ČESKÁ A SLOVENSKÁ FEDERATIVNÍ REPUBLIKA
(19)

FEDERÁLNÍ ÚŘAD PRO VYNÁLEZY

POPIS OBJEVU K DIPLOMU ČÍS. 68

Přihlášeno: 07 12 84 /PO 88-84/
Právo přednosti od 07 12 84
Zveřejněno: Čs. časopis pro fyziku č. 1/1990

Uděleno: 07 12 92
Vydáno: 31 12 92

MDT 550.42

Autoři objevu: POLJAK BORIS GRIGORJEVIČ ing. CSc., MOSKVA
KONONOV VLADIMIR IVANOVIČ ing. DrSc., MOSKVA
TOLSTICHIN IGOR NESTEROVIČ ing. DrSc., APATITY
MAMYRIN BORIS ALEKSANDROVIČ ing. CSc., LENINGRAD
PRASOLOV EDUARD MICHAJLOVIČ ing. CSc., LENINGRAD
JAKUCENI VERA PROKOFJEVNA ing. CSc., LENINGRAD
ČERMÁK VLADIMÍR RNDr. DrSc., PRAHA

Název objevu: Vztah mezi hustotou zemského tepelného toku a izotopickým složením helia

Předmět objevu: Zákonitost spočívající ve vztahu mezi hustotou zemského konduktivního tepelného toku a poměrem molárních koncentrací lehkého a těžkého izotopu helia v podzemních fluidech vyjádřená rovnicí

$$^{3}He / ^{4}He \cdot 10^{8} = e^{0,143\, q\lambda} - 5,2 \pm 0,2,$$

kde $q\lambda$ je hustota zemského tepelného toku v $mW.m^{-2}$.

Objev se týká věd o Zemi, spojuje nezávisle získané geofyzikální a geochemické údaje na základě regionální geotektoniky. Podává výklad povrchových projevů, které jsou pozorovatelné na zemském povrchu, a které odrážejí hlubinné procesy v zemském plášti.

Již dříve bylo známo, že hustota konduktivního zemského tepelného toku /$q\lambda$/ je různá na různých místech zemského povrchu. Tato skutečnost byla zjištěna a publikována např. v pracech Benfielda A.E.: Terrestrial heat flow in Great Britain, Proc. Roy.Soc.London, A, 1939, sv. 173, str.428-450, Bullarda E.C.: Heat flow in South Africa, Proc.Roy.Soc.London, A, 1939, sv. 173, str. 474-502, Poljaka B.G. a Smirnova J.B.: Teplovoj potok na kontinentach, Doklady AV SSSR, sv. 1968, č. 1 str. 170-172; Poljaka B.G. a Smirnova J.B.: Svjaz glubinnovo teplovogo potoka s tektoničesskim strojenijem kontinentov, Geotektonika, 1968, č.4, str. 3-19. Bylo dokázáno, že na kontinentech hustota zemského tepelného toku nepřímo závisí na stáří tektonomagmatické aktivity, přičemž v mobilních oblastech se hustota tepelného toku mění v různých strukturních jednotkách v závislosti na vertikálních tektonických pohybech, např. Hamza V.M. and Verma R.K.: The relationship of heat flow with age of basement rocks. Bull.Volcanol., 1969, sv.33, str.123-152. Interpretace této závislosti vedla k představě o existenci časových a místních zdrojích zemského hlubinného tepla a porušení konduktivního tepelného toku procesy sedimentace v poklesávajících blocích zemské kůry či erose ve vystupujících blocích. Tyto představy vytvořily základ teoretických tepelně fyzikálních výpočetních modelů, jak publikoval např.: Lee W.H.K.: Terrestrial Heat Flow, Geoph.Monogr.Series 8, AGU, Washington, 1965, 276 str., nebo v novější době další autoři: Smirnov J.B.: Zemnoj teplovoj potok i problemy energetiky geosinklinali, sborník Energetika geologičeskich i geofizičeskich processov, Moskva, vyd.Nauka, 1982, str.52-74; Kutas R.I., Gordijenko V.V.: Teplovoj potok Karpat i nekotoryje voprosy geotermiky, týž sborník, str. 75-80; Morgan P.: Structure and evolution of the continental lithosphere, Phys.Chemistry Earth, 1984, sv.15, str. 107-193. Všeobecně se předpokládalo, že těmito zdroji jsou oblasti lokálního nastavení, avšak dokázat jejich původ a zdůvodnit pozorovanou tendenci v prostorovém rozložení zemského toku pouze na základě geotermických pozorování nebylo možné.

