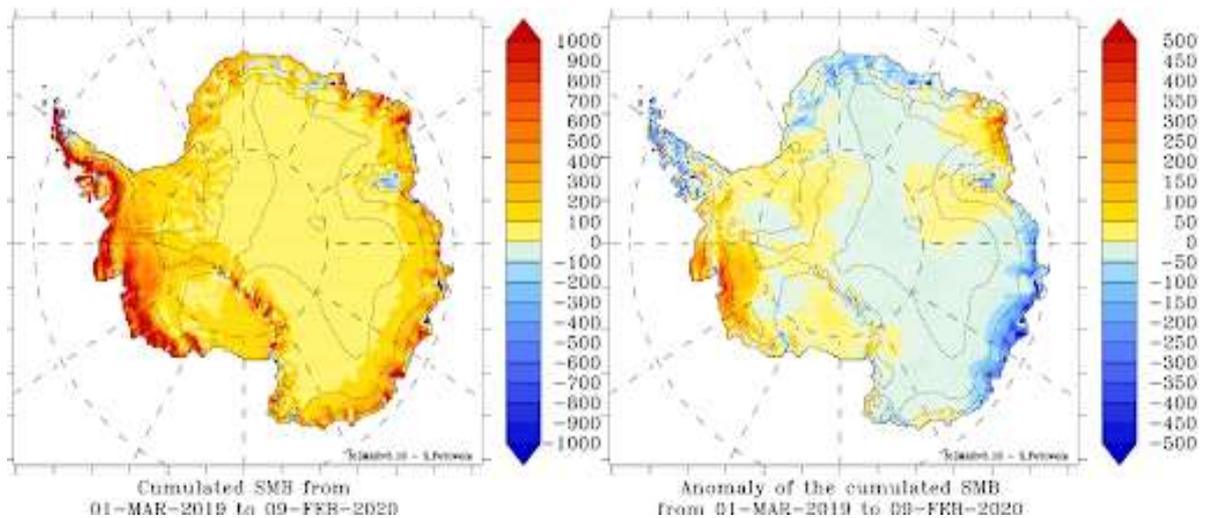
б)

Фиг. 42. Мониторинг на **а)** тектонското движение и **б)** движението на айсберги

- GPS измервания определиха тектонското движение на западни зони на Антарктида към Южна Америка със скорост 15 mm/год. (Фиг. 42 а);
- от Космоса се наблюдават движението на айсбергите (Фиг. 42 б) и температурните разлики на Антарктика (Фиг. 43 а);
- установено е, че обледяването на Антарктида не се е променило съществено през последните 20 години (Фиг. 43 б).
- преброяването на пингвините от Космоса установи, че броят им е с 1,5 милиона в повече от известното досега.



Фиг. 43. Промяна на обледяването на Антарктида



Фиг. 44. Ледонатрупване в Антарктида

На Фиг. 44 е представен резултатът от натрупването на ледовете върху Антарктида за една година и аномалиите в натрупването им.

В заключение, наблюденията и изследванията от Космоса на Антарктика и Антарктида направиха нови открития и дават нови данни на науката и човечеството.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Хофман-Феленхоф, Б. 2002. „Глобална система за определяне на местоположение. Теория и практика“ София.
2. „A Beginner's Guide to GNSS in Europe“ (PDF). IFATCA, Document prepared by EVP Europe, August 1999
<https://arcae.files.wordpress.com/2009/05/gnss.pdf>
3. Massonnet, D., P. Briole, A. Arnaud, 1995. „Deflation of Mount Etna monitored by spaceborne radar interferometry“, Nature, 375 (6532), pp. 567–570, Bibcode: Natur.375..567M, doi:10.1038/375567a0

Интернет източници:

ESA – <https://www.esa.int/>
NASA – <https://www.nasa.gov/>
UNAVCO – <https://www.unavco.org/>
EU – Space challenges – <https://www.spaceedu.net/>
IGS – <http://www.igs.org/>

ТЕСТ 2

върху Модул 2

Въведение, основи на GPS и ГНСС и приложения за граждански цели и изследване на природните бедствия и катастрофи

1. Каква е разликата между GPS и ГНСС?
2. Кои глобални навигационни системи включва ГНСС?
3. Каква е структурата на навигационните системи?
4. Какъв е принципът на действие на ГНСС?
5. На какви височини са спътниците на ГНСС?
6. Как се измерват разстоянията от спътниците до наземната станция?
7. На какви честоти се излъчват сигналите от спътниците?
8. Какви измервания се осъществяват с ГНСС?
9. Какви са предимствата и недостатъците на ГНСС?
10. Какви са предимствата на Европейската система Галилео?
11. Каква точност в определяне на позицията се достига с ГНСС?
12. В кои области се прилагат ГНСС?
13. Къде намира най-голямо приложение ГНСС?

Космическата технология радарна интерферометрия InSAR и приложенията ѝ

1. Какво представлява космическата технология InSAR?
2. Какъв е принципът на радарната интерферометрия?
3. На какви честоти работят радарите на системата InSAR?
4. Какви са целите на мисиите InSAR?
5. Какви са предимствата на този метод?
6. Каква е точността на съвременната радарна интерферометрия?
7. Какви са приложенията на метода InSAR?
8. Кои са съвременните Европейски спътници?

Наблюдения и изследвания на Антарктика и Антарктида от Космоса

1. Каква е разликата между Арктика и Антарктика?
2. Каква част от сушата на Земята заема Антарктида?
3. Какъв е приблизително радиусът на Антарктида?
4. Каква е най-ниската температура, измерена на Антарктида?
5. Колко процента от сладката вода на Земята е на Антарктида?
6. Каква е височината на най-високия връх на Антарктида?
7. Каква скорост на ветровете е измерена на Антарктида?
8. Какво представлява действителната суша под Антарктида?
9. Какви феномени са наблюдавани от Космоса на Антарктика?

МОДУЛ 3

ПРАКТИЧЕСКА РАБОТА С ОПТИЧНИ САТЕЛИТНИ ИЗОБРАЖЕНИЯ

1. ОПТИЧНИ СПЪТНИКОВИ ИЗОБРАЖЕНИЯ

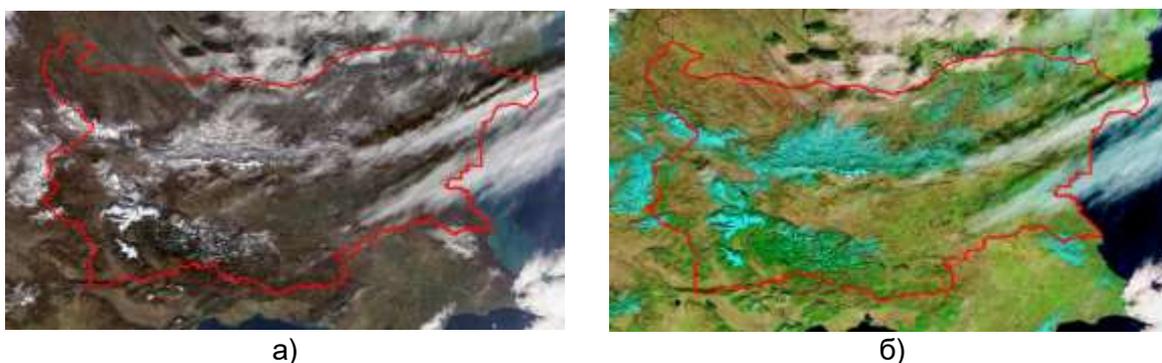
В Модул 1 е описано оптичното излъчване. То попада в диапазона от 0,01 до 300 μm и включва областите на ултравиолетовото (УВ), видимото (В) и инфрачервеното (ИЧ) излъчване (Фиг. 2, Модул 1). Видимата област ($\lambda = 0,38 \mu\text{m}$ до $\lambda = 0,75 \mu\text{m}$) е тази, в която човешкото око възприема излъчванията.

Разглежданите по-долу спътникови изображения регистрират видимата и инфрачервената област от електромагнитния спектър и за по-накратко за тях ще се използва терминът „оптични спътникови изображения“.

Спътниковите изображения имат много приложения – в метеорологията, океанографията, риболова, селското стопанство, опазването на биоразнообразието, горското стопанство, геологията, картографията, регионалното планиране, образованието, разузнаването и военните действия;

Оптичните изображения могат да бъдат показани в естествен цвят (както бихме го виждали сами с човешкото око, Фиг. 1 а) и в условни цветове или във „фалшив“ цвят (например с невидима за човешкото око инфрачервена информация, Фиг. 1 б). Изображения в условни цветове са полезни за селското стопанство (класификация на културите), за околната среда (вегетационни характеристики) и за геоложки приложения (геоложки и почвени карти).

Интерпретация и анализ на сателитни изображения се провежда с помощта на специализиран софтуер за дистанционно наблюдение.



Фиг. 1. Пример на оптични спътникови изображения
а) изображение в естествен цвят; б) изображение във фалшив цвят

1) Пространствена разделителна способност на оптичните спътникови изображения. Видове спътници за наблюдение на природни бедствия

Пространствената разделителна способност (ПРС) на оптичните спътникови изображения зависи от размера на пиксела (един **пиксел** е най-малката единица за площ в едно цифрово изображение) и бива:

- Много висока ПРС (от 31 cm до 1 m) – спътниците *IKONOS*, *QuickBird*);
- Средна ПРС (от 1 до 30 m) – спътниците *Landsat*, *Sentinel*;
- Ниска ПРС (над 30 m) – спътниците на системата *MODIS* – *Terra/Aqua*.

По-детайлно ПРС е описана в Модул 1, точка 2/4/а. За изследване на природни бедствия (горски и полски пожари, наводнения, атмосферни замърсявания) най-подходящи спътникови изображения са тези със средна ПРС (от спътниците Landsat и Sentinel-2) и ниска (от спътниците Terra/Aqua от системата MODIS).

За да се установи наличието на горски или полски пожар, атмосферно замърсяване или наводнение, трябва да се знае датата на случилото се събитие и да се търсят спътникови изображения от тази дата или близка до нея.

Информацията от системата MODIS се получава два пъти през деня от два различни спътника: Terra и Aqua. Те са хиперспектрални (36 спектрални канала), предназначени за наблюдение на земната и водната повърхност. Те практически обхващат целия оптичен диапазон и се различават по пространствена разделителна способност, която е описана с фиксирани стойности в редицата: 250 m, 500 m, 1 000 m, 5 000 m.

Landsat сензорите, стартирали от началото на 80-те години, имат средна ПРС. Това е важна пространствена разделителна способност, тъй като е достатъчно груба за глобално покритие, но все пак достатъчно подробна, за да характеризира човешки мащабни процеси като градския растеж. Започвайки с Landsat 5, също се събират термични инфрачервени изображения (с по-голяма ПРС от оптичните данни). Сателитите Landsat 7 и Landsat 8 в момента са в орбита. Планиран е Landsat 9. Данните на спътниците Landsat имат ПРС, варираща от 15 до 60 m, времевата разделителна способност е 16 дни. Изображенията от Landsat обикновено се разделят на сцени за лесно изтегляне. Всяка сцена на Landsat е дълга около 185 km и широка 185 km.

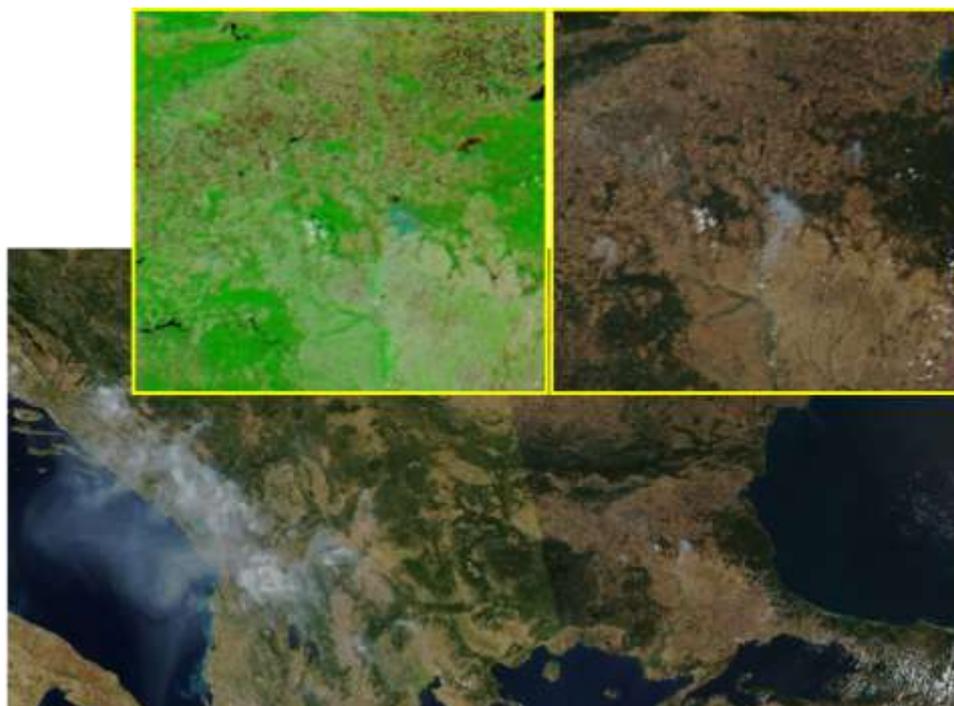
Данните и информацията по програмата „Коперник“ (Copernicus) се предоставят чрез платформи за разпространение на данни изцяло свободно и безплатно. Това са данните от спътниците от серията Sentinel. За наблюдения на природни бедствия се използват спътниците Sentinel-2. „Sentinel-2“ е космическа мисия, част от европейската програма за наблюдение на Земята „Коперник“. Мисията е съставена от два оптични спътника на полярна орбита в една и съща орбитална равнина, наречени *Sentinel-2A* и *Sentinel-2B*. Спътниците са оборудвани с мултиспектрален инструмент, който предоставя данни в 13 различни спектрални канали във видимия и инфрачервения спектър. Данните се получават през период между 2 и 5 дни.

Освен датата на даденото събитие, важно е и наличието на облачна покривка. Дните с облачна покривка не са подходящи за наблюдение на тези природни бедствия, затова трябва да се избягват и да се търсят други дати, близки до събитието, с чисти изображения, на които все още се вижда бедствието.

2) Примерни спътникови изображения с природни бедствия (пожари, атмосферни замърсявания, наводнения)

а. Горски и полски пожари

За най-бързо установяване на наличието на горски или полски пожар се използват данни, получени от спътниците Terra и Aqua на програмата MODIS. А за техния анализ и интерпретация (оценка и анализ на изгорелите площи, наличие и състояние на растителността и почвата) се използват данни с по-висока ПРС – от спътниците Landsat и Sentinel-2 (Фиг. 2 и 3).



Фиг. 2. Пример за горски пожари на територията на Балканския полуостров, спътник Terra/MODIS, 29/08/2012

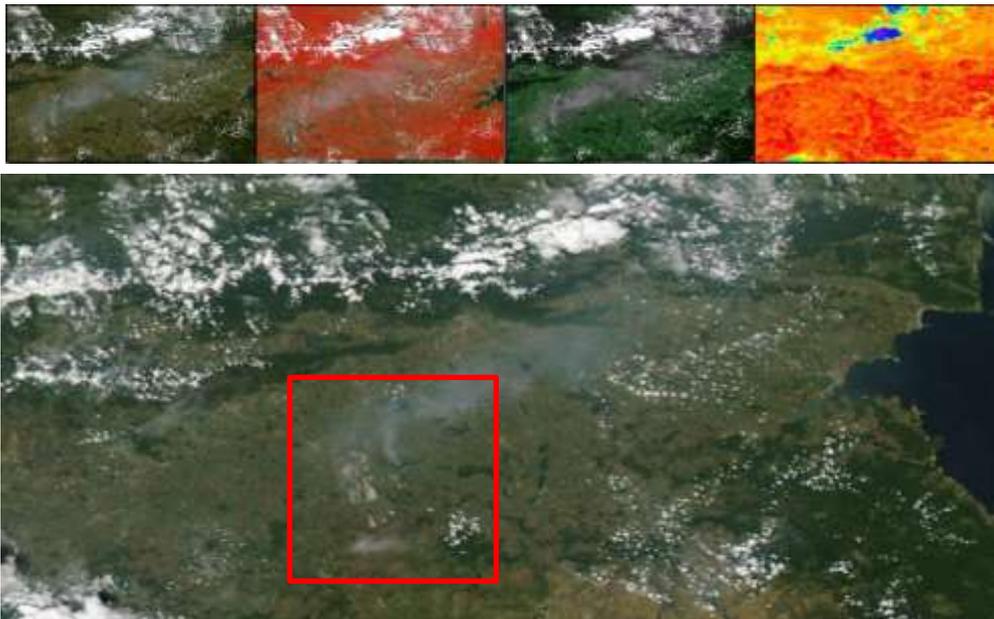


Фиг. 3. Пример за горски пожари на територията на България, спътник Terra/MODIS, 28/10/2019

б. Атмосферни замърсявания

За установяване на налични атмосферни замърсявания най-подходящи са данните от спътниците Terra и Aqua на програмата MODIS. Те са с ниска ПРС и това дава възможност за обхват на по-големи територии. За да се верифицира наличието на установено атмосферно замърсяване, се използват изображения

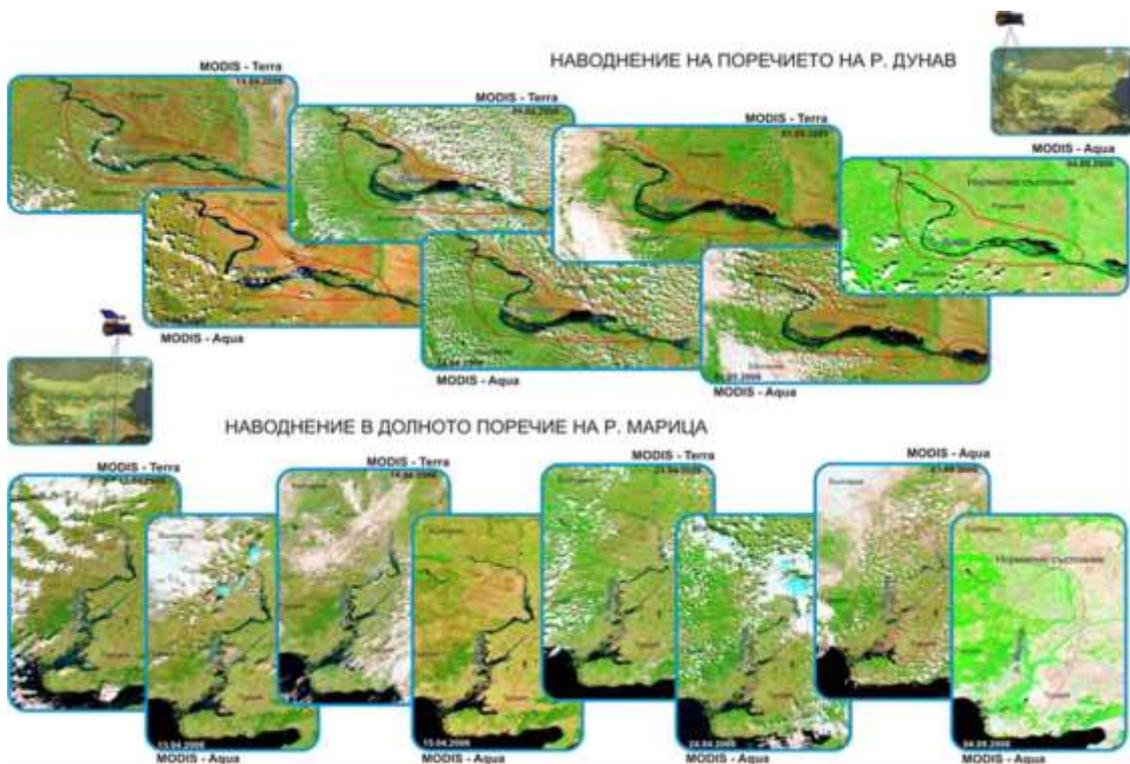
в различни цветови диапазони, както и изображения от температурата на посто-
лащата повърхност (Фиг. 4).



