

АЕРОКОСМИЧЕСКИ ГЕОРАДАРИ - ВЪЗМОЖНОСТИ И ПЕРСПЕКТИВИ ЗА РАЗВИТИЕ

Petar Stoyanov, Svetla Ivanova, Ventzislav Markov

Space Research Institute – Bulgarian Academy of Sciences
e-mail: pstoyanov@abv.bg:

Ключови думи: space, satellite systems, космически радиолокатори

Abstract: Bulgarian and foreign scientific materials have been analyzed concerning the use of aerospace-based radars within the meter range to solve the problems of ecological and nature-resource monitoring. A brief overview of the methodic is made related to the georadar sounding of surface objects and assessment of wood ecosystems biomass supplies. A list of tasks for georadar sounding is presented, as well as some requirements for the range of georadars, conditions of photography and precision of data georeference.

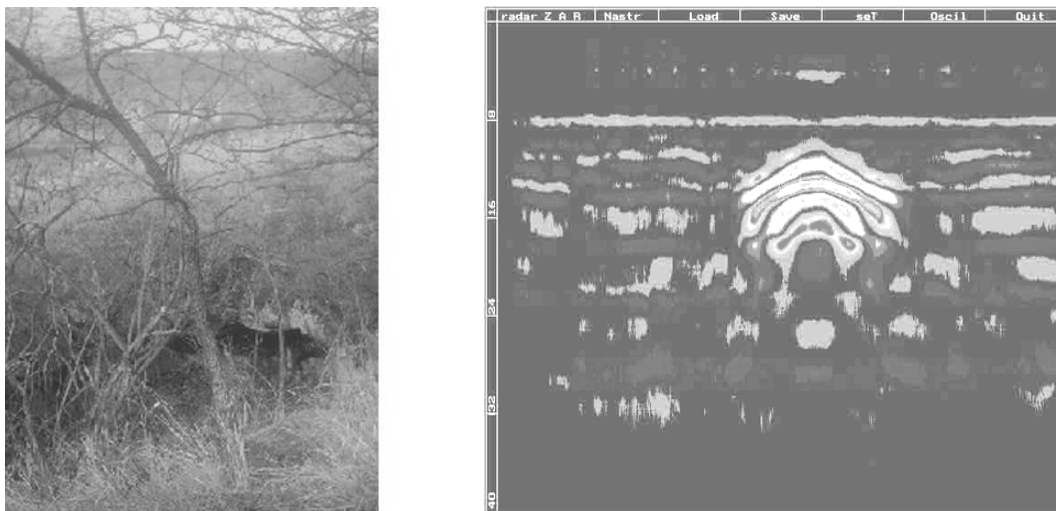
1. Въведение

В научно – техническата литература термина “георадар” (от английските “Ground Penetrating Radar – GPR” или “Subsurface Interface Radar – SIR”) обикновено се използва по отношение на радиолокационните сензори, установени на наземни подвижни платформи, или транспортирани ръчно [1-2]. Това са най-съвременните уреди за подповърхностно сондиране, предназначени за откриване на аномалии (нееднородности) в земните пластовете и използвани за предварително геофизично изследване на археологични обекти. Принципа им на работа се заключава в излъчването на мощни електромагнитни импулси с честота от няколко десетки MHz до няколко GHz, които се отразяват при преминаването от вещество с една диелектрична проникваемост във вещество с друга диелектрична проникваемост. Регистрирането на отразените сигнали дава възможност за създаването на дву- и тримерно изображение на обекти, скрити под земната повърхност или растителност. Целесъобразно е термина “георадар” да бъде въведен и за сензорите с въздушно и космическо базиране, тъй като те са предназначени за изпълнение на същите функции, както и техните наземни аналози.

В последните години потребителите на данни от дистанционното сондиране на Земята започнаха да проявяват все по-голямо внимание към информацията, получавана от аерокосмическите радары от метровия диапазон. Това преди всичко е свързано с изменението на интересите на стопанските отрасли и административните органи от различно ниво, насочени на първо място към решаване на глобалните и регионални проблеми на енергообезпечаването и екологичната безопасност. За тяхната практическа реализация много биха могли да спомогнат оперативните данни за състоянието на компонентите на биосферата (почвено – растителното покритие, материковите и морските ледове, торфа, зоните с вечна замръзналост и т.н.), доставяни от бордовите аерокосмически радары за подповърхностно сондиране.

Аерокосмическото георадарно сондиране е сравнително нов способ за дистанционно наблюдение, използван в системите на стопанския и екологичен мониторинг и неговите потенциални възможности са изучени и разкрити явно недостатъчно.

Във връзка с това целта на настоящата статия е да се проведе анализ на български и чуждестранни литературни източници, имащи отношение към проблемите на аерокосмическото георадарно сондиране, за да може по-детайлно да се запознаят специалистите в областта на дистанционното сондиране със съвременното състояние и перспективите на георадарните методи и средства, техните диагностични възможности в областта на откриване и изучаване на наземните и подпочвени обекти, скрити от почвени и растителни покривки.



Фиг. 1. Снимка от наземен георадар

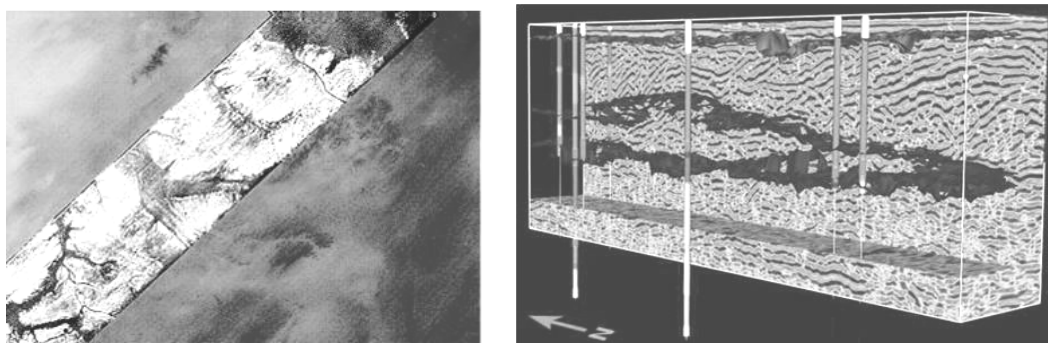
2. Съвременно състояние на георадарното сондиране

Аерокосмическите георадари са сравнително нов инструмент за изследване на Земята. През 60-те години на XX век в Канада е бил разработен, а в началото на 70-те години широко се използва метода за подповърхностно радиолокационно сондиране от борда на самолети и вертолетите, основаващ се на излъчване в надир към повърхността на свръхкратки импулси [1]. Бордовите радари, реализиращи този метод, били предназначени на първо място за измерване на дебелината на снега и леда на повърхността на езерата на които са кацали тежки самолети.

В началото на 80-те години в САЩ се провеждат експерименти за използването на бордови радари със синтезирана апертура (РСА), качени на самолет, за подповърхностни геофизически изследвания [3].

В СССР работа по създаването и провеждането на експерименти за използването на радари, използващи предаватели със свръх кратки сондиращи видеоимпулси, са извършвани в Рижкия институт за гражданска авиация под ръководството на професор Финкелъштейн през 1960-те години.

В Харковския институт за радиофизика и електроника на АН УССР професор Калмыков и неговите сътрудници разработили и провели успешно полетни изпитания в края на 80-те и началото на 90-те години на РСА от дециметровия и метров диапазон, използвайки квазинепрекъснат сигнал с линейна честотна модулация. Резултатите от тези изследвания и разработки показали реалните възможности на радарите за откриване на подземни тръбопроводи (до 6 метра дълбочина), а също нивото на подземните води.



Фиг 2.a. LANDSAT-TM L-диапазононен радар открива палеоархеологически следи от напоителни канали в северната пустиня на Судан покрити от няколко метров слой пясък; 2.b георадарно определяне на подземни каверни и хоризонти.

И накрая, започвайки от средата на 90-те години и до сега, в САЩ и Швеция са разработени и изпитани съответно вертолетни и самолетни георадари, построени на принципа на РСА и използващи сондиращи сигнали с непрекъснато излъчване със стъпкова манипулация на честотата. Такъв способ на модулация осигурява оптимално съгласуване на спектъра от

честоти на сондиращия сигнал със спектралните свойства на приемо – предавателните антени [3].

В Таблица 1 са дадени тактико - техническите характеристики на най – перспективните георадари от метров диапазон с аерокосмическо базиране, монтирани на вертолети (в) и самолети (с), а също и такива, които се разработват за монтиране на космически (к) апарати.

MIMOSA – нефокусиран радар разработван от ЕКА. Неговото главно предназначение е надирното сондиране на арктическите ледове, макар че може с успех да се използва и за сондиране на горски екосистеми.

ИМАРК – руски самолетен четридиапазононен РСА, имащ широк спектър на приложение. Дълговълновия диапазон успешно се използва за откриване на “изплували” участъци от магистралните тръбопроводи в районите за добиване на нефт, а също за откриване на нивото на подземните води.

Таблица 1. Параметри на бордовите радари с аерокосмическо базиране

Наименование на радара	Дължина на вълната, м	Полоса на обзора, km	Разрешение по хоризонтала, м	Разрешение по вертикала, м	Разработчик
MIMOSA (к)	1.0	40-50	1-10x10	10	ЕКА
ИМАРК (с)	2.24	24	15-25	15	Русия
МАРС (с)	1.8	30-60	50-100	40-90	Украйна
CARABAS (с)	5.0	0.7	3.0x3.0	3.0	Швеция
MkV (в)	1.0	0.5	1	1	САЩ

МАРС – самолетен четридиапазононен РСА, твърде много аналогичен на РСА ИМАРК.

CARABAS – РСА монтиран на самолет. Първоначално е бил предназначен за военни цели – за откриване на обекти, намиращи се в гора или замаскирани с растителност. Неговото гражданско предназначение – управление на състоянието на горските екосистеми, за охрана на обкръжаващата среда и съхраняване на защитените зони.

MkV – вертолетен РСА за откриване на цели, скрити от растителност или намиращи се под земята (блиндажи, минни полета, складове за боеприпаси и т.н.).

2. Възможности на аерокосмическото георадарно сондиране

Най-важни от методически аспект за георадарното сондиране от аерокосмически платформи трябва да се смятат следните характеристики:

- определяне на максималната дълбочина на откриване на обекти, срити под земната повърхност или от растителност;
- оценка на потенциалната точност на измерване на дълбочината на разполагане на обектите;
- избор на оптималната величина на пространственото разрешение на георадара в хоризонтална плоскост;
- изработка на изисквания към точността на привързване на резултатите от сондирането.

Методика за пресмятане на максималната дълбочина на сондирането е изложена в [2,3], затова по-долу е дадена само крайната формула:

$$(1) \quad h_{max\lambda} = \frac{e}{4\pi \left[\ln(4G\sigma_{\lambda}|F_{TP}|^2) - \ln[G\sigma_c S_{R\lambda} N + (4\pi)^2 R_{\lambda}^4] \right]}$$

където $h_{max\lambda} = \frac{h_{max}}{\lambda}$ - максималната дълбочина на сондирането, нормирана относно дължината на вълната.

Разрешаващата способност на радара ΔR е равна на значението на горната гранична честота f_B , умножена на съответната дължина на вълната λ_k . Тогава $V = f_0 \lambda_k$ и разрешаващата възможност на георадара могат да бъдат изразени чрез λ_k и $\frac{\Delta F}{f_0}$ във вида

$$(2) \quad \Delta R = \frac{V}{2\Delta F} = \frac{f_B \lambda_k}{2\Delta F} = \frac{\lambda_k}{2\left(\frac{\Delta F}{f_0}\right)}$$

Нормирайки ΔR относно λ_k , т.е. въвеждайки величината $\Delta R_x = \frac{\Delta R}{\lambda_k}$ може да се изрази величината на разрешението в значения на дължината на вълната

$$(3) \quad \Delta R_x = 1/2(\Delta F/f_B) = 1/2(1/(\Delta F/f_0) + 0,5)$$

Известно е, че вълните от оптичния диапазон се разсейват преимуществено от повърхността на короните на дърветата, засенчващи техните по-ниски етажи. Електромагнитните вълни от сантиметровия и дециметровия диапазон, макар и да проникват в дълбочината на короната, се разсейват от игличките, листата и малките клони, като в това време вълните от метровия диапазон се разсейват от стволите на дърветата и повърхността на почвата, като позволяват да се види структурата на дървесните стлове, скрити от короната.

Механизмът на взаимодействие на електромагнитните вълни от метровия диапазон със стволите на дърветата и земната повърхност е аналогичен на процеса на тяхното отражение от ъглови отражатели, което осигурява получаване на високо ниво на полезния сигнал. Относителната ефективна повърхност на разсейване на гората за случая на сондиране в метровия диапазон на вълните е свързан с относителния обем дървесина посредством формулата [1,3]:

$$(4) \quad \sigma \approx \frac{1}{S|F|^2 \sum V_i^2}, \quad i = 1, 2, \dots, N$$

Вертолетните и самолетните георадари позволяват да се получат дву- и триизмерни снимки на параметрите на земната покривка. Получаването на стереоскопични, обемни георадарни изображения стана възможно благодарение на използването на радиолокационни интерферометри, работещи в режими с "твърда" и "мека" база.

Съществената разлика на PCA в сравнение с импулсните георадари с надирно сондиране се явява тяхната висока разрешаваща способност в хоризонтална плоскост (от порядъка на 1 m за радари MkV) и широката полоса на обзора (до 60 km за PCA "Марс"). Обаче работейки в режим на наклонено сондиране тези радари осигуряват малко по-малка (в сравнение с наземните георадари) дълбочина на сондиране и са ориентирани за откриване на обекти, маскирани от листа, плитко заложи тръбопроводи, разлив на нефт, предизвикан от аварии на нефтопроводи, а също за определяне на запасите от дървесина в гората [1-2].

Що се касае до разработката и практическото използване на георадарите с космическо базиране, то тук успехите в сравнение с техните авиационни аналози са далеч по – скромни. Това се обяснява с две основни причини: първо, твърде високата стойност за разработката и създаването на космическите георадари и второ, необходимостта от отчитане влиянието на йоносферата върху амплитудните и фазовите характеристики на ехо – сигнала. С отчитането на тези обстоятелства в настояще време Европейската космическа агенция (ЕКА) извършва разработката на космически георадар MIMOSA [3].

3. Изводи

3.1. Аерокосмическите георадари от метровия диапазон са перспективни средства за глобален и регионален екологически мониторинг на състоянието на обектите и природната среда, скрити под земната повърхност и/или растителност. Още на този етап бордовите радари с въздушно базиране успешно решават задачите за търсене на нивото на водите и нефтените находища, оценка на запасите от дървесина в горските екосистеми, позволяват да се контролират магистралните нефто- и газопроводи.

3.2. Скорошната разработка и запускане в космическа орбита на ИСЗ, снабдени с георадари от метровия диапазон и имащи по-високи тактико-технически характеристики от MIMOSA, ще позволят създаването на йерархическа система за глобален и регионален екологически и природо-ресурсен мониторинг, включвайки в себе си също и средства за въздушно и наземно геородорно сондиране.

3.3 Максимална ефективност на функциониране на такава система може да способства на осигуряването на устойчиво развитие както на отделни региони и страни, така и на световното съобщество като цяло.

Литература:

1. Канащенков А. И., Л. А. Ведешин. *Исследование земли из космоса*, 2004, №3, стр. 88-96
2. Франкельштейн М. И., В. А. Мендельсон, В. А. Кутев. *Радиолокация слоистых земных покровов*, М., Сов. Радио, 1977, стр. 176
3. Herique A., W. Kofman, P. Bailer, L. Phalippou. *A Spaceborne Ground Penetrating Radar*. MIMOSA CEOS SAR Workshop, ESA-CNES Toulouse, 26-29 October, 1999, p. 6