

INFLUENCE OF THE MAGNETIC FIELD ON THE DEVELOPMENT OF LIFE AND PROCESSES ON EARTH

Violeta R. Yordanova, Andrey I. Andreev

*Department Geodesy, University of Architecture, Civil Engineering and Geodesy, Sofia, Bulgaria,
violeta.yordanova91@gmail.com*

*Department Artillery, Air Defense and Communication and Information Systems/NMU “Vasil Levsky”,
Shumen, Bulgaria, andreev_an@abv.bg*

Abstract: *This article aims to present the importance of studying the Earth's magnetic field. It is an important factor not only for the development of technology and the progress of civilization, it has a more fundamental task - the development and protection of life on Earth. The magnetic field is a major factor in many terrestrial phenomena and processes occurring around and on Earth. Its research and understanding provides answers to many questions related to nature, natural disasters and the overall development of the planet. The mission of the European Space Agency SWARM, opens new horizons and provides extremely valuable information about terrestrial processes and natural phenomena.*

Keywords: *magnetic field, earth magnetism, SWARM satellites, magnetic models*

ВЛИЯНИЕ НА МАГНИТНОТО ПОЛЕ ВЪРХУ РАЗВИТИЕТО НА ЖИВОТА И ПРОЦЕСИТЕ НА ЗЕМЯТА

Виолета Р. Йорданова, Андрей И. Андреев

Въведение

Основната роля на геомагнитното поле е да служи за щит на Земята, правейки я обитаема, като я предпазва от постоянната космическа радиация. То заема ключова позиция в еволюцията на планетата и живота на нея. Магнитното поле е свързано с битието на човека, много повече отколкото повечето хора предполагат. Въздействието му се разпростира в различни аспекти на заобикалящият ни свят – от устройството на бактерии, през средство за навигация на различни животински видове, до база за развитие на високите технологии. Ежедневно използваме средства за комуникация и навигация, които са базирани на разбирането на полето. Влиянието му върху живота на планетата не спира до тук, тъй като то се оказва и в основата на климатичните про-

мени и природни катаклизми. Ако до преди няколко години се е смятало, че глобалното затопляне се дължи изцяло на действията на човека, то вече има ясни доказателства за смекачането на неговата вина, а именно, Южноатлантическата аномалия и дупката, която образува в магнитосферата, пропускаща големи количества слънчева радиация.

Тази статия има за цел да покаже огромното значение на магнитното поле и колко е важно неговото задълбочено изследване, изучаване и разбиране. От огромно значение е фактът, че геомагнитното поле има фундаментална роля в развитието на Земята и въпреки това, за него се знае най-малко. С развитието на космическите технологии, данните от неговото изследване поставят повече въпроси пред научната общност, отколкото отговори.

1. Магниторецепция – усещане за магнетизъм

Магниторецепцията е едно от най-малко познатите сетива, с които еволюцията е дарила живота на нашата планета. Въпреки твърдите поведенчески доказателства за съществуването на това усещане, клетките, молекулите и механизмите, които посредничат сензорната трансдукция, остават неизвестни.

В средата на XIX в. руският зоолог Александър фон Мидендорф е сред първите, които правят предположението, че голяма част от животните могат да използват магнитното поле на Земята като ориентир за навигация. Минава повече от век, преди тази научна интуиция да се превърне във факт. Едва през 60-те години на миналия век, с узряването на поведенческата биология от описателна към експериментална, Фридрих Меркел и Волфганг Вилчко успяват да докажат поведение, зависимо от магнитното поле на мигриращите птици. Първоначалната им демонстрация на магнитосензорно поведение при птиците се основава на важни експериментални характеристики – редукиционен подход, количествени параметри и контролирани условия на околната среда. С развитието на тези поведенчески тестове и разширяването на научната сфера през последните 20 години броят на видовете, идентифицирани с магнитен усет, нараства драстично. В списъка вече присъстват риби, костенурки, бозайници, птици, насекоми и дори бактерии.

Някои видове използват компаса си, за да прекосяват цели океани, други, за да намерят по-добра кал за скривалище, а трети – да ловуват и преследват плячката си. Някои мигриращи видове дори използват географските вариации в силата и инклинацията на земното поле, за да определят позицията си. Но как точно животните усещат магнитните полета остава сериозно коментирана и оспорвана тема. Докато физическата основа на почти всички други сетива е определена, никой не знае със сигурност, как животните и птиците възприемат магнитните полета.

Откриването и изследването на магниторецепцията е изключително сложен процес, основно по няколко причини. Първо, усещането на магнитното поле е изключително непонятно за хората

и липсата на това сетиво затруднява откриването му в другите индивиди. Второ, биологичната тъкан по същество е прозрачна за магнитните полета, съответно магниторецепторите, не би следвало да бъдат разположени на повърхността на животното, а вместо това могат да бъдат навсякъде из тялото, което налага да се използват усъвършенствани техники за триизмерно проучване и изобразяване. Друг проблем е, че най-вероятно магниторецепцията се осъществява от малък брой микроскопични, вътреклетъчни структури, разпръснати из тялото, без очевидна структура, специално отредена за магнитното ориентиране. И накрая, слабото взаимодействие между земното поле и магнитните моменти на електроните и атомите, които са приблизително една петмилионна от топлинната енергия при телесна температура, прави трудно дори предложението за такъв механизъм.

Определени са три основни механизма – електромагнитна индукция, феримагнетизъм и химични реакции, включващи двойки радикали. Хипотезата за електромагнитна индукция, например, се основава на изключително чувствителните електрорецептивни способности на някои морски видове. Различните хипотези, включващи магнетит или други феримагнитни материали, се основават на мощното взаимодействие на такива материали с магнитни полета. Механизмът на радикалната двойка разчита на относително ефективното изолиране на електронните и ядрени завъртания от други степени на свобода. Различните животни могат да откриват магнитни полета по различни начини, като поведенческите експерименти и микроскопските изследвания на възможни магниторецептори дават резултати, които са в съответствие и с трите механизма. Независимо от това, магниторецептивен орган все още не е идентифициран със сигурност при нито едно животно.

Способността на някои животни да намират пътя до точно определени местоположения по целия свят е една от големите мистерии на животинското царство. Така например, в края на всяка година, големите бели акули се насочват от бреговете на Калифорния към мистериозно място в средата на Тихия океан. Акулите пътуват над 1500 км до така нареченото „кафене на бялата акула”.

Акулите разполагат със специални рецептори – малки ями, пълни с течност, наречени ампули на Лоренцини, които са сгупчени около носа им и които могат да усетят промени в напрежението в околната среда. На теория тези електрорецептори, които обикновено се използват за откриване на електрическите нервни импулси на плячката, могат да уловят магнитното поле на Земята. Експерименти показват, че по един или друг начин акулите наистина могат да възприемат и реагират на магнитни полета, но да разберем дали акулите могат да ги използват за навигация на дълги разстояния или като вид карта е друг въпрос. Идеята, че акулите могат да се движат, като усещат тези полета, се основава на факта, че геомагнетизма на Земята не е равномерно разп-

ределен. Например, магнетизмът на планетата е най-силен близо до полюсите. Ако акулите могат по някакъв начин да открият фините смущения в магнитното поле на Земята, тогава те може би са в състояние да разберат по кой път се насочват и дори да знаят точната си позиция.

При птиците се предполага, че рецепторите на зависимия от светлината магнитен компас са разположени в ретината, тъй като окото е оптимизирано за събиране на фотони и неговата полусферична форма отговаря на изискването радикалните двойки да бъдат подредени под различни ъгли към магнитното поле. Теоретично те могат да бъдат разположени във всяка структура на ретината, като фоторецептори или ганглийни клетки. Магниторецепторите не е задължително да бъдат фиксирани към каквито и да било мембрани, ако се вземе предвид поляризацията на светлината, достигаща до магниторецепторите. Поляризираната светлина отгоре модулира ориентацията на магнитния компас, което показва, че поляризираната светлина е повлияла директно на зависимия от светлината магнитен компас на птиците, което предполага, че магниторецепторите са селективни за поляризирана светлина.

При гръбначните животни криптохромите са единственият клас протеини, които образуват радикални двойки при фотовъзбуждане. Следователно, понастоящем те са единствените кандидати-протеини за зависима от светлината магниторецепция. Криптохром 4 (Cry4) е особено интересен, защото е открит само при гръбначни животни, които използват магнитен компас. Въпреки това, неговата структура и локализация в ретината остават неизвестни.

2. Магнитното поле в навигацията

Най-масово използваната технология, базирана на изучаването на магнитното поле е навигацията. Независимо от начина на придвижване – въздушен, наземен или морски и дали говорим за ориентиране с обикновен компас или автоматизирани навигационни системи, процесите, случващи се в земното ядро определят геомагнитното поле, което е основа във всеки метод за навигация.

Компасът е едно от четирите велики открития на Древен Китай и първоначално е бил използван за гадаене, но в последните няколко хиляди години служи за определяне на посоката и ориентиране. Той ни сочи посоката на магнитната сила според нашето местоположение и точното определяне зависи от определянето на магнитна деклинация. Деклинацията се променя с местоположението и времето, което налага използването на геомагнитни модели за коригиране. Тъй като промените в геомагнитните полета са трудни за прогнозиране, за навигационна точност са необходими навременни актуализации на моделите. Прието е периодът за актуализация на всеки модел да бъде 5 години, след това следва да бъде актуализиран с ревизирани стойности на моделните коефициенти. За различни локални изследвания се създават деклинационни карти, които дават информация за посоката на деклинацията, които се обновяват на всеки 5 години, чрез наземни измервания на територията. За по-глобални изследвания и цели се създават магнитни мо-

дели, които определят всички компоненти на магнитното поле, чрез сателитни измервания на полето. Тези модели залягат като основа във всички автоматизирани системи за навигация. Световният магнитен модел (WMM) е именно такъв модел и се използва широко в навигацията. Създаден е основно за военна навигация – за ориентиране и насочване, използвайки данни от геомагнитното поле. Примерите включват, но не се ограничават до кораби, самолети и подводници. Намира широко приложение и в цивилните навигационни системи, като база за създаване на мобилните навигационни приложения, които сме свикнали да използваме ежедневно.

Земният магнетизъм може да бъде използван и като алтернативна навигационна система на GPS. Системите за глобално позициониране се приемат за повсеместни и достъпни, но те могат да бъдат засегнати от прекомерен шум, мъртви зони, прекъсване или загуба на сигнали, заглушаване и дори манипулации, което може да ги направи недостъпни, неточни или дори подвеждащи. Магнитното поле предоставя възможност за нова резервна система – MAGNAV, разбира се с по-ниска, но приемлива за целите точност. Това е възможно, използвайки магнитометри и точни карти на магнитните аномалиите и вариациите на полето, за получаване на информация, относно текущото местоположение.

Въпреки че полето се влияе от локални или широкообхватни смущения, то е достъпно по целия свят, особено над водните площи и е почти невъзможно да се заглушава или изкривява умишлено, особено от разстояние. Въпреки че са налични алтернативни решения за местоположение, навигация и време (APNT), то те са ограничени от визуалната среда, времето и липсата на топография над водата.

GPS точността определено е много по-голяма от тази на магнитната навигация, но тъй като това е проект и разработка на екип от Технологичния институт на военновъздушните сили на САЩ, в повечето случаи, точност до около един километър е напълно подходяща за целите на военните мисии.

3. Южноатлантическа магнитна аномалия

Южноатлантическата аномалия (ЮАА) е изключително интересен феномен с огромно влияние, не само за научната общност. Нейното изучаване и разбиране е от първостепенна важност както за мониторинг на нискоорбитната космическата инфраструктура, така и за изследването и произхода на климатични проблеми, като глобално затопляне и промените в нивото на Световния океан. Глобалният магнитен модел, който открива и изучава аномалията е моделът на Датския технически университет – CHAOS-7. Неговата основна цел е изучаването на магнитното поле и промените настъпващи в него, изследвайки еволюцията на Южноатлантическата аномалия и бързите промени в полето в Тихоокеанския регион. Подробната информация, с която разполагаме в днешно време се дължи на сателитната мисия SWARM на Европейската космическа агенция. Тя предоставя изключително пълно и хомогенно покритие от данни, проследява еволюцията на слабото магнитно поле, както и развитието на радиационната аномалия.

Южноатлантическата аномалия е регион на земната повърхност, където интензитетът на магнитното поле е особено нисък. Тази аномалия съществува, защото вътрешният радиационен пояс на Ван Алън на Земята се доближава най-близо до повърхността на планетата, причинявайки увеличен поток от енергийни частици. Това води до проникване на слънчева радиация дълбоко в земната атмосфера, създавайки сериозни проблеми за системите за позициониране на самолети, кораби и космически кораби. Смушения в нискоорбитните сателитни мисии, преминаващи през определен регион в геопространството, започват да се регистрират още в края на 50-те години на миналия век. Така започва усиленото изследване и документиране на района и защо именно там сателитите са изложени на значително по-високи нива на радиация.

Разбирането на миналите и настоящите местоположения, мобилността и бъдещата траектория на ЮАА е едновременно основно научно предизвикателство и важен обществен проблем. Нужно е разбиране на работата на геодинамото и на връзката между ядрото и мантията, и нейното въздействие върху динамиката на ядрото, тъй като това би имало сериозни последици за работата и защитата на наземните инструменти, наземните станции и космическите кораби.

Сегашното местоположение на центъра на Южноатлантическата аномалия, в Бразилия, е свързано с местоположението на петна с обратен геомагнитен поток (RFPs) на границата между ядрото и мантията. Все още не е ясно дали сегашното местоположение на ЮАА е постоянна гранична характеристика на замното магнитното поле или е хаотично променлива. Направена е схема за асимилация на данни, за период от 100 години, която прогнозира разпространението на аномалията в близко бъдеще към Тихия океан, което може да предполага преходна характеристика на геодинамото. Но тази прогноза е твърде кратка, за да се определи със сигурност дългосрочното поведение на ЮАА. Но обратно на хипотезата, въз основа на археологически материали, се смята, че Южноатлантическата аномалия е повлияла на повърхностните геомагнитни полета на Африка и Южна Америка в продължение на няколко хиляди години. За целта са използвани локални времеви редове за интензитет и посока, заедно с наблюдение на голяма провинция с ниска скорост на срязване (LLSVP), в най-ниската мантия под Африка, съвпадаща с исторически африкански петна с обратен поток, като се прави предположението, че изхвърлянето на основния поток се случва предимно на ръба на LLSVP. В този модел петната с обратен геомагнитен поток се образуват стохастично на ръба на LLSVP и след това се отклоняват на запад. Прогнозата, която дава този модел е, че особеност с нисък интензитет, наблюдавана в африканските археомагнитни записи, ще бъде наблюдавана по-късно в Южна Америка. Този сценарий е потвърден с последващите времеви редове на археомагнитния интензитет от Южна Америка. Времето закъснение между африканските и южноамериканските повърхностни минимума изисква често експулсиране на множество петна с обратен поток.

Трябва да се има предвид, че за южното полукуълбо има ограниченото количество археомагнитни данни, от което следва да се внимава с интерпретации на всякакви модели на археомагнитно поле, приложени към региона на Южноатлантическата аномалия. Въпреки това, някои модели

на археомагнитно поле показват постоянен минимум на повърхностния интензитет в Южния Атлантис, както и доказателства, че ЮАА се разширява и се отклонява на запад от 1400 г.

Изследване на магмени скали от вулканичния остров Св. Елена, разположен в южната част на Атлантическия океан и попадащ на територията на ЮАА, доказва че поведението на геомагнитното поле е аномално в Южния Атлантис за времеви мащаби от милиони години, по-точно – 11 милиона години. Изследванията показват, че в геоложки времеви мащаби геомагнитните секулярни вариации постоянно се засилват в околностите на о. Св. Елена. Това подкрепя хипотезата, че Южния Атлантис е район на необичайно геомагнитно поведение, произтичащо от взаимодействието между ядро и мантия, като същевременно намалява вероятността за глобално обръщане на полярността на този етап.