Фиг. 4. Пример за атмосферно замърсяване от промишлени източници, спътници Terra/Aqua/MODIS

в. Наводнения

За наблюдение на наводненията се използват данни, получени от спът-
ниците Terra и Aqua на програмата MODIS (Фиг. 5). А за техния анализ и ин-
терпретация се използват данни от спътниците Landsat и Sentinel-2.



Фиг. 5. Пример за наводнения за периода 2004-2007 г., спътници Terra/Aqua/ MODIS

3) Достъп до оптични спътникови изображения

а. MODIS - Terra/Aqua

MODIS (Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer) или спектро-радиометър със средна разделителна способност) е ключов инструмент на спътниците Terra и Aqua. Terra MODIS и Aqua MODIS преминават през цялата земна повърхност по веднъж на всеки ден, като получават данни в 36 спектрални канали.

Достъпът до спътниковите изображения от програмата MODIS, спътниците Terra и Aqua се осъществява чрез два варианта:

- теглене на изображенията в суров вид, за които е необходима допълнителна предварителна обработка;
- теглене на готови изображения, изрязани и привързани по географски координати (събсети).

И двата варианта са на разположение със свободен и безплатен достъп.

Първият вариант се осъществява от сайта: <https://lance.modaps.eosdis.nasa.gov/cgi-bin/imagery/realtime.cgi>

Фиг. 6. Отваряне на сайта на MODIS Subsets

С отварянето на главната страница се вижда моментното състояние и местоположение на спътниците съответно Terra или Aqua. Сцените са представени по часове, а от пътя на орбитите на двата спътника може да се проследи в кой часови диапазон спътникът е на съответното място, което е обект на интерес. Като пример за България двата спътника минават в часовия диапазон между 9:00 и 14:00 часа българско време. Часовете се показват в UTC – Координираното универсално време или (Coordinated universal time). Официалното часово време в България е „Източноевропейското време“, което се равнява на UTC+2 часа, а лятното часово време в България се равнява на UTC+3 часа. Изображенията от този сайт изискват сложни последващи обработки и специални програмни продукти, затова няма да ги използваме в настоящето ръководство.

Вторият вариант за достъп до спътниковите изображения на системата MODIS е опростен и е от сайта за теглене на селектирани събсети (отрязан участък). MODIS Subset (Фиг. 6 и Фиг. 7) изображения са създадени за конкретни области на земното кълбо. Тези изображения са достъпни както в реални цветни композиции, така и в други канали за визуализации, които илюстрират различни характеристики (вегетационен статус на растителността, вегетационни индекси, граница суша-вода и др.). Исторически изображенията на MODIS Subsets са персонализирани за конкретни проектни приложения или по желание на крайните потребители. Изображенията от MODIS Subsets могат да бъдат изтеглени като GeoTIFF, JPEG или KMZ файлове. Сайтът, откъдето са достъпни изображенията за свободен достъп, е: <https://wvs.earthdata.nasa.gov/>

Координатите на мястото се избират с ляв бутон на мишката и инструмента  (Фиг. 6) чрез ограждане на червено квадратче.



Фиг. 7. Избор на спътник от падащото меню

От падащото меню *Map Projection* се маркира *Geographic*. От падащото меню *Base Layer* (Фиг. 7) изображенията, които може да се ползват за наблюдение и изследване на природни бедствия са:

- Terra, MODIS, True Color, Corrected Reflectance;
- Terra, MODIS, 7-2-1, Corrected Reflectance;
- Terra, MODIS, 3-6-7, Corrected Reflectance;
- Aqua, MODIS, True Color, Corrected Reflectance;
- Aqua, MODIS, 7-2-1, Corrected Reflectance.

След това се избира датата, координатите на изображението се запазват.

От падащото меню *Resolution* има възможност да се избере изображение с различна разделителна способност от 250 m до 10 km (Фиг. 8). За най-добри резултати избираме 250 m. *File format* – *.jpg.

След натискане на бутона *Preview* може да се провери дали цялата сцена от изображението вече е налична. Ако е налична, се избира бутона *Download* за изтегляне на избраното изображение.

Фиг. 8. Избор на разделителна способност на изображението

6. *Landsat u Sentinel-2*

За изтеглянето на изображения от спътниците *Landsat* и *Sentinel-2*, които могат да се ползват лесно и удобно от обикновените потребители, се използва следния сайт: <https://earthexplorer.usgs.gov/>

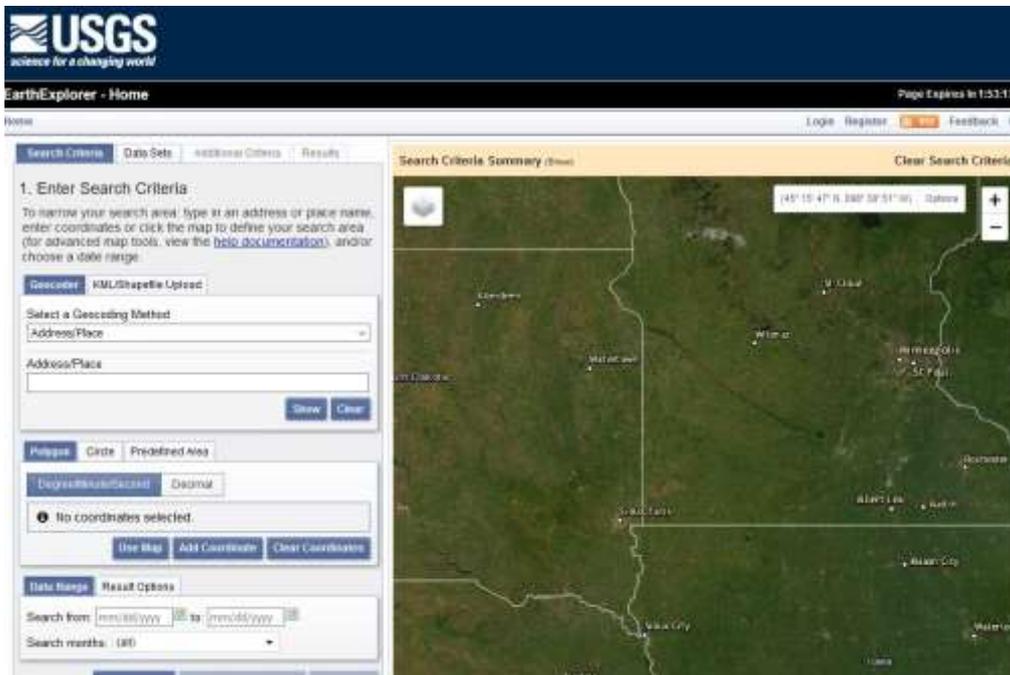
Отваря се началната страница на сайта (Фиг. 9), но за да се ползват услугите, трябва да се влезе чрез регистрация от бутона *Register*. Регистрацията е бърза, изисква се име, имейл и парола. След регистрацията, в сайта се влиза чрез вече създадения профил и оттук може да се ползват необходимите данни.

В десния прозорец на страницата *Search Criteria Summary* се избира територия на интерес (Фиг. 10). С ляв клик на мишката се маркират четири точки в четирите ъгъла на картата (показват се в син или червен маркер).

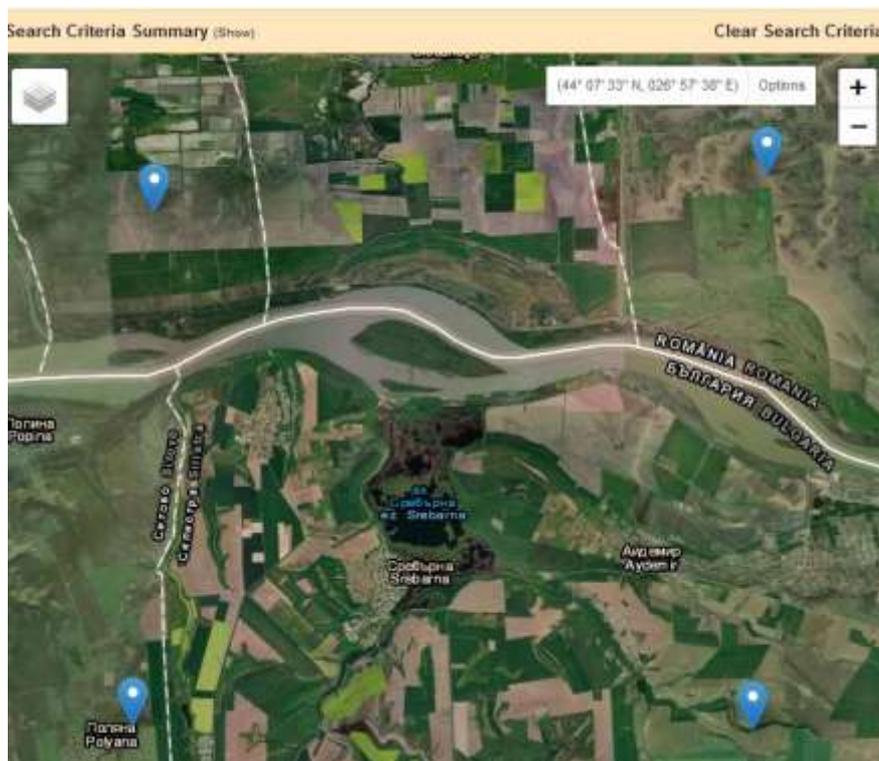
Други критерии за търсене на изображение са избор на дата и избор на спътник (Фиг. 11). Датата се избира от бутона *Search Criteria* за период от – до, а

спътниците, от които могат да се изтеглят изображения, се избират от бутона *Data Sets*, като това са *Lansat 1-8* и *Sentinel-2*.

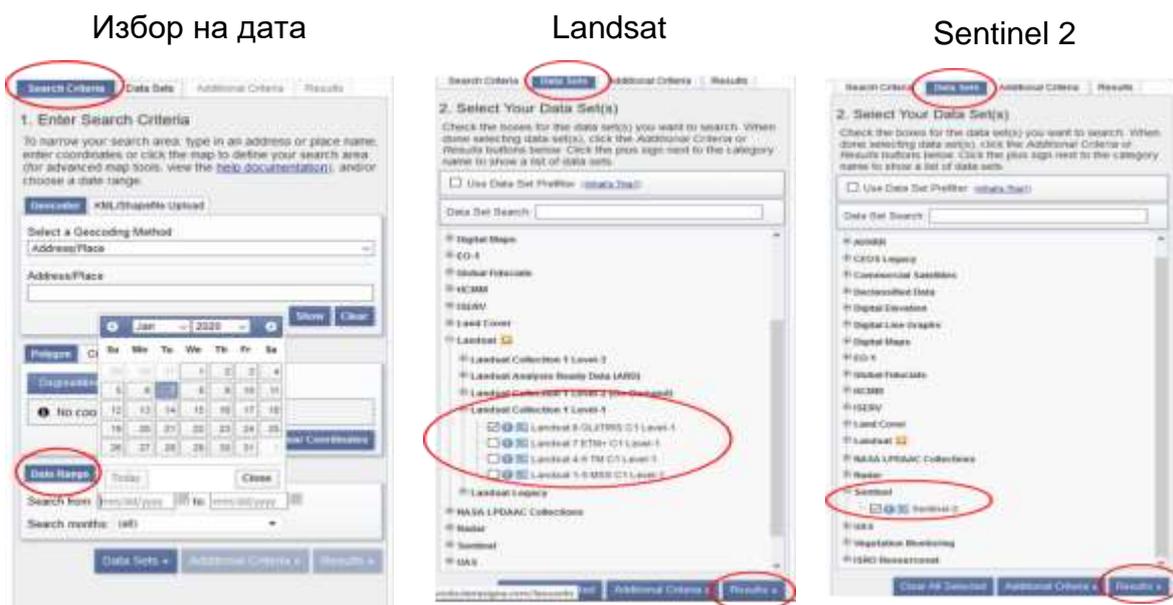
След като са избрани всичките необходими критерии за търсене на спътниковото изображение, с бутона *Results* се отваря наличната информация. Оттук вече могат да се изтеглят и самите изображения. Тегленето става от бутона .



Фиг. 9. Отваряне на сайта на *EarthExplorer*

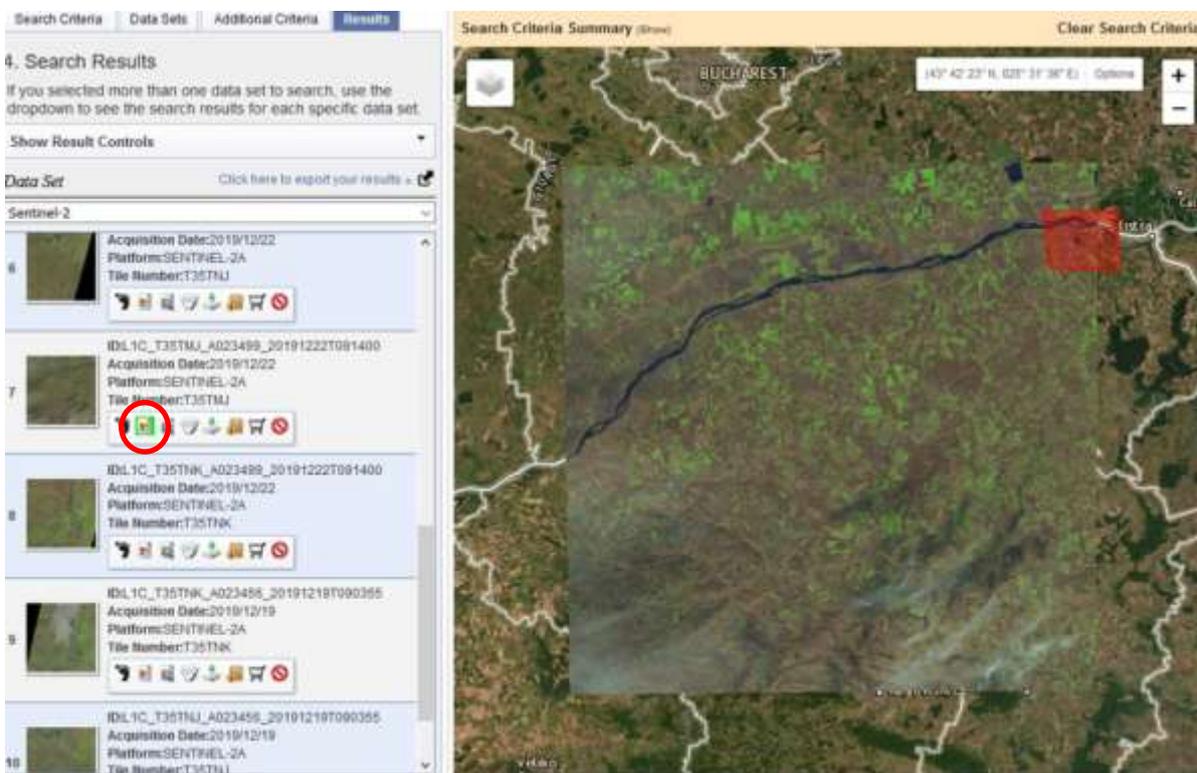


Фиг. 10. Избор на територия на интерес



Фиг. 11. Критерии за търсене на спътниково изображение

За преглед на наличното спътниково изображение се използва бутон , където в полето вдясно се визуализира съответната сцена (Фиг. 12). Опциите за теглене на изображението са: L1C Tile in JPEG2000 format (745.2 MB) (Login Required) и Full Resolution Browse in GeoTIFF format (3.7 MB). Като и за двете се изисква регистрация.



Фиг. 12. Резултати от търсенето

2. ОБРАБОТКА НА ОПТИЧНИ СПЪТНИКОВИ ИЗОБРАЖЕНИЯ В ГИС СРЕДА

1) Географска информационна система. Програми за обработка на спътникови изображения в ГИС среда

„ГИС“ е вид информационна система, състояща се от компютърен хардуер и софтуер, база данни и потребители, която се използва за въвеждане, съхраняване, манипулиране, анализиране и извличане на географски данни с цел решаването на разнообразни задачи за превенция на риска от горски пожари, наводнения, атмосферни замърсявания. Ключовите компоненти на ГИС са компютърна система, геопространствени (географски) данни и потребители.

Компютърната система се състои от хардуерни и софтуерни компоненти, които изпълняват функциите по събиране, обработка, анализ, моделиране, извличане и съхраняване на информация. Географските данни са организирани по специален начин в географски бази данни (ГИС база данни). Те включват както геометрични, така и атрибутивни (тематични) данни за обектите и явленията.

За обработката и анализ на спътникови изображения се използват ГИС програми като ESRI ArcGIS, MapInfo, Golden Software (Surfer and Grapher), AutoCad, Bentley Systems и др., за които се изискват необходимите лицензи за инсталиране и Quantum GIS, GRASS GIS, SAGA GIS, uDig, gvGIS и др., които са със свободен достъп. По-долу е представена практическа работа с една от програмите за обработка Quantum GIS (QGIS). Тя е налична в интернет и е достъпна за свободно ползване от обикновените потребители. Тя може да се изтегли от: <https://qgis.org/en/site/forusers/download.html>.

2) Практическа работа с QGIS

а. Запознаване с потребителския интерфейс на QGIS Desktop и работа с приложението

QGIS Desktop е софтуерното приложение в пакета Quantum GIS, в което се осъществяват по-голямата част от операциите като:

- въвеждане на данни;
- манипулация на данните;
- запитвания към данните;
- визуализация и създаване на карти;
- пространствен анализ и интерпретация, и т.н.

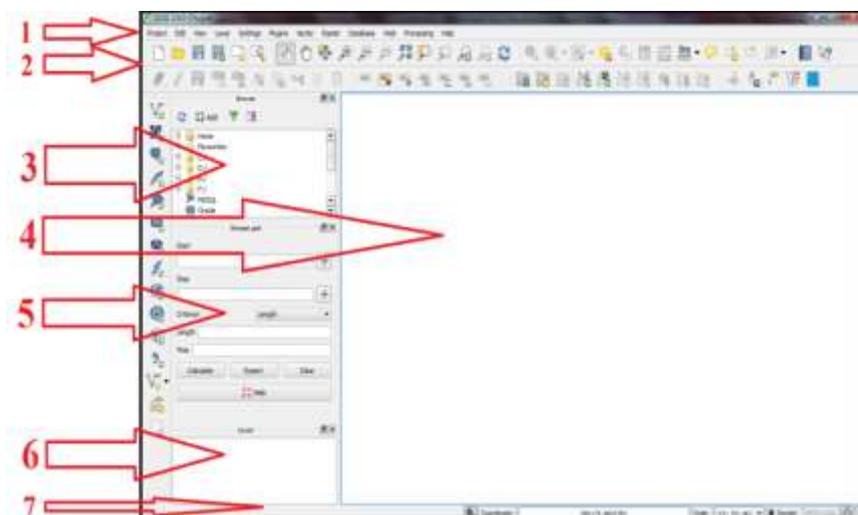
Работата с QGIS Desktop се състои от няколко полета (Фиг. 13):

1. Menu bar;
2. Tool bar;
3. Browser;
4. Поле за визуализация на данни;
5. Поле Layers (слоеве);
6. Road graph;
7. Status bar.

