

ДИСТАНЦИОННИ ИЗСЛЕДВАНИЯ НА ЗЕМЯТА ОТ КОСМОСА В МИКРОВЪЛНОВИЯ (СВЧ) ДИАПАЗОН, ПРОВЕЖДАНИ В ИКИТ НА БЪЛГАРСКАТА АКАДЕМИЯ НА НАУКИТЕ

***Тодор Назърски, Георги Димитров, Чавдар Левчев, Христо Проданов,
Спас Делистоянов, Юлика Симеонова, Николай Банков***

*Институт за космически изследвания и технологии – Българска академия на науките
e-mail: todnazar@gmail.com*

Ключови думи: дистанционни изследвания на Земята, микровълново област, РМ-1, Р-400

Резюме: В доклада се разглежда развитието на дистанционните изследвания на Земята от Космоса в микровълновата област на електромагнитния спектър от ИКИТ на БАН, с участието в изпълнението на Научните програми на Проектите „БЪЛГАРИЯ – 1300 II” и „ПРИРОДА“. Обсъжда се проектирането и създаването на Радиометричните системи РМ-1 и Р-400 за изследване от Космоса на земната повърхност в микровълновата област. Представени са и резултати на изследвания от Космоса на двете системи.

REMOTE SENSING OF THE EARTH FROM SPACE IN MICROWAVE RANGE CONDUCTED IN SRTI OF THE BULGARIAN ACADEMY OF SCIENCES

***Todor Nazarsky, Georgi Dimitrov, Chavdar Levchev, Hristo Prodanov,
Spas Delistoyanov, Yulika Simeonova, Nikolay Bankov***

*Space Research and Technology Institute – Bulgarian Academy of Sciences
e-mail: otodnazar@gmail.com*

Keywords: Remote sensing, microwave range, РМ-1, R-400

Abstract: The paper examines the development of remote sensing of the Earth from space in the microwave region of the electromagnetic spectrum of SRTI of BAS, with participation in the implementation of the Scientific Programs of the Projects "BULGARIA - 1300 II" and "NATURE". The design and creation of the РМ-1 and R-400 radiometric systems for space exploration of the earth's surface in the microwave area are discussed. Results from space research of both systems are also presented.

1. Въведение

Съществен етап в развитието на дистанционните изследвания на Земята от Космоса е създаването и разработката на научни методи и средства за измерване и анализ на собственото радиотоплинно излъчване на природните образувания в микровълновия (СВЧ) диапазон, на електромагнитния спектър [1, 2].

Широката област от поставени за решаване геофизични проблеми, свързани с дистанционното измерването на интензивността и поляризацията на радиотоплинното излъчване, се определя от една страна от наличието на линии на селективно излъчване на водните пари, кислорода и озона в СВЧ диапазона, а от друга страна с проникващата способност на СВЧ радиацията. Освен това наличието или отсъствието на слънчевата осветеност на изследваните зони на земната повърхност и облачната покривка не влияят върху точността на измерване на собственото и радиотоплинно излъчване. Това позволява да се осъществяват глобални и денонощни изследвания от Космоса на сушата на Земята, атмосферата и акваторията на океаните и моретата.

Важната информация за геофизичните параметри на земна повърхност, която може да се получи посредством дистанционно измерване на собственото радиотоплинно излъчване в СВЧ диапазона, стимулираха разработката на космически научни апаратури за неговото измерване в СВЧ диапазона, известни още като „Радиометрични системи“. Посредством радиометрични системи започват да се провеждат научни изследвания от борда на изкуствени спътници на Земята (ИСЗ).

За първи път дистанционно изследване на Земята от Космоса със СВЧ радиометрична апаратура е осъществено в Русия (СССР) с научна апаратура, монтирана и изведена в Космоса на борда на ИСЗ „Космос-243 [2]. В Космоса до 1982 г. успешно е изведена и работи СВЧ Радиометрична апаратура от Русия (ИРТЕ-РАН), САЩ, Индия и България (ИКИТ-БАН).

2. Научни проекти за дистанционно изследване на земята от Космоса

2.1. Проект „БЪЛГАРИЯ - 1300-II“

В Научната програма за изследване на природните ресурси на Земята от Космоса на Проект „БЪЛГАРИЯ -1300-II“, е включено като едно от основните направления в нея изучаването разпределението на радиотоплинното излъчване на определени райони от земната повърхност с цел решаването на следните научно-методически и приложни задачи:

1. Определяне на основните геофизически параметри на определени участъци от земната повърхност, физическата температура на сушата и акваторията на неголеми водоеми, влажността на избрани участъци от земната повърхност, зоните на валежи на дъжд и границите на ледените полета;

2. Подобряване на разделителната способност на радиотоплинните измервания в СВЧ диапазона посредством съвместна обработка на получените данни със спектрометрична и скенерна информация във видимия диапазон;

3. Извършване на радиометрично привързване на подспътникови траектории посредством използването на резки радиотоплинни преходи на обекти от земната повърхност с известни координати.

В изпълнение изискванията на Научната програма на Проекта „БЪЛГАРИЯ -1300-II“, в ИКИТ-БАН е проектирана и реализирана Микровълнова (СВЧ) радиометрична система „РМ1“ за провеждане изследвания на собственото радиотоплинно излъчване на земната повърхност от борда на ИСЗ.

2.2. Проект „ПРИРОДА“

Дистанционните изследвания на Земята от Космоса са единственият начин, по който може да се достави системна и глобална информация относно състоянието на сушата, световния океан и атмосферата.

Международният научен Проект „ПРИРОДА“ е научно- изследователски проект, насочен към разработката на методи и средства за дистанционен глобален контрол от Космоса на геофизичните параметри на земната повърхност и атмосфера, тяхното изучаване и използване.

Научната програма на проект „ПРИРОДА“ се състои от пет части. Първите три части съдържат научни програми от експерименти за изучаване на океаните, атмосферата и сушата. Четвъртата част обхваща научни програми, свързани с провеждането на екологични изследвания. В петата част се съдържат научни програми свързани с подсателитните изследвания.

Научната програма на проект „ПРИРОДА“ е разработена от учени от Русия, България, Германия, Полша, Чехия, Словакия, Румъния, Франция, САЩ, Италия и Швейцария.

Комплексът научна апаратура на Проект „ПРИРОДА“ се състои от 17 системи за пасивно и активно измерване на геофизическите параметри на атмосферата, акваторията на океаните и моретата и повърхността на Земята. Тези системи работят в сантиметровия, милиметровия, инфрачервения и видимия диапазони на електромагнитния спектър. На практика това е голяма космическа научно-изследователска лаборатория за глобално дистанционно изследване на Земята.

В рамките на Комплекса научна апаратура на Проект „Природа“, в ИКИТ-БАН е проектирана и разработена „Сканираща микровълнова (СВЧ) двуполяризационна радиометрична система Р-400“.

3. Радиометрични системи за дистанционно изследване на Земята от Космоса, проектирани и разработени в рамките на проектите „България – 1300 II“ и „Природа“

3.1. Микровълнова (СВЧ) радиометрична система РМ-1

Изискванията на Научната програма за изследване на природните ресурси на Земята от Космоса на Проекта „БЪЛГАРИЯ -1300-II“ определиха при проектирането основните параметри на „СВЧ радиометричната система РМ-1“ [6].

Изборът на работния честотен диапазон в областта на дължини на вълните 4 cm бе направен с цел изпълнение на изискването измерването радиотоплинно излъчване да носи информация за геофизическите параметри на земната повърхност и акваторията на водоемите, при което влиянието на атмосферата и облачната покривка да бъде пренебрежимо малка.

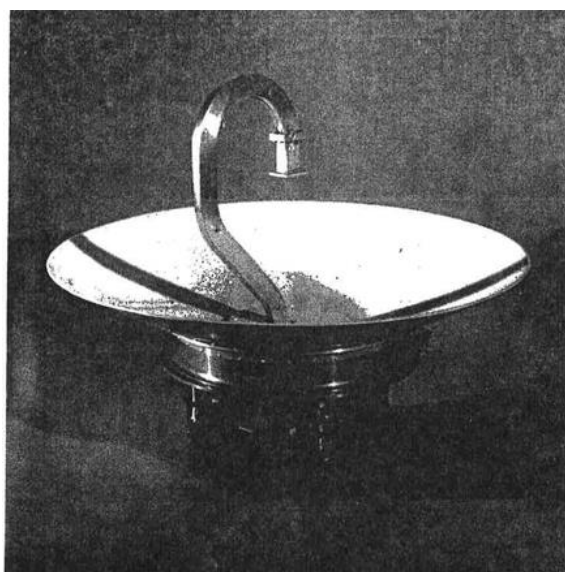
За получаване на висока чувствителност и стабилност на системата РМ-1 бе определено тя да работи на модулационен принцип. За целта бе разработен от колектива на ИКИТ модулатор с технически параметри над нивото на най-добрите в света подобни устройства и защитен с Авторско свидетелство за изобретение [4].

С цел пространствено и времево съвместяване на радиометричната, спектрометричната и скенерната информация Радиометричната СВЧ система РМ-1 е определено да бъде трасова и да работи в надир.

