

VPLIV POTRESOV NA VEDENJE ŽIVALI THE EARTHQUAKE INFLUENCE ON ANIMALS BEHAVIOUR

Igor Pfundner

Povzetek. Ljudje že tisočletja opažajo čudno vedenje živali pred močnejšimi potresi. Znanstveniki to povezujejo z anomalijami zemeljskega magnetnega polja pred potresi. Razlag za lokalne magnetne anomalije pred potresi je bilo več. Ovrgli so razlago zaradi vpliva piezoelektričnega učinka in podzemnih tokov tekočin. Aktualna pa je razlaga o nastanku lokalnih magnetnih anomalij zaradi plastičnih deformacij podzemnih kamnin pred in med potresi - kamnine so pred in med potresi pod mehanskim pritiskom. Pri tem se zaradi trganja peroksidnih vezi pojavijo električne vrzeli, ki omogočajo pretok elektronov skozi kamnine. Zaradi plastičnih deformacij kamnin nastaja tok v kamninah. Poveča se tudi prevodnost kamnin, tako da zaradi razlike električnih potencialov steče dodaten tok. Električni tokovi povzročijo magnetne sunke in nizkofrekvenčno elektromagnetno sevanje. Živali lahko te pojave čutijo preko svojih geomagnetnih senzorjev, ki jih uporabljajo za orientacijo. Pomemben element geomagnetnega senzorja je feromagnetni kristal magnetit. Med drugim so ga odkrili v živčnih celicah golobov. Prav tako so raziskani tudi drugi vplivi statičnega magnetnega polja na žive organizme, vendar so zanje potrebne večje spremembe magnetnega polja, kot se tipično pojavljajo ob potresih.

Abstract. People have been noticing strange behaviour of animals before stronger earthquakes. Scientists connect this to anomalies of Earth magnetic field before earthquakes. There were few explanations for local magnetic anomalies. Scientists dropped the one based on piezoelectric effect and the one based on underground fluid streams. But lately, there has been an explanation, which is widely accepted and explains generation of magnetic anomalies by plastic deformation in rocks before earthquakes in which period the rocks are under a lot of mechanical pressure. Plastic deformation of rocks leads to breaking of peroxy bonds. So called positive holes are created as a result of that. Positive or p-holes make possible travelling of electrons through rocks. Electrons can move from one p-hole to another. That generates an electrical current through rocks and increases the conductivity of the rocks. Electrical currents generate magnetic pulses and low frequency electromagnetic emissions. Animals can feel these phenomena using their geomagnetic sensors normally used for orientation. A crucial element of these sensors is ferromagnetic crystal magnetite. Among others, it was discovered in nerve cells of pigeons. There are also other effects of static magnetic fields that influence living organisms, but the magnitude of magnetic anomalies related to earthquakes is too low for these effects to take any action.

Uvod

Študent David Jay Brown je leta 1990 v laboratoriju USC Neuroscience Building's Learning and Memory opazil, da so laboratorijski zajci postali razburjeni. Pet minut so divje poskakovali po svojih kletkah, dokler ni stavbe stresel potres magnitude 5,2, ki je takrat prizadel Los Angeles.

Obstaja več zapisov in pričevanj o nenavadnem obnašanju živali pred večjimi potresi, posebej na Kitajskem. Pred potresom leta 1966 v kitajski pokrajini Hsingtai, ki je imel magnitudo 6,8, naj bi vsi psi zapustili svoja mesta in se tako izognili katastrofi. Podobnih poročil je bilo na Kitajskem še veliko.

Najbolj nenavadno pa naj bi bilo vedenje kač pred potresom. Te naj bi namreč sredi zime zlezele na površino zemlje, čeprav so zaradi tega zmrznile. Tudi somi naj bi postali nemirni pred potresi in poročajo, da so celo poskakali na kopno. Skozi dolgo zgodovino Kitajske je

bilo opaziti spremembe v obnašanju različnih vrst živali pred potresi. Spremembe so bile predvsem nemir in zmedenost živali (Tributsch, 1979).

Ker naj bi torej živali omogočile napovedati potres, so se leta 1976 kitajski znanstveniki s področja biologije, geofizike, kemije, meteorologije in biofizike združili z namenom, da preučijo obnašanje živali. Zbrali so podatke o več kot 2000 primerih nenavadnega vedenja živali pred potresi. Te živali so pripadale 58 vrstam, od katerih je bila večina domačih. Večina teh vedenjskih pojavov se je zgodila v 24 urah pred potresom, vendar so jih opazili tudi več kot teden dni prej.

Takšno vedenje živali pred potresi lahko razložimo s pomočjo sprememb magnetnega polja, ki naj bi se pojavljale pred potresi. Živali namreč lahko zaznavajo te spremembe v smislu orientacije. Magnetne spremembe pred večjimi potresi lahko določene živali zaznajo, jih filtrirajo in nagonsko na njih reagirajo. Elektromagnetne spremembe morajo živali filtrirati tako, da jih ločijo od drugih signalov iz okolice.

Magnetno polje Zemlje lahko približno izrazimo s poljem ekscentričnega dipola, ki ne sovпада z geografskim. Razlika med pravim magnetnim poljem in poljem ekscentričnega dipola je **anomalija**. Anomalije, ki nastanejo na posameznih delih zemeljske površine, so **lokalne anomalije**. Največje vrednosti lokalnih anomalij presegajo jakost zemeljskega magnetnega polja. Gostota magnetnega polja na ekvatorju je približno 30 mT in približno dvakrat tolikšna na geomagnetnih polih. Na območju Slovenije pa je približno 45 mT.

Anomalije elektromagnetnega polja pred, med in po potresu

Tony Fraser-Smith, profesor elektrotehnike na Stanford University, je odkril anomalije magnetnega polja, ki so verjetno povezane s potresom Loma Prieta. Potres, ki se je zgodil v Kaliforniji Oktobra 1989, je imel magnitudo 7,1. Profesor je ravno v času pred potresom meril spremembe magnetnega polja zaradi električne železnice v San Franciscu. Senzor magnetnega polja je namestil 7 km od epicentra potresa. Že dva tedna pred potresom je senzor zaznal veliko povečanje magnetnega polja. Temu povečanju je sledilo še večje, le tri ure pred potresom. Te anomalije magnetnega polja so se pojavljale še tri mesece po glavnem potresnem sunku (Karakelian D, 2001).

V svetu je bilo več pojavov, ko so naključno izmerili anomalije magnetnega polja, ki so najverjetneje povezane s potresi.

Raziskovalec Friedemann Freund iz NASA je izvajal poskuse s kamninami, ki jih je mehansko obremenil. V kamninah je nastal pozitiven naboj, ki je naraščal z obremenitvijo. Ta naboj je povzročil električno polje, ki je generiralo magnetno polje. S tem bi lahko razložili spremembe elektromagnetnega polja v okolici zemeljskih prelomnic (Freund, 2003).

Potres nastane, ko se dve tektonski plošči zadaneta ali drsita ena ob drugi. Spremembe elektromagnetnega valovanja se lahko pojavijo, ko se kamnine na meji tektonskih plošč drobijo.

Pozitivni naboj, ki ga odda obremenjena kamnina, lahko razloži tudi nekatere druge pojave pri potresu. Del površine Zemlje postane pozitivno nabit. Pozitivno nabiti delci ionosfere bodo zaradi tega izrinjeni in na njihovo mesto bodo prišli negativno nabiti delci. Takšno premeščanje naboja lahko povzroči motnje v radijskih signalih, kakršne so zaznali pri velikem Čilenskem potresu leta 1960 in potresu Good Friday na Aljaski leta 1964 (Freund F T, 2003).

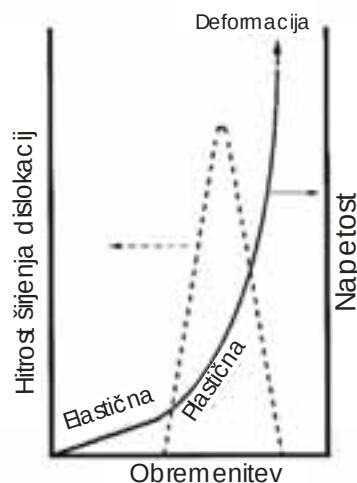
Prav tako lahko pojasnimo infrardeče valovanje, ki se kaže kot svetlikanje, opaženo pred nekaterimi potresi. Pred potresi med letoma 1965 in 1967 na Japonskem je bilo namreč opaziti skrivnostno svetlobo, ki je bila verjetno posledica oddane energije pri drgnjenju kamnin. NASA-ini znanstveniki so v Goddard Space Flight Center-u pred potresom zaznali infrardečo svetlobo na dolžini 100 km. Tudi Freund je s poskusi dokazal, da pozitivni naboj, ki nastane ob pritisku na kamnino, odda infrardečo valovanje (Freund, 2003).