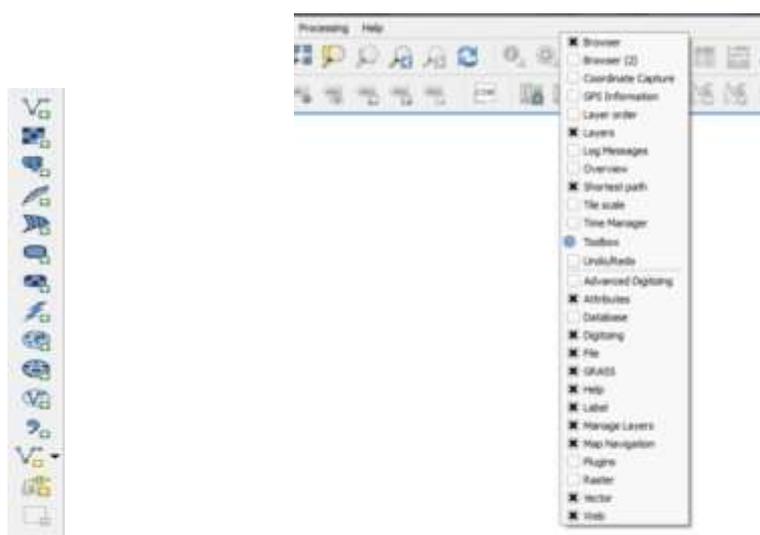
TOOL BAR – представлява набор от инструменти, обединени в отделни „кутийки“, които можете да подреждате, включвате и изключвате спрямо личните си предпочитания (Фиг. 14).

В този изглед са отворени само стандартните менюта. Може да се добавят или изключват менюта чрез клик с десен бутон на мишката някъде върху празното пространство и избиране на менюто, което искаме да включим/изключим.

Менютата в QGIS DESKTOP са следните: 1. Меню „Project“; 2. „Layers“; 3. „Map navigation“; 4. „Attributes“ (Фиг. 15).



Фиг. 13. Работа с QGIS Desktop



Фиг. 14. TOOL BAR



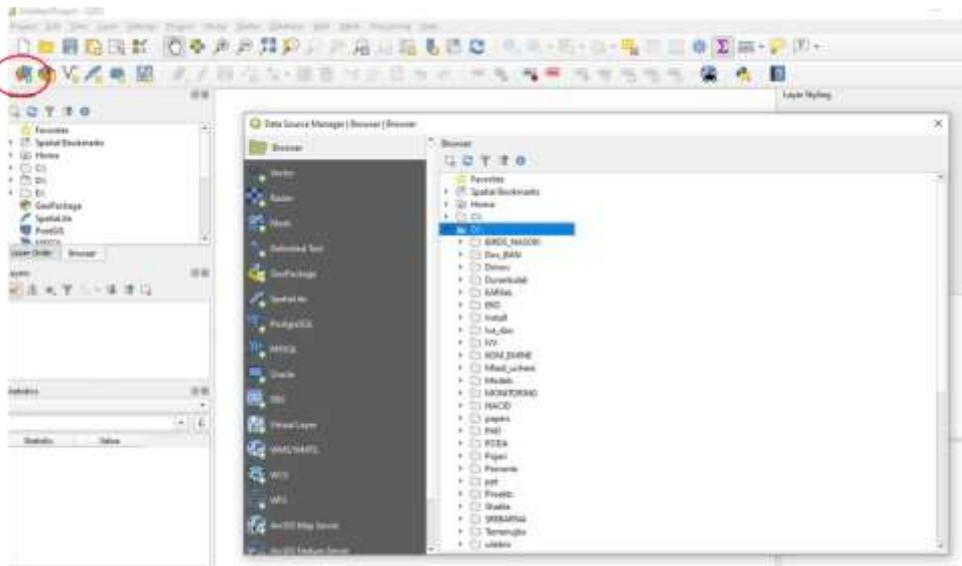
Фиг. 15. Менютата в QGIS DESKTOP

б. Отваряне на спътниково изображение в програмата QGIS

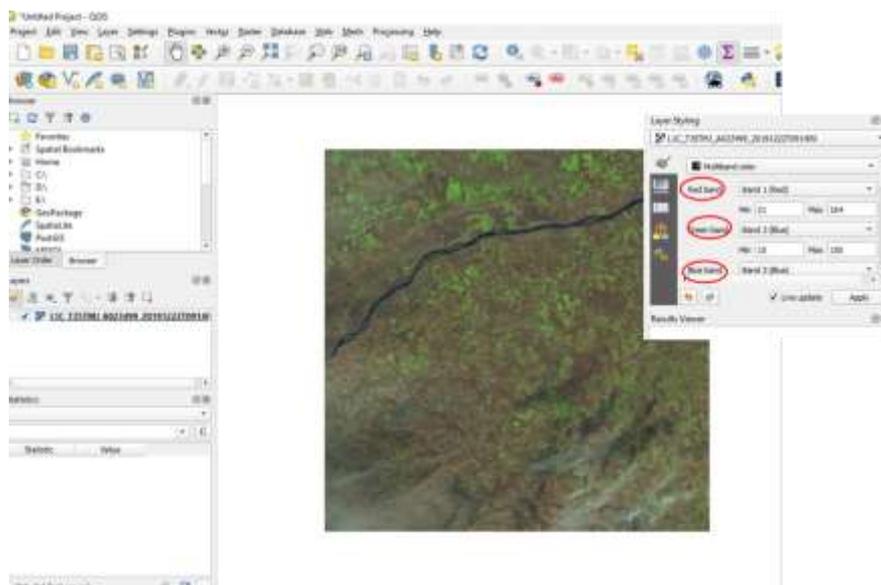
За отварянето на изтегленото спътниково изображение, в програмата се използва бутона Open Data Source . Отваря се падащо меню, където се избира съответното изображение според местоположението му в компютъра.

Изображението се зарежда в полето за визуализация на данни (дясно), (Фиг. 16).

Менюто, което се отваря вдясно *Layer Styling*, показва каналите на съответното изображение, които са заредени в момента. Обикновено това са *RGB* (*Red Band, Green Band, Blue Band*). Те могат да сменят стойностите си и от там се променя визуализацията на цветовете на изображението (Фиг. 17).



Фиг. 16. Отваряне на спътниково изображение



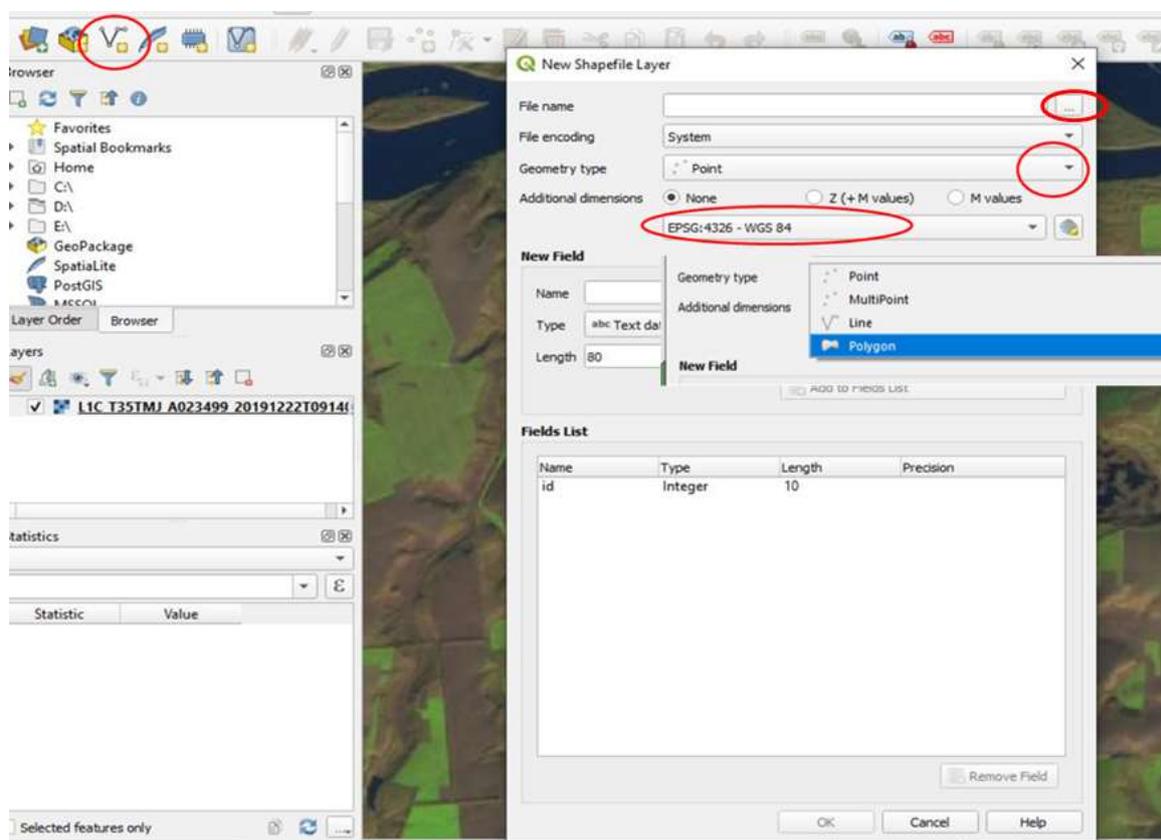
Фиг. 17. Зареждане на избраното изображение

в. Създаване на обект на интерес (AOI – Area of Interest). Създаване на векторен слой, тип полигон

За представяне на реалния свят в ГИС се използват цифрови модели за визуализация и анализ на пространствените данни и свързаната с тях атрибутивна информация. Обикновено моделът на реалността в ГИС е отделен слой, представящ отделни обекти и явления, като горски площи, парцели, пътища и др.

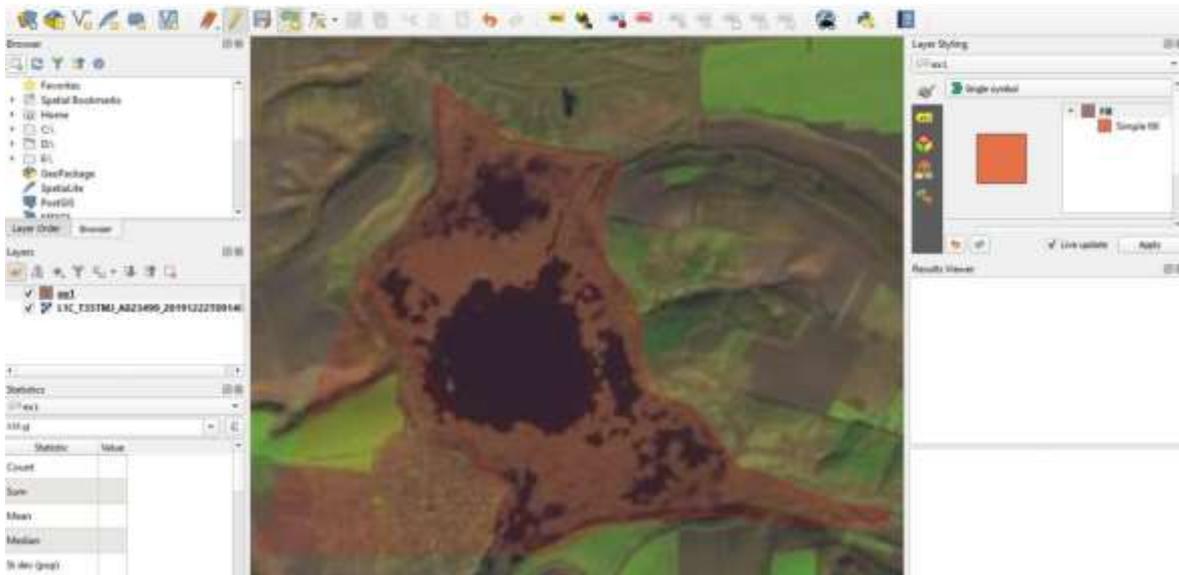
Обектът на интерес (AOI – Area of Interest) представлява територията, която искаме да наблюдаваме (защитена местност, горски площи, урбанизирани територии) или територията, върху която е забелязано някакво природно бедствие (горски пожар, наводнение или атмосферно замърсяване). Като пример за „обектът на интерес“ във фигурите по-долу е използвана територията на Биосферен резерват „Сребърна“. За да се избере обектът на интерес, с който ще се работи по-нататък, той трябва да се очертае с полигон (създаване на нов векторен слой).

За дефиниране на пространствените обекти се използват множество от координати и асоциираните с тях атрибутивни данни. При този подход пространствените обекти са ясно обособени във вид на точки, линии и полигони (ареали). Площните обекти се представят със затворени ареали – полигони (Фиг. 18). Те са формирани от свързани една с друга линии. Началната и крайната точка на границата на полигона е една и съща, т.е. има едни и същи координати. За да се затвори контурът на полигона и той да се различава от линията, координатите на тази точка се записват два пъти – веднъж като координати на началната и веднъж като координати на крайната точка.

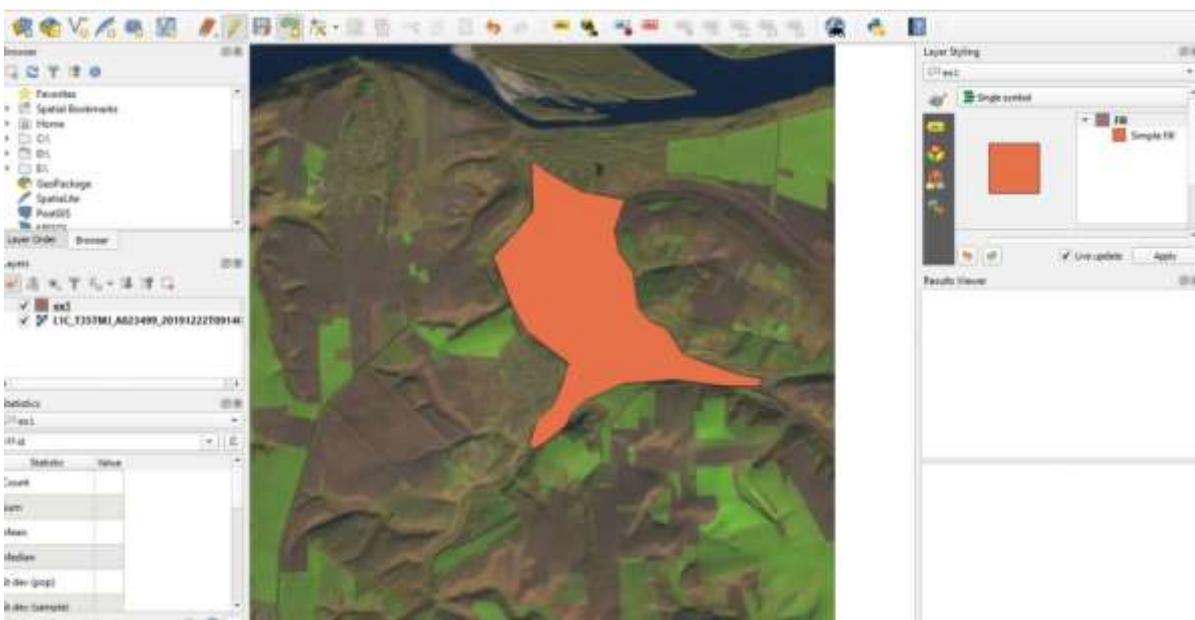


Фиг. 18. Създаване на полигон

Създаването на векторен слой – полигон, включва създаването на нов файл, който представлява отделен слой – *Shapefile Layer*. Всеки *Shapefile Layer* има възможност да бъде точков обект, линия или полигон. В случая обектът на интерес, който ще изследваме, е полигон с определена площ.



Фиг. 19. Изчертаване на полигон



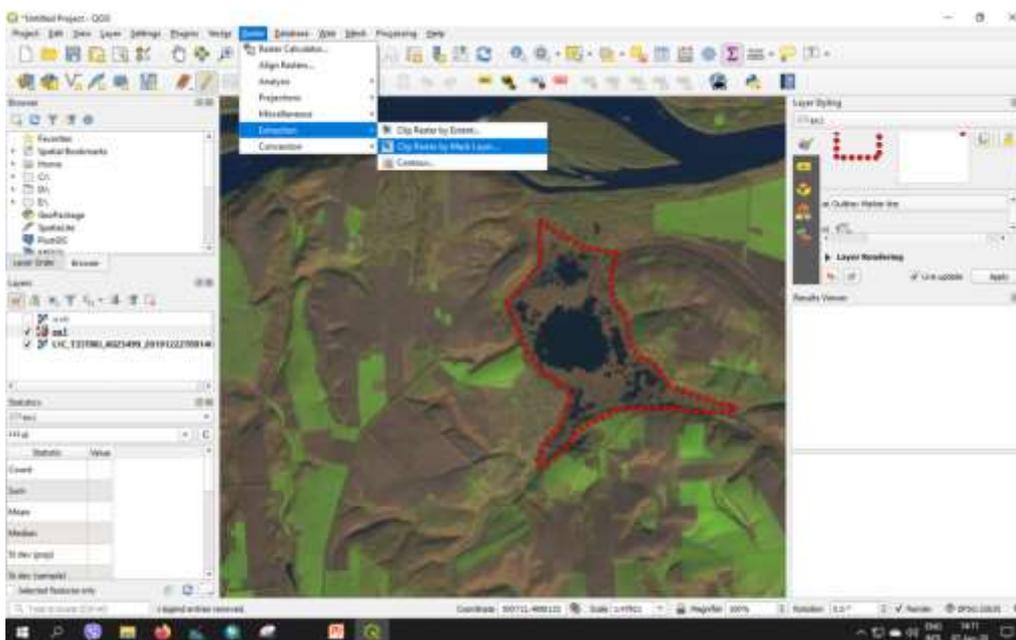
Фиг. 20. Готов полигон

След създаването на шейпфайла, се активира съответното меню за изчертаване на полигони. С бутона  (Фиг. 19) и левия бутон на мишката започва изчертаването на полигон (очертavamo обекта на интерес по неговите граници).

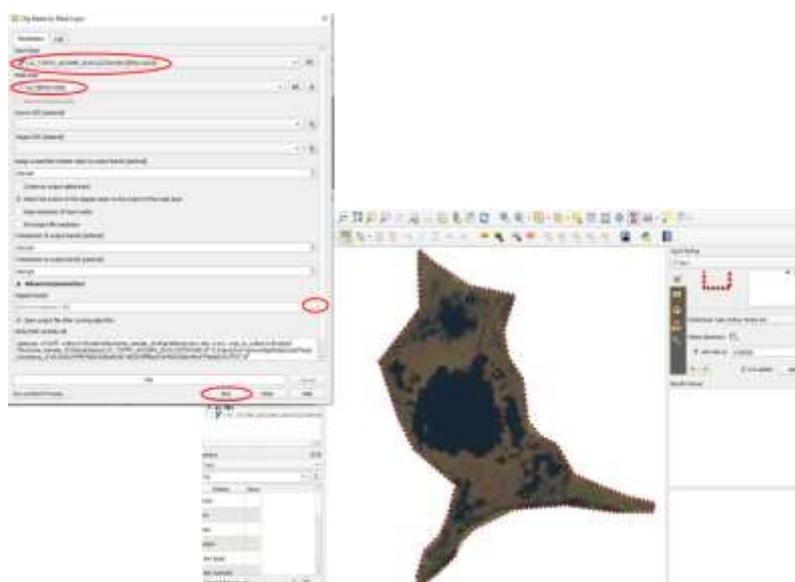
Готовият полигон излиза в съответния цвят, който може да бъде променен. Съответно може да му се зададе само очертания като линия, за да се вижда обекта на интерес. Това става от прозореца, който се отваря вдясно на полето за визуализация – *Layer Styling* (Фиг. 20).

г. Изрязване по обект на интерес (полигон)

За изрязване на даден обект, вече очертан с полигон, се използва Меню бара и бутона *Raster – Extraction – Clip Raster by Mask Layer* (Фиг. 21).



Фиг. 21. Избор на инструмент за изрязване



Фиг. 22. Стъпки, необходими за изрязването на обекта на интерес и резултат

Отваря се прозорецът *Clip Raster by Mask Layer*. Необходимите стъпки след това са: избор на изображението, от което ще изрязваме обекта *Input layer*, избор на обекта, който ще изрязваме (създаденият полигон) *Mask layer*, запазване на новия файл *Save to temporary file*, който ще се получи (избор на папка в компютъра) и бутонът *RUN*. Като резултат се получава спътниковото изображение, изрязано по полигон - обект на интерес (Фиг. 22).

3. АНАЛИЗ И ИНТЕРПРЕТАЦИЯ НА ДАННИТЕ

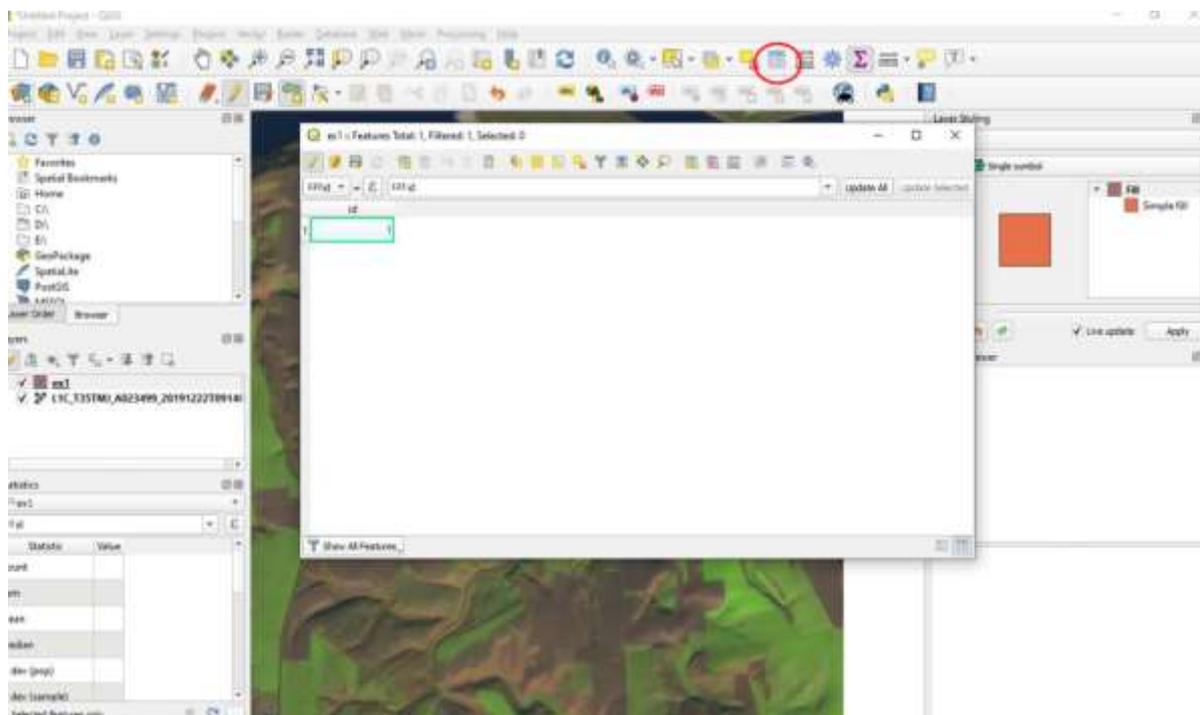
1) Отваряне на атрибутивна таблица и работа с нея

С помощта на геометричните данни, обектите и явленията от реалния свят се представят в ГИС в растерен или векторен формат. Геометричните данни характеризират местоположението (координатите), големината, формата и ориентацията на обектите в двумерно (2-D) или тримерно (3-D) пространство.

Атрибутивните данни описват свойствата на обектите и се съхраняват в т.н. атрибутивна таблица. В атрибутивната таблица всеки обект е представен с един запис (ред) и с определен брой атрибутивни полета (колони). Геометричните и атрибутивните данни за всеки обект са свързани помежду си в географската база данни. Което означава, че географските обекти могат да бъдат идентифицирани с помощта на техните атрибути и обратно – достъпът до атрибутивните данни за всеки обект може да става чрез геометричните данни за него.

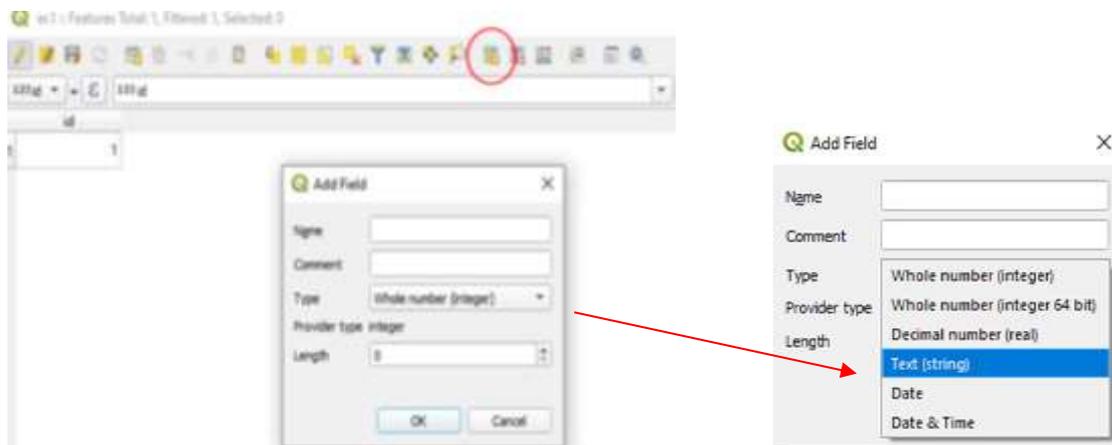
Ролята на потребителите е да селектират, актуализират и анализират информацията, която ги интересува в ГИС.

Разгледайте атрибутивната информация на новия векторен слой като кликнете с десния бутон на мишката върху името на слоя и изберете: „*Open Attribute Table*” или бутона  в Меню бара (Фиг. 23).



Фиг. 23. Отваряне на атрибутивна таблица

За добавяне на нова колона в атрибутивната таблица, в която да се впише допълнителна информация за обекта (името на обекта, неговата площ и др.), се използва бутона . Отваря се прозорец, в който може да се въвежда името на обекта, съответно в друга колона се въвеждат и нови необходими данни (Фиг. 24).

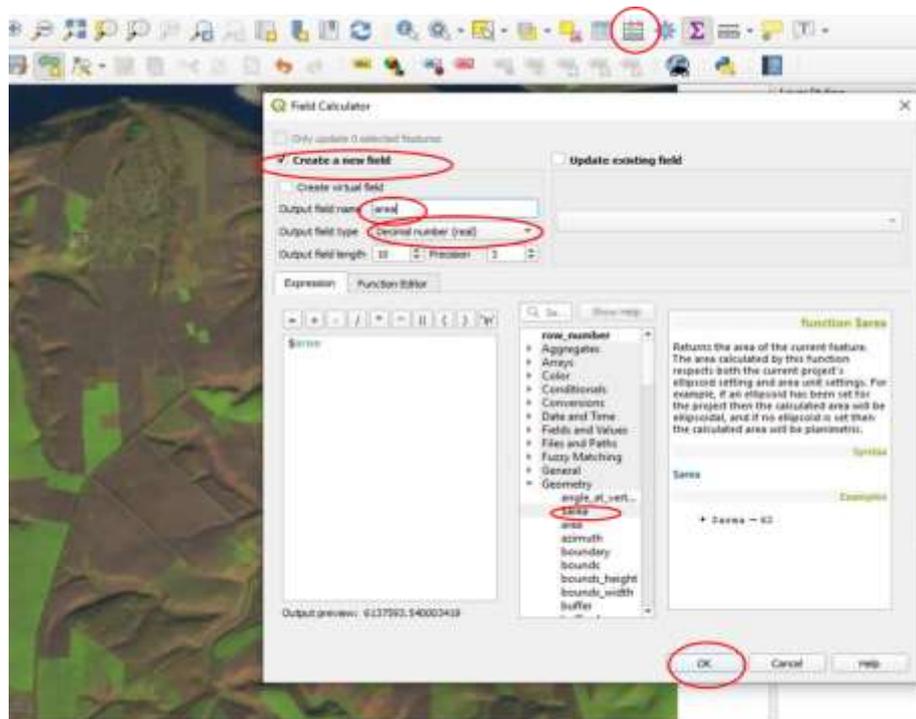


Фиг. 24. Добавяне на колона в атрибутивната таблица

От менюто *Type* се избира типа на данните, които ще се въвеждат. За име на обект, се избира *Text (string)*, ако се въведат цифри, съответно *Whole number*, *Decimal number*.

2) Изчисляване на площта на обекта на интерес

Изчисляването на площта на обекта на интерес, който е очертан с полигон, се осъществява от бутона  (Фиг. 25).

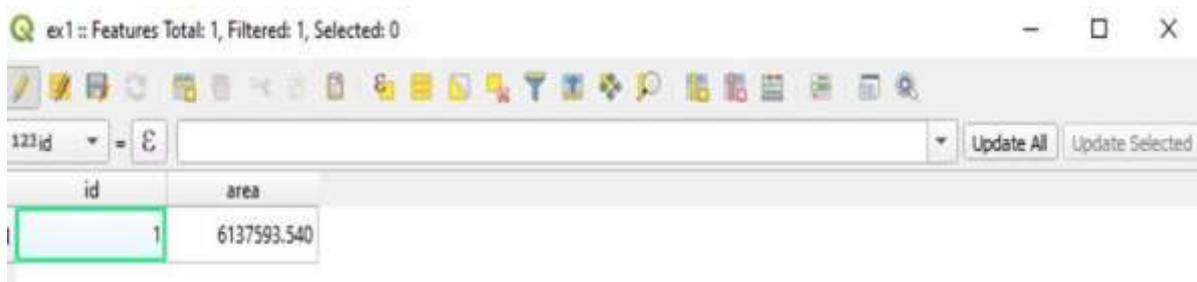


Фиг. 25. Изчисляване на площ

Отваря се прозорец, в който могат да се изберат следните опции:

- маркиране на бутона *Create a new field* – създава се нова колона, в атрибутивната таблица на шейпфайла, в която ще бъде изчислена площта на обекта;
- в *Output field name* се изписва името на нова колона, което ще се изчислява (примерно *площ* или *area*);
- в *Output field type* се избира вида на цифровите знаци, които искаме да бъдат изчислени;
- за изчисляване на площ на даден обект от прозореца *row_number* избираме **Geometry** и оттам – **\$area**.
- накрая се избира бутона *OK*.

Площта на обекта вече се изчислява автоматично в атрибутивната таблица (Фиг. 26).



The screenshot shows the QGIS interface with a table of attributes. The table has two columns: 'id' and 'area'. The 'id' column has a value of '1' highlighted in green. The 'area' column has a value of '6137593.540'. The table is titled 'ex1 :: Features Total: 1, Filtered: 1, Selected: 0'. There are buttons for 'Update All' and 'Update Selected'.

id	area
1	6137593.540

Фиг. 26. Резултат от изчислената площ на обекта в атрибутивната таблица

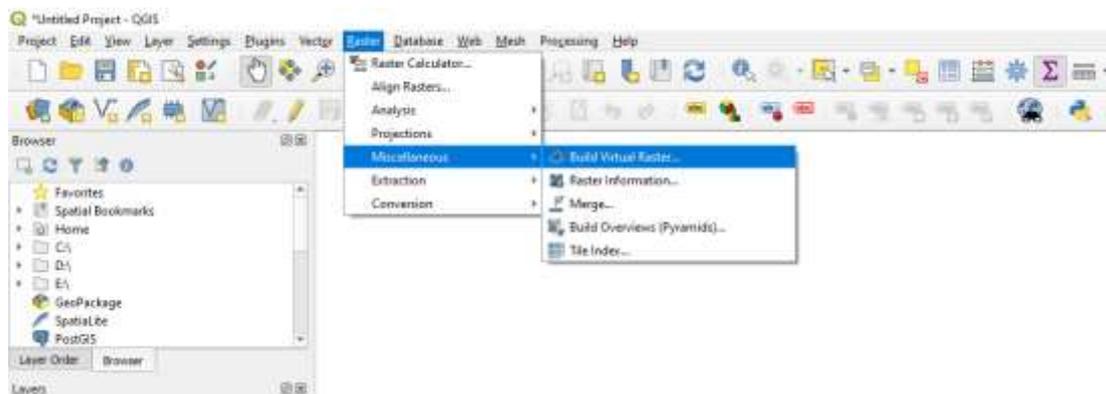
3) Създаване на композитно (в условни цветове) изображение от спектрални канали на Sentinel-2

Необходимостта от създаването и използването на композитни изображения е за последващ анализ и интерпретация на данните от изображенията.

За създаване на композитно изображение, което представлява смес от няколко спектрални канали от едно спътниково изображение, е необходимо то да бъде изтеглено в пълен формат L1C Tile in JPEG2000 format (745.2 MB) (Login Required). Този файл е в компресиран вариант, след като се разкомпресира, той съдържа всички налични канали за съответното изображение (важи за спътниците *Landsat* и *Sentinel-2*).

За създаване на композитно изображение в програмата QGIS, първо трябва да се отворят необходимите канали поотделно или директно да се изберат от мястото им в дадена папка в компютъра, където са налични.

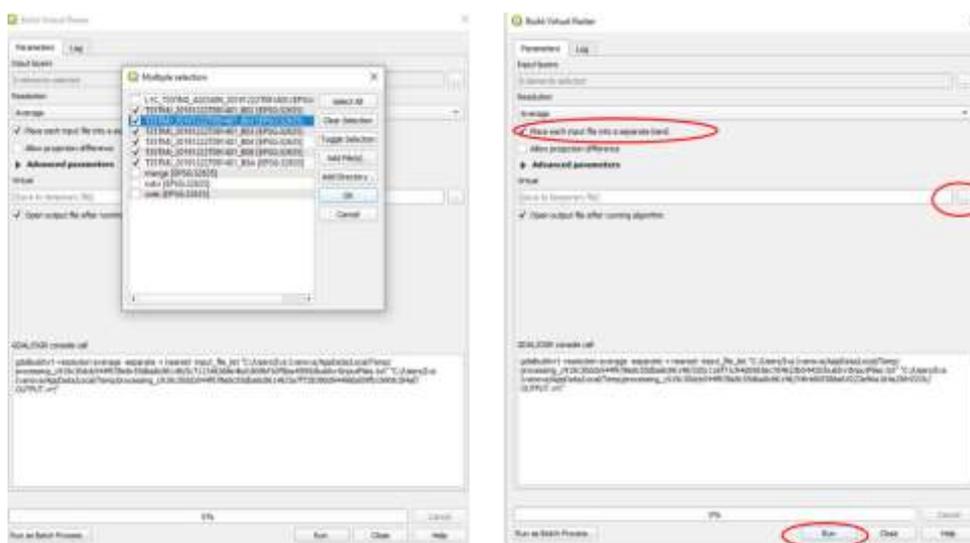
Изборът на каналите става от менюто *Raster – Miscellaneous-Build Virtual Raster* (Фиг. 27). След което се отваря съответния прозорец, в който се избират съответните канали от изображението с маркиране (Фиг. 28). Необходимо е да се маркира *Place each input file into a separate band*, което разделя спектралните канали в готовото изображение и след това се избира папка, в която да бъде запазено готовото композитно изображение.



Фиг. 27. Избор на спектрални канали при композитно изображение

Като резултат се получава ново изображение, готово за последваща обработка и анализи (Фиг. 29).

Създаденото композитно изображение вече може да се използва за последваща обработка и анализ на спътниковите данни, като например оценка на растителността, водата или почвата, изчисляване на растителни и почвени индекси и др.



Фиг. 28. Прозорец за избор на спектрални канали



Фиг. 29. Резултат - готово композитно изображение

ЛИТЕРАТУРА:

1. Иванова, И., Р. Недков, Т. Мичев, Н. Камбурова, 2007. Изследване динамиката на плаващите острови на територията на поддържан резерват „Сребърна“ на базата на аерокосмическа, GPS и наземна информация, Екологично инженерство и опазване на околната среда, книжка 3-4, с. 19–29.
2. Иванова, И., Р. Недков, 2015, Сезонна динамика на плаващите тръстикови острови в езерото Сребърна на базата на спътникови, наземни и GPS данни, за периода март 2014 г. – март 2015 г., Eleventh Scientific Conference with International Participation, SPACE, ECOLOGY, SAFETY, 4 – 6 November 2015, Sofia, Bulgaria, 286–291.
3. Иванова, И., 2014, Изследване динамика на плаващите тръстикови острови в ПР „Сребърна“ и езерото Лумина от езерния комплекс Рошу-Пую-Лумина в БР „Делтата на р. Дунав“, на базата на спътникови, наземни и GPS данни“, Дисертационен труд, Акад. Изд. „Проф. Марин Дринов“, БДС ISO 7144, ISBN 978-954-322-762-4, София.
4. Мардиросян, Г. 2003. Аерокосмически методи в екологията и изучаването на околната среда. Акад. издат. " Проф. М. Дринов", 208 с. ISBN 954-430-939-X.
5. Мардиросян, Г. 1999. Природни екокатастрофи и тяхното дистанционно аерокосмическо изучаване. Акад. издат. „Проф. Марин Дринов“, 368 с. ISBN 954-430-616-1
6. Станкова, Н., И. Иванова, Н. Павлова, Р. Недков, М. Захарина, 2015, Екологични въздействия и последствия от наводнения в района на р. Марица чрез използване на спътникови, GPS и наземни данни за периода 2005 – 2014 г., Екологично инженерство и опазване на околната среда, 4/2015, с. 5-14, ISSN 1311-8668
7. Ivanova, I., R. Nedkov, D. Borisova, N. Stankova. 2018. Using SAR and optical data from Sentinel satellites for precise modeling of seasonal floating reed islands dynamics in Srebarna Lake. Proc. SPIE 10790, Earth Resources and Environmental Remote Sensing/GIS Applications IX, 10790, SPIE, ISSN:0277-786X, DOI:10.1117/12.2325703.
8. Nedkov, R., Pl. Hristov, I. Ivanova, M. Dimitrova, M. Zaharina, G. Jeleu, D. Boneva, 2011. Web-Based Ecological Monitoring Study in the Region of Polygon Zmeyovo, Using Satellite and Ground Data, Ecological Engineering and Environment Protection 4, p.72–78
9. Недков Р., Е. Руменина, Л. Филипов, П. Христов, М. Димитрова, М. Захарина, В. Найденова, Г. Желев, Д. Бонева. 2008. Web-базиран мониторинг на атмосферните замърсявания в района на община Стара Загора на базата на спътникови данни. Трета научна конференция с международно участие SENS'2007, ИКИ- БАН 264-273. ISSN: 1313-3888.

Интернет източници:

Copernicus Open Access Hub – <https://scihub.copernicus.eu/dhus/#/home>

EarthExplorer – <https://earthexplorer.usgs.gov/>

The Rapid Response near real-time – <https://lance.modaps.eosdis.nasa.gov/cgi-bin/imagery/realtime.cgi>

QGIS – <https://qgis.org/en/site/forusers/download.html>

Програмата за подкрепа на НПО в България – www.ngogrants.bg

ТЕСТ 3

върху Модул 3

1. Средната пространствена разделителна способност на оптичните спътниковите изображения е с размер на пиксела:

- A) от 1 до 30 m
- Б) от 31 cm до 1 m
- В) над 30 m

2. Кои оптични спътникови изображения са най-подходящи за изследване на природни бедствия?

- A) тези с ниска пространствена разделителна способност
- Б) тези с висока пространствена разделителна способност
- В) тези със средна пространствена разделителна способност

3. Изображения с ниска разделителна способност са от спътниците:

- A) Landsat
- Б) TERRA/AQUA
- В) Sentinel

4. Изображения със средна разделителна способност са от спътниците:

- A) TERRA
- Б) AQUA
- В) Landsat и Sentinel

5. Кои спътници поддържа системата MODIS?

- A) Landsat
- Б) Sentinel
- В) TERRA/AQUA

6. Колко са сателитите на Landsat в момента?

- A) 6
- Б) 7
- В) 8

7. Кои спътници са на програмата „Коперник“?

- A) Landsat
- Б) Sentinel
- В) TERRA/AQUA

8. Колко са спектралните канали на спътника Sentinel-2?

- A) 13
- Б) 10
- В) 8

9. През колко дни се получават изображения от спътниците TERRA/AQUA?

- A) 2
- Б) 5
- В) всеки ден

10. Какво е ГИС?

.....
.....
.....
.....

11. Избройте някои от програмите за обработка на спътникови изображения:

.....
.....
.....
.....



МОДУЛ 4

ПРАКТИЧЕСКА РАБОТА С РАДАРНИ СПЪТНИКОВИ ИЗОБРАЖЕНИЯ

1. РАДАРНИ СПЪТНИКОВИ ИЗОБРАЖЕНИЯ

Радарните сателитни изображения се заснемат в микровълновата част на спектъра с дължина на вълната от 0,1 cm до 1 m. Антената на радара със синтезирана апертура (*Synthetic-Aperture Radar, SAR*) предава микровълнови импулси и получава обратното ехо от повърхността. На тази основа се получават изображения с висока разделителна способност (Фиг. 1).

SAR технологията има няколко специални характеристики в сравнение с други методи за дистанционно наблюдение на Земята от Космоса. От една страна, е възможно да се наблюдава земната повърхност дори в облачни дни и през нощта. От друга страна, могат да бъдат получени физични променливи като коефициента на обратното разсейване или разликите в дължината на пътя в посоката на „наблюдение“ на SAR антената. Коефициентът на обратното разсейване зависи от физичните свойства на наблюдаваните повърхности. Основните свойства са повърхностната грапавост, геометрията и диелектричните свойства, основно засегнати от повърхностната влага. Друга важна характеристика на радарните дистанционни изследвания е дълбочината на проникване на импулса, съответно проникването в земната повърхност и растителността по отношение на из-ползваната дължина на вълната от радара.

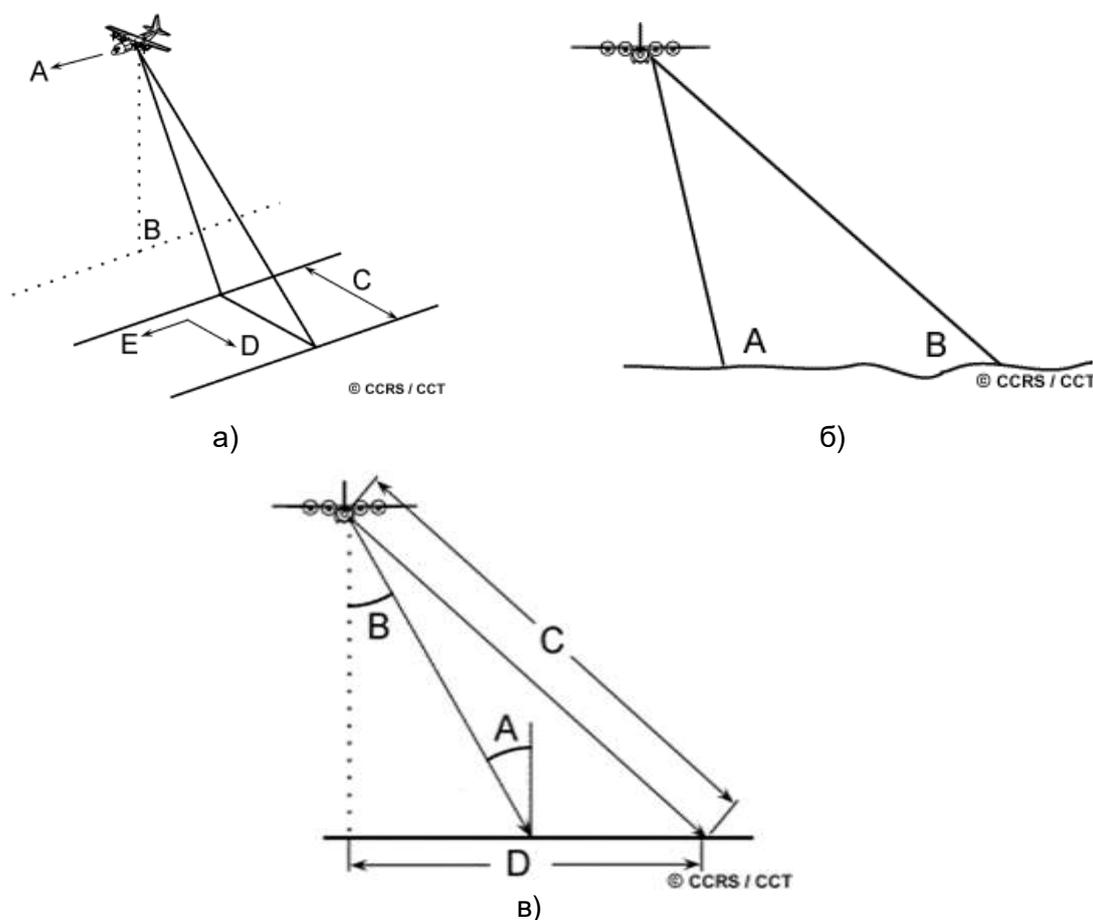


Фиг. 1. Пример на мозайка от радарни спътникови изображения

На Фиг. 1 е показано псевдоцветно радарно изображение на територията на България от спътника Sentinel-1 на Европейската космическа агенция (ЕКА). Цветовете са симулирани от три мозаечни изображения **Синьо**: 04-05.2016, **Зелено**: 06-08.2016, **Червено** 09-11.2016. Черните ивици на изображението са липсващи данни. Източник: Google Earth Engine

2. ПРОСТРАНСТВЕНА РАЗДЕЛИТЕЛНА СПОСОБНОСТ НА РАДАРНИ СПЪТНИКОВИ ИЗОБРАЖЕНИЯ. ВИДОВЕ СПЪТНИЦИ ЗА НАБЛЮДЕНИЕ НА ПРИРОДНИ БЕДСТВИЯ

Геометрията на изображенията на радарната система (Фиг. 2 а и 2 б) е различна от тази на оптичните системи, описани в Модул 3. Подобно на оптичните системи, самолетът или спътникът се движи напред в посока на полета (А) с надир (В) непосредствено под платформата. Микровълновият лъч се предава наклонено под прав ъгъл в посоката на полета, осветяваща откос (С), който е изместен от надира. Обхватът (D) се отнася до измерението на напречната линия, перпендикулярно на посоката на полета, докато азимут (Е) се отнася до измерението на трасето, успоредно на посоката на полета. Тази странична геометрия на „гледане“ е типична за радиолокационните системи (както заснети от въздуха, така и в околоземна орбита). Частта от изображението, най-близка до надира на радарната платформа, се нарича близък обхват (А), докато частта от отклонението, най-отдалечена от надира, се нарича далечен обхват (В), (Фиг. 2 в).



Фиг. 2. Геометрия на заснемане на радарно спътниково изображение (CCRS/CCT 2016), <https://www.nrcan.gc.ca/>

Ъгълът на падане е ъгълът между радарния сигнал и земната повърхност (А), който се увеличава, придвижвайки се през слоя от близкия до далечния обхват. **Ъгълът на заснемане** (В) е ъгълът, под който радарът „гледа“ повърхността, (Фиг. 2 в). В близкия обхват геометрията на видимостта може да бъде определена като „стръмна“ по отношение на далечния обхват, където геометрията на видимост е „полегата“. Във всички диапазони радарната антена измерва радиалната линия на видимост между радара и всяка цел от повърхността. Това е **дължината или разстоянието на обхвата на наклона** (С). **Разстоянието на земния обхват** (D) е истинското хоризонтално разстояние по протежение на земната повърхност, съответстващо на всяка точка, измерена в обхвата на наклона.

За изследване на наводнения и валежи най-подходящи спътникови изображения са тези от спътниците и инструменти от серията Meteosat, TRMM, AMSR-E и Sentinel-1; за изследване на посоката и скоростта на вятъра и морските течения – QuikScat; за изследване на горски и полски пожари – Sentinel-1; за изследване на земетресения, свлачища и други земни деформации – Sentinel-1, Radarsat SAR, ALOS PALSAR.

Както и при оптичните дистанционни изследвания, за да се установи наличието на дадено природно бедствие или природно и антропогенно явление, трябва да се знае датата на случилото се събитие и да се търсят спътникови изображения от тази дата или близка до нея. Облачността при радарните спътникови дистанционни изследвания обаче не е лимитиращ фактор при търсене на изображения поради способността на някои от радарите да „проникват“ през облачната покривка.

Информацията от системата QuickScat (Фиг. 3), която е типичен скатерометър, се получава, като изпраща микровълнови импулси към земната повърхност и измерва мощността на отразения сигнал. Отраженият сигнал от морската и океанска повърхност зависи от грапавостта на повърхността (вълните), което от своя страна зависи от скоростта и посоката на вятъра. QuickScat подменя мисията NSCAT, след загубата на ADEOS, а SeaWinds е EOS инструмент на борда на японската спътникова мисия ADEOS II.



QuickScat



SeaWinds



CloudSAT

Фиг. 3. Скатерометри за измерване на скоростта, посоката на ветровете и облачността. Източник: Yunjin Kim, JPL (НАСА)

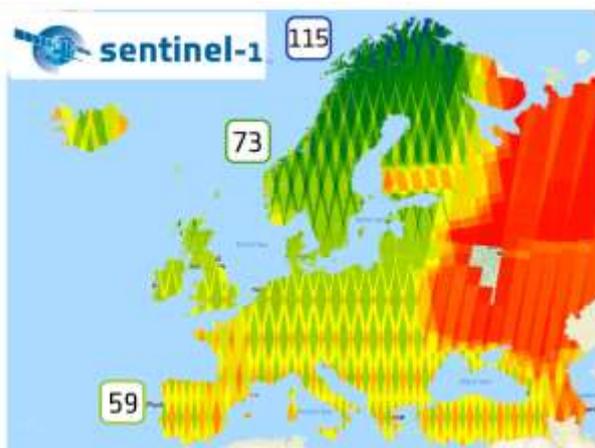
„Мисии за морска топография“ – най-ефективното измерване на океанските и морски течения дава космическата океанска топография, измерваща височината на надморското равнище над земния геодид. Типични мисии са TOPEX/Poseidon (изведен в орбита на 10 август 1992 г.) и Jason-1 (7 декември 2001 г.), които са изградени по съвместна програма на NASA-CNES.

Инструментът е двучестотен алтиметър и работи в Ку-канал, С-канал на микровълновия диапазон. На борда има също така високоточен GPS, DORIS и лазерен отражател за прецизно определяне на орбитата. Точност на измерване на височината на морската повърхност е 4,2 cm. Данните от двата спътника TOPEX/Poseidon и Jason-1 в тандем се използват за високоточни измервания на морската и океанската повърхност.

За измерване на надморската височина и създаване на цифров модел на релефа (ЦМР или още Digital Elevation Model, DEM) една от най-значимите мисии е SRTM (Shuttle Radar Topography Mission), разработена в резултат на партньорство между NASA и NIMA (National Imagery and Mapping Agency). Радарът работи в Х-канал на микровълновия диапазон и е разработен съвместно с индийската и немската космически агенции. Някои от основните характеристики на системата на С-каналния интерферометър SAR за топографски измервания е 60-метровата „ръка“ на совалката (Фиг. 13, Модул 1).

Първият DEM на 80% от земната повърхност е изготвен само с 11-дневен полет на совалката. Изисквания за абсолютна точност на модела на релефа са 20 m хоризонтална и 16 m вертикална точност на надморската височина и географско положение, но постигнатата реална точност е 10 m хоризонтална и 8 m вертикална. Понастоящем в орбита от 21 юли 2010 г. е мисията TanDEM-X (TerraSAR-X add-on for Digital Elevation Measurement е името на тандема спътници TerraSAR-X) на Немската космическа агенция – DLR и частната компания EADS Astrium. WorldDEM е много по-точен световен цифров модел на релефа, но е изготвен в рамките на три години след изстрелването на тандема спътници. Предлага се на потребителите от 2014 г. WorldDEM трябва да разполага с вертикална точност от 2 m (относителна) и 4 m (абсолютна), в хоризонтален растер от приблизително 12 × 12 m, леко варираща в зависимост от географската ширина.

Данните и информацията по програмата „Коперник“, за всички спътници от серията Sentinel, се предоставят чрез платформи за разпространение на данни изцяло свободно и безплатно. За наблюдения на природни бедствия се използват спътниците Sentinel-1, която е космическа мисия, част от европейската програма за наблюдение на Земята „Коперник“. Мисията е съставена от два радарни спътника (Sentinel-1A и Sentinel-1B) с двучестотна с поляризация в С-канал на полярна орбита, разположени в една и съща орбитална равнина. Данните се получават през период между 2 и 5 дни в зависимост от географската ширина (Фиг. 4). Данните се предоставят в единична поляризация (VV или HH) за вълнов режим и двойна поляризация (VV + VH или HH + HV) или единична поляризация (HH или VV) за SM, IW и EW режими на заснемане.

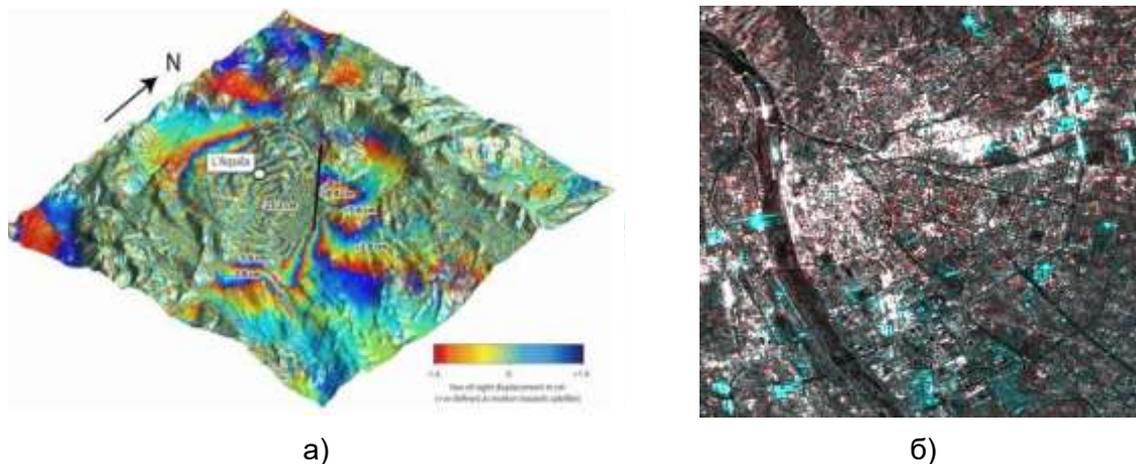


Фиг. 4. Покритие на континента Европа с данни от спътниците Sentinel-1A и Sentinel-1B (юли-септември 2018 г.)

3. ПРИМЕРНИ РАДАРНИ СПЪТНИКОВИ ИЗОБРАЖЕНИЯ С ПРИРОДНИ БЕДСТВИЯ

1) Земетресения, свлачища

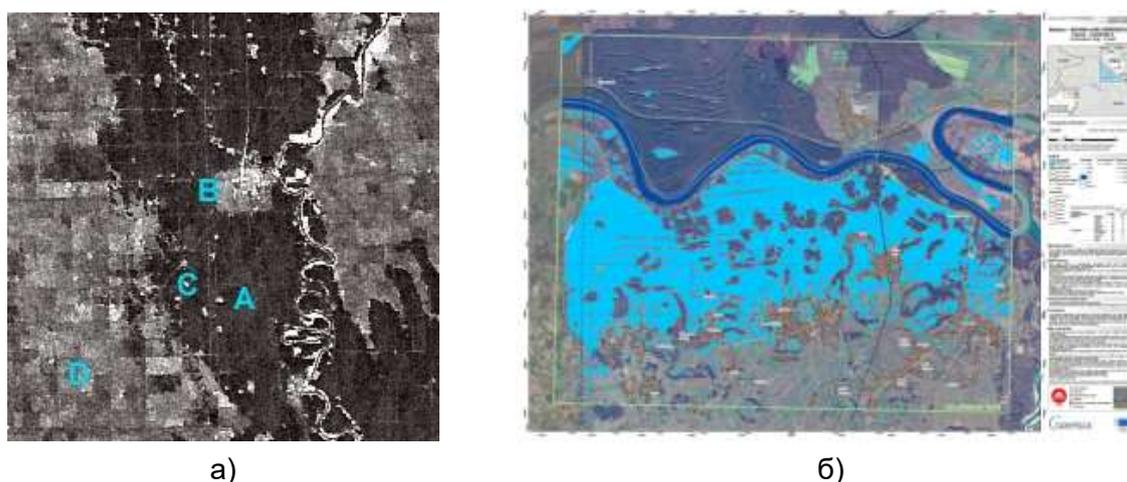
За установяване наличието на даден тип земна деформация или преместване най-бързо и удобно могат да се използват данни от спътника Sentinel-1 от програмата „Коперник“, виж Модул 3 за повече конкретни примери.



Фиг. 5. а) Пример за земни деформации, изобразени от In-SAR интерферограма, настъпили в резултат от земетресението в l'Aquila (Италия); **б)** земетресение в Китай (2008 г.) в района на Съчуан с магнитуд 7.8, 12 май 2008 г. Разликите между двете изображения, заснети от спътника COSMO-SkyMed преди и след събитието (в червено), показват засегнати мостове и големи сгради

2) Наводнения

За наблюдение на наводненията се използват данни, получени от Sentinel-1 (Фиг. 6).



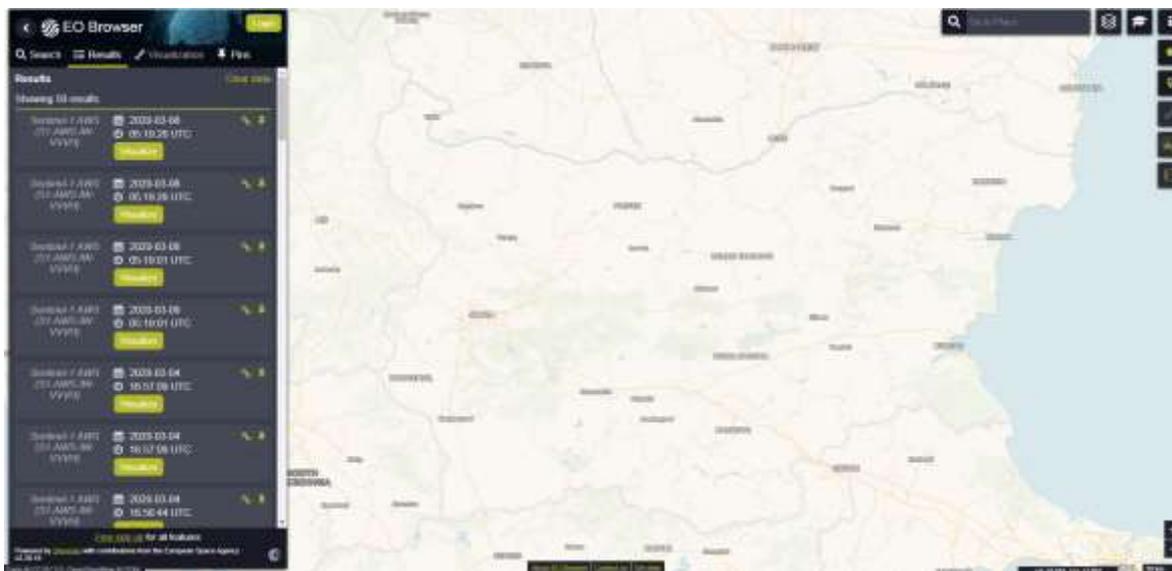
Фиг. 6. а) Пример за наводнени територии, регистрирани на радарно изображение, където: А = Наводнена територия (тъмно), В = Град (светло), С = жп линия (светла линия), D = Земеделски площи;
б) карта на наводнени територии през 2014 г. в Р. Сръбска, получена с помощта на данни от Sentinel-1 (източник: ЕКА)

4. ДОСТЪП ДО РАДАРНИ СПЪТНИКОВИ ИЗОБРАЖЕНИЯ ОТ СПЪТНИКА SENTINEL-1

Както споменахме, спътникът Sentinel-1 е част от програмата „Коперник“ на ЕС. Достъпът до спътниковите изображения се осъществява по няколко начина от различни сайтове (уеб-страници), но подобно и на оптичните спътникови изображения те се свеждат до три варианта – теглене на изображенията в суров вид, за които е необходима допълнителна предварителна обработка или теглене на готови изображения, изрязани и привързани по географски координати (събсети), или изтегляне на умалено изображение без географски координати, което може да бъде свободно използвано или споделено в социалните мрежи. Всички варианти са на разположение със свободен и безплатен достъп.

Първи вариант за достъп до спътниковите изображения е от интернет страницата на Sentinel-Hub: <https://www.sentinel-hub.com/>. С отварянето на главната страница се дава възможност за избор да се изследва Sentinel-Hub или да се заяви пробен достъп. Следващите опции са да се изследват изображенията през т.нар. EO Browser, да се свалят изображенията в ГИС софтуер, който поддържа OGC стандартите за уеб-услуги, или да разработите ваше приложение на основата на данни от Sentinel.

Избирайки първата опция за работа с EO Browser (Фиг. 7), която е достъпна за всички, имате възможност за достъп както до радарни, така и до оптични изображения от програма „Коперник“. Сцените са представени по часове, минути и секунди в UTC – Координираното универсално време. Изображенията от този сайт изискват сложни последващи обработки и специални програмни продукти, затова няма да ги използваме в настоящето ръководство.



Фиг. 7. Интерфейс на EO Browser с резултати от търсенето по дати

Вторият вариант за достъп до спътниковите изображения от Sentinel е по-опростен и е от интернет страницата за първична обработка и теглене на селектирани събсети (отрязани участъци) или цели изображения и мозайки. Тези изображения са достъпни както в реални цветни композиции, така и в композиции с други канали за визуализация, които илюстрират различни характеристики (вегетационен статус на растителността, вегетационни индекси, граница суша-вода и др.). На настоящия етап сайтът предлага обработки само на данни от спътниците

Sentinel-2 и Landsat-8, които са с оптични сензори на борда. Интернет страницата, откъдето са достъпни изображенията за свободен достъп е: <https://apps.sentinel-hub.com/sentinel-playground>. Подобна е и тази на компанията EOS – LandViewer: <https://eos.com/landviewer>. Тя дава още повече възможности за обработка на данни от оптични спътникови сензори.

Една от основните възможности за свободен достъп на данни от Sentinel- 1 GRD е платформата Google Earth Engine. Описанието на наличните данни в нея се намира на следната уеб-страница: https://explorer.earthengine.google.com/#detail/COPERNICUS%2FS1_GRD.

За допълнителна обработка на радарните данни обаче е необходим акаунт в Google, който дава възможност те да се отворят и разгледат в Workspace или „Работното място“, както и да извършите прости манипулации с тях. Пълен контрол над данните от Sentinel-1 GRD обаче имате през <https://code.earthengine.google.com/>, където може да разглеждате библиотеката от скриптове на Java Script, да запазвате ваши скриптове и да ги изпробвате върху набор от данни. С помощта на един такъв скрипт *Sentinel-1 Composite* с малки модификации е направена мозайката на България, представена на Фиг. 1 на стр. 102.

5. ПРЕДВАРИТЕЛНА ОБРАБОТКА НА РАДАРНИ СПЪТНИКОВИ ИЗОБРАЖЕНИЯ

1) Програми за обработка

В предходния Модул 3 беше направен кратък преглед на ГИС системите за обработка на спътникови изображения, на примера на QGIS. За обработка и анализ на спътникови изображения с цел обучение се използват също така и програми за обработка на изображения, които имат и ГИС функционалност. За тях не се изисква лиценз за инсталиране и използване. Някои от свободните софтуерни приложения за работа с радарни данни са RAT, SNAP, PolSARPro и Next ESA SAR Toolbox (NEST). Такава е LEOWorks, която е разработена от ЕКА и румънската компания TerraSigna с цел обучение.

Сайтът, откъдето може да се изтегли програмата, към момента на писане на ръководството, последната версия е 4.3.1, за различни операционни системи (ОС), като Windows (32 и 64Bit), Linux и Mac OSX е: <http://leoworks.terrasigna.com/leoworks>

2) LEOWorks. Запознаване с потребителския интерфейс на LEOWorks и работа с приложението

LEOWorks е софтуерно приложение, в което се осъществяват по-голямата част от операциите като:

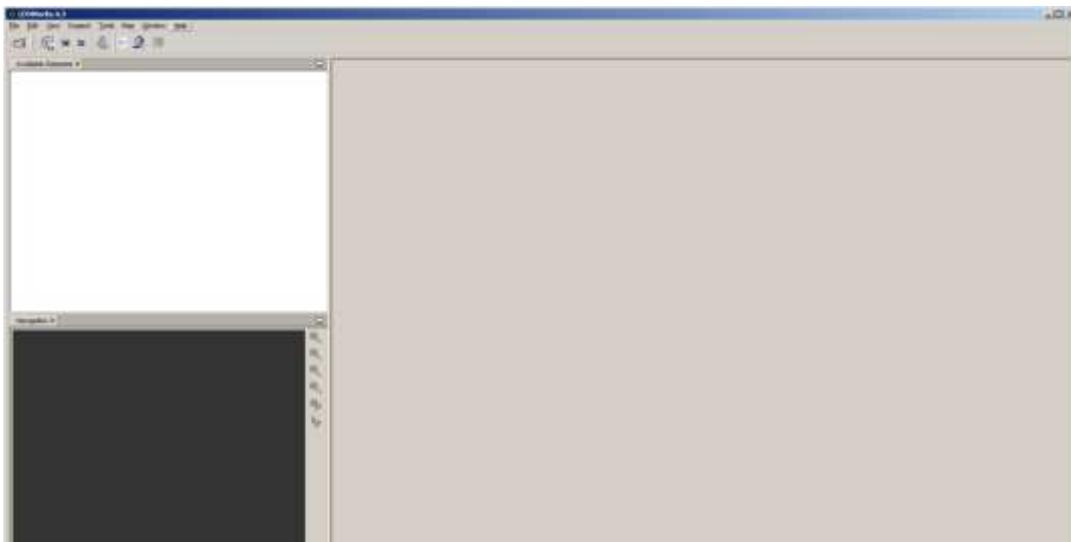
- въвеждане на данни;
- манипулация на данните;
- запитвания към данните;
- визуализация и създаване на карти;
- пространствен анализ и интерпретация, и т.н.

Някои от основните характеристики на LEOWorks са:

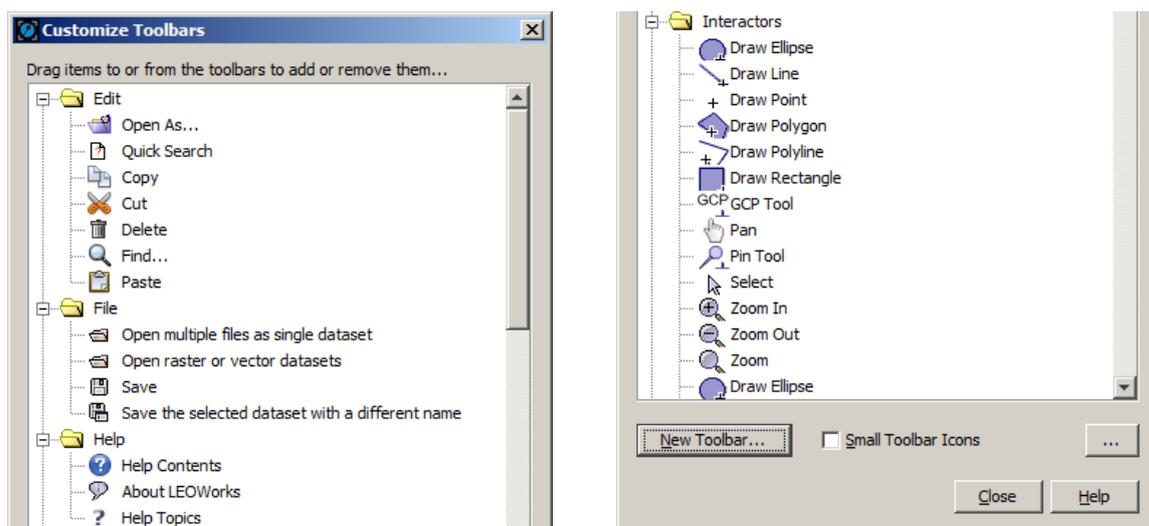
- прочитане на данни, съхранявани в много файлови формати;
- изобразяване в сива скала, RGB или псевдоцветно изображение;

- манипулиране на 8-битови, 16-битови, изображения с данни с плаваща запетая или сложни данни;
- радиометрично подобряване;
- геометрични трансформации;
- неконтролирана и контролирана класификация на изображения;
- създаване, редактиране и заявяване на GIS векторни данни;
- привързване на изображение към карта и изображение към геореферентирано изображение;
- основна радарна обработка на данни.

Някои от функциите, като „Радарна обработка на данни“, са достъпни само в ДОПЪЛНИТЕЛНА версия на LEOWorks. При първоначалната инсталация автоматично се задава LEOWorks към версията на BASIC. Версията може да бъде променена от менюто Редактиране/Предпочитания и опция „ниво LEOWorks“. Промените влизат в сила след рестартиране на софтуера.



Фиг. 8. Основен интерфейс на LEOWorks 4.3



Фиг. 9. Персонализиране на лентата с инструменти и създаване на нова лента с инструменти с избиране на „New Toolbar“

Много софтуерни компоненти, включени в LEOWorks, са внесени или получени от съществуващи компоненти, използвани в софтуерните проекти на ESA BEAM, NEST и SNAP. Примерните данни са вградени в инсталатора на LEOWorks, но също така са достъпни и от специален уебсайт – <http://leoworks.terrasigna.com/sample-data>.

3) Практическа работа с LEOWorks. Отваряне на спътниково изображение в програмата LEOWorks

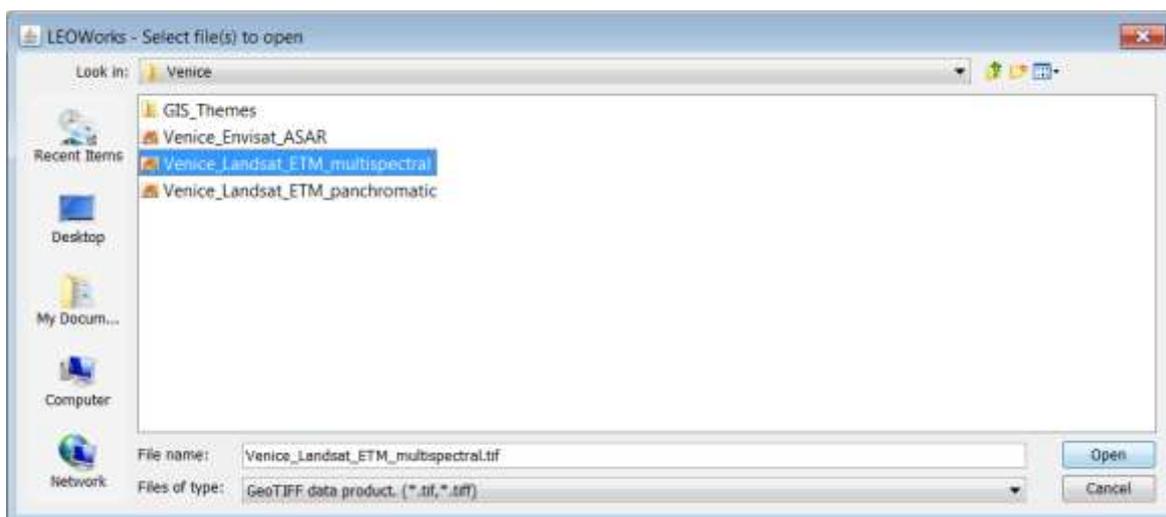
Отварянето на файлове в LEOWorks е много гъвкава операция. Възможно е отваряне:

- на един единствен файл като един набор от данни;
- на много единични файлове като единствен набор от данни;
- на много файлове като един набор от данни;
- повторно отваряне на предварително отворен файл;
- импортиране на данни.

а. Отваряне на един единствен файл като един набор от данни (важи както за векторни, така и за растерни данни)

За да отворите един файл като единичен набор от данни:

- щракнете върху File/Open/Single File Data(s);
- в диалоговия прозорец Избор на файл (и) за отваряне изберете файла, който искате да отворите (вижте фигурата по-горе) и след това щракнете върху бутона *Open* (отвори);
- изберете вашите опции в диалоговия прозорец Subset (подмножество)/Resize (оразмеряване) и щракнете върху бутона *Open* (отвори);
- наборът от данни, съдържащ се в избрания файл, ще бъде добавен в *наличните* набори от данни прозорец; ако не е вече показан, е възможно да се покаже този прозорец чрез избор *Преглед/Мениджъри/Налични данни*.

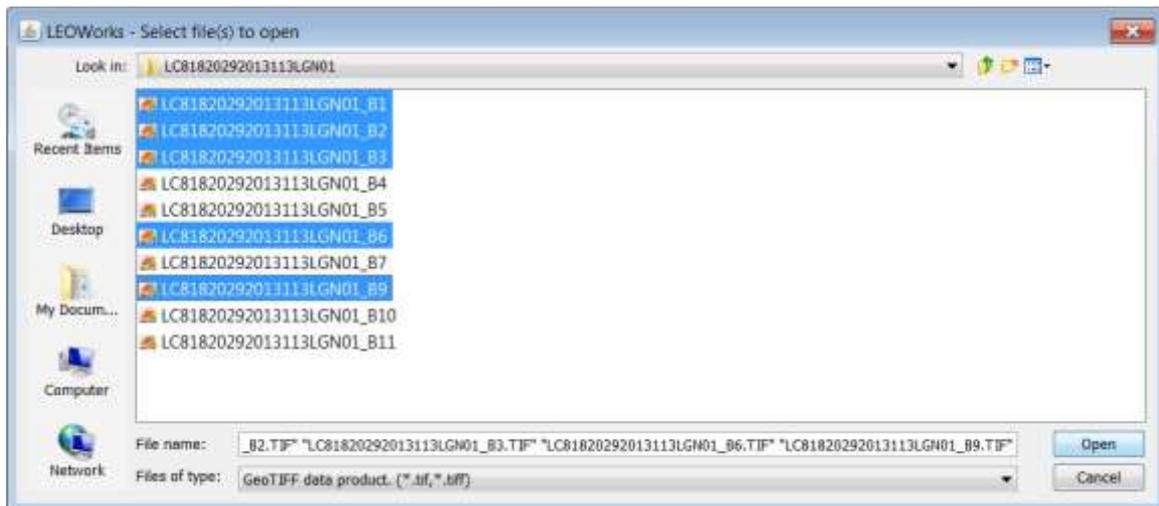


Фиг. 10. Отваряне на спътниково изображение в LEOWorks

б. Отваряне на много единични файлове като отделни набори от данни (важи както за векторни, така и за растерни типове данни)

За да отворите много единични файлове като единичен набор от данни:

- щракнете върху *File/Open/Single File Data(s)*;
- в диалоговия прозорец *Избор на файлове за отваряне*, задръжте натиснат клавиша CTRL и изберете с курсора на мишката върху файловете, които искате да отворите (вижте фигурата по-горе за селекция от 5 файла), и след това щракнете върху бутона *Отвори (Open)*;
- за всеки избран файл изберете вашите опции в диалога *Subset/Resize* и щракнете бутона *Open*;
- наборът от данни, съдържащ се във всеки избран файл, ще бъде добавен в *наличните* набори от данни прозорец; ако не е вече показан, е възможно да се покаже този прозорец чрез избор *Преглед/Мениджъри/Налични данни*.



Фиг. 11. Отваряне на спътникови изображения в LEOWorks като набори от данни

в. Отваряне на много единични файлове като един набор от данни (важи за данни от изображения)

За да се отворят много файлове като един набор от данни (dataset) (типичен случай за съхранение на данни от дистанционни наблюдения е всеки канал да се съхранява в отделен файл):

- щракнете върху *Файл/Отваряне/Множество файлове като единичен набор от данни*;
- в диалоговия прозорец *Избор на файл(ове) за отваряне* изберете файловете, които искате да отворите, и след това щракнете върху бутона за *отваряне*;
- в прозореца *Име на набор данни* въведете име за новия набор данни, както е показано на Фиг. 12;

Това име ще бъде използвано в прозореца *Налични набори от данни*;

- наборите от данни, съдържащи се в избраните файлове, ще бъдат обединени в един набор от данни;
- последният ще вземе името, въведено в предишната стъпка;

До функциите за импортиране можете да получите достъп като изберете *File/Import*. Използването на което и да е от тях изисква адекватно познаване на файловия формат и съдържанието, което би могло да бъде импортирано в зависимост от по-нататъшното използване на данните (вижте изображението по-долу за Импорт на продукт с данни Sentinel-1). Поддържаните файлови формати за Sentinel-1 са: *.safe и *.zip.

е. Запазване и експортиране на данни

След като се получи желания резултат, има възможност да го запишете като отделен файл от:

- запазване на целия набор от данни, включително всички канали на изображението, показани в *Наличните набори от данни*; това може да стане, като изберете *File/Save* или *File/Save Dataset*, като зависи от дали преди това вашият набор от данни е преобразуван във файлов формат BEAM DIMAP или не;
- запазване на изображение, показано в сива скала или цветове в зрителя в отделен файл (TIFF, GeoTIFF или друг общ формат на изображението, например JPEG), но същият резултат може да се постигне като изберете *Файл/Запази изображението като или Файл/Експорт на екрана като изображение*.

Други функции, дадени във *Файл/Експорт*, позволяват експортиране на набор от данни, показан в *Наличен прозорец на набори от данни* като един от GeoTiff, BEAM DIMAP или ENVI файлови формати съвместим набор от данни. Използвайки функцията за *експортиране*, съдържанието изобразено на екрана, може да се експортира и като KMZ файл и след това да се визуализира в Google Earth.

4) Работа с радарни изображения в LEOWorks

LEOWorks включва намален набор от инструменти за обработка на SAR данни.

Поради високата сложност на обработката, всички работни станции за обработка на радари трябва да започнат с данни, съхранявани в естествени формати, като ENVISAT ASAR (*.N1), ERS (*.E1) или Sentinel-1 (*.tiff).

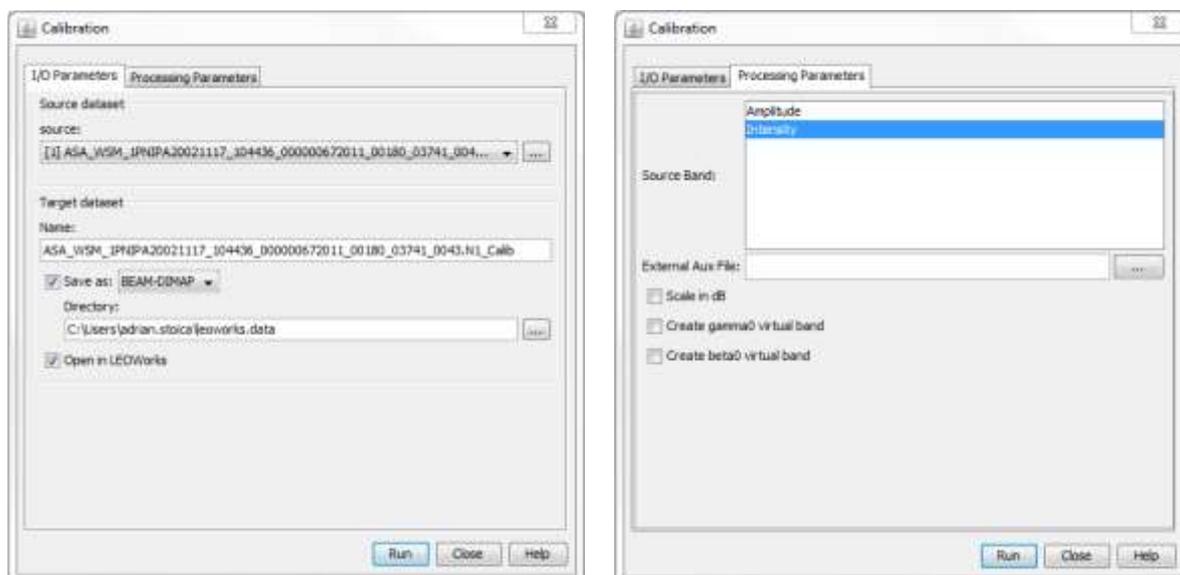
Такива примерни данни могат да бъдат изтеглени от уебсайта на LEOWorks. Нормалната процедура за обработка на радарни изображения може да включва следните стъпки: *Сурови (Raw) данни* → *Радиометрично калибриране (Radiometric calibration)* → *Корекция на терена (Terrain correction)* → *Филтриране на шум (Speckle filtering)* → *Океански инструменти (Ocean instruments)*.

а. Радиометрично калибриране на радарни данни

Целта на *калибрирането* на SAR е да предостави изображения, в които стойностите на пикселите може да бъде пряко свързана с радарното отражение. Това е задължителна стъпка в повечето от работните процеси, включващи радарни данни.

В LEOWorks се предоставя опростена процедура, в която вида на данните (т.е. идва от мисия Sentinel, ENVISAT, ERS, RADARSAT и т.н.) автоматично се идентифицира и се получава радиометрично калибрирано изображение.

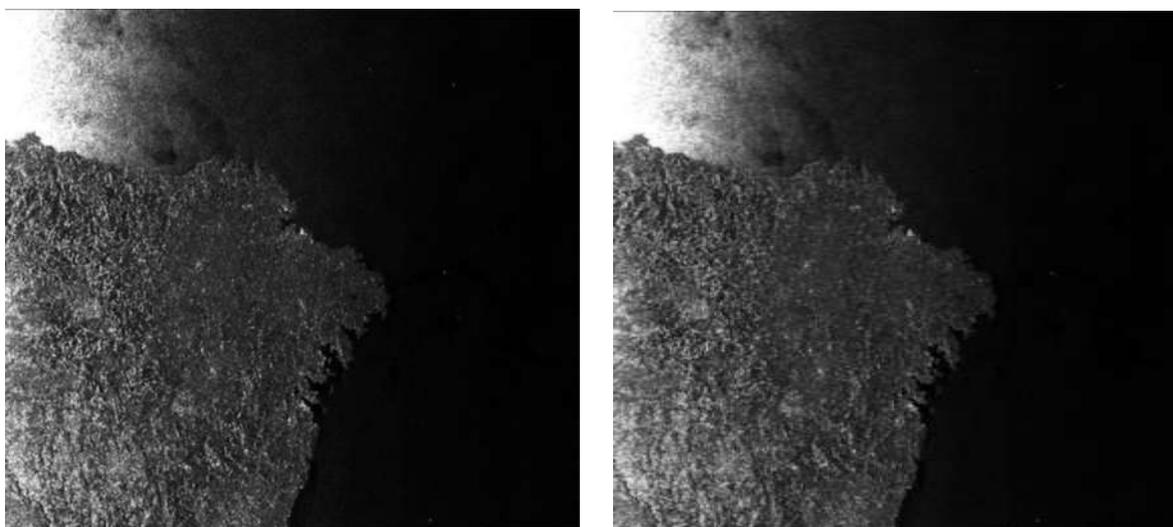
Калибрирането е достъпно *Инструменти/Радар/Радиометрична корекция/Калибриране*, където потребителят трябва да избере източника и целевия набор от данни, както и каналите на източника и възможен външен спомагателен файл, който да се използва (Фиг. 14).



Фиг. 14. Прилагането на радиометрична корекционна процедура

Пример за извадка от радарно изображение, преди и след прилагането на радиометрична корекция, е дадена на Фиг. 15.

Подробности за настройката на входа и изхода за тази процедура са дадени в Помощта за LEOWorks, достъпни от менюто *Помощ*.



а)

б)

Фиг. 15. Радарно изображение **а)** преди и **б)** след прилагането на радиометрична корекция

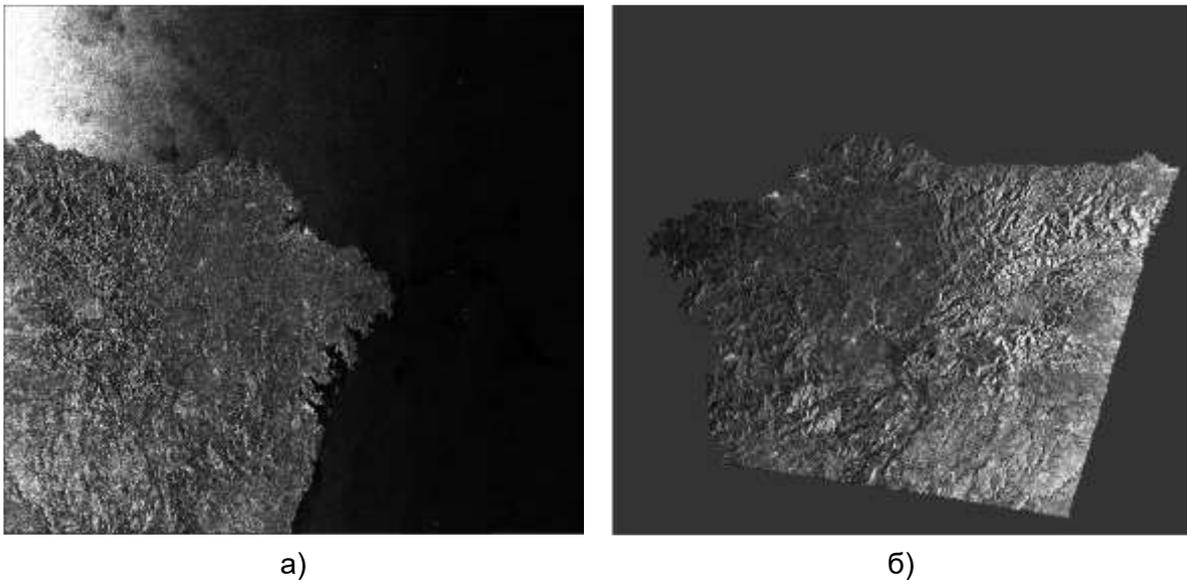
б. Теренни корекции

Поради топографски вариации на сцената и наклона на сателитния сензор спрямо земната повърхност, разстоянията могат да бъдат изкривени в SAR изображенията. Корекциите на терена са предназначени да компенсират

изкривяванията, така че геометричното представяне на изображението да бъде възможно най-близо до реалния свят.

В LEOWorks е налична такава процедура, при която съобразно вида на данните от мисии, като Sentinel, ENVISAT, ERS, RADARSAT и т.н., теренната корекция се извършва автоматично. Процедурата е достъпна в *Инструменти (Tools)/Радар (Radar)/Геометрична (Geometric)/Корекция на терена (Terrain correction)/Range-Doppler Корекция на терена*, където потребителят трябва да избере източника и целевия набор от данни, както и източник и различни параметри за обработка, които трябва да се използват.

На Фиг. 16 е даден пример за образец на радарно изображение преди (Фиг. 16 а) и след прилагане на процедура за корекция на терена (Фиг. 16 б).



Фиг. 16. Прилагане на процедура за корекция на терена

в. Океански инструменти

Една от основните области на приложение на радарните данни е наблюдението на морския флот, околната среда и анализа на обекти и явления в океана и морската повърхност. В LEOWorks радарните данни могат да се използват за:

- идентифициране на кораби;
- изчисляване на полето на вятъра;
- откриване на нефтени разливи;
- създаване на маски земя/море.

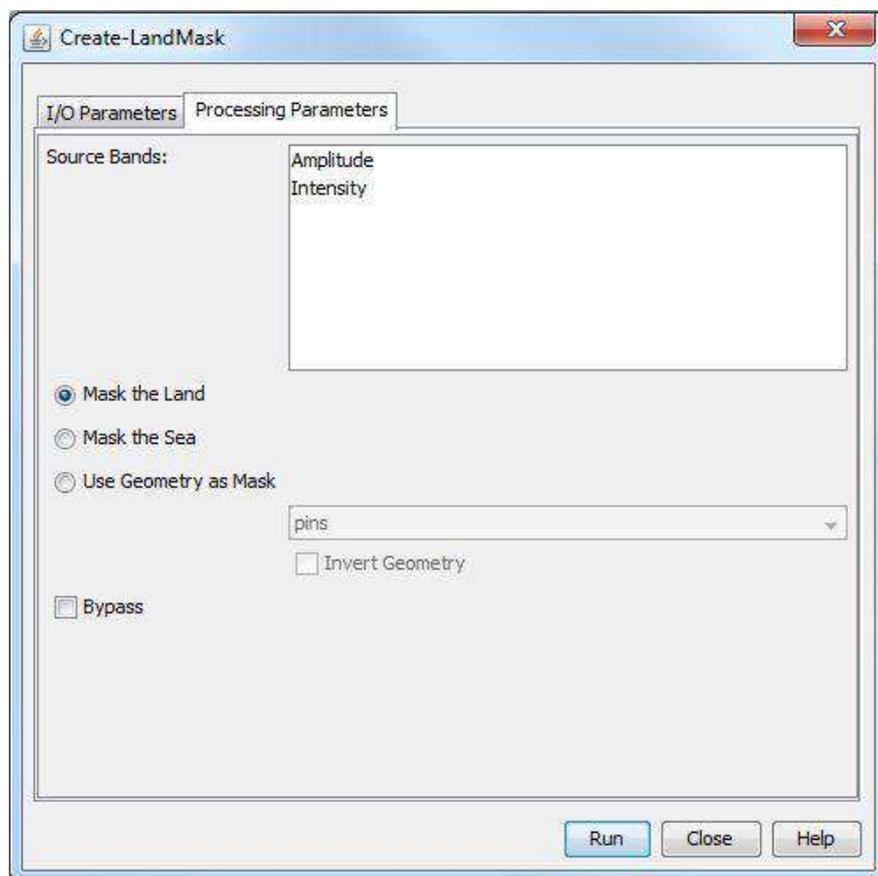
г. Създаване на маска на сушата/морето

Операцията Create Land Mask (Създай маска на земната повърхност) ще превърне всички пиксели на сушата в нулева стойност на данните. Ако квадратчето за „запазване на земята“ е отметнато, след това всички земни пиксели ще бъдат запазени и всички океански пиксели ще бъдат зададени без стойност на данните.

Операторът автоматично ще изтегли DEM SRTM с разделителна способност от 5' при инициализацията си. Този DEM се използва за много бързо определяне дали пиксел е на сушата или е в океана. Като алтернатива може да се

използва и геометрията на продукта. Това може да бъде потребителски файл, район на интерес или импортиран файл.

Операторът е достъпен в *Инструменти/Радар/Океански инструменти/Създаване на маска на сушата Land Mask* (Фиг. 17).

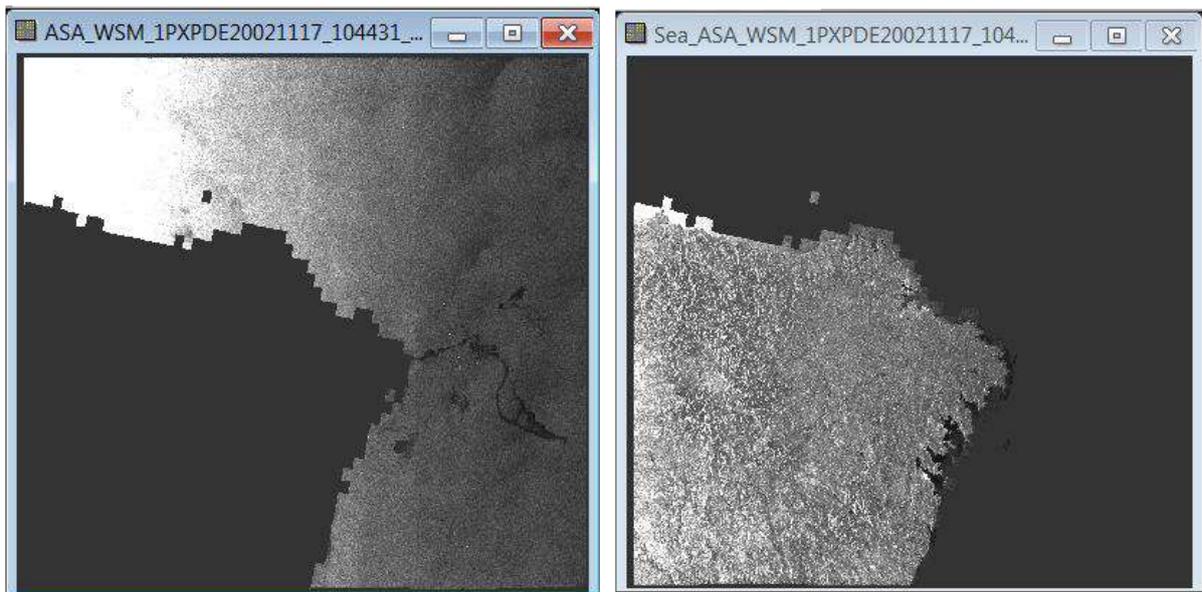


Фиг. 17. Прозорец за създаване на маска – *Create-Land Mask*

Следните параметри се използват от оператора:

- *източник*: Всички канали на изображението (реални или виртуални) на изходния продукт. Потребителят може да избере един или повече канали;
- *маскиране на земната повърхност*: Полето за отметка посочва, че сушевите пиксели ще приемат стойност NoData;
- *маскиране на морето*: Полето за отметка показва, че морските пиксели ще приемат стойност NoData;
- *използвайте геометрията като маска*: Изберете района на изследване от продукта, който да използвате като маска. Всичко извън зоната ще има стойност на NoData;
- *инвертиране на геометрията*: Всичко в района на изследване ще бъде с NoData стойност;
- *байпас*: Пропуснете всякакво маскиране на земя.

Резултатите от прилагането на оператора за създаване на маски са дадени на изображенията по-долу (Фиг. 18).



Фиг. 18. Прилагане на маска върху изображение

Подробности за всяка от процедурите и алгоритмите, въведени в операторите за радарни данни, са дадени в помощните страници на LEOWorks, достъпни от менюто *Помощ*.

ЛИТЕРАТУРА

Интернет източници:

Copernicus Open Access Hub – <https://scihub.copernicus.eu/dhus/#/home>
Freeware SAR processing (Part 1.) – <https://digital-geography.com/freeware-sar-processing-part-1/>
Sentinel-Hub – <https://www.sentinel-hub.com/>
Sentinel Online. Data Products – <https://sentinel.esa.int/web/sentinel/missions/sentinel-1/data-products>
Natural Resources Canada – <https://www.nrcan.gc.ca/>
LEOWorks 4.2 Manual – <http://leoworks.terrasigna.com/leoworks>
Google Earth Engine – <https://code.earthengine.google.com/>
Google Earth Engine Explorer – <https://explorer.earthengine.google.com>
Land Viewer – <https://eos.com/landviewer>

ТЕСТ 4

върху Модул 4

- 1. Радарните спътникови изображения биват:**
 - А) изображения във видимия диапазон
 - Б) изображения в микровълновия диапазон
 - В) изображения в инфрачервения диапазон
 - Г) изображения в ултравиолетовия диапазон

- 2. Пространствената разделителна способност на радарните спътникови изображения е:**
 - А) същата като тази на оптичните спътникови изображения
 - Б) различна е от оптичните и е в зависимост от обхвата (D)
 - В) еднаква е по цялото протежение на обхвата (D)

- 3. Кои радарни спътникови изображения са най-подходящи за изследване на природни бедствия:**
 - А) тези с ниска пространствена разделителна способност
 - Б) тези с висока пространствена разделителна способност
 - В) тези със средна пространствена разделителна способност
 - Г) всички в зависимост от природното бедствие

- 4. Посоката и скоростта на вятъра и океанските и морски течения се изследват с помощта на:**
 - А) Радиометри
 - Б) Скатерометри
 - В) Интерферометри

- 5. Надморската височина на океанската и морската повърхност се изследва с помощта на:**
 - А) Алтиметри
 - Б) Скатерометри
 - В) Радиометри
 - Г) Лидари

- 6. Кой DEM е по-точен:**
 - А) SRTM
 - Б) WorldDEM
 - В) и двата са еднакво точни

7. През какъв интервал (дни) се получават изображения от спътника Sentinel-1 за територията на Европа:

- A) 2 дни
- Б) 5 дни
- В) от 2 до 5 дни в зависимост от географската ширина

8. Кои спътници от програмата „Коперник“ са радари:

- A) Sentinel-1A и 1B
- Б) Sentinel-2 и -3
- В) Sentinel-5P

9. В каква поляризация са данните от спътника Sentinel-1:

- A) единична поляризация (VV или HH и HH или VV)
- Б) двойна поляризация (VV + VH или HH + HV)
- В) единична и двойна поляризация в зависимост от режима на заснемане

10. Кой от изброените спътници не е радар:

- A) Sentinel-1
- Б) QuickScat
- В) Landsat
- Г) RadarSat

11. Кои са основните приложения на радарните спътникови изображения при изследване на природни бедствия:

.....
.....
.....

12. Избройте някои от програмите със свободен достъп за обработка на радарни спътникови изображения:

.....
.....
.....



ПРИЛОЖЕНИЕ

ПОГЛЕД ОТ КОСМОСА НА НЯКОИ ПРИРОДНИ БЕДСТВИЯ



Дим от пожари в Югозападна Бразилия през март 2020 г. На 8 март 2020 г. Спектро-радиометърът MODIS със средна ПРС на спътника *Terra* на НАСА засне това изображение в реални цветове.



В началото на март 2020 г. силни ветрове издигнаха прах от Африка (бреговете на Мароко и Западна Сахара) над Атлантическия океан и ги понесоха към Канарските острови. Това изображение е заснето от спектрорадиометъра MODIS със средна ПРС на спътника *Aqua*, НАСА (8 март 2020 г.).

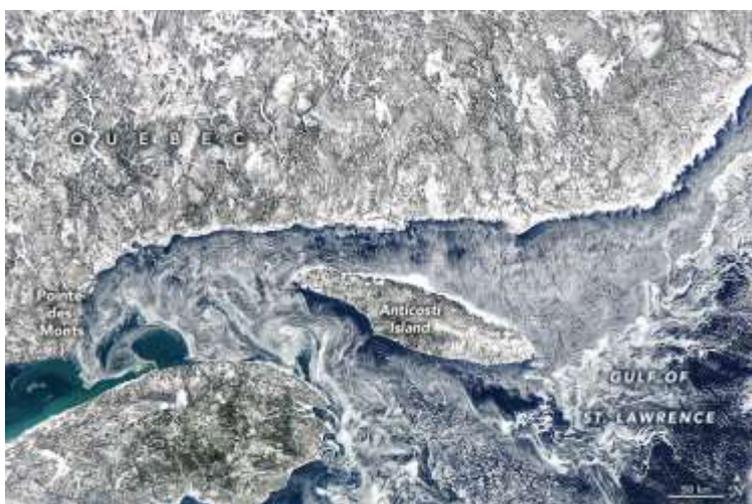


Късните летни циклони **Фердинанд** и **Естер** минаха над Северна Австралия. На 25 февруари 2020 г., радиометърът VIIRS на спътника на NOAA-NASA *Suomi NPP* засне тези изображения в реални цветове на двата тропически циклона.



Цъфтеж на фитопланктон се появи в един от най-натоварените водни пътища в света.