Технически параметри на Радиометричната система РМ-1

1. Работна дължина на вълната	4 cm
2. Флукуационна чувствителност	0,3 K
3. Динамичен диапазон	0–350) K
4. Изходи:	
4.1. Цифров	10 разряден
4.2. Аналогов	(0–50) V
5. Антена огледално-параболична - диаметър	780 mm
6. Ширина на диаграмата на антената на ниво 3dB	3 градуса
7. Режим на работа	трасов/надир
8. Бордово захранващо напрежение от ИСЗ „Метеор-Природа“	+/- 27 V
9. Консумирана мощност	12,3 W
10. Работен температурен диапазон	(0–45) °C

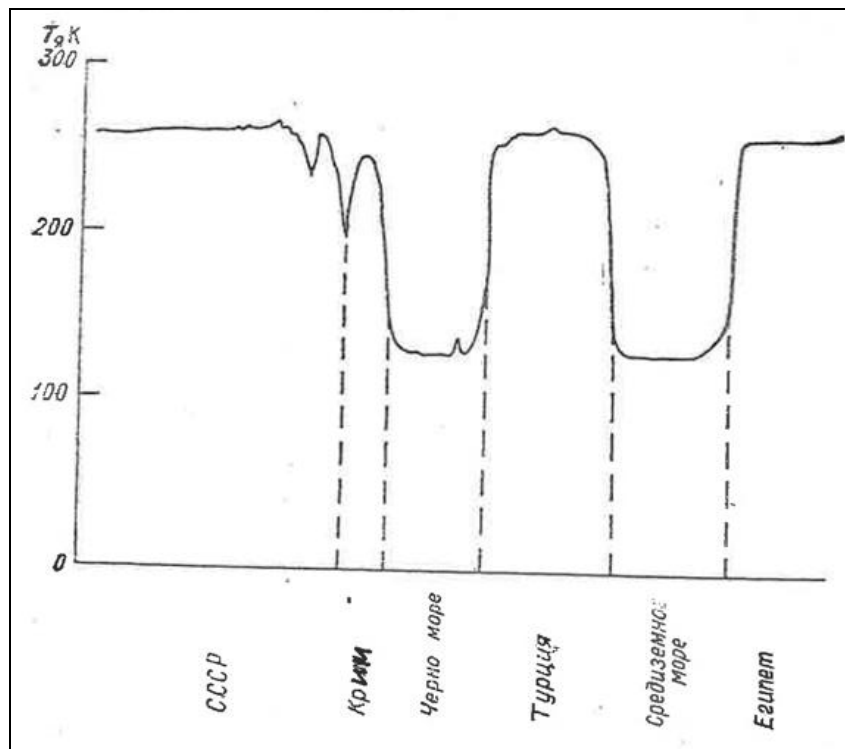
Комплексът научна апаратура за дистанционно изследване на Земята от Космоса, разработен в рамките на Научната програма „БЪЛГАРИЯ 1300-II“, бе изведен в космическа орбита на борда на ИСЗ „Метеор-Природа“ на 10.07.1981 г. от космодрум в СССР. Той включва разработените ИКИТ на БАН „Спектрометрична система СМП-32“, Радиометрична система РМ-1 и „Изчислителна бордова машина БЕВМ“.



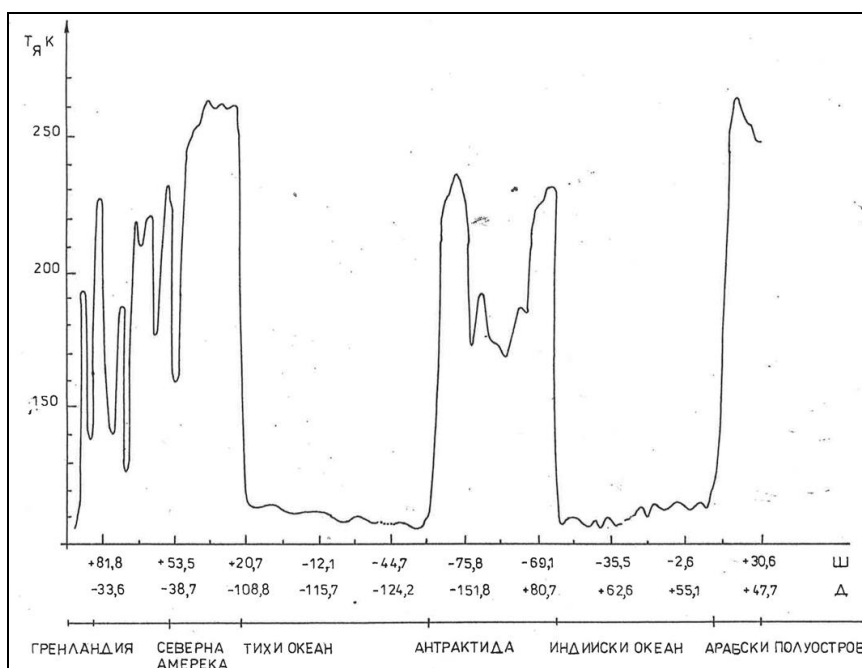
Фиг. 1. Радиометричната система РМ-1

От момента на извеждането на спътника „Метеор – Природа“ на космическа орбита в продължение на повече от три години „Радиометричната система РМ-1 (Фиг. 1) работи успешно, а получените от нея данни са обработват от научни колективи в България и Русия. Резултатите са публикувани в научни списания и монографии.

Измерванията на яркостната температура на земната повърхност по време на две орбити на спътника „Метеор-Природа“, направени от Радиометричната система РМ-1, са показани на Фиг. 2 и Фиг. 3.



Фиг. 2. Яркостна температура – Крим – Египет



Фиг. 3. Яркостна температура – Гренландия – Антарктида – Арабски Полуостров

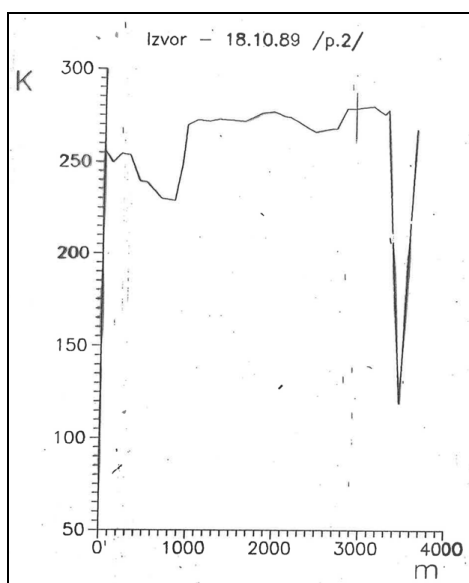
3.2. Микровълнова (СВЧ) радиометрична система РМ-1С за дистанционно изследване на земята от борда на самолетни лаборатории

Самолетната Микровълнова (СВЧ) радиометрична система РМ-1С е проектирана да извършва синхронни изследвания с Микровълновата (СВЧ) радиометрична система РМ-1 от две нива – спътниково и на самолетни лаборатории, с цел определяне собственото радиотоплинно излъчване на различни обекти от земната повърхност.

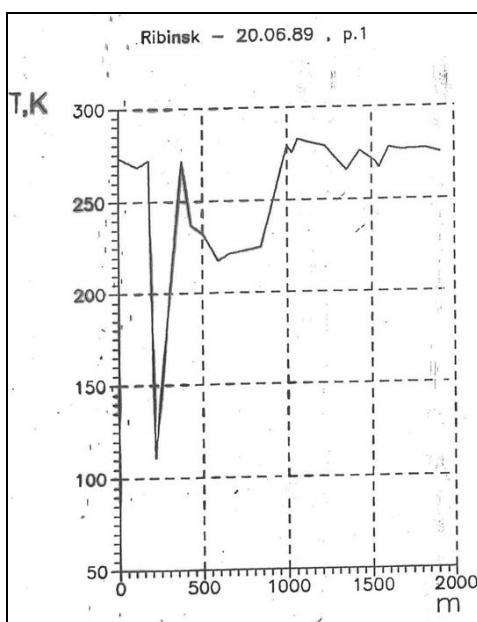
Самолетната Радиометричната система РМ-1С е разработена на базата на спътниковата Радиометрична система РМ-1, като разликата между двете е в използваните приемни антени системи. Спътниковата Радиометрична система РМ-1 използва огледално-параболична антена с ширина на диаграмата на насочено действие (ДНД) 3 градуса, докато Самолетната радиометрична система РМ-1С използва рупорно-пирамидална антена с диаграма на насочено действие 15 градуса.

С Радиометричната система РМ-1С се провеждат редица изследвания на определени наземни полигони на територията на България и Русия и получените резултати са представени на научни сесии и публикувани в научни списания [7, 8].

Измерването на собственото радиотоплинно излъчване от траектории на полигони в България и Русия са дадени на Фиг. 4 и Фиг. 5.



Фиг. 4. Измерване на яркостната температура от трасе на Полигон „Извор“ – България



Фиг. 5. Измерване на яркостната температура от трасе на Полигон „Рябинск“ - Русия

3.3. Микровълнова сканираща двуполяризационна радиометрична система Р-400

Микровълновата сканираща двуполяризационна радиометрична система Р-400 е част от Комплекса научна апаратура на Проект „ПРИРОДА“ [9].

Комплексът научна апаратура на проект „ПРИРОДА“ се разработва да работи на борда на специализирания космически модул „ПРИРОДА“, за дистанционно изследване на Земята от Космоса. Модул „ПРИРОДА“ се извежда в Космоса и се скачва с Орбиталната космическа станция „МИР“.

Основните принципи при проектиране на Радиометричната система Р-400 са:

1. Измерването на собственото радиотоплинно излъчване на земната повърхност се извършва на ъгъл 40 градуса от надира. Това изискване е свързано с факта, че радиотоплинното излъчване зависи от ъгъла на измерване. Използването на конично сканиране осигурява изискването измерването на радиотоплинното излъчване да бъде винаги под един и същ ъгъл;

2. Сканирането на диаграмата на насочено действие на антената да се извършва в рамките на 70 градуса пространствен коничен ъгъл, при което ширината на изследваната земна повърхност е около 350 km;

3. Сканирането на диаграмата на насочено действие, в рамките на коничния ъгъл 70 градуса, е реверсивно, като в едната посока се измерва хоризонталната поляризация, а в обратната вертикалната поляризация а изследваното радиотоплинно излъчване.

Принципът на действие на Радиометричната система Р-400 е защитен с Авторско свидетелство за изобретение [3].

Сканиращата двуполяризационна радиометрична система Р-400 и контролно-измервателната апаратура (КИА) за нейната настройка и тестване са показани на Фиг. 6.



Фиг. 6. Технологичен образец на Сканиращата двуполяризационна радиометрична система Р-400 и Контролно-измервателната апаратура (КИА) към нея

За решаване на трибологичните проблеми при работата на въртящото се вълноводно съединение на антенния облъчвател, което се движи реверсивно (сканира) в условията на космически вакуум и температури от сканиращия двигател, се разработи нова метална сплав. Във върховете на кристалната решетка на новата сплав се имплантирани въглеродни атоми, които при триене в условията на космически вакуум и температури, играя ролята на смазка, с което триенето влиза в допустимите норми.

С новата сплав бяха направени лагерите на въртящото се вълноводно съединение на облъчвателя на антената, което работи безупречно на борда на космическия Модул „ПРИРОДА“.

Новата сплав бе разработена от учени и специалисти на Института по проблемите на материалознанието на Националната Академия на Науките на Украйна и Института за Космически Изследвания и Технологии на Българската Академия на Науките. Сплавта бе патентована в Украйна и на колективите от Украйна и България Държавният Департамент за Интелектуална собственост на Украйна официално издаде Патент 73217 [5].

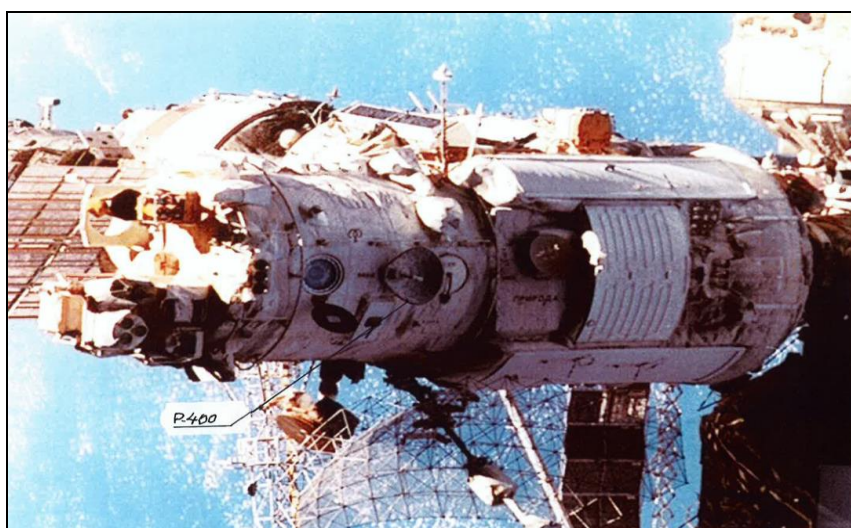
Технически параметри на Микровълновата сканираща двуполяризационна радиометрична система Р-400

1. Работна честота	7,5 GHz
2. Чувствителност	0,3 K
3. Вид антена	параболична
4. Ширина на ДНД	3 градуса
5. Вид на сканиране	конично
6. Ъгъл на конично сканиране	40 градуса от надира
7. Ъгъл на сканиране	+/- 35 градуса
6. Лента на сканиране	350 km
7. Консумирана мощност	12,5 W.

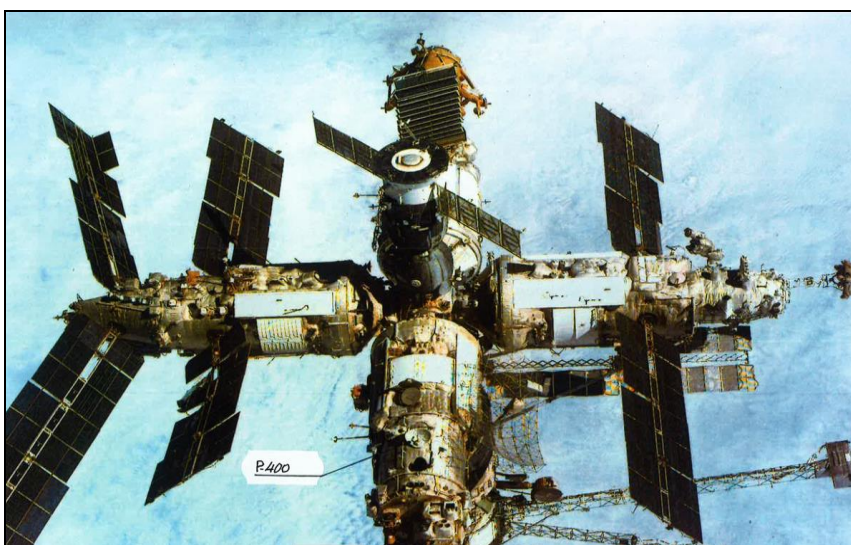
Комплексът научна апаратура на проект „ПРИРОДА“, включващ и Сканиращата радиометрична система Р-400, е монтиран на космическия модул „ПРИРОДА“ (Фиг. 7). Той е изведен на космическа орбита на 26 април 1996 г. и скачен с Орбиталната космическа станция „МИР“ (Фиг. 8).

Системата Р-400 от момента на извеждане в Космоса в продължение на повече от 3 години работи успешно и получените от нея данни са обработени и публикувани [9, 10].

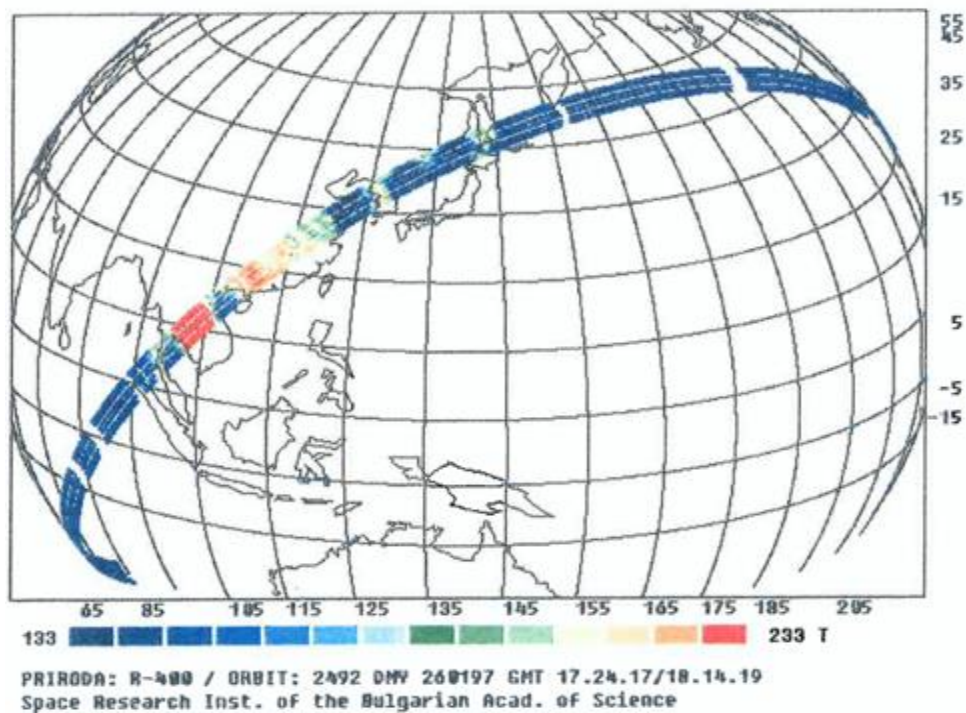
Изображения, получени при работа на Радиометричната система Р-400, по време на две орбити на Орбиталната станция „МИР“ са дадени на Фиг. 9, Фиг. 10, Фиг. 11 и Фиг. 12.



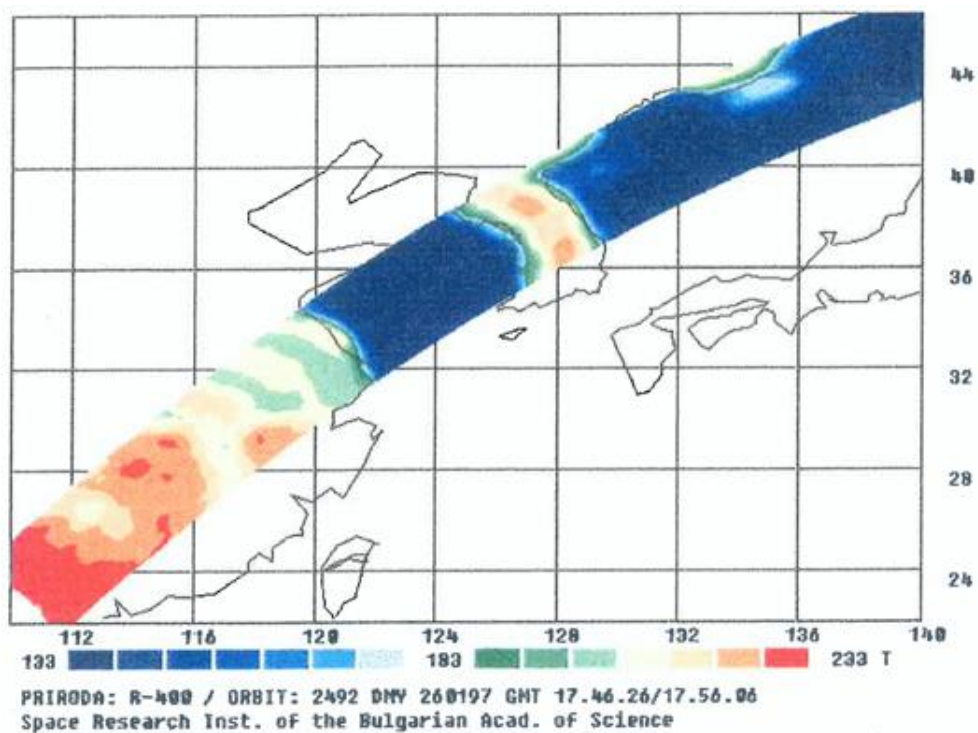
Фиг. 7. Сканиращата радиометрична система Р-400, монтирана на космическия модул „ПРИРОДА“