Записите на магнитното поле на Земята са запазени в магматични скали, предлагащи подробен поглед върху магнитната история на планетата. Изследвани са скали от 34 вулканични изригвания, случили се на Света Елена преди 8-11 милиона години. След изстиването на вулканичните скали, малките частици железен оксид в тях се намагнетизират, като запазват посоката и силата на магнитното поле на Земята по това време и на това място. Линиите на земното магнитното поле се движат от юг на север, докато геомагнитните записи от скалите показват, че магнитното поле на Света Елена е насочено в различни посоки по време на миналите изригвания, което предполага, че магнитното поле в този регион е нестабилно от милиони години. С течение на времето магнитното поле променя силата и посоката си, като тези флукутации могат да предизвикат обръщане на магнитното поле на Земята в далечно бъдеще, но предвид факта, че магнитното поле в региона на ЮАА е нестабилно от няколко милиона години, то не е вероятно да се свързва с такова предстоящо обръщане.

4. Влияние на геомагнитното поле върху климата

За връзката между магнитното поле на Земята и климата започва да се говори още през 70-те години на миналия век и е все по-силно дискутирана тема в последните години. Предполага се, че ниските геомагнитни интензитети се свързват с периоди на топъл климат, както и че дрейфа на магнитните полюси причинява размествания на големи региони с ниско атмосферно налягане, което води след себе си повишаване на циклонната активност и внезапни климатични промени.

Най-правдоподобната хипотеза в дългосрочен план, за връзката между геомагнитното поле и климата е свързана със скоростта на галактическите космически лъчи, идващи към земната повърхност. Този поток от радиационни лъчи се контролира от интензитета на магнитните полета на Слънцето и на Земята, като второто действа като предпазен щит. Високият интензитет предполага подсилен щит и ниска плътност на галактическите космически лъчи. При навлизането на тези лъчи в атмосферата, те могат да участват при образуването на облаци и да влияят на климата. Тоза означава, че намаленият интензитет би допускал по-голямо количество радиационни лъчи и на по-голяма дълбочина в атмосферата. По този начин, се обяснява предполагаемата връзка

между ниския магнитен интензитет и климатичното охлаждане, тъй като ниските нива на диполния момент изглежда се появяват малко преди началото на относително студени интервали. Въпреки всичко, тази връзка може и да е косвена, тъй като вариациите в интензитета на геомагнитното поле всъщност могат да бъдат свързани с вариации в орбиталните параметри на Земята, които се считат за основните климатоконтролиращи фактори.

Други хипотези посочват, че основната връзка между климата и геомагнитното поле се дължи на ефекта на геомагнитния интензитет върху разтворимостта на CO_2 в океаните. Те наблюдават, че ниските стойности на интензитета на геомагнитното поле намаляват разтворимостта на CO_2 в океана, което измества повече CO_2 в атмосферата повишавайки температурата.

В същото време проучвания сравняват напредването и отдръпването на алпийските ледници през последните три хилядолетия с увеличаване и намаляване на интензитета на геомагнитното поле, оценено от археомагнитни данни. Резултатите от тези проучвания предполагат възможна връзка между епизоди на охлаждане от стогодишен мащаб и повишена геомагнитна интензивност, противоположна на механизма на галактическите космически лъчи, но в съгласие с първите идеи, установени през 70-те години.

В едно от скорошните проучвания и изследвания на тази връзка, са използвани данни за повърхността на Южноатлантическата аномалия, извлечени от исторически геомагнитни модели, обхващащи последните 400 години и реконструиран модел на Глобално средно морско ниво, базиран на приливно-отливни данни от 1700 година. Изводът от изследването е, че с тенденциозното увеличаване на ЮАА, се генерира глобално средно изменение на морското ниво със закъснение от една година или по-малко. Това може да бъде обяснено по няколко начина.

Първият от тях е, че с увеличаването на площта на ЮАА се улеснява навлизането на заредени частици от космоса. В резултат на това ще имаме по-топла атмосфера, което от своя страна предполага последващо топене на големи ледени шапки, което в крайна сметка ще доведе до по-голямо повишаване на глобалното морско равнище. Влизането на галактическите космически лъчи в атмосферата зависи както от слънчевите, така и от земните магнитни полета, следователно тези корелации могат да бъдат повлияни и от фактор, зависещ от ниския геомагнитен интензитет поради присъствието на ЮАА в региона и непрекъснатото му нарастване през последните векове.

Друг предложен начин е, че възможно намаляване на озоновия слой в горната стратосфера над южноатлантическия регион може да модифицира радиационния поток в горната част на атмосферата и следователно може да причини промени във времето и климатичните модели, включително облачното покритие. Вариациите в слънчевата активност по време на 11-годишен цикъл са по-интензивни при по-къси дължини на вълната, която включва UV лъчение. Промените в UV

радиацията променят концентрациите на озона и водят до промени в динамиката на атмосферната циркулация.

Както можем да наблюдаваме, тези два метода свързват слънчевата активност, производството на галактически космически лъчи и геомагнитното поле с климата на Земята, като предполагат, че всички те могат да работят заедно и да са необходими за пълно обяснение на откритите резултати. Но има и още един вътрешен механизъм, чрез който динамиката на външното ядро може да причини изменение на магнитното поле и еластична деформация на земната повърхност.

От всичко до тук, може да се направи твърдото заключение, че наличието на Южноатлантическата аномалия и геомагнитното поле играят съществена роля в климатичните процеси на Земята. Важно е да се отбележи, че намерената връзка не означава, че геомагнитното поле е изцяло отговорно за промените в климата, а че е важен движещ компонент за вариациите му. Този резултат е особено точен, тъй като би могъл да помогне за намирането на физически метод, способен да обясни тази връзка, като отхвърли онези, в които климатът контролира геомагнитното поле.

5. Обръщане на полюсите

Магнитното поле на Земята не винаги е било ориентирано така, както е днес. Посоката му се обръща средно на всеки 300 000 до 1 000 000 години, като това преобръщане не е много внезапно – отнема около 5 000 години. Няма открита закономерност в модела на обръщанията, защото периодът между различните обръщания е изключително променлив, като са известни промени в посоката както за 40 000 години, така и за 35 000 000 години. Дълъг интервал от една полярност може да бъде последван от кратък интервал с противоположна полярност.

Според наличните данни, по време на обръщане силата на диполния компонент се свива до нула, като запазва ориентацията си. След това отново нараства до предишната си сила, но вече е с противоположна ориентация. По време на обръщане външната част на полето е силно изменена. Отсъствието на диполен компонент означава, че слънчевият вятър би достигал много по-близо до Земята и частиците на космически радиационни лъчи, които обикновено се отклоняват от земното поле или са уловени във външните му части, ще достигнат до повърхността на планетата. Тези частици могат да доведат до генетични увреждания във флората и фауната, което би довело до изчезването на едни видове и появата на други. Но на този етап все още няма убедителни доказателства за такива промени в момент на обръщане на полето.

За сметка на това доказателствата за магнитни обръщания са безспорен факт. Най-добрите доказателства идват от центрове на разпространения в средата на океаните. Събраните данни показват, че ивици от противоположно намагнетизирано океанско дъно се появяват симетрично

около такива характерни зони като Средноатлантическия хребет. Обяснението за тях е, че разтопен базалт изтича от билото и се разпростира в двете посоки. Докато базалтът се охлажда, той улавя ориентацията на преобладаващото магнитно поле и го разнася по разстилащото се морско дъно. Базалтът, излизащ от билото и се охлажда на по-късен етап, улавя следващата ориентация на полето. По този начин морското дъно действа като магнитна лента, улавяйки променливата последователност от ориентации на полето.

Повече информация за диполния компонент може да се получи от магмените скали, като тези образувани на магнитния екватор, съдържат хоризонтално намагнитване, а тези образувани на по-високи магнитни ширини, съдържат поле, насочено нагоре или надолу с наклон, който зависи от географската ширина. Деклинацията на намагнитването допълнително разкрива посоката към магнитния полюс в момента на намагнитването. Заедно тези два ъгъла могат да се използват за извеждане на местоположението на виртуален магнитен полюс спрямо местоположението на пробата.

Тази техника е била използвана за изследване на историята на земното поле на различни места. Когато виртуалните полюси се определят от прогресивно по-стари скали, се установява, че те се лутат с времето. Дълги години това „полярно скитане“ се е смятало за характеристика на геомагнитно поле. Последните проучвания обаче доказват, че това е резултат от континентален дрейф – не магнитните полюси са се преместили значително спрямо географските, а континентите. По този начин прогресивно по-старите скали всъщност са се образували, когато континентите са били на различни места от днешните.

Обръщането на основното поле се причинява от механизма на динамото, който поражда полето на първо място. Времето за обръщане е толкова бързо, че очевидно не може да бъде причинено от геоложки процеси. Също така, обръщанията не могат да бъдат причинени от прост разпад и повторна поява на вече съществуващо поле. Електрическата проводимост на ядрото е достатъчно висока, за да не позволи на полето да се разпадне за толкова кратък период от време. По някакъв начин малките промени в конфигурацията на магнитното поле на ядрото трябва да бъдат усилены чрез термична конвекция, което води до бързо нарастване на полето в обратна посока. Чрез модели на основното магнитно поле е доказано съществуването на това свойство. Решения на уравненията, описващи генерирането на основното поле, са нестабилни и малки промени могат да доведат до появата на решения с противоположен знак.

От всичко казано до тук, в крайна сметка има ли опасност за живота на Земята и как би му се отразил този процес? Споменахме една хипотеза за въздействието върху растенията и животните, но в крайна сметка за няма никакви убедителни доказателства за такива промени в момент на обръщане на полето. Според научните изследвания и заключения на този етап е почти сигур-

но, че няма опасност за живота на Земята. Тъй като магнитното поле на Земята се съдържа в космическата област, известна като магнитосфера и е под постоянното въздействие на слънчевия вятър. Магнитосферата отклонява много, но не всички, високоенергийни частици, които изтичат от Слънцето и от други източници в галактиката в космическите ветрове. Понякога Слънцето е особено активно, например когато има много слънчеви петна и може да изпрати облаци от високоенергийни частици по посока на Земята. По време на такива слънчеви изригвания и изхвърляне на коронална маса, астронавтите в земна орбита се нуждаят от допълнително убежище, за да избегнат по-високи дози радиация. Така знаем, че всъщност магнитното поле на Земята предлага само известна, а не пълна устойчивост на радиационни частици от космоса. Действително високоенергийните частици могат всъщност да бъдат ускорени в магнитосферата.

На повърхността на Земята атмосферата е тази, която действа като допълнителен щит, за да спре всички енергийни частици, освен най-силно енергийната слънчева и галактическа радиация. При липса на магнитно поле атмосферата все още би функционирала и би спряла по-голямата част от радиацията.

Тъй като човешките същества и техните предци населяват Земята в продължение на няколко милиона години, през този период е имало много обръщания и не е открита очевидна връзка между човешкото развитие и промяната на магнитното поле. Също така, моделите на обръщане на полюсите не съвпадат с моделите на изчезване на видовете по време на геоложката история.

Различни животински видове, използват магнитното поле на Земята за определяне на посоката при миграции, но предвид факта, че едно обръщане отнема няколко хиляди години, тоест в продължение на много поколения от всеки вид, всяко животно може да се адаптира към променящата се магнитна среда или да разработи различни методи за навигация.

Заключение

Влиянието на магнитното поле върху Земята е всеобхватно. Почти няма сфера от нашия живот, в която то да няма важно участие. Въпреки това поради непостоянният си характер, поражда много въпроси. Има множество хипотези относно неговото бъдещо развитие и по какъв начин ще повлияе върху Земята, но нито една не може да даде каже с точност, какво точно ще се случи в далечното бъдеще. На този етап полето може да бъде предвидено и моделирано за краткосрочни периоди от време и именно заради това е от съществено значение негово изучаване и намирането на категорични моетоди за разбирането му. Развиването и подобряването на моделите на магнитното поле, както и изследването му са основополагащи за усъвършенстването на технологиите и за разбирането и мониторинга на климатичните промени и природни феномени.

References

1. [Nordmann, G. C., Hochstoeger, T., & Keays, D. A. (2017). Magnetoreception-A sense without a receptor. *PLoS biology*, 15(10), e2003234. <https://doi.org/10.1371/journal.pbio.2003234>]
2. [Magnetoreception in animals Sönke Johnsen and Kenneth J. Lohmann, *Physics Today* 61, 3, 29 (2008); <https://doi.org/10.1063/1.2897947>]
3. [Anderson, J.M., Clegg, T.M., Vêras, L.V.M.V.Q. *et al.* Insight into shark magnetic field perception from empirical observations. *Sci Rep* 7, 11042 (2017). <https://doi.org/10.1038/s41598-017-11459-8>]
4. [Map-like use of Earth’s magnetic field in sharks, Bryan A.Keller, Nathan F.Putman, R. Dean Grubbs, David S.Portnoy, Timothy P.Murphy, May 6, 2021 <https://doi.org/10.1016/j.cub.2021.03.103>, <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0960982221004760>]
5. [Expression patterns of cryptochrome genes in avian retina suggest involvement of Cry4 in light-dependent magnetoreception, Atticus Pinzon-Rodriguez, Staffan Bensch and Rachel Muheim, Royal Society Publishing 28 March 2018 <https://doi.org/10.1098/rsif.2018.0058>]
6. [Double-Cone Localization and Seasonal Expression Pattern Suggest a Role in Magnetoreception for European Robin Cryptochrome 4, Anja Günther, Angelika Einwich, Emil Sjulstok, Karl-Wilhelm Koch, Ilia A. Solov’yov, Henrik Mouritsen, *Current Biology* VOLUME 28, ISSUE 2, P211-223.E4, JANUARY 22, 2018, DOI:<https://doi.org/10.1016/j.cub.2017.12.003>]
7. [<https://www.ngdc.noaa.gov/geomag/WMM/limit.shtml>]
8. [Magnetic-Field Navigation as an 'Alternative' GPS?]
9. [The CHAOS-7 geomagnetic field model and observed changes in the South Atlantic Anomaly, Christopher C. Finlay, Clemens Kloss, Nils Olsen, Magnus D. Hammer, Lars Tøffner-Clausen, Alexander Grayver & Alexey Kuvshinov]
10. (Konradi et al. 1994; Deme et al. 1999; Heirtzler 2002; Lean 2005; Auvergne et al. 2009; Домингос и др. 2017)
11. [Amit, H., Terra-Nova, F., Lézin, M. *et al.* Non-monotonic growth and motion of the South Atlantic Anomaly. *Earth Planets Space* 73, 38 (2021). <https://doi.org/10.1186/s40623-021-01356-w>]
12. (Bloxham et al. 1989; Olson and Amit 2006)
13. Aubert (2015)
14. . (Tarduno et al. 2015; Hare et al. 2018) (Trindade et al. 2018; Hartmann et al. ал. 2019)
15. (напр. Jackson et al. 2000)
16. (Tarduno 2018)
17. (Brown et al. 2018; Hellio and Gillet 2018; Panovska et al. 2019).

18. Campuzano et al. (2019)
19. [Amit, H., Terra-Nova, F., Lézin, M. *et al.* Non-monotonic growth and motion of the South Atlantic Anomaly. *Earth Planets Space* **73**, 38 (2021). <https://doi.org/10.1186/s40623-021-01356-w>]
20. [*Elevated paleomagnetic dispersion at Saint Helena suggests long-lived anomalous behavior in the South Atlantic*, Yael A. Engbers, Andrew J. Biggin, Richard K. Bono, Proceedings of the National Academy of Sciences Aug 2020, 117 (31) 18258-18263; DOI: 10.1073/pnas. 2001217117]
21. [Wollin G, Ericson DB, Ryan WBF. Magnetism of the Earth and climatic changes. *Earth Planet. Sci. Lett.* 1971; 12: 175–183.View Article]
22. [Bucha V. Variations of the geomagnetic field, the climate and weather. *Stud. Geophys. Geod.* 1976; 20:149–167.View Article]
23. [Thouveny N, Bourlès DL, Saracco G, Carcaillet JT, Bassinot F. Paleoclimatic context of geomagnetic dipole lows and excursions in the Brunhes, clue for an orbital influence on the geodynamo? *Earth Planet. Sci. Lett.* 2008; 275 (3–4): 269–284.View Article]
24. [Campuzano SA, De Santis A, Pavón-Carrasco FJ, Osete ML, Qamili E (2018) New perspectives in the study of the Earth’s magnetic field and climate connection: The use of transfer entropy. *PLoS ONE* 13(11): e0207270. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0207270>]
25. [McPherron, Robert L.. "geomagnetic field". *Encyclopedia Britannica*, 7 Jun. 2021, <https://www.britannica.com/science/geomagnetic-field>. Accessed 3 November 2021.]
26. [<http://www.geomag.bgs.ac.uk/education/reversals.html>]