

УДК;

<https://orcid.org/0000-0001-6161-8160>

<https://orcid.org/0000-0003-4880-7009>

<https://orcid.org/0000-0003-3835-4106>

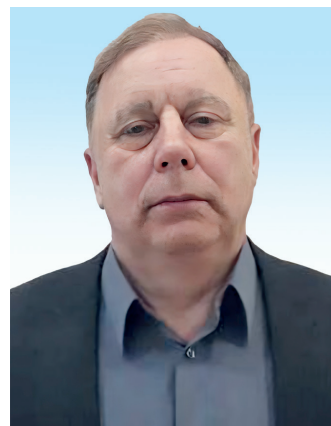
ИЗУЧЕНИЕ СТРОЕНИЯ МАНТИИ И ЯДРА ЗЕМЛИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ РАДИО-ТЕПЛОВИЗОРНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ



В.Н. СТЕПЧЕНКО,
главный инженер,
matricaw@gmail.com



В.А. РОДНА,
главный геолог,
valentina.rodna59@gmail.com



В.А. БАГРЯНЦЕВ,
заместитель директора по
новым технологиям,
vl.bagriantsev@gmail.com

ООО "ЦЕНТР АЭРОКОСМИЧЕСКИХ ТЕХНОЛОГИЙ"

Болгария, 8000, г. Бургас, ул. Антима Первого, 26

Впервые показаны результаты глубинных исследований Земли с применением радио-тепловизорных технологий, геофизические аспекты дешифрирования и интерпретации космической информации, связь спутниковых снимков с глубинным строением нашей планеты. В основу технологии положено дистанционное зондирование с использованием разновременных космических радиометрических снимков теплового излучения электромагнитного спектра Земли. Представлены вертикальные геотермические разрезы планеты Земля на глубине около 6400 км от поверхности. Отмечено получение принципиально новых информативных данных о строении ядра в динамике (с интервалом в 10 лет). Результаты настоящих РТТ-исследований могут быть полезны ученым, изучающим глубинные слои планеты как дополнение к традиционным сейсмологическим методам.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: радио-тепловизорные технологии, дистанционное зондирование Земли, электромагнитное излучение, радиояркостьная температура, космические снимки, ядро Земли, мантия, геотермические разрезы, конвекция.

МАНТИЯ МЕН ЖЕР ЯДРОСЫНЫҢ ҚҰРЫЛЫМЫН ЗЕРТТЕУДЕ РАДИО-ТЕПЛОВИЗОРЛАРДЫ ПАЙДАЛАНУ ТЕХНОЛОГИЯЛАР

В.Н. СТЕПЧЕНКО, бас инженер, matricaw@gmail.com

В.А. РОДНА, бас геолог, valentina.rodna59@gmail.com

В.А. БАГРЯНЦЕВ, директордың орынбасары жаңа технологиялар, vl.bagriyan@gmail.com

"АЭРОФАРИШТЫҚ ТЕХНОЛОГИЯЛАР ОРТАЛЫҒЫ" ЖШҚ
Болгария, 8000, Бургас қаласы, Антима Бірінші көшесі, 26

Жерді терең зерттеу нәтижелері о-бейнелеу технологияларын, дешифрлеу мен интерпретацияның геофизикалық аспектілерін, ғарыштық ақпарат, спутниктік суреттерді қолданып біздің планетаны терең құрылымымызбен байланысы алғаш рет көрсетілді. Технологияның негізі – жылулық сәулеленудің әртүрлі уақыттық ғарыштық радиометриялық суреттерін пайдалана отырып, жердің тропмагниттік спектрі қашықтықтан зондтау болып табылады. Жер планетаның тік геотермиялық кесінділер жер бетінен шамамен 6400 км тереңдікте ұсынылған. Динамикадағы ядро құрылымы туралы пиальды жаңа ақпараттық деректер алынды (10 жылдық интервалмен). Нағыз RTT зерттеулерінің нәтижелері планетаның терең қабаттары дәстүрлі сейсмологиялық әдістерге қосымша ретінде зерттеуші ғалымдарға пайдалы болуы мүмкін.