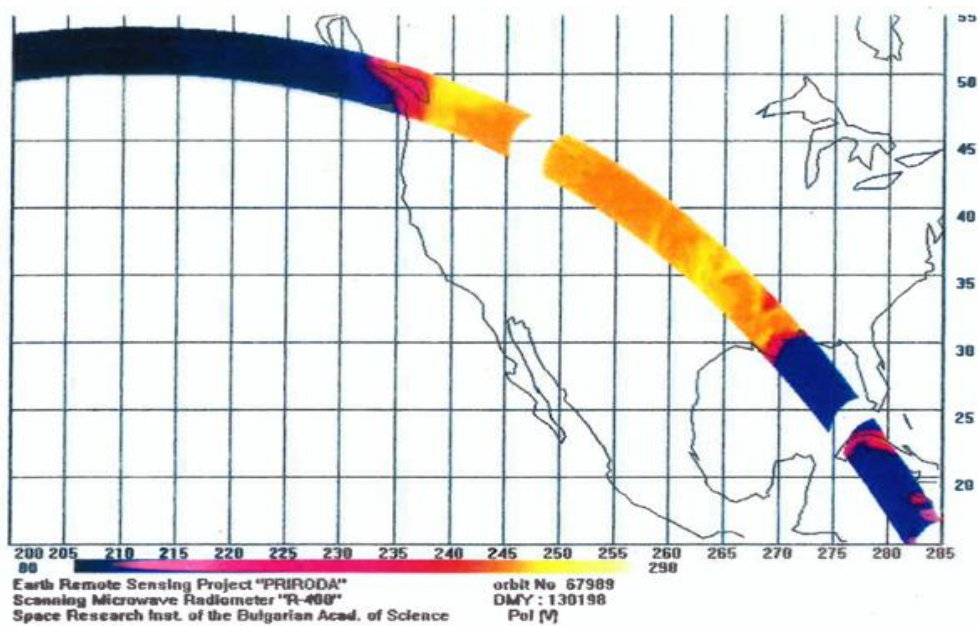
Фиг. 8. Сканиращата радиометрична система Р-400 на борда на модул „Природа“, скачени с Обитаемата орбитална космическа станция „МИР“



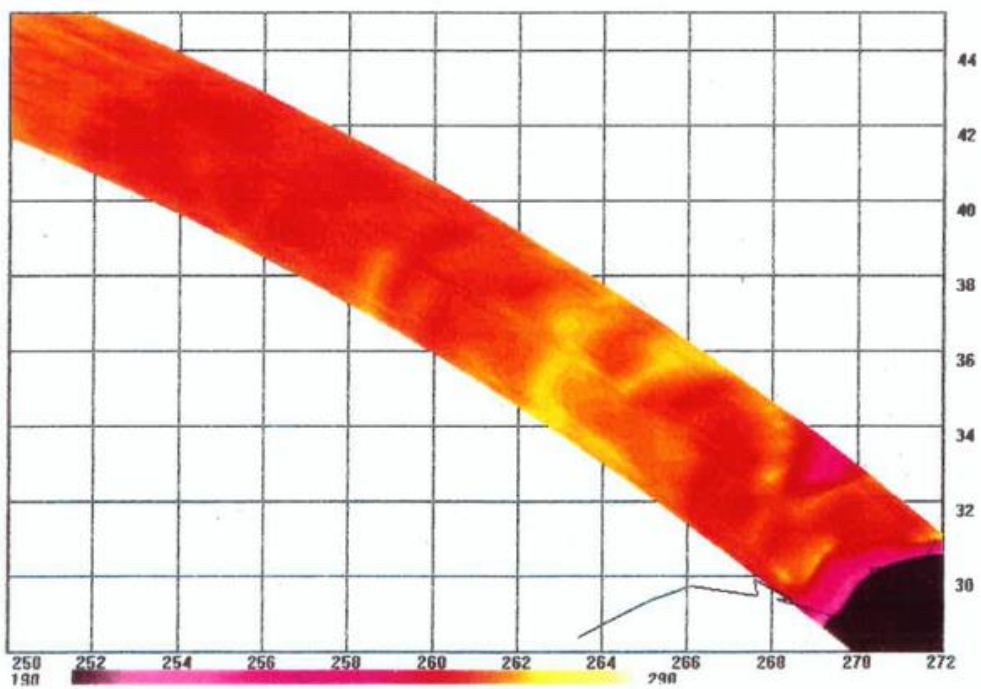
Фиг. 9. Траектория на Орбита 2492 със зона на радиотоплинно изображение Сахалин – Китай – Мианмар



Фиг. 10. Радиотоплинно изображение от Орбита 2492 върху територията на Китай



Фиг. 11. Траектория на Орбита 67989 със зона на радиотоплинно изображение
Карибски басейн – Америка



Фиг. 12. Радиотоплинно изображение от Орбита 67989 върху територията на Флорида

Радиотоплинните изображения, направени от борда на Космическата станция „МИР“, са получени с Летателния образец на Радиометричната система Р-400 проектирана и разработена от Колектив на ИКИТ-БАН.

Летателният образец на системата Р-400, работещ на Космическата станция „МИР,“ и част от колектива, разработил системата са показани на Фиг. 14.



Фиг.14. Летателен образец на Радиометричната система Р-400 и част от колектива

4. Заключение

В изпълнение на Научните програма на проектите за дистанционно изследване на Земята от Космоса се включват научни колективи от редица институти на БАН: ИКИТ, Института по електроника и Института по океанология. Институтът по агроекология и почвознание „Н. Пушкин“ участва в научни експерименти за дистанционно определяне на почвените характеристики и определени характеристики на културната растителност [8].

Като част от международни екипи от учени тези колективи участват в провеждането на експерименти за изследване на сушата, океана и атмосферата и при решаване на екологични проблеми [7]. Същевременно те се включват и в научната програма с провеждането на научни изследвания на полигон „Хемус“, изучаването на земната повърхност, атмосферата, акваторията на Черно море и р. Дунав и свързаните с тях екологични проблеми.

Получените резултати от колективите са публикувани в редица научни списания [12, 13].

Литература:

1. Мишев, Д. Дистанционни изследвания на земята от космоса. Изд. БАН, 1981.
2. Башаринов, А. Е., А. С. Гурвич, С. Т. Егоров, Радиоизлъчение Земли как планета. Изд. „Наука“, 1974.
3. Назърски, Т., Д. Мишев. 1988. Двуполаризационен сканиращ радиометър. Авторско свидетелство за изобретение N 41091/22.11.1988. Патентно ведомство на РБ.
4. Сотиров, И., Назърски Т., Димитров Г. Диоден вълноводен модулатор. Авторско свидетелство за изобретение N 29259/02.07.1979. Патентно ведомство на РБ.
5. Патент на винахід 73217, Украйна. Композиційний самозмащувальний матеріал на основі міді.
6. Мишев, Д., Назарски Т., Каменов Г. Радиометрическая система РМ-1. Дистанционное зондирование Земли со спутника „Метеор–Природа“; Советско-болгарский эксперимент „Болгария – 1300-II“, Ленинград, Гидрометеиздат 1985.
7. Руменина, Е., Г. Желев. 2020. Развитие на дистанционните изследвания, провеждани на аерокосмическите полигони в България. Сб. с доклади от Шестнадесета научна конференция с международно участие „Космос, Екология, Сигурност (SES 2020). ИКИТ-БАН. с. 187–206.
8. Kolev, N., K. Penev, Y. Krustanov, T. Nazarski, G. Dimitrov, C. Levchev, H. Prodanov, L. Krалеva. 1998. Remote Sensing and Synchronous Land Surface :Measurements off Soil Moisture and Soil Temperature in the Field. Turkish Journal of Physics. 22 (1) pp. 77–829.
9. Мардиросян, Г. Основи на дистанционните аерокосмически технологии. НБУ, София, 2015, 240 с. ISBN 975-954-535-882-1
10. Назърски, Т., Г. Каменов, Н. Банков, Хр. Проданов, Ч. Левчев, Л. Кралева. 1999. Изследвания с микровълновата сканираща радиометрична система „Р 400“ в рамките на международния научен проект „ПРИРОДА“ за дистанционно изследване на Земята от Космоса. Сборник с доклади от юбилейната научна сесия „10 години космически проект „Шипка“. Изд. ИКИТ-БАН, с. 98–103.
11. Назърски, Т., Димитров Г., Левчев Ч. Проект „Природа“ за дистанционно изследване на геофизични параметри от орбиталната станция „Мир“. Българско геофизично списание, т. XIX, N 3.
12. Спиридонов, Х., С. Ковачев, Т. Назърски, Вл. Колев, Е. Руменина и др. 1986. Спектралните и радиометричните характеристики некоторых компонентов геосистем. Сб. Определение состояния окружающей среды методом дистанционного зондирования Земли. Изд. ГИ САН, Братислава. с. 7–28.
13. Назърски, Т., Г. Димитров, Е. Руменина, Ч. Левчев, Н. Колев, Й. Киркова. Зависимост "радиояркостна температура-влажност на земната повърхност" при аеродистанционните и синхронни наземни измервания. Българско геофизично списание 4/1992, БАН, с. 9–14.