Všeobecně se předpokládá, že jedním z hlavních zdrojů hlubinného tepla v Zemi je teplo uvolněné při radioaktivním rozpadu, zejména při rozpadu uranu a thoria, jak plyne z publikací: Faul H. /red./: Nuclear Geology, J.Wiley and Sons, New York, 1954, 414 str.; Lubimova E.A.: Termika Zemli i Luny, Moskva, vyd.Nauka, 1968, 279 str.; Poljak B.G. a Krapotkin P.N.: Osnovnyje problemy geoenergetiky, ve sborníku "Energetika geologičeskich i geofizičeskich processov," Moskva, vyd.Nauka, 1972, str. 7-26. Při radioaktivním rozpadu rovněž vzniká helium jako jeden z dceřiných prvků. Toto helium je směsí dvou izotopů, izotopu helia o atomové váze 3 a izotopu o atomové váze 4, přičemž přirozený poměr molárních koncentrací lehkého a těžkého helia v této směsi, $R={}^3He/{}^4He$, činí 10^{-8}. Viz. např. Tolstikhin I.N., Drubeckoj E.R.: Izotopnyje otnošenija ${}^3He/{}^4He$ i ${}^4He/{}^{40}Ar$ v porodach zemnoj kori, Geochimija, 1975, č. 8, str. 1123-1135.

V přírodě však izotopického složení helia není konstantní, ale poměr koncentrací obou izotopů se mění v poměrně širokém intervalu 10^{-8} až 10^{-5}. Tento poměr navíc vykazuje regionální variace, které mají významný statistický charakter a hodnota tohoto poměru odráží hlubinnou stavbu. Viz. např. publikace: Jakuceni V.P., Tichomirov V.V., Kamenskij I.L., Mamyrin B.A., Chabarin L.V.: Izotopy gelia v prorodnych gazach, ve sborníku "Problemi geologiji i resursov gelija," Trudy VNIGRI, sv. 298, Leningrad, 1971, str. 18-26; Kamenskij I.L., Jakuceni V.P., Mamyrin B.A., Anufrijev G.S., Toltichin J.N.: Izotopy gelija v prirode, Geochimija, 1971, č.8, str. 914-931; Voronov A.N., Prasolov E.M., Tichomirov V.V.: Sootnošenija radiogennych izotopov argona v gazovych založach, Geochimija, 1974, č. 12, str. 1842-1855; Gerlint E.K., Tolstichin I.N., Mamyrin B.A., Anufrijev G.S., Kamenskij I.L., Prasolov E.M.: Novyje issledovanija izotopnoj geochimiji gelija, v knize "1. Meždunarodnyj geochimičeskij kongress", část 1., Moskva, vyd. Nauka, 1972, str. 200-216; Kononov V.I., Mamyrin B.A., Poljak B.G., Chabarin L.V.: Izotopy gelija v gazach gidrotěrm Islandiji, Doklady AN SSSR, 1974, sv.217, č.1, str. 172-175; Kononov V.I., Poljak B.G.: Indicators of abyssal heat recharge of recent hydrothermal phenomena, Proceedings II. UN Symposium on the Development and Use of Geothermal Resources, sv.1. 1975, str. 767-774; Kononov V.I., Poljak B.G.: Geothermal activity of Iceland as reflection of its geological structure, Tectonophysics, 1978, č. 46, str. 135-157; Tolstichin I.N., Mamyrin B.A., Baskov E.A., Kamenskij I.L., Anufriev G.S., Susikov S.N.: Izotopy gelija v gazach těrmalnych istočnikov Kurilo-Kamčatskoj vulakničeskoj oblasti, v knize "Ocenki sovremennoj i analitičeskoj chimiji", Moskva, vyd. Nauka, 1972, str. 405-414.

Jestliže hodnota $R \sim 10^{-8}$ je blízká složení helia radiogenního původu, hodnota poměru koncentrací obou izotopů helia $R \sim 10^{-5}$ odpovídá izotopickému složení primitivního helia obsaženému v kosmickém prostoru a shodného s někdejším stavebním materiálem Země.

Na základě postupného studia dříve známých izolovaných skutečností, doplněných dalšími cílenými experimenty a na základě teoretického rozboru bylo možno postupně formulovat objektivně platné vztahy v oblasti regionální geotektoniky.

Prvním poznatkem byl základní jev, spočívající v existenci objektivních vztahů jako důsledku diferenciace výnosu plášťových hmot, projevující se změnami geochemických a geofyzikálních parametrů, pozorovatelných na povrchu Země.

Jev byl zveřejněn spoluautory B.G. Poljakem, V.I. Kononovem, I.N. Tolstichinem, B.A.Mamyrinem a L.V.Chabarinem v publikaci č. 119, International Association of Hydrological Sciences, Proceedings of the Grenoble Meeting, srpen 1975, str. 17-33 pod názvem "The helium isotopes in thermal fluides". Dalším poznatkem byla zákonitost, spočívající v poklesu hustoty konduktivního tepelného toku spolu s poklesem poměru molárních koncentrací helia 3 ku koncentraci helia 4 v podzemních fluidech, která odráží proces vytváření zemské kůry a projevuje se v tektonických jednotkách

kontinentální kůry různého stáří. Zákonitost byla zveřejněna spoluautory B.G. Poljakem, I.N. Tolstichinem a V.P. Jakuceni v práci "Izotopnyj sostav gelija i teplovoj potok - geochimičeskij i geofizičeskij aspekta tektogenezisa", Geotektonika, 1979, č. 5, str. 3-23. V této publikaci byla navržena rovnice zákonitého vztahu mezi hustotou zemského tepelného toku /q λ / a izotopovým složením zemského helia /tj. poměrem koncentrací lehkého a těžkého helia ve tvaru:

$$^3He / ^4He \cdot 10^8 = e^{6q\lambda} - 5,2 \pm 0,2,$$

kde q bylo vyjádřeno v starých jednotkách tepelného toku 10^{-6} $cal.cm^{-2}.s^{-1}$ /=41,9 $mW.m^{-2}$/. Po převedení do soustavy SI nabývá rovnice tvar:

$$^3He / ^4He \cdot 10^8 = e^{0,143\ q\lambda} - 5,2 \quad 0,2.$$

Platnost navrženého zákonitého vztahu byla experimentálně ověřena a poznatky teoreticky doloženy v publikaci spoluautorů B.G.Poljaka, E.N.Prasolova a V.Čermáka "Mantijnyj gelij v juvenilnych fluidach i priroda geotermičeskoj anomaliji Rudnych gor / ČSSR /, Doklady AV SSSR, 1982, sv.263, č.1 str. 701-705.

Uvedené poznatky byly získány na základě zkoumání izotopového složení helia v podzemních fluidech neboli roztocích. Zdrojem helia jsou horniny, v horninách se však helium neudrží a přechází do těchto roztoků. Přítomnost helia v horninách je jednak výsledkem primárního rozdělení prvků v stavebním materiálu Země, jednak zda helium vzniká při rozpadu radioaktivních prvků v horninách rovněž přítomných. V roztocích se koncentrace helia a jeho složení vyrovnává přirozenou cirkulací. Veličina R /poměr izotopů/ je tak prakticky konstantní ve všech typech volných roztoků v jedné a téže oblasti, tj. v podzemních vodách, ložiscích uhlovodíků, chladných i teplých minerálních vodách, emanacích vulkánů i baheních sopek i v zemních plynech. Hodnota R tak charakterisuje danou oblast v regionálním měřítku.

Výsledky regionální analysy ukázaly, že v plynech pocházejících z nejstarší kontinentální kůry je obsaženo helium s hodnotou $R \sim 10^{-8}$, viz : Kamenskij I.L., Jakuceni V.P., Mamyrin B.A., Anufrijev G.S., Tolstichin I.N. : Izotopy gelija v prirode, Geochimija, 1971, č.8, str. 914-931. Toto helium vzniklo v důsledku radioaktivního rozpadu uranu a thoria v horninách. V produktech současného vulkanismu a v oblastech intensivní hydrotermální činnosti však byly prokázány hodnoty $R \sim 10^{-5}$. Tato hodnota potvrzuje, že i v současné době geologického vývoje je v zemském plášti přítomno helium počátečního /kosmogonického/ složení, které se s vynášenými produkty dostává na povrch viz : Mamyrin B.A., Tolstichin I.N., Anufrijev G.S., Kamenskij J.L., Chabyrin L.V. : Otkrytije v matiji Zemlija s anomalno vysokim iztopnym otnošenijem $^3He / ^4He$, Objev č.253 z 27.12.1981 udělený Gos. komisijej po izobretěnijam i otkrytijam SSSR. Hodnoty R ležící v širokém intervalu 10^{-5} až 10^{-8} pozorované v různých místech zemského povrchu jsou tak výsledkem promíchání počátečního / primárního

/ helia s heliem radioaktivního původu vzniklého v zemské kůře. Znalost izotopického složení helia tak dává možnost určit podíl plášťové složky ve výronech plynů a potvrzuje výnos hmot z zemského pláště v oblastech recentní magmatické aktivisace kůry, kde dosud trvá vulkanická a hydrotermální činnost.

Vědecký význam určené zákonitosti mezi hustotou tepelného toku / $q\lambda$ / a poměrem koncentrací lehkého a těžkého helia / R / spočívá v tom, že poprvé spojuje nezávisle získané geofyzikální a geochemické chrakteristiky různých strukturních jednotek zemské kůry a dokazuje podíl plášťového výnosu hmoty při jeho utváření. Tento objev podává reálnou geologickou podstatu pozorovaných variací tepelného toku tj. chladnutí materiálu vyneseného z pláště.

Získaný vztah dává možnost zpřesnit představy o energetické bilanci geologických procesů, původu a evoluci zemské kůry, tepelné historii jejích jednotek, zdrojích hmoty a podmínkách formování ložisek užitkových nerostů.

Praktický význam předkládaného objevu spočívá v tom, že na základě zákonitého vztahu mezi $q\lambda$ a R je možno předběžně ocenit veličinu tepelného toku ještě před provedením geotermických měření ve vrtu nebo tam, kde vhodné vrty neexistují.