ТҮЙІН СӨЗДЕР: радио-тепловизорлық технологиялар, Жерді қашықтықтан зондтау, электромагниттік сәулелену, радиожарықтық температура, ғарыштық суреттер, жердің өзегі, мантия, геотермиялық кесінділер, конвекция.

STUDYING THE STRUCTURE OF THE EARTH'S MANTLE AND CORE USING RADIO-THERMAL IMAGING TECHNOLOGIES

V.N. STEPCHENKO, Chief Engineer, matricaw@gmail.com

V.A. RODNA, Chief Geologist, valentina.rodna59@gmail.com

V.A BAGRYANCEV, Deputy Director for New Technologies, vl.bagriyan@gmail.com

"CENTRE OF AEROSPACE TECHNOLOGIES" LTD
Bulgaria, 8000, Burgas, 26, Antim Pervi str.

The results of deep studies of the Earth using Radio-Thermal Imaging Technologies, geophysical aspects of decoding and interpretation of space information, the relationship of satellite images with the deep structure of our planet are shown for the first time. The technology is based on remote sensing using multi-temporal space radiometric images of thermal radiation of the electromagnetic spectrum of the Earth. Vertical geothermal sections of planet Earth at a depth of about 6400 km from the surface are presented. Obtaining fundamentally new informative data on the structure of the core in dynamics (with an interval of 10 years) is noted. The results of these RTT studies may be useful to scientists studying the deep layers of the planet as a complement to traditional seismological methods.

KEYWORDS: radio-thermal imaging technologies, earth remote sensing, electromagnetic radiation, radio brightness temperature, space images, earth's core, mantle, geothermal sections, convection.

Введение. До настоящего времени основным методом изучения глубинного строения Земли является сейсмический, основанный на закономерностях распространения сейсмических волн от землетрясений. Геофизические модели Земли базируются на анализе изменения с глубиной различных физических характеристик вещества, слагающего недр нашей планеты.

Предлагаемый метод радио – тепловизионной технологии (РТТ) рассматривается как элемент дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ), пассивный метод, основанный на регистрации излучаемой тепловой энергии Земли (в виде эндогенного теплового потока), которая представлена непрерывным спектром электромагнитных волн и выражается физическим параметром, именуемым радиояркостная температура. Излучение может быть принято на входе антенной системой (детекторной, оптической или радиоэлектронной). Собственно название «Радио-тепловизионные технологии» раскрывает диапазоны используемого электромагнитного излучения Земли: радио, инфракрасный и оптический.

Дистанционные тепловые методы и технологии, основанные на цифровой обработке космических сцен, применяются для поиска полезных ископаемых уже традиционно. Накопленный опыт наших исследований в области ДЗЗ свидетельствует, что дальний инфракрасный диапазон электромагнитных волн позволяет зондировать глубинные структуры Земли. А сравнительно более дальний – радиодиапазон – за счет большей длины волны (в тысячи раз), позволяет принимать информацию с большей глубины, а увеличением чувствительности в дальнейшем позволяет эффективней ”просвечивать” геологические среды.

Материалы и методы исследования. Метод применительно к геологии в течение последних лет используется для поиска углеводородных, рудных и водных ресурсов, выявления опасных геологических процессов. Поиск новых залежей нефти и газа в настоящее время является особенно актуальным. Метод позволяет восстанавливать разрешающую способность и тем самым повышать достоверность результатов поиска, а также ускорять процесс получения информации в практических инженерных масштабах М1:25 000 -5 000, вплоть до М1: 500.

Существенное отличие РТТ заложено в алгоритме обработки аэрокосмических снимков: мы используем значение контраста радиоярких температур $[\Delta T]$ и плотность теплового потока, позволяющие рассчитывать и визуализировать все неоднородности недр Земли.

В нашем случае источником электромагнитных волн, «просвечивающих» мантию, астеносферу и литосферу планеты, является разогретое до температуры около 6000 ОК ядро, что и формирует на поверхности интегральное тепловое изображение, несущее в себе информацию обо всех неоднородностях структуры и вещества Земли. Главный источник внутренней энергии Земли – конвективный перенос [1].

Для понимания работы метода приведем основные известные характеристики внутреннего строения Земли согласно сейсмической и расчетной модели.

Наша планета имеет 4 основных внутренних слоя: внутреннее ядро, внешнее ядро, мантия и кора. Сердцем Земли называют земное ядро, ведь от него зависит жизнь на нашей планете. Находясь на глубине примерно 2900 км, ядро генерирует магнитное поле Земли. Граница 5150 км разделяет ядро на внешнее жидкое (2900-5150 км) и

внутреннее твёрдое (5150-6371 км). На границах Гутенберга (мантия-ядро), внутреннего и внешнего ядра скачкообразно увеличиваются плотность вещества и температура [1]. Общепринятая гипотеза, объясняющая образование магнитного поля Земли, называется геодинамо. Согласно ей, магнитное поле образуется за счет движения электропроводящей жидкости во внешнем ядре. Ядро Земли состоит в основном из железа и некоторого количества никеля, а также нескольких других более легких элементов. Внешнее ядро остается жидким, окутывая твердое внутреннее ядро [2, 4, 5].

В данной работе представлены результаты глубоких исследований мантии и ядра нашей планеты с использованием метода дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) – радио-тепловизорной технологии (РТТ).

Некоторые элементы метода Радио-Тепловизорной Технологии. Метод радио-тепловизорной технологии является пассивным методом дистанционного зондирования Земли, основанным на регистрации излучаемой тепловой энергии, которая представлена непрерывным спектром электромагнитных волн и выражается физическим параметром – радиояркостьная температура [Тя].

Интенсивность собственного излучения как в оптическом, так и радиодиапазоне, в соответствии с приближением Рэлея-Джинса и законом Кирхгофа, характеризуется яркостью температурой [ЯТ] Тя. Для радиодиапозона электромагнитных волн является радиояркостьная температурой. Определяется произведением коэффициента излучения [КИ] к среде на ее эффективную температуру [ЭТ] Тэ. То есть, измеряется радиояркостьная температура: $Tя = kТэ$.

Отличие метода РТТ от других методов ДЗЗ заложено в алгоритме обработки спутниковых материалов в получение контраста радиояркостьных температур $[\Delta Tя]$, и как следствие – суммарной плотности теплового потока, позволяющего рассчитать все неоднородности земных недр. Технология позволяет аппроксимировать достаточное множество точек, несущих исходную априорную информацию о строении Земли, повышать контраст температурной чувствительности и разрешающую способность материалов, и как следствие – получать объемную радио-тепловизорную тепловую модель планеты [3] "Basics of Thermal Imaging Technologies and their experience. (Stepchenko V. et al. 2019)".

Исследования проводятся с использованием базы данных космических сцен, полученных спутником дистанционного зондирования земли (ДЗЗ) GCOM-W1, микроволновым многоканальным радиометром AMSR-2. Многоканальный радиометр измеряет радио-яркостьную температуру. Используются радиометрические снимки с длиной волны от 43290 мкм (4.329 см) до 3370 мкм (0.337 см). Температурная чувствительность составляет от 0.3 К до 1.1 К. База данных содержит ежемесячные данные, начиная с 2013 года.

Методом РТТ можно создавать послойные 3D геотермические модели Земли, строить вертикальные геотермические разрезы и горизонтальные срезы, которые позволяют распознавать геологические и геофизические структурные неоднородности, в том числе границы земной коры и мантии, тектонические разломы мантийного заложения – источники большинства полезных ископаемых, узлы пересечения глубинных разломов – возможные очаги землетрясений. Впервые мы представили материалы по изучению глубинного строения Земли.

Исследование строения мантии и ядра Земли. Изучение динамики происходящих процессов во внешнем и внутреннем ядрах Земли позволит наблюдать природу изменения их состояния, распознавать элементы строения и функциональные особенности, выявлять цикличность происходящих процессов. Надеемся, это позволит прогнозировать ситуации, связанные с работой главного механизма нашей планеты.

Результаты и обсуждение. Используя радио-тепловизорные технологии, нами были получены материалы как результаты дешифрирования и интерпретации исходных космических снимков – геотермические разрезы планеты Земля на глубине около 6 400 км от поверхности. Линия разреза проходит параллельно плоскости снимков в направлении Юг-Север. Космические снимки представлены в проекции Меркатор. Центр снимков проходит через нулевой меридиан Гринвич. Для удобства восприятия результирующие снимки также представлены в сферической форме. Представленные изображения уменьшены в размерах для формата публикации. Приведенные ниже рисунки иллюстрируют строение ядра Земли согласно геотермической модели, построенной с помощью РТТ.



Рисунок 1 – Космический снимок от 01.2013 г. Средняя длина волны 4.329 см. Чувствительность 0.34 К.

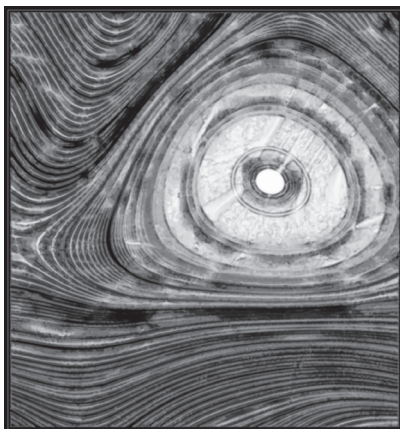


Рисунок 2 – Результирующий снимок от 01.2013 г.

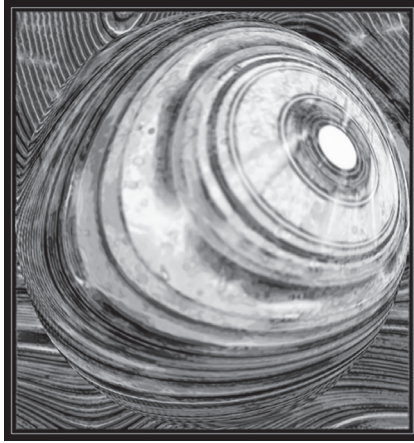


Рисунок 3 – Результирующий снимок, представленный в сферической форме от 01.2013 г.

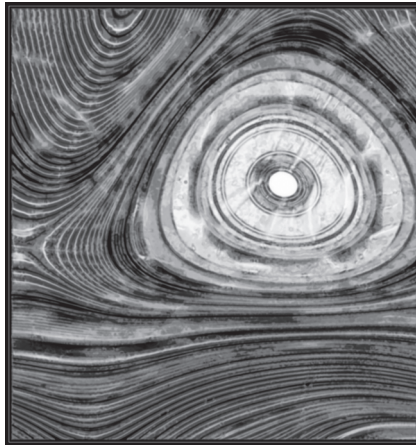


Рисунок 4 – Результирующий снимок от 02.2013 г.

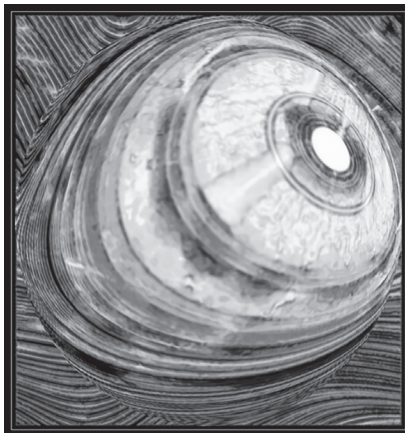


Рисунок 5 – Результирующий снимок, представленный в сферической форме от 02.2013 г.

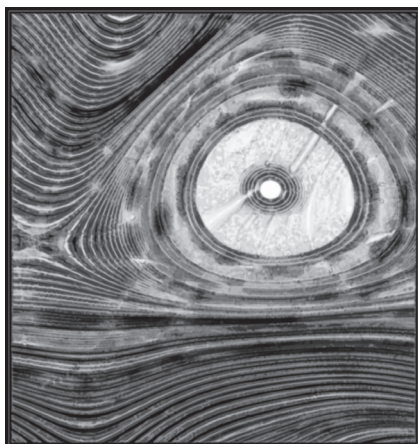


Рисунок 6 – Результирующий снимок от 01.2023 г.

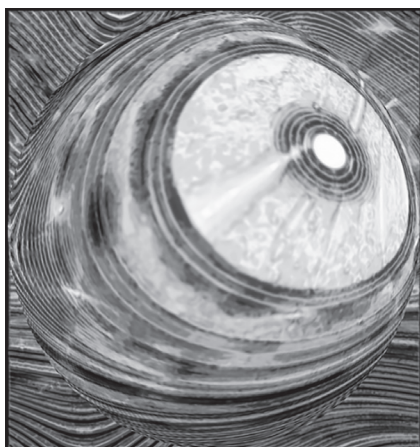


Рисунок 7 – Результирующий снимок, представленный в сферической форме от 01.2023 г.

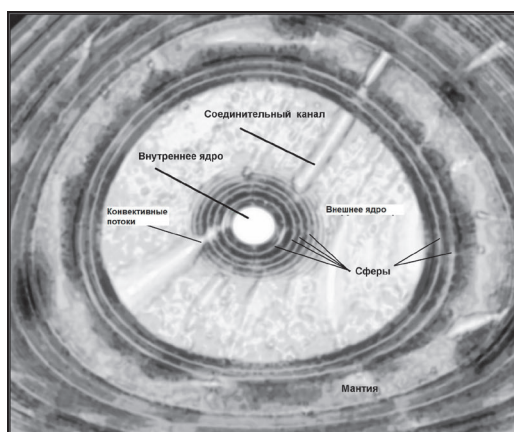


Рисунок 8 – Фрагмент результирующего снимка от 01.2023 г.

Центр снимков и сфер можно перемещать в поперечном направлении – путем отделения левой части снимка и присоединения в правой или левой частей к правой. Таким образом центр снимков будет перемещаться. Можно создать серию результирующих снимков и получить эффект вращения вокруг центральной оси. В представленных материалах центр проходит только через нулевой меридиан.

Заключение и выводы. Анализ представленных материалов позволяет предполагать: Земля имеет форму геоида и ядро смещено на восток, если центр космического снимка проходит через нулевой меридиан Гринвич.

В мантийной зоне Земли происходит конвекция экзотермических потоков в различных направлениях, которые, вероятно, и формируют направления электромагнитных линий поля Земли.

Выделяется внутреннее и внешнее ядро. Наблюдается довольно сложная система строения внешнего ядра. Оно состоит из некоторого, периодически меняющегося количества сфер, которые время от времени останавливают свое вращение, что визуально подтверждается затуханием в виде слияния их с телом ядра. У вращающихся сфер также в виде сферы присутствует слой темного цвета в качестве смазывающего материала, возможно, водосодержащей жидкости. В некоторых частях внешнего ядра наблюдаются подводные каналы и конвективные потоки, посредством которых происходит перетекание жидких веществ (металлов) в его верхние горизонты и далее – в мантию. Каналы и конвективные потоки, как правило, имеют фиксированное положение, но подвержены динамическому развитию или затуханию, по аналогии со сферами ядра.