На 16 октомври 2019 г. оперативният инструмент Land Imager на спътника *Landsat 8* засне това изображение на вихри от фитопланктон в протока Хормуз.



Ледени вихри в залива Сейнт Лорънс.

На 9 март 2020 г. спектро-радиометърът MODIS със средна ПРС на спътника *Aqua* на НАСА засне това изображение на вихри на морски лед в северозападната част на залива Сейнт Лорънс, Квебек, Канада.



На 23 март 2020 г. оперативният инструмент *OLI* на *Landsat 8* засне изображение, показващо високо водно ниво на река Джеймс, приток на река Мисури в източна Южна Дакота. За сравнение, второто изображение показва същата зона по време на по-типична пролет през март 2015 г.

Изображенията са в условни цветове (6-5-4), ледът изглежда светлосин, а водата е тъмносиня.



Замръзналото езеро „Белое“ в Северозападна Русия
 На 17 март 2020 г. спектро-радиометърът със средна ПРС (MODIS) на спътника *Terra* на НАСА засне това изображение в реални цветове на езерото „Белое“ във Вологодска област. Белият цвят е в резултат на малката дълбочина (5,5 m).



6 декември 2019 г.



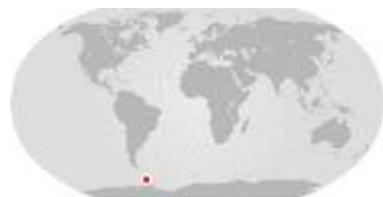
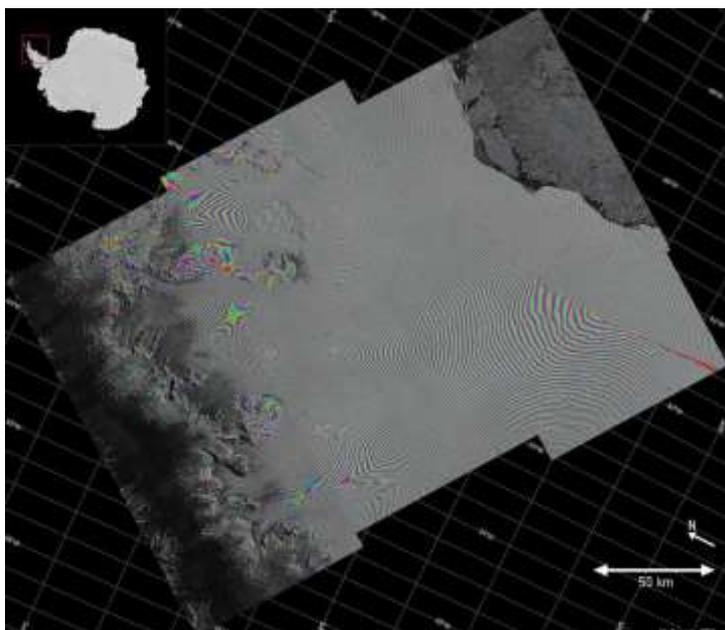
Покрит с вулканска пепел остров във Филипините
 На 12 януари 2020 г. вулканът Таал във Филипините се събуди след 43 години и започна да изхвърля газове, пепел и лава във въздуха. В следващите дни и седмици слой от необичайно мокра тежка пепел покри в призрачно сиво околния пейзаж на острова.
 На 11 март 2020 г. оперативният инструмент Land Imager (OLI) на *Landsat 8* засне изображение на Таал, което показва покрития с пепел остров. За сравнение - другото изображение, заснето на 6 декември 2019 г.



11 март 2020 г.



Лава и пепел се извиха от нова цепнатина от югоизточната страна на вулкана Етна. Оперативният инструмент Land Imager (OLI) на спътника *Landsat 8* засне изображение на връх Етна на 28 декември 2018 г. На 24 декември 2018 г. активирането на Етна беше придружено от 130 земетресения, случили се за три часа същата сутрин. От 2013 г. насам планината Етна, най-активният вулкан в Европа, наблюдава се периодична активност в югоизточната част на планината. Изображението е с добавена информация от термичния инфрачервен сензор (TIRS) на *Landsat 8*.



Интерферометрично изображение, показващо пукнатини в шелфов ледник Ларсен, Антарктика. Две радарни изображения от спътника *Sentinel-1* от 7 и 14 април 2017 г. бяха комбинирани за създаването на тази интерферограма, показваща нарастващата пукнатина в шелф на ледника.

NASA Earth Observatory image by Joshua Stevens
 National Aeronautics and Space Administration
 Page Last Updated: Feb. 20, 2019
 NASA Official: Brian Dunbar



ОТГОВОРИ НА ТЕСТОВЕТЕ

Отговори на Тест 1 върху Модул 1

1. Верен отговор: Б
2. Верен отговор: В
3. Верен отговор: В
4. Верен отговор: А
5. Верен отговор: Б
6. Верен отговор: А
7. Верен отговор: Б
8. Верен отговор: В

Отговори на Тест 2 върху Модул 2

Въведение, основи на GPS и ГНСС и приложения за граждански цели и изследване на природните бедствия и катастрофи

1. GPS е американската Глобална позиционираща система, а ГНСС е международна Глобална навигационна спътникова система, обединяваща американската GPS, руската ГЛОНАСС, китайската СОМПАС и европейската Галилео.
2. ГНСС обединява американската GPS, руската ГЛОНАСС, китайската СОМПАС и европейската Галилео.
3. Структурата на GPS/ГНСС се състои от Космически сегмент – изкуствени спътници на Земята, Контролен сегмент – наземен център и станции, Потребителски сегмент – GPS/GNSS приемници.
4. Принципът на действие на GPS/ГНСС се базира на измерване на разстоянията от мястото, чиито координати търсим, до група спътници, чиито координати са известни и точно определени.
5. Разстоянието от всеки спътник до потребителя се пресмята като времето, за което радиосигналът изминава разстоянието от спътника до приемника, се умножава по скоростта на светлината.
6. Височината на орбитата на спътниците от ГНСС е от 19000 до 27000 km.
7. Честотите на радиосигналите на ГНСС спътниците е 1100 до 1600 MHz.

8. Величините, измервани с GPS/ГНСС, са геометричното разстояние от спътника до приемника (кодони измервания) и псевдоразстояния от единични, двойни, тройни и многофазови разлики.
9. Предимствата на ГНСС са, че определянето на положението се осъществява безплатно и за секунди, апаратурата се настройва и ориентира автоматично, точността може да бъде от порядъка на сантиметри, не изисква специални знания и умения, ориентирани навсякъде, където работи човек. Недостатъците на ГНСС са, че изисква скъпа и енергозависима апаратура, която може да аварира и при отказ и/или грешка на апаратурата шансовете за ориентирани са нищожни.
10. Навигационната система „Galileo“ (Галилео) осигурява висока точност за всички потребители и достига до под 10 cm, определя координати в реално време в Европейската геодезическа система, има покритие над 75° северна географска ширина, може да се ползва и по време на война.
11. ГНСС осигурява точност от 1 m за граждански цели и под 10 cm за военни цели.
12. Навигация и контрол в транспорта – в пътния, морския и въздушния транспорт, оптимизация на маршрути, проследяване, науката и изследователската дейност, селското стопанство, за синхронизиране на комуникационни системи, туризъм и спорт, определяне на точното време.
13. Навигация и контрол в транспорта – в пътния, морския и въздушния.

Космическата технология радарна интерферометрия InSAR и приложенията ѝ

1. Технологията InSAR използва сравнения на тридименционални радарни изображения, получени чрез излъчени от спътник и отразени от земните обекти микрочестотни радиосигнали.
2. 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.
3. Радарите на системата InSAR работят на честоти от 5 000 до 6 000 MHz.
4. InSAR технологията има за цел мониторинг на деформации, локализиране на разломни структури, потъване на големите градове, на изкопни и насипни дейности, ерозия, абразия, както и още много други явления, случващи се на земната повърхност.

5. В настоящия момент резултатите от радарната интерферометрия позволяват да се заснеме земната повърхност на обширни райони с ширина 250 km с точност $\pm 2,8$ cm.
6. Използва се за мониторинг на деформации, локализиране на разломни структури, за определяне потъване на големите градове, за изкопни и насипни дейности, ерозия, абразия, както и още много други явления, случващи се на земната повърхност.
7. Съвременните Европейски InSAR спътници са Sentinel-1A, Sentinel-1B и TSX 1.

Наблюдения и изследвания на Антарктика и Антарктида от Космоса

1. Арктика е северната полярна област на Земята със Северен ледовит океан и островите. Антарктика е географски регион, обхващащ континента Антарктида и водите и островите в Южния океан южно от 60° . Антарктида е т.н. континент, заемащ Южния полюс на Земята, част на географския регион Антарктика и е ограден от Южния океан.
2. Антарктида заема 1/10 от сушата на Земята.
3. Приблизителният радиус на Антарктида е 2 500 km.
4. Най-ниската температура, измерена на Антарктида, е $-87,6^\circ$.
5. На Антарктида е 68% от сладката вода на Земята.
6. Височината на най-високия връх на Антарктида е 4 892 m, масив Винсън.
7. На Антарктида е измерена скорост на ветровете от 360 m/s.
8. Действителната суша под Антарктида са група острови (архипелаг).
9. От Космоса се наблюдават метеорологията, облещаването, натрупването и движението на ледовете, озоновата дупка и други феномени.

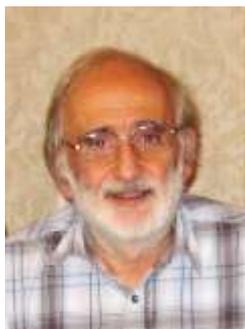
Отговори на Тест 3 върху Модул 3

1. Верен отговор: А
2. Верен отговор: В
3. Верен отговор: Б
4. Верен отговор: В
5. Верен отговор: В
6. Верен отговор: В
7. Верен отговор: Б
8. Верен отговор: А
9. Верен отговор: В

Отговори на Тест 4 върху Модул 4

1. Верен отговор: Б
 2. Верен отговор: Б
 3. Верен отговор: Г
 4. Верен отговор: Б
 5. Верен отговор: Б
 6. Верен отговор: Б
 7. Верен отговор: В
 8. Верен отговор: А
 9. Верен отговор: В
 10. Верен отговор: В
-

Проф. д-т.н. д-р по физика инж. Гаро Мардиросян



Проф. д-т.н. д-р по физика инж. Гаро Мардиросян е автор и съавтор на над 120 научни публикации, около 70 научни доклада, 9 книги, над 40 патента за изобретения и полезни модели и стотици научнопопулярни материали в печатните и електронни медии. Основните му научни интереси са в областта на изучаване и борба с природни бедствия с използване на аерокосмически технологии, наземно и космическо приборостроене и др. Участва в реализацията на почти всички значими национални и международни космически проекти с българско участие. Носител е на званията „Почетен изобретател“ и „Будител 2016“. Вписан е в Златната книга на българските изобретатели и откриватели, в енциклопедията „2000 най-изтъкнати учени на ХХ в.“ – издание на ИВС - Кеймбридж, и в други енциклопедии. Удостояван е с десетки грамоти, дипломи и медали от наши и международни форуми и институции. Понастоящем е председател на

Научния семинар „Дистанционни изследвания на Земята“, секретар на Научния съвет на ИКИТ-БАН и главен редактор на списание „Aerospace Research in Bulgaria“.

Проф. д-т.н. д-р инж. Димитър Димитров



Проф. д-т.н. д-р инж. Димитър Димитров има научни интереси и работи в областта на Висша геодезия, GPS/GNSS, Геодинамика и Сеизмотектоника, математично моделиране и комплексната интерпретация на геодезическа, тектонска и сеизмична информация за определяне на сеизмичния риск. Чете лекции в Университета по архитектура, строителство и геодезия. Ръководител на екип „Мониторинг на сеизмогенни зони“ в Национален институт по астрономия, астрофизика и геофизика (CRAAG), Алжир. Работил в Национален географски институт на Франция (IGN-Paris) по софтуер за изследване на деформации. Специализирал в Институту по физика на Земята в Москва, Алма Ата, Париж, Брюксел, Кралска обсерватория, Белгия и др. Ръководител на проекти за сътрудничество с IPG-Paris, CRAAG - Алжир, с Кралска обсерватория на Белгия и на проекти с НФНИ към МОН. Участва в изследователски проекти

за мониторинг на сеизмогенни зони в Европа (Франция, Гърция, Македония, Албания), Африка (Алжир, Джибути), в Китай и в Южна Америка (Чили). Има над 160 научни публикации, от които 60 в чужбина.

Доц. д-р Ива Иванова



Доц. д-р Ива Иванова работи в секция „Аерокосмическа информация“ в Института за космически изследвания и технологии при Българска академия на науките. Завършила е Софийски университет „Св. Климент Охридски“, магистратура „Екология“. Научният опит на доц. д-р Ива Иванова е в областта на изследване и моделиране на специфични местообитания с използване на дистанционните методи (обработка и интерпретация на аерокосмически данни), географските информационни системи (ГИС), опазване на околната среда и екологичен мониторинг. През тези години натрупва опит чрез участието си в проекти за млади учени, както и проекти, финансирани от европейски, международни и национални програми. За периода на научното си израстване, тя е автор и съавтор на 45 публикации. Съавтор е в научна монография "Spatial and temporal morphometric changes, Ecosystems of the Biosphere Reserve "Srebarna Lake".

Доц. д-р Лъчезар Филчев



Доц. д-р Лъчезар Филчев започва научната си кариера през 2006 г. в Института за космически изследвания към БАН (ИКИ-БАН) веднага след придобиването на магистратура по география (ГГФ, СУ „Св. Климент Охридски“). През 2012 г. защитава докторантура в ИКИТ-БАН. Има следдипломни квалификации по „Приложна информатика“ (ЦОУ, СУ „Св. Климент Охридски“, 2006–2007 г.) и „Environmental Management“ D.S.P.U. (MAICh, Гърция; 2007–2008 г.). След стаж през 2014 г. в Съвместния изследователски център (ЕС) се връща в ИКИТ-БАН, където понастоящем е доцент (2014 г.) и ръководител на секция „Дистанционни изследвания и ГИС“ (2019 г.). Неговите изследователски интереси са валидирани на биофизични продукти, оценка на добивите и статуса на земеделски култури, и ландшафтна екология.

ИНФОРМАЦИОННИ ТЕХНОЛОГИИ
ЗА НАБЛЮДЕНИЕ НА ЗЕМЯТА ОТ КОСМОСА

Практическо ръководство
Част 1

Автори:

проф. д.т.н. д-р по физика инж. Гаро Мардиросян
проф. д.т.н. д-р инж. Димитър Димитров
доц. д-р Ива Иванова
доц. д-р Лъчезар Филчев

Отговорен редактор

доц. д-р инж. Георги Желев

Технически редактор

маг. Цвета Среброва

Художествено оформление на корицата

доц. д-р инж. Георги Желев

Компютърна обработка

доц. д-р инж. Георги Желев
маг. Цвета Среброва

Първо издание

Тираж – бр.

Печатни коли –

Дадена за печат – 2020 г.

Излязла от печат – 2020 г.

Печат – печатница „.....“

Издателство:

© Институт за космически изследвания и технологии – БАН, София, 2020

e-mail: office@space.bas.bg

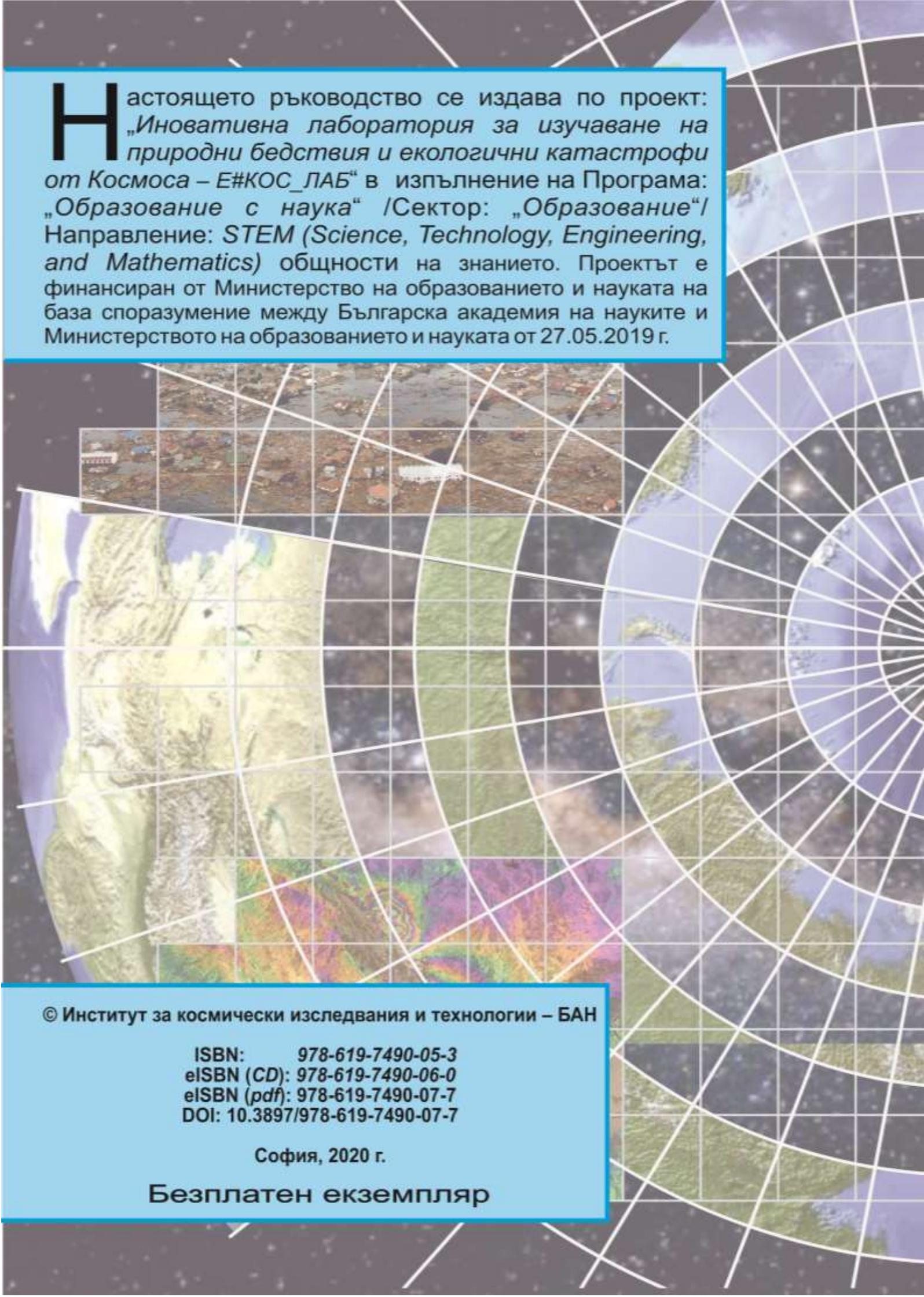
http://www.space.bas.bg

ISBN 978-619-7490-05-3

eISBN (CD) 978-619-7490-06-0

eISBN (pdf) 978-619-7490-07-7

DOI: 10.3897/978-619-7490-07-7



Настоящото ръководство се издава по проект: „Иновативна лаборатория за изучаване на природни бедствия и екологични катастрофи от Космоса – Е#КОС_ЛАБ“ в изпълнение на Програма: „Образование с наука“ /Сектор: „Образование“/ Направление: *STEM (Science, Technology, Engineering, and Mathematics)* общности на знанието. Проектът е финансиран от Министерство на образованието и науката на база споразумение между Българска академия на науките и Министерството на образованието и науката от 27.05.2019 г.

© Институт за космически изследвания и технологии – БАН

ISBN: 978-619-7490-05-3
eISBN (CD): 978-619-7490-06-0
eISBN (pdf): 978-619-7490-07-7
DOI: 10.3897/978-619-7490-07-7

София, 2020 г.

Безплатен екземпляр