Stanovený jev a zákonitosti byly získány jako výsledek studia statisticky významných souborů hodnot o izotopovém složení helia v podzemních fluidech. V současné době byly vyšetřeny údaje z větší části území SSSR a rovněž v některých dalších zemích, jako v Československu, Itálii, Mexiku, Islandu, představující více než 2000 vzorků odebraných z 700 lokalit výronů plynů, sopek, ložisek nafty a plynu a pod. Tyto údaje charakterisují všechny hlavní významné geotektonické provincie kontinentální kůry, proto závěry získané jejich analýzou mají obecně platný charakter.

Získání těchto dat bylo umožněno vytvořením speciálního magneto-resonančního hmotového spektrometru MRMS v Fyzikálnětechnickém ústavu AV SSSR. Tento přístroj zabezpečuje spolehlivou registraci hraničně nízkých hodnot R, což sehrálo rozhodující úlohu při vysvětlení objevené zákonitosti. Maximální chyba při určení hodnoty $R \sim 10^{-8}$ činí asi 10% /při malých koncentracích helia ve vzorku/, při vyšších hodnotách R činí chyba 3-5%.

Pro vysvětlení vztahu izotopového složení helia s hustotou konduktivního tepelného toku, byla hodnota tepelného toku v místě určení parametru R odečítána z geotermických map jako jsou: "Karta teplovogo potoka territorii SSSR i sopradělnych rajonov", hl.red. J.B.Smirnov, GUGK SM SSSR, Moskva, 1980; "Těplovoj režim nedr SSSR", odp.red. F.A.Makarenko a B.G.Poljak, práce Geol. inst. AV SSSR, sv.č.18, Moskva, vyd.Nauka, 1972, 224 str.; Čermák V.: Geofyzikální sborník 1976, sv.24, č.461, str.243-261, nakl. Academia, Praha 1978; Čermák V. a Rybach L. /red./: "Terrestrial Heat Flow in Europe", Berlin, Heidelberg, New York, Springer Verlag, 1979; Zahradník J. a Čermák V.: Stud. geoph. et geod., 1979, sv. 23, str.251-262, a mnoho dalších. Tyto mapy byly sestaveny na základě výsledků měření tepelného toku ve vrtech, přes-

nost určení tepelného toku činí 2-20%.

V reálných geologických podmínkách se projevuje značná disperse měřených hodnot hustoty tepelného toku způsobená vlivem nejrůznějších faktorů na teplotní pole, jako např. topografie, dlouhodobé změny klimatu, cirkulace podzemních vod, geologické procesy, atd. Rovněž hodnoty R mohou odrážet vliv místních podmínek, jako např. zvláštnosti látkového složení a propustnosti hornin. Přesto ve zkoumaném souboru byla prokázána statisticky nepochybná kladná korelační závislost obou zkoumaných parametrů, jak plyne z obr. 1, kde je znázorněna závislost poměru izotopů helia na hustotě tepelného toku. Podle t-kriteria tento vztah může být v prvém přiblížení nahražen přímkou. Poloha redukované hlavní osy tohoto vztahu je ukázána obr. 1, její rovnice je: $\log R = 2,6\ q\lambda - 10,3$ /±0,08/ pro $q\lambda$ v jednotkách 10^{-6} $cal.cm^{-2}.s^{-1}$, resp. $\log R = 0,062\ q\lambda - 10,3$ pro q v $mW.m^{-2}$. Odtud $q\lambda = 7 \ln R + 166$ /±1,5/, nebo $R \times 10^{8} = \exp$ /$0,143q\lambda - 5,2$/.

Rozdílné strukturní jednotky zemské kůry jsou charaktrisovány specifickými hodnotami hustoty tepelného toku, viz. např. Lee W.H.K. /red./: Terrestrial Heat Flow, Geoph. Monogr. Series S, AGU, Washington, 1965, 276 str., Makarenko F.A. a Poljak B.G., Teplovoj režim nedr SSSR, Moskva, vyd. Nauka, 1972, 224 str.; Smirnov J.B., Teplovoje pole territoriji SSSR, vysvětlivky k mapám, GUGKSN SSSR, Moskva, 1980, str.1-73. Pro srovnání se sledovaným souborem hodnot R byly určeny odpovídající statisticky homogenní výběry tepelného toku a pro každý z nich byly stanoveny střední regionální hodnoty /$q\lambda$/ a /R/, viz obr.2. Na tomto obrázku odpovídají plné symboly hodnotám variského a předvariského stáří: plný kroužek předkambrickým štítům /stáří více 1100 milionů let/, čtvereček - assyntsy zvrásněným jednotkám /570-1100 milionů let/, kosočtverec - starým platformám, trojúhelníky - variským jednotkám /stáří více než 225 milionů let/, prázdné symboly odpovídají mladším jednotkám alpinským /mladším než 225 milionů let/: kroužky - alpinské deprese, čtverečky - alpinská pohoří, trojúhelníky - přechodovým zónám. Pro srovnání hvězdička označuje radiogenní helium, křížek vyznačuje výsledek pro kontrolní oblast Krušných hor potvrzující platnost experimentálního vztahu. Střední hodnoty na obr. 2 více než v polovině výběrů souhlasí v rámci přesnosti odhadu. Větší rozdíly byly pozorovány pouze v mobilních oblastech, přičemž tyto rozdíly mají systematický charakter: vyšší hodnoty jsou obvykle pozorovány v oblastech elevací, nižší hodnoty v místech subsidence a sedimentace. Tato skutečnost je důsledkem geologického vývoje a vlivu neotektonických pohybů na teplotní pole v svrchní vrstvě zemské kůry, měřený tepelný tok tak odráží porušené teplotní pole a pro praktické potřeby je třeba najít vhodnou korekci. Neotektonické pohyby však mají jen malý nebo žádný vliv na izotopické složení helia v podzemních fluidech. Objevená závislost mezi hustotou tepelného toku a izotopickým složením helia tak odráží vztah pro hlubinný tepelný tok, který je v základním geofyzikálním studiu významný.

Nestacionární charakter geotermického pole v oblastech neotektonických pohybů je hlavní příčinou značného rozptylu vyšetřovaných dat vzhledem k sledovanému vztahu. Jednotlivé body na obr.

l, které odpovídají zónám poklesu /subsidence/ leží obvykle nalevo od korelační přímky a body odpovídající zónám zdvihu leží napravo. Měřené hodnoty tepelného toku byly proto opraveny /teorie korekcí tepelného toku viz např. W.H.K. Lee /red./, Terrestriel Heat Flow, AGU Washington 1965, 276 str./ a na obr. 2 je znázorněna opravená závislost mezi hustotou tepelného toku a hodnotou parametru R. Zavedení oprav tepelného toku podstatně zmenšuje rozptyl dat ve studovaném souboru a zlepšuje koeficient korelace.

Objektivně, nejlépe se projevuje objevené závislost v tektonicky stabilních oblastech, kde geologické vlivy na měřené teplotní pole jsou zanedbatelné. To je zřejmé i z rozložení hodnot v obr. 2 pro staré štíty a platformy. Proto je důležité potvrzení objevené zákonitosti v oblastech, kde se taktomagmetická činnost projevila relativně nedávno, ale velikost vertikálních pohybů byla mnohem menší než např. v strukturách alpinského nebo tichomořského pásu. Takové potvrzení bylo získáno při speciálně zaměřeném výzkumu v Českém masívu, oblasti geotermicky dobře prozkoumané. Hodnoty R byly určeny pro vzorky plynů získané ve fluidech Karlových Var a Františkových Lázní. Jejich srovnání s výsledky přímých měření hustoty tepelného toku ve vrtech v okolí odběru potvrdilo velmi dobrou shodu. Zejména v tom lze vidět experimentální potvrzení podloženého vztahu.

Jak známo, oblasti současného vulkanismu oplývají anomaliemi vysokého tepelného toku, kdy veličina q roste až do hodnot stovek a tisíců $mW.m^{-2}$ /např. krátery sopek apod./. Avšak veličina R v těchto místech se příliš neliší od hodnot charakteristických pro plášť, tj. $\sim 10^{-5}$. Proto skutečný tvar objevené závislosti je třeba vyjádřit křivkou, která se asymptoticky blíží k plášťové úrovni hodnot R. Podobně i spodní část křivky se musí blížit asymptoticky k úrovni 10^{-8}, která odpovídá čistému heliu radioaktivního původu. Nicméně pro údaje, které jsou k dispozici, v rozmezí hodnot R a $q\lambda$, vlastním kontinentální kůře, zkoumaná závislost může být aproximována přímkou s uvedenou přesností, která je dostatečná pro teoretické a praktické uplatnění.

Získané údaje mohou být interpretovány následujícím způsobem. Vysoké hodnoty hustoty tepelného toku i parametru R v nejmladších oblastech zemské kůry s intensivním geologickým vývojem i v současnosti potvrzují výnos plášťových hmot. Tektogenese má tak dva aspekty - geofyzikální a geochemický. Výnos hmoty přenášející do vnějších horizontů Země plášťové helium, což je skutečnost dokázaná objevem č. 255, uděleným sovětským úřadem 27-10.1981, současně přenáší teplo. Avšak množství helia uvolněného v plášti, 2,6 x 10^6 $atom/cm^2s$, viz Tolstichin I.N., Azbel I.J., Chabarin L.V.: Izotopy legkich internych gazov v mantiji Zemli, kore i astensphere. Geochimija, 1975, č.5., str. 655-666, schopno přenést jen nepatrnou část tepla pozorovanou v mobilních pásech, tedy přenos tepla se musí dít jiným prostředníkem. Korelace izotopových poměrů $^3He/^4He$ a $^{87}Sr/^{86}Sr$ pozorovaná v produktech vulkanické a hydrotermální činnosti ukazuje, že tímto prostředníkem, který transportuje z pláště atmofilní helium a lithofilní stroncium, je SiO_2, viz Poljak B.G., Prasolov E.M., Buačid-

ze G.I., Kononov V.I., Mamyrin B.A., Suronceva L.I., Chabarin L.V., Judenič V.S.: Izotopnyj sostav He a Ar vo fluidach Alpijs ogo i Apenninskogo regiona i jego svjaz s vulkanizmom, Doklady AV SSSR, 1979, sv.247, č.5, str. 1220-1225; Poljak B.G., Kononov V.I., Mamyrin B.A., Menzajlov I.A., Medik A.P., Prasolov E.M., Chabarin L.V., Judenič V.S.: Svjaz izotopnogo sostava gelija i stroncia v projavlenijach vulkaničeskoj i gidrotermalnoj aktivnosti, sborník "Materialy VIII. Vsesojuznego simpoziuma po stabilnym izotopam v geochimiji, GEOCHI AV SSSR, 1980, str. 13-17.

Výnos SiO_2 z pláště v tektonicky aktivních oblastech přináší do kůry i dodatečnou tepelnou energii. Tento nadbytek energie zde způsobuje vysoké konduktivní ztráty tepla /vysoký tepelný tok/, je příčinou magmatické činnosti, je doprovázen intenzivní hydrotermální a vulkanickou činností a energeticky zabezpečuje proces tektogeneze projevující se v dalších latentních formách jako jsou deformace, seismické projevy, horotvorná činnost a metamorfóza. Při ukončení přínosu plášťových hmot do kůry, tepelná energie, která se nespotřebovala v té či oné formě v epoše tektonomagmatické aktivity, se postupně šíří zemským povrchem v podobě tepelného toku /materiál vynesený z pláště postupně chladne/. V této době se v daném bloku zemské kůry zmenšuje hodnota R /tj. mění se izotopické složení helia/, jako důsledek generace radiogenního helia a současné disipace zbytků primárního helia. Úplné vymezení geotermických a izotopicko heliových důsledků výnosu plášťových hmot se projevuje v poklesu obou parametrů do kvasistacionárního minima /$q\lambda$ 40 $mW.m^{-2}$, $R \sim 10^{-8}$/, který současně představuje globální "kontinentální pozadí".

Navržený vztah mezi R a $q\lambda$ charakterisuje pouze struktury kontinentální kůry. V oceanické kůře jejich vztah zatím nebyl určen, ale je známo, že veličina R se mění v oceánech v daleko užším intervalu. Získaná zákonitost má komplexní význam a může být využita pro rozpracování i řešení řady významných problémů geoenergetiky, geotektoniky, geofyziky i geochemie.

V oblasti geoenergetiky tento vztah umožňuje zpřesnit odhady celkových tepelných ztrát Země a výnos tepla z pláště. Pro odhad celkové tepelné ztráty Země jejím povrchem tento vztah dává možnost určit základní část /pozadí/, odpovídající zdrojům energie rovnoměrně rozptýleným v celém objemu Země /radioaktivní rozpad, gravitační diferenciace atp./ a anomální část, způsobenou výnosem hmot a tepla z pláště při tektogenezi. Výnos tepla z pláště je možno rozdělit na konduktivní a konvektivní ztráty a určit jejich absolutní i relativní hodnoty, vzhledem k odhadu energetických efektů radioaktivního rozpadu, gravitační diferenciace a dalších analogických procesů v podkorových vrstvách Země a vyplývající ze zjištěného vztahu odhadu tepelného efektu výnosu hmoty z pláště.

V geotektonice vztah mezi tepelným tokem a izotopickým složením helia dokazuje roli výnosu hmot z pláště při vytváření zemské kůry a je třeba jej považovat za nezbytnou podmínku při návrhu reálného modelu tektogeneze. Kromě toho analýza odchylek pozorovaného tepelného toku od hodnot vypočtených podle izotopového složení helia dává doplňující kvatitativní kriterium pro odhad porušení teplotního pole při vertikálních tektonických pohybech.

V geofyzice objevená zákonitost umožňuje rozšířit regionální znalost hlubinného tepelného toku, dovoluje předběžně odhadnout jeho hustotu na základě údajů o izotopovém složení helia v podzemních fluidech i bez provedení vlastních geotermických prací ve vrtech a jiných hornických dílech i provést korelaci existujících měření a vyloučit různé rušivé faktory. Srovnání "helioizotopových" hodnot a opravených hodnot hustoty tepelného toku, může zpřesnit představy o tepelné historii různých struktur, rozdělení tepelných zdrojů v geologických řezech i o dalších parametrech nezbytných při výpočtu geotermických vlastností studované oblasti.

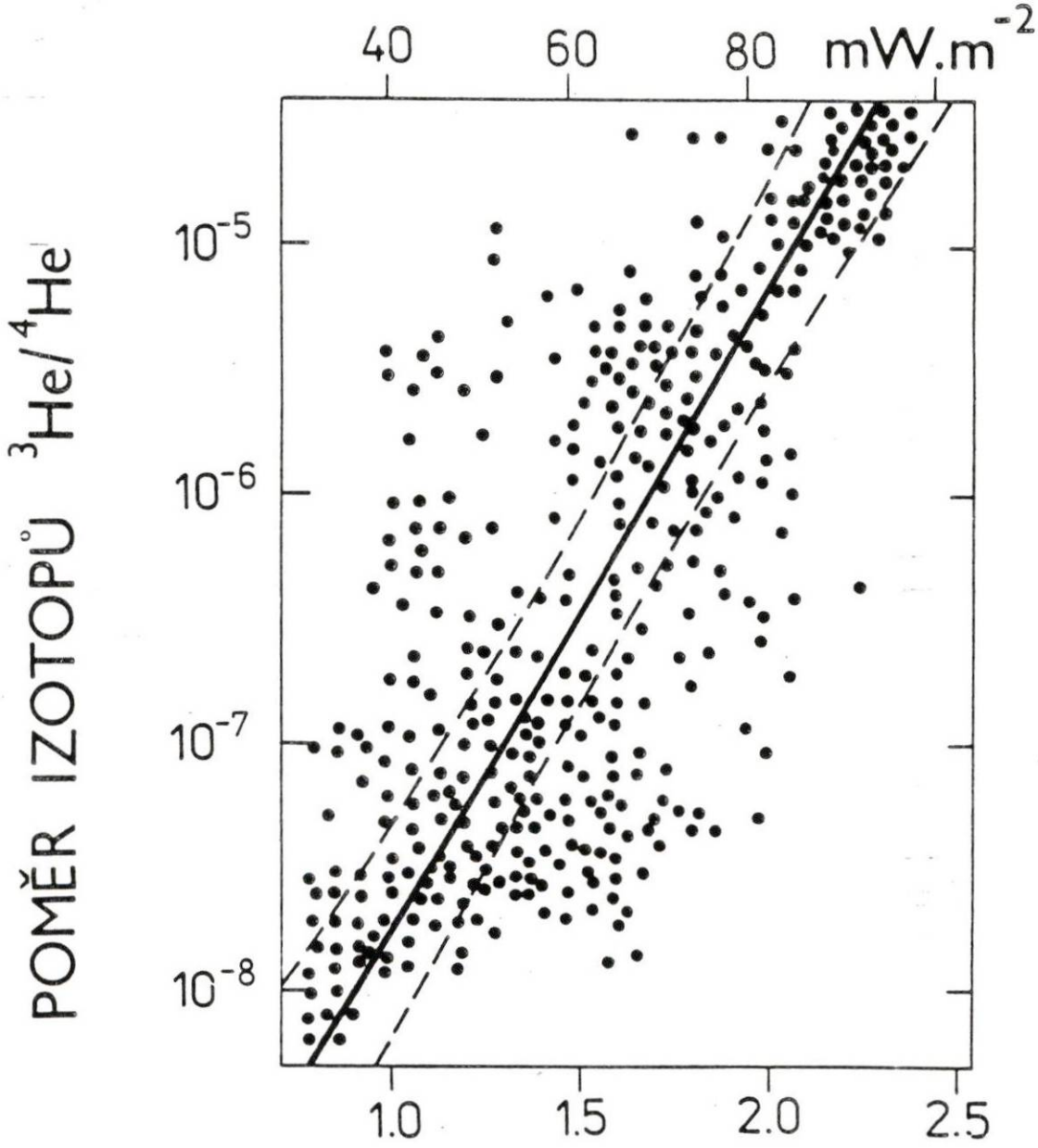
Rozptyl experimentálních údajů v obr.1, stejně jako spolehlivost každého jednotlivého měření hustoty tepelného toku, je obvykle omezen ± 10-20%. Důsledná aplikace předloženého vztahu by tak mohla vést ke značné chybě v odhadu geotermické aktivity. Je proto zřejmé, že diskutovaná závislost nemůže nahradit přímá měření hustoty tepelného toku, tak jak se v běžné geotermické praxi provádějí. Vztah lze však dobře využít pro průměrné hodnoty tepelného toku ve velkých tektonických celcích i při odhadu systematického porušení pole tepelného toku v oblastech intenzivní sedimentace či mladých horotvorných pohybů. Vztah lze rovněž využít při odhadu výnosu tepla z hloubky v oblastech hydrotermálně porušených, kde obvykle existuje vysoká hustota tepelného toku a kde relativní chyba experimetnálních hodnot /obr.1/ je menší. Předmět popisovaného objevu může mít uplatnění při praktickém vyhledávání zdrojů geotermální energie.

V oblasti geochemie obdobný komplexní přístup může být využit pro analýzu dalších geochemicko-izotopových hodnot, které lze využít jako genetická kritéria /izotopové složení a obsah stroncia, neodymu, radioaktivních prvků atp./. Výsledky takových studií umožní zpřesnit představu o měřítku, formách i cestách migrace některých chemických prvků.

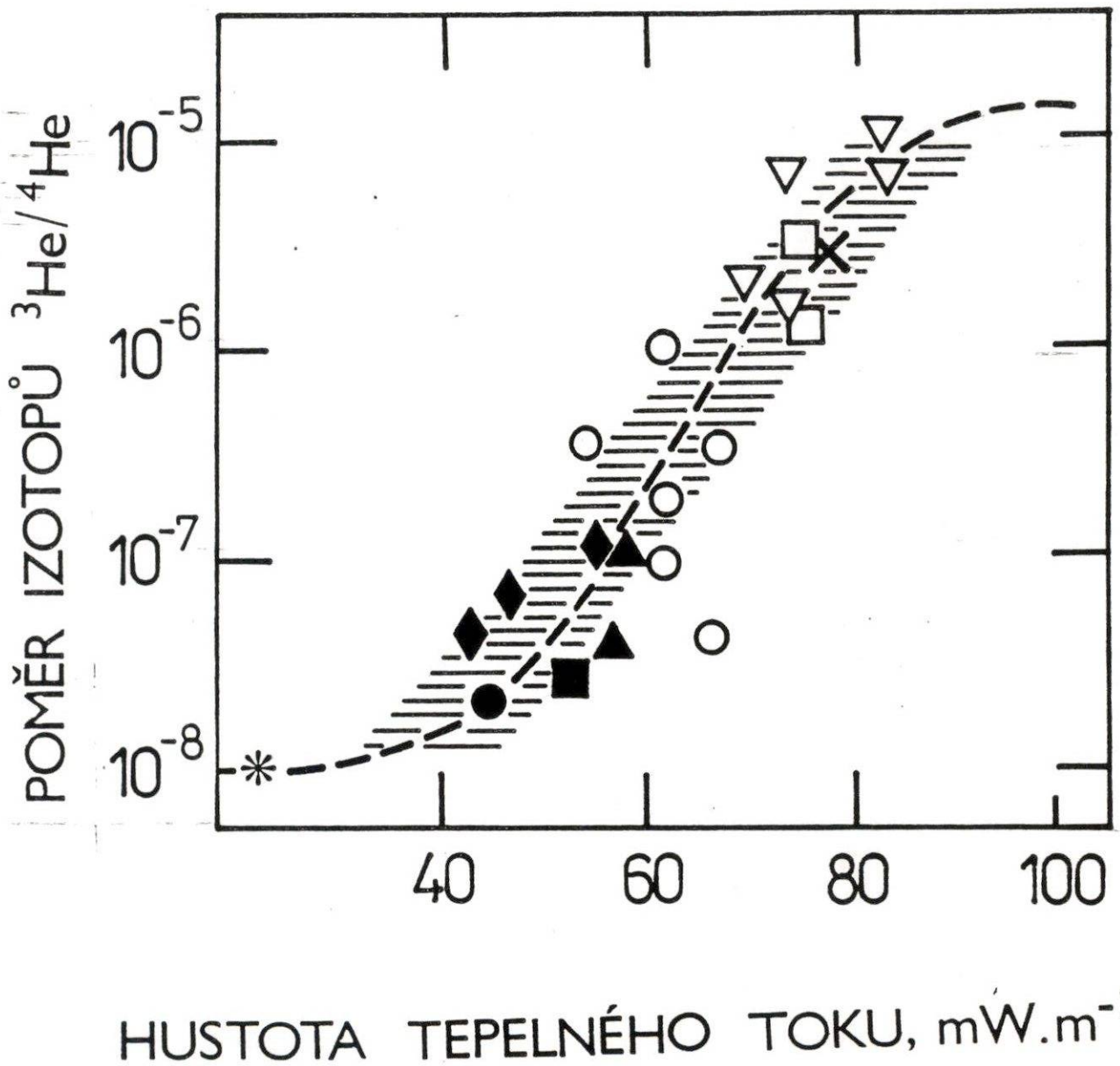
V oblasti studia rozložení a výskytu užitkových nerostů získaná závislost osvětluje možné zdroje a podmínky vytváření jejich průmyslových ložisek.

Možnost výpočtu konduktivního tepelného toku z izotopového složení helia má rovněž dobré uplatnění. Dovoluje orientačně odhadnout teplotní režim v hloubce pro potřeby hornicko-průmyslové praxe a může výhodně ekonomicky ušetřit síly i náklady na vrtání při různých etapách vyhledávání geotermických zdrojů /zejména v oblastech dosud málo známých/, což představuje současný aktuální úkol národního hospodářství.

2 výkresy


40
60
80
mW.m^{-2}
10^{-5}
10^{-6}
10^{-7}
10^{-8}
POMĚR IZOTOPŮ $^3He/^4He$
1.0
1.5
2.0
2.5
HUSTOTA TEPELNÉHO TOKU, 10^{-6}cal/cm^2.s

Obr. 1


POMĚR IZOTOPŮ $^3He/^4He$
10^{-5}
10^{-6}
10^{-7}
10^{-8}
40
60
80
100
HUSTOTA TEPELNÉHO TOKU, $mW.m^{-2}$

Obr. 2