Наблюдается уменьшение размеров внутреннего ядра за период 10 лет. Следует отметить, что китайские ученые Yang, Y., & Song, X. (2020, 2023) [6, 7] и другие считают, что внутреннее ядро растет в результате медленного затвердевания жидкого внешнего ядра, выделяет легкие элементы и скрытое тепло на границе внутреннего ядра, обеспечивая энергию для конвекции внешнего ядра и генерации геодинамо (Glatzmaier & Roberts, 1995). Конечно, десятилетний масштаб наблюдений – слишком короткий для раскрытия динамики процессов, происходящих в ядре Земли, но мы надеемся, что результаты настоящих РТТ-исследований будут полезны ученым, изучающим глубинные слои планеты как дополнение к традиционным сейсмологическим методам.


Таким образом, РТТ можно рассматривать как информативный инструментальный для изучения глубинного строения Земли, в том числе ядра и мантии, а также разломно-блоковой тектоники литосферы.

Одним из главных достоинств метода РТТ является возможность картирования и определения пространственного положения зон тектонических разломов и разрывных нарушений, которые создают блоковый характер строения земной коры, контролируют залежи углеводородов (УВ), являются каналами подпитки УВ и влияют на формирование высокопродуктивных трещинных коллекторов [3].

Из накопленного опыта исследований месторождений полезных ископаемых эндогенного генезиса установлена связь залежей с мантийными (корневыми) разломами, что подтверждается работами многих мировых ученых. Наша база данных содержит информацию о более 300 тестовых участках – наиболее известных

эндогенных месторождений золота, серебра, сурьмы, алмазов, примеры успешной эксплуатации которых известны в мире.

РТТ оказывают неоценимую помощь в оценке сейсмичности территорий и прогнозировании опасных геологических процессов. Их способность комбинировать радиоволновые и тепловые измерения позволяет выявлять аномалии в земной коре, которые могут указывать на возможные очаги землетрясений (зоны ВОЗ) или другие потенциально опасные геологические явления.

Дальнейшие исследования, в частности, изучение верхних слоев Земли, которые влияют на формирование геодинамических процессов основных тектонических элементов помогут в расшифровке палеотектонических процессов, сформировавших континенты и структуры меньшего порядка. Комплексный анализ всех существующих методов глубинного изучения недр и ДЗЗ реально приблизит разработку программы прогнозирования поисков полезных ископаемых, а также позволит составлять краткосрочные прогнозы процессов, формирующих тектоническую активность Земной коры. 

ЛИТЕРАТУРА

- 1 Аплонов С.В. Геодинамика. Учебник. Санкт-Петербург. Издательство С.-Петербургского университета. 2001. С. 30-38
- 2 Hrvoje Tkalčić. Australian National University. The Earth's Inner Core Revealed by Observational Seismology. Publisher: Cambridge University Press. February 2017 ISBN: ISBN 9781107037304. DOI:10.1017/9781139583954
- 3 Stepchenko V.N., Bagryancev V.A., Rodnaya V.A. (2019) Basics of Thermal Imaging Technologies and their experience. World of Geotechnics 1(61)'2019, УДК 550.836
- 4 Vernon F. Cormier, University of Connecticut. Michael I. Bergman. Peter L. Olson. Earth's Core: Geophysics of a Planet's Deepest Interior (pp.1) Publisher: Elsevier. February 2023. DOI:10.1016/C2016-0-01648-0
- 5 William F McDonough. University of Maryland, College Park. Earth's Core In book: Encyclopedia of Geochemistry (pp.1-13) January 2017. DOI:10.1007/978-3-319-39193-9_258-1
- 6 Yang, Y., & Song, X. (2020). Temporal changes of the inner core from globally distributed repeating earthquakes. Journal of Geophysical Research: Solid Earth, 125, e2019JB018652. <https://doi.org/10.1029/2019JB018652>
- 7 Yang, Y., & Song, X. (2023). Multidecadal variation of the Earth's inner-core rotation. Nature Geoscience January 2023 16(2):1-6. <https://doi.org/10.1038/s41561-022-01112-z>