Vzroki za nastanek električnih tokov v Zemlji pred potresi

Plošče, ki tvorijo Zemljino skorjo, se ves čas premikajo relativno ena na drugo. Posledica so razdružitve, trki in drsenje ene plošče mimo druge. Premiki plošč se pojavijo zaradi konvekcije v Zemljinem plašču, ki izvira iz neenakih gostot kamnin na meji med plaščem in jedrom. Kjer plošče trčijo ali se drgnejo druga ob drugo, deluje na njih sila. Zaradi sile se kamnina uklanja in poka. Ko kamnina počí, v trenutku sprosti zbrano mehansko energijo. Deli kamnin začnejo suvati ena ob drugo vzdolž ploskve preloma. To sprosti seizmične valove, ki jih čutimo kot potres. Nekaj energije pa se sprosti že pred potresom v neseizmični obliki. V zgornjih plasteh zemeljske skorje se ob potiskanju s stalno hitrostjo enega velikega kamnitega bloka v drugega oba deformirata. Če povečujemo silo na kamniti blok, bo sprva deformacija elastična, kar pomeni, da bo kamnina po prenehanju delovanja sile povrnila obliko. Nato nastopi plastična deformacija, ki povzroči v strukturi mineralov kamnine dislokacije, ki se širijo. Dislokacije so linearne poškodbe v kristalu, kjer se mreža atomov na eni strani premakne v primerjavi z mrežo na drugi strani. Dislokacije potujejo s preskokom atomov z ene na drugo stran, brez premagovanja velikih energijskih nivojev. Ker se dislokacije razširijo po celem kristalu, ta trajno spremeni obliko. Pri še večji sili pa pride do združitve dislokacij in s tem do mikrorazpok, ki se združujejo v večje razpoke (Freund, 2003).

Električni naboj v kamninah

Številni predpotresni pojavi so posledica električnih tokov v Zemlji. Primer takih pojavov so lokalne anomalije magnetnega polja in nizkofrekvenčno elektromagnetno sevanje. Za anomalijo magnetnega polja je potreben električni tok primerne jakosti. Ker tokovi očitno prej niso tekli, lahko njihov nastanek povežemo s procesom priprave potresa. Prav tako je za EM sevanje potreben s časom spremenljiv električni tok. Lahko sklepamo, da je nastanek električnih tokov povezan z mehanskimi procesi pred potresom. Dolga leta so mislili, da električne tokove v zemeljski skorji pred potresi povzročata piezoelektrični efekt in potenciali zaradi podzemnih tokov tekočin (Freund F T, 2003)



Slika 1. Črtkana črta predstavlja hitrost širjenja dislokacij dn/dt , kjer je n število dislokacij.
Figure 1. Dashed line represents the rate of dislocation activation dn/dt , where n is the number of dislocation.

a) Od vseh naravnih sestavin zemeljske skorje, pride le pri kremenu do piezoelektričnega efekta. Če kristal kremenca stisnemo v pravi smeri, se med nasprotnima površinama pojavi električna napetost. Sila namreč spremeni porazdelitev pozitivnih in negativnih ionov. Pri elastičnih deformacijah so napetosti sorazmerne sili. V povprečju je Zemljina skorja sestavljena iz 15 % kremenca, na določenih predelih celo 55 %. Pritisk na kamnine, ki vsebujejo velik del kremenca, torej povzroči naelektritev vsakega kristala. Ker pa so kristali v kamninah naključno orientirani, se posamezne napetosti med seboj izničijo, kar pomeni, da zaradi tega ne bo obsežnega električnega polja (Freund, 2003).

b) Pri prehodu tekočin skozi ozke odprtine in dolge kapilare poroznih materialov se vedno pojavi naboj na stenah pretočnih kanalov. Pri tem imajo tekočine nasproten naboj kot stene. Vendar se zaradi podzemnih tokov tekočin pojavi napetost le nekaj mV na km, kar tudi ni dovolj za EM anomalije (Freund F T, 2003).

Teorija nastanka vrzeli v kamninah

Zadnje čase pa se uveljavlja razlaga za nastanek električnega toka v Zemlji pred potresom s pomočjo vrzeli. S teorijo se ukvarja Nasin znanstvenik Friedemann T. Freund. Nekatere kamnine so nastale s kristalizacijo magme, ki je vsebovala vodo. Del vode se je vezal na mineral s pomočjo hidroksida O_3X-OH , pri čemer je X lahko Si^{4+} , Al^{3+} ipd. Med ohlajanjem sta po dva hidroksida ustvarila peroksidno vez $O_3X-OO-XO_3$ (slika 2a). Te vezi so v vseh metamorfnih kamninah. Ko na takšno kamnino pritismo silo, se peroksidna vez pretrga, pri čemer se pojavita dva sedem valentna atoma kisika O^- , za razliko od običajnega O^{2-} . Lahko si jih predstavljamo kot O^- , vendar je primernejša predstava o manjkajočem elektrону v podmreži atomov O^{2-} . Mesto, kjer manjka elektron, imenujemo vrzel. Proces prikazuje slika 2.

Za pretrganje peroksidne vezi je potrebna plastična deformacija. Večina plastičnih deformacij nastane zaradi dislokacij znotraj obremenjene mineralne strukture. Kadarkoli se dislokacija

križa z peroksidno vezjo, jo pretrga (slika 2b). S tem funkcija dn/dt v odvisnosti od obremenitve na sliki 1 predstavlja kar funkcijo hitrosti nastajanja vrzeli.



Slika 2. Proces nastajanja vrzeli od mirovanja a), obremenitve kamnine, pri čemer se pretrga peroksidna vez b), do prehajanja elektronov na vrzeli c).

Figure 2. Schematics of p-hole activation from a dormant state a), over break of peroxy bond and activation of p-holes under stress b), to jump of an electron to p-hole.

V mreži O^{2-} , kjer nastane vrzel, gre lahko elektron iz O^{2-} na sosednji O^- in s tem zapolni vrzel (slika 2c). Pri tem se O^{2-} spremeni v O^- in O^- v O^{2-} . S tem pride do premika vrzeli oziroma pozitivnega naboja za eno enoto po O^{2-} matriki. Vrzeli se širijo po obremenjenem volumnu kamnine na površino. Obremenitev metamorfnih kamnin generira tok pozitivnih nosilcev naboja skozi kamnino, čeprav so sicer te kamnine dobri izolatorji.

Dobimo dve vrsti toka. Prvi je tok, ki se generira ob obremenitvi kamnine. Drugi tok nastane zaradi povečanja prevodnosti kamnine pri obremenitvi, pri čemer zaradi razlike napetostnih potencialov na kamnini steče električni tok.

Če bi spoznanja iz laboratorijskih meritev z obremenjenimi kamni prenesli na območje $10 \text{ km} \times 10 \text{ km} \times 10 \text{ km}$ okoli prelomnice, bi dobili električni tok 10^4 A za granit. Pri predpostavki, da ta tok radialno teče ven brez izgub, lahko pričakujemo tokove do 10^{-4} A/m^2 na razdalji 100 km od prelomnice. Takšni tokovi pa že lahko vplivajo na merjenje prevodnosti tal, povzročajo magnetne anomalije in sevajo nizkofrekvenčna elektromagnetna valovanja.

Del vrzeli doseže površino Zemlje in povzroči pozitivni naboj na površini. S tem se spremeni električno polje nad tlemi, kar povzroči motnje v ionosferi nad epicentrom (Takeuchi in sod., 2006).

Sunki električnega toka v zemeljski skorji

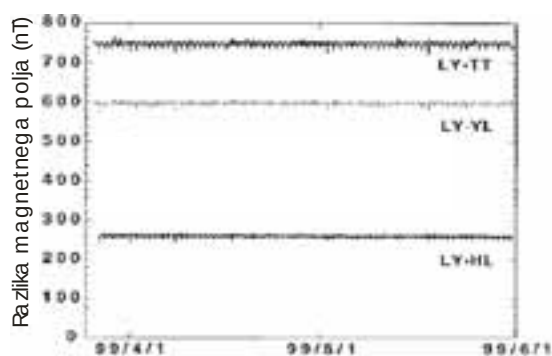
Če je del volumna kamnine vir vrzeli, njihovo širjenje navzven predstavlja električni tok, ki teče v sosednje kamnine. Tak tok omejuje samega sebe. Naboj, ki se širi v sosednje kamnine namreč ustvarja električno polje. Polarizacija polja je takšna, da širjenju vrzeli navzven nasprotuje in ga ščasoma prekine. Volumen izvora vrzeli postane negativno naelektren,

medtem ko sosednje kamnine zaradi sprejetih vrzeli postanejo pozitivno naelektrene. Posledica tega je povratni tok v volumen izvora, ki zmanjša polarizacijo polja. To je tok pozitivnih ionov H^+ , ki nastanejo z elektrolizo vode v porah kamnin in elektroni zemeljskih električnih tal.

Vsak tak izbruh vrzeli predstavlja električni tokovni sunek, ki ustvari lokalno magnetno polje. Ker tok naraste in upade, oddaja EM valovanje s frekvenco, ki je odvisna od časovnega odvoda tokovnega sunka (Takeuchi in sod., 2006).

Primer magnetnih anomalij zaradi potresa

Slike 3, 4 in 5 so izvrsten primer pulzirajočih tokov in pripadajočih anomalij magnetnega polja zaradi potresa. Leta 1999 je v Tajvanu delovala mreža osmih opazovalnic za merjenje magnetnega polja. Magnetometri na postajah so merili magnetno polje vsakih 10 minut. Na 120 km dolgem prelomu, ki poteka od severa proti jugu, je bil 21. 9. 1999 epicenter potresa Chi-Chi, z magnitudo 7,7. Opazovalnica LY je bila 20 km severno od severnega konca preloma, opazovalnica TW pa 60 km južno od južnega konca preloma. Dva meseca pred potresom je opazovalnica LY zabeležila velike spremembe magnetnega polja. Te spremembe so trajale do popotresnega sunka Chai-Yi 22. 10. 1999, z magnitudo 7,1. TW je zabeležila spremembe magnetnega polja po potresu Chi-Chi. Spremembe so se pomikale proti jugu in izginile malo po Chai-Yi sunku. Podatki iz treh pacifiških opazovalnic TT, YL in HL, ki niso zaznale sprememb, so odšteli od podatkov iz LY. S tem so odstranili vpliv magnetnih neviht ionosfere, ki so podobno vplivale na vse opazovalnice (slika 3).

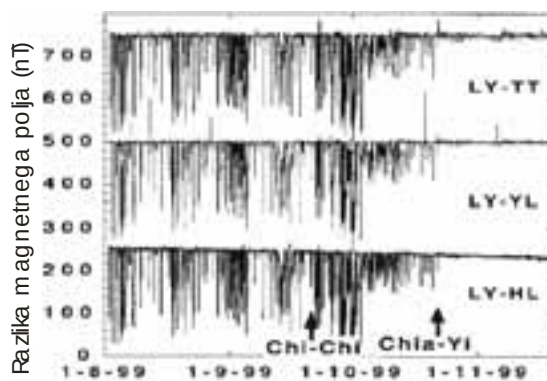


Slika 3. Mirno obdobje 6-4 mesec pred potresom; postaji LY, ki je bila severno od prelomnice Chi-Chi, so odšteli vrednosti iz treh pacifiških postaj.

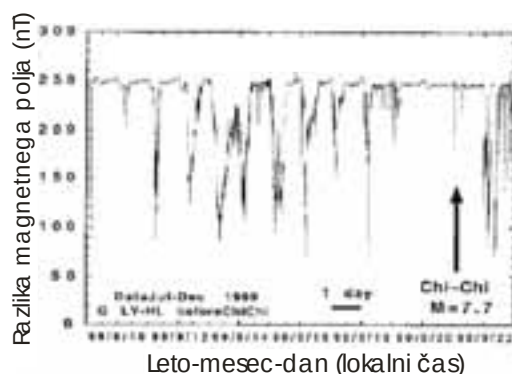
Figure 3. LY-TT, LY-YL and LY-HL signals during a quiet period, April-June 1999

Rahlo valovanje in zamik v neaktivni fazi je posledica različnih geografskih leg postaj. Amplitude magnetnih anomalij so bile med 100 nT in 200 nT, kar je 0,5 % zemeljskega magnetnega polja (slika 4). Anomalije so periodične.

Posamezni magnetni sunki med zadnjimi dnevi pred Chi-Chi potresom se dobro ločijo med seboj (slika 5). Večina jih je rahlo nesimetričnih, z ostrim nastopom. Vsak sunek traja nekaj ur (Takeuchi in sod., 2006).



Slika 4. Aktivno obdobje pred potresom Chi-Chi in popotresni sunek Chia-Yi.
Figure 4. LY-TT, LY-YL and LY-HL during an active period, August-December 1999, which includes the Chi-Chi earthquake and Chai-Yi aftershock.



Slika 5. Povečan prikaz sunkov magnetnega polja v obdobju 14 dni, med katerimi se je zgodil potres Chi-Chi.

Figure 5. Enlarged LY-HL section, 14 days long, spanning the Chi-Chi event.

Nizkofrekvenčni EM signali

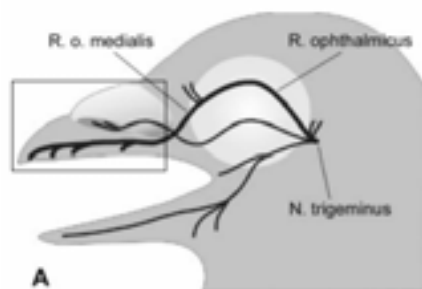
Ko se električni tokovi pojavljajo in izginjajo v zemeljski skorji z nekajurnimi periodami na sunek, močno sevajo v območju nizkih frekvenc. Ob istem času, kot so pri tajvanskem potresu izmerili magnetne anomalije, so na Japonskem izmerili tudi ULF šum med 0,007 Hz in 0,013 Hz. To so pripisali EM sevanju zaradi zemeljskih tokov v Tajvanu, ki naj bi se razširili več kot 4000 km skozi ionosfero. Tudi pri nekaterih drugih potresih so izmerili ULF, ELF in VLF EM valovanja, ki so jih merili tako na Zemlji, kot s satelitov (Takeuchi in sod., 2006).

Magnetno zaznavanje pri živalih

Kaj pa je razlog za nenavadno vedenje živali pred potresi? Ker so vrednosti anomalij majhne, bi jih lahko živali zaznale s pomočjo magnetnih senzorjev.

Odkrili so namreč magnetni vpliv na vedenje nekaterih skupin organizmov. S številnimi poskusi so ugotovili, da je za to zaslužen majhen kristal feromagnetnega minerala magnetita (Fe_3O_4), ki se formira biokemijsko.

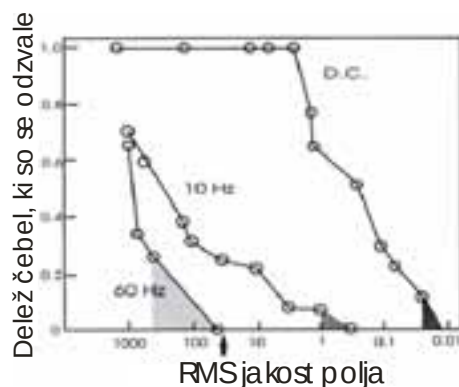
V bakteriji, kjer so najprej odkrili magnetit, se posamezne molekule združijo v verige. Tako se posamezni magnetni momenti seštevajo. Skupna magnetostatična orientacijska energija na eno celico je tudi do nekaj tisočkrat večja od termičnega šuma. Magnetit so odkrili tudi pri čebelah, pticah in ribah. Pri pticah in ribah so odkrili, da oftalmična veja trigeminalnega živca prenaša informacijo o magnetnem polju do možganov. Do možganov jih prenaša iz magnetoreceptorjev, ki se nahajajo v sprednjem delu glave (Davila, 2005).



Slika 6. Prikaz živčnih povezav v glavi goloba.
Figure 6. Scheme of the pigeon skull with course of nerves.

Odkrili so celice, ki vsebujejo magnetit in se nahajajo na skrajnih koncih trigeminalnega živca. Zanj se je izkazalo, da je visoko specializiran za magnetorecepcijo.

Iz obnašanja živali so ugotovili, da so nekatere vrste razvile občutljivost svojih magnetoreceptorjev do meje termičnega šuma. Glede na tipično količino magnetita v živalih, bi bila ta meja termičnega šuma ekvivalent magnetnega polja gostote 100 pT (Davila, 2005).



Slika 7. Meritve sposobnosti čebel, da razlikujejo magnetne signale različnih frekvenc.

Magnetorecepcija čebel je uglašena na frekvence pod 10 Hz.

Figure 7. Behavioral measurements of the ability of honeybees to discriminate extremely low frequency magnetic fields. The honeybee magnetoreception system is tuned for maximum sensitivities below 10 Hz.

Vsaj dva faktorja sta skozi evolucijo botrovala razvoju ultraobčutljivega magnetoreceptorskega sistema (do meje termičnega šuma). Prvi vključuje zmožnost živali selivk, da se vrnejo iz velikih razdalj. Naklon in jakost magnetnega polja zemeljskega dipola se namreč spreminjata na določen način z zemljepisno širino. Znano je, da se ptiči ne morejo orientirati pri magnetnih anomalijah. Prav tako so kiti in delfini nasedli zaradi magnetnih anomalij.

Drugi evolucijski faktor je povezan z dnevnimi spremembami geomagnetnega polja kot pomoč pri določanju časa. Čez dan sončno ogrevanje ionosfere povzroča električne tokove. To spremeni magnetno polje tudi za 100 nT. Dokazano je, da čebele uporabljajo to informacijo za časovno orientacijo. Odkrili so, da se čebele lahko naučijo razlikovati umetno ustvarjena magnetna polja v laboratorijih od naravnih. Zato so začeli merjenja, s katerimi so ugotovili, da so čebelji magnetoreceptorji uglaseni na frekvence pod 10 Hz in amplitude nekaj nT. Ugotavljanje vedenja čebel prikazuje slika 7. Slika kaže delež čebel, ki so razločile vsiljeno magnetno polje (Kirschvink J L, 2000).

Zaključek

Za ugotavljanje magnetnih anomalij ob potresih, bi lahko merili magnetno polje ob potresu. Problem načrtovanja takšnih meritev je, da je potrebno merilne inštrumente postaviti blizu epicentra potresa, ki ni vnaprej znan. Vendar je pojav takšnih magnetnih anomalij pokazalo več naključnih meritev magnetnega polja. Te so pokazale, da se magnetno polje ob potresu zares spremeni, tudi nekaj mesecev pred njim. Vendar so spremembe magnetnega polja opazili le ob večjih potresih, ki pa niso ravno vsakdanji pojav. Tudi nekaj uspešnih načrtovanih meritev magnetnega polja, kjer so inštrumente postavili blizu večjih prelomov, je potrdilo omenjene pojave. O nastanku magnetnih anomalij pa obstaja več razlag.

Glede na to, da so ovrgli več hipotez o nastanku magnetnih anomalij ob potresih, je bilo precej verjetno, da se to zgodi tudi Freundovi. Vendar so v NASA-inih laboratorijih pod njegovim vodstvom naredili več poskusov, ki so hipotezo potrdili.

Tudi poskusi z živalmi, izpostavljenimi magnetnemu polju, so pokazali, da se živali odzovejo na spremembe polja in to pojasnili s pomočjo kristala magnetita. Raziskani so tudi drugi vplivi statičnega magnetnega polja na organizme. Za njihov pojav pa so potrebna polja precej večjih vrednosti, kot nastajajo ob potresih.

Morda bi lahko s pomočjo teh spoznanj nekoč potrese, vsaj tiste močnejše, tudi napovedali.

Literatura

Ashcroft Neil W, Mermin N David, 1976: Solid State Physics.

Davila F A, 2005: Detection and Function of Biogenic Magnetite, Inaugural-Dissertation zur Erlangung des Doktorgrades der Fakultät fuer Geowissenschaften der Ludwig Maximilians Universität München, Deutschland.

Freund F T, 2003: Rocks That Crackle and Sparkle and Glow: Strange Pre-Earthquake Phenomena, Journal of Scientific Exploration, Vol. 17, No.1, str. 37-71.

Karakelian D, 2001: Electromagnetic Precursors to Earthquakes: Do They Exist?, Stanford University.

Kirschvink J L, 2000: Earthquake Prediction by Animals: Evolution and Sensory Perception, Bulletin of the Seismological Society of America, 90, 2, str. 312-323.

Kisslinger C, Suzuki Z, 1978: Earthquake Precursors, Center for Academic Publications Japan.

Lowrie W, 2004: Fundamentals of Geophysics, Cambridge University Press.

Rikitake T, 1966: Electromagnetism and the Earth's Interior, Elsevier Publishing Company.

Takeuchi A, Lau W S B, Freund F T, 2006: Current and surface potential induced by stress-activated positive holes in igneous rocks, Physics and Chemistry of the Earth, Special Issue.

Tributsch H, 1979: Predznaci potresa, Vjesnikova Press agencija.