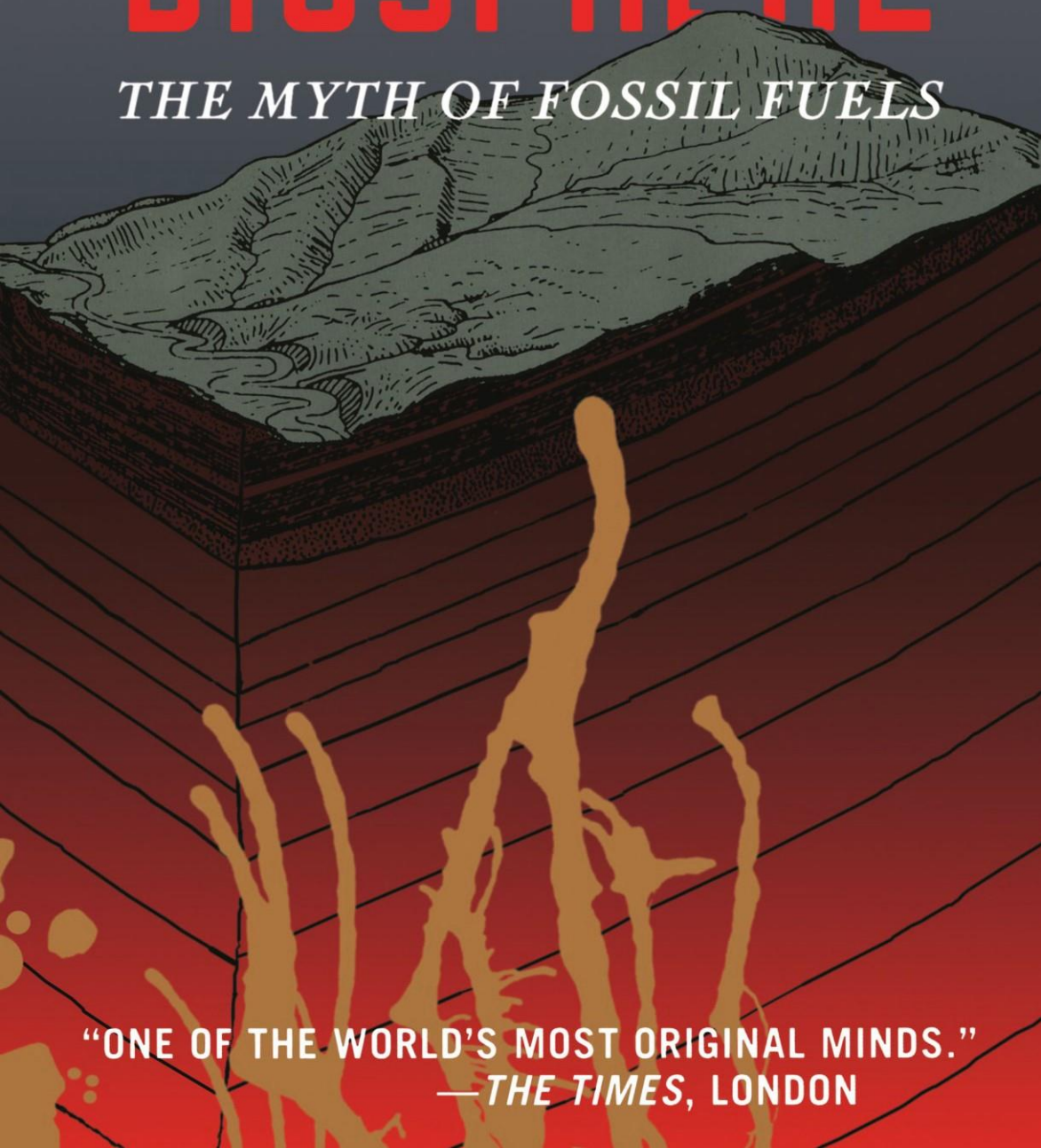


THOMAS GOLD

# DEEP HOT BIOSPHERE

*THE MYTH OF FOSSIL FUELS*



**“ONE OF THE WORLD’S MOST ORIGINAL MINDS.”**  
—*THE TIMES*, LONDON

## Chvála Thomase Golda. . .

"Gold je jedním z nejikoničtějších amerických vědců."

-Stephen Jay Gould

"Thomas Gold je jedním z neoriginálnějších myslitelů na světě."

-The Times, Londýn

"Thomase Golda by možná už dávno přestalo bavit bojovat s větrnými mlýny, kdyby jich tolik nezničil."

-USA Today

"Co kdyby vám někdo řekl, že ropná krize je špatná a že uhlovodíky, které tvoří ropu, neustále doplňují zásoby. Zajímá vás to? Tak to byste si měli přečíst tuto knihu. . . . Gold své důkazy předkládá obratně. Možná s ním nebudete souhlasit, ale musíte ocenit jeho svěžít a komplexní přístup k těmto významným oblastem vědy o Zemi. Tato kniha dokazuje, že vědecká debata je živá. Věda je založena na hypotézách a daří se jí díky kontroverzím – a jen málo lidí je kontroverznějších než Thomas Gold. "

-Nature

". . . Thomas Gold, uznávaný astronom a emeritní profesor na Cornellově univerzitě v Ithace ve státě New York, již léta tvrdí, že ropa je ve skutečnosti obnovitelný prvotní sirup, který Země neustále vyrábí za mimořádně vysokých teplot a tlaků."

-The Wall Street Journal

"Většina vědců se domnívá, že ropa, kterou těžíme, pochází z rozkládajících se prehistorických rostlin. Gold se domnívá, že je tam od vzniku Země, že podporuje vlastní ekosystém hluboko pod zemí a že život tam předcházal životu na zemském povrchu. Pokud má Gold pravdu, jsou zásoby ropy na planetě mnohem větší, než politici očekávají, a postupy předpovídání zemětřesení vyžadují zemětřesení; navíc astronomové doufající v mimozemské kontakty by možná měli přestat hledat život na jiných planetách a ptát se po životě na nich. "

-Publishers Weekly

"Goldovy teorie jsou vždy originální, vždy důležité a obvykle správné. Na základě padesátiletého pozorování Golda jako přítele a kolegy jsem přesvědčen, že kniha Hluboká horká biosféra je vším výše uvedeným: originální, důležitá, kontroverzní a správná."

-Freeman Dyson

"Bez ohledu na to, jaký je stav teorie stoupajícího plynu, si mnohé Goldovy myšlenky zaslouží, abychom je brali vážně. . . Existence [hlubinné horké biosféry] by se mohla ukázat jako jeden z monumentálních objevů našeho věku. Tato kniha slouží k tomu, aby uvedla věci na pravou míru. "

-Svět fyziky

"Mé znalosti a zkušenosti se zemním plynem, které jsem získal při vrtání a provozování mnoha nejhlubších a vrtů s nejvyšším tlakem zemního plynu na světě, dávají vašim myšlenkám větší důvěryhodnost než tradiční teorie o jeho biologickém/termogenním původu. Vaše teorie nejlépe vysvětluje to, s čím jsme se skutečně setkali při hlubokých vrtech. "

-Robert A. Hefner III, The GHK Companies, Oklahoma City, Oklahoma;  
Z dopisu autorovi

"Ve vědecké komunitě má Gold pověst brilantně chytrého odpadlíka, který předkládá radikální teorie v různých oblastech od kosmologie po fyziologii. "

-The Sunday Telegraph, Londýn

"V knize Hluboká horká biosféra [Gold] odhaluje důkazy podporující existenci podzemní biosféry a spekuluje o tom, jak by mohla být v oblasti bez fotosyntézy vyráběna energie. Spekuluje o důsledcích, které by jeho koncepty mohly mít pro předpovídání zemětřesení, rozluštění původu Země a nalezení mimozemského života. "

-Science News

"Goldova teorie, vysvětlená v knize Hluboká horká biosféra, nabízí nové a radikální myšlenky k našim neúplným představám o tom, co způsobuje zemětřesení a kde bychom měli hledat život ve vesmíru: ne na planetách, ale v nich."

-Ithaca Times

"[Hluboká horká biosféra] se nyní zdá být podporována rostoucím počtem důkazů. "

-Journal of Petroleum Technology

"Gold ví, že odborníci jeho víru zpochybňují. Goldovi se to stává neustále. Získal pověst člověka, který se chopí dlouho zastávaného předpokladu, prosazuje novou myšlenku a je odměněn, když mu čas – deset let nebo dvě - dá za pravdu. "

-The Juneau Empire

"Thomas Gold zpochybnil samotné základy zakořeněných konvenčních modelů [Hluboká horká biosféra] je zřejmě jednou z nejkontroverznějších knih vydaných v nedávné historii. Jistě vyvolá mnoho diskusí, a pokud bude shledána správnou, pravděpodobně způsobí revoluci v tváři vědy. "

-Current Science

"[Thomas Gold] je jedním z mála, kdo má navzdory útokům průměrných odvahu myslet vědecky nekonvenčním způsobem. . . Jeho odvaha a originální myšlenky jsou paprsky naděje na obzoru vědy."

-Prof. Dr. Alfred Barth, Evropská akademie věd a umění, Paříž

# Hluboká horká biosféra

Mýtus fosilních paliv

Thomas Gold

S předmluvou Freemana Dysona

SPRINGER-SCIENCE+BUSINESS MEDIA, S.R.O.

První vydání v měkké vazbě, 2001

© 1999 Springer Science+Business Media New York

Původně vyšlo v nakladatelství Springer-Verlag New York, Inc. v roce 1999.

Všechna práva vyhrazena. Žádná část této publikace nesmí být reprodukována, ukládána ve vyhledávacím systému nebo přenášena v jakékoli formě nebo jakýmkoli způsobem, ať už elektronickým, mechanickým, fotokopírováním, nahráváním nebo jiným způsobem, bez předchozího písemného souhlasu vydavatele.

Library of Congress Cataloging-in-Publication Data Gold, Thomas.

Horká biosféra: mýtus fosilních paliv / Thomas Gold ; předmluva Freeman Dyson.

P - cm.

Obsahuje bibliografické odkazy a rejstřík.

ISBN 978-0-387-95253-6 ISBN 978-14612-1400-7 (eBook) DOI 10.1007/978-1-4612-1400-7

1. Teorie hlubinného zemského plynu. 2. Ropná geologie.
3. Uhlovodíky. 4. Původ života. 5. Mikrobiologie extrémního prostředí. I. Název.

TN870.5.G66 1998

576.8'3-dc21

98-42598

Vytištěno na bezkyselinovém papíře.

9 8 7 6 5 4 3 2 1

ISBN 978-0-387-95253-6 SPIN 10795990

# Předmluva

Freeman Dyson



Poprvé jsem se s Tommym Goldem setkal v roce 1946, kdy jsem sloužil jako pokusný králík v jeho experimentu, který se týkal schopností lidského ucha. Lidé mají pozoruhodnou schopnost rozlišovat výšku hudebních zvuků. Snadno rozeznáme rozdíl, když se frekvence čistého tónu rozkolísá o pouhé jedno procento. Jak to děláme? To byla otázka, na kterou se Gold rozhodl odpovědět. Existovaly dvě možné odpovědi. Buď vnitřní ucho obsahuje soubor jemně vyladěných rezonátorů, které vibrují v reakci na dopadající zvuky, nebo ucho nerezonuje, ale pouze převádí dopadající zvuky přímo na nervové signály, které jsou pak analyzovány na čisté tóny nějakým neznámým nervovým procesem v našem mozku. V roce 1946 se odborníci na anatomii a fyziologii ucha domnívali, že druhá odpověď musí být správná: že k rozlišování výšky tónu dochází v našem mozku, nikoli v uších. První odpověď odmítli, protože věděli, že vnitřní ucho je malá dutina vyplněná ochablým masem a vodou. Nedokázali si představit, že by ochablé malé membrány v uchu rezonovaly jako struny harfy nebo klavíru.

Gold svůj experiment navrhl tak, aby dokázal, že se odborníci mýlí. Experiment byl jednoduchý, elegantní a originální. Během první světové války pracoval pro královské námořnictvo na radiokomunikaci a radaru. Svůj přístroj sestrojil z válečné přebytečné elektroniky námořnictva a sluchátek. Do sluchátek přivedl signál složený z krátkých

pulsů čistého tónu, oddělené intervaly ticha. Intervaly ticha byly nejméně desetkrát delší než doba čistého tónu. Všechny impulsy měly stejný tvar, ale jejich fáze se daly nezávisle na sobě měnit. Obrátit fázi impulsu znamená obrátit pohyb reproduktoru ve sluchátku. Reprodukter v obráceném impulsu tlačí vzduch ven, zatímco reproduktor v neobráceném impulsu táhne vzduch dovnitř. Někdy dal Gold všem impulsům stejnou fázi a někdy fáze střídal tak, že sudé impulsy měly jednu fázi a liché impulsy měly fázi opačnou. Stačilo sedět se sluchátky na uších a poslouchat, zatímco Gold přiváděl signály buď s konstantními, nebo střídavými fázemi. Pak jsem mu musel podle zvuku říct, zda je fáze konstantní, nebo střídavá.

Když byl tichý interval mezi impulsy desetinásobkem doby čistého tónu, bylo snadné rozeznat rozdíl. Slyšel jsem zvuk podobný komářímu, bzučení a bzučení znějící společně, a kvalita bzučení se zřetelně měnila, když se měnily fáze z konstantní na střídavou. Pokusy jsme opakovali s delšími tichými intervaly. Stále jsem dokázal rozpoznat rozdíl, i když byl interval ticha dlouhý až třicet period. Nebyl jsem jediným pokusným králíkem. Několik dalších Goldových přátel poslouchalo signály a hlásilo podobné výsledky. Experiment ukázal, že lidské ucho si dokáže zapamatovat fázi signálu, poté co signál ustane, po třicetinásobek periody signálu. Aby si ucho dokázalo zapamatovat fázi, musí obsahovat jemně vyladěné rezonátory, které během intervalů ticha pokračují ve vibracích. Výsledek experimentu prokázal, že rozlišování výšky tónu probíhá především v uchu, nikoli v mozku.

Kromě experimentálního důkazu, že ucho může rezonovat, měl Gold také teorii, která vysvětlovala, jak lze z ochablých a rozptýlených materiálů vytvořit přesně vyladěný rezonátor. Jeho teorie spočívala v tom, že vnitřní ucho obsahuje systém elektrické zpětné vazby. Mechanické rezonátory jsou spojeny s elektricky napájenými senzory a ovladači, takže kombinovaný elektromechanický systém funguje jako jemně vyladěný zesilovač. Kladná zpětná vazba, kterou zajišťují elektrické komponenty, působí proti tlumení způsobenému ochabováním mechanických

komponentů. Díky Goldovým zkušenostem elektroinženýra se mu tato teorie zdála věrohodná, i když nedokázal identifikovat anatomické struktury v uchu, které fungují jako senzory a ovladače. V roce 1948 publikoval dvě práce, z nichž jedna informovala o výsledcích experimentu a druhá popisovala teorii.

Sám jsem se experimentu zúčastnil a poslouchal Golda, jak tuto teorii vysvětluje, a nikdy jsem nepochyboval o tom, že má pravdu. Profesionální fyziologové si však byli stejně jistí, že se mýlí. Teorii považovali za nevěrohodnou a experiment za nepřesvědčivý. Považovali Golda za ignorantského outsidera, který se vměšuje do oboru, v němž nemá žádné vzdělání ani pověření. Jeho práce o sluchu byla po léta ignorována a on se věnoval jiným věcem.

O třicet let později začala nová generace sluchových fyziologů zkoumat ucho pomocí mnohem sofistikovanějších nástrojů. Zjistili, že vše, co Gold v roce 1948 řekl, je pravda. Byly identifikovány elektrické senzory a ovladače ve vnitřním uchu. Jsou to dva různé druhy vláskových buněk a fungují tak, jak Gold říkal, že by měly. Komunita fyziologů konečně uznala význam jeho práce, a to čtyřicet let po jejím zveřejnění.

Goldova studie mechanismu sluchu je typická pro jeho celoživotní práci. Přibližně jednou za pět let vtrhne do nové oblasti výzkumu a navrhne pobuřující teorii, která vzbudí silný odpor profesionálních odborníků v dané oblasti. Pak se usilovně snaží dokázat, že se odborníci mýlí. Ne vždy se mu to podaří. Někdy se ukáže, že odborníci mají pravdu a on se mýlí. Nebojí se, že by se mýlil. Známy byl jeho omyl (nebo se o něm alespoň všeobecně soudí), když prosazoval teorii ustáleného stavu vesmíru, v němž se hmota neustále vytváří, aby se při rozpínání vesmíru udržovala konstantní hustota. Možná se mýlil, když varoval, že Měsíc může představovat nebezpečný povrch, protože je pokryt jemným, sypkým prachem. Ukázalo se, že je skutečně takto pokrytý, ale naštěstí se astronauti nesetkali s žádným nebezpečím. Když se ukáže, že se mýlil, s dobrým humorem to uzná. Říká, že věda není zábava, když se nikdy nemýlíte. Jeho chybné nápady jsou bezvýznamné ve srovnání s jeho mnohem důležitějšími správnými nápady. Mezi jeho důležité správné myšlenky patří



teorie, že pulsary, pravidelně pulzující nebeské rádiové zdroje objevené radioastronomy v roce 1967, jsou rotující neutronové hvězdy. Na rozdíl od většiny správných myšlenek byla jeho teorie pulsarů téměř okamžitě přijata odborníky.

Další Goldova správná myšlenka byla odborníky odmítána ještě déle než jeho teorie sluchu. Jednalo se o jeho teorii překlopení zemské osy o 90 stupňů. V roce 1955 publikoval převratnou práci s názvem "Nestabilita zemské osy rotace". Navrhl, že zemská osa

se může občas překlomit o úhel 90 stupňů během doby v řádu milionů let, takže starý severní a jižní pól se přesune na rovník a dva body starého rovníku se přesunou na póly. Překlopení by bylo vyvoláno pohyby hmoty, které by způsobily, že stará osa rotace by se stala nestabilní a nová osa rotace stabilní. Takovou výměnu stability by mohlo způsobit například velké nahromadění ledu na starém severním a jižním pólu. Goldův článek byl odborníky čtyřicet let ignorován. Odborníci v té době zaměřovali svou pozornost úzce na fenomén kontinentálního driftu a teorii deskové tektoniky. Goldova teorie neměla s kontinentálním driftem ani deskovou tektonikou nic společného, takže je nezajímala. Goldem předpovězené převrácení by probíhalo mnohem rychleji než kontinentální drift a nezměnilo by vzájemnou polohu kontinentů. Překlopení by změnilo polohy kontinentů pouze vzhledem k ose rotace.

V roce 1997 Joseph Kirschvink, odborník na magnetismus hornin z Kalifornského technologického institutu, publikoval článek, v němž předložil důkaz, že k otočení osy rotace o 90 stupňů skutečně došlo během geologicky krátké doby na počátku kambria. Tento objev má velký význam pro historii života, protože doba překlopení se zřejmě shoduje s dobou "kambrické exploze", krátkého období, kdy se ve fosilním záznamu náhle objevily všechny hlavní druhy vyšších organismů. Je možné, že překlopení rotační osy způsobilo hluboké změny prostředí v oceánech a spustilo rychlý vývoj nových forem života. Kirschvink připisuje Goldovi zásluhy za návrh teorie, která dává smysl jeho pozorováním. Pokud by teorie

nebyla čtyřicet let ignorována, mohly být důkazy, které ji potvrzují, shromážděny dříve.

Nejkontroverznější Goldovou myšlenkou je nebiologický původ zemního plynu a ropy. Tvrdí, že zemní plyn a ropa pocházejí ze zásobníků hluboko v zemi a jsou pozůstatkem materiálu, z něhož země kondenzovala. Biologické molekuly nalezené v ropě ukazují, že ropa je znečištěna živými tvory, nikoliv že ropa byla vyprodukována živými tvory. Tato teorie, stejně jako jeho teorie sluchu a polárního překlopení, je v rozporu se zakořeněnými dogmaty odborníků. Gold je opět považován za vetřelce neznalého oboru, do kterého vniká. Ve skutečnosti je Gold vetřelec, ale není to ignorant. Zná podrobnosti geologie a chemie zemního plynu a ropy. Jeho argumenty podporující jeho teorii jsou založeny na množství faktických informací. Možná nám opět bude trvat čtyřicet let, než se rozhodne, zda je tato teorie správná. Ať už se nakonec ukáže, že teorie nebiologického původu je správná, nebo ne, shromažďování důkazů k jejímu ověření významně obohatí naše znalosti o Zemi a její historii.

A konečně nejnovější z Goldových revolučních návrhů, teorie hluboké horké biosféry, je předmětem této knihy. Podle této teorie je celá zemská kůra až do hloubky několika kilometrů osídlena živými tvory. Tvorové, které vidíme žít na povrchu, jsou jen malou částí biosféry. Větší a starobylejší část biosféry se nachází v hloubce a v horku. Tato teorie je podpořena značným množstvím důkazů. Tyto důkazy zde nemusím shrnovat, protože jsou přehledně uvedeny na následujících stránkách. Raději nechám Golda mluvit za sebe. Účelem mých poznámek je pouze vysvětlit, jak teorie hluboké horké biosféry zapadá do celkového vzorce Goldova života a práce.

Goldovy teorie jsou vždy originální, vždy důležité, obvykle kontroverzní – a obvykle správné. Na základě padesáti let pozorování Golda jako přítele a kolegy jsem přesvědčen, že hluboká horká biosféra je vším výše uvedeným: originální, důležitá, kontroverzní – a správná.

# Předmluva

---

V červnu 1997 mne NASA požádala, abych přednesl výroční přednášku v Goddardově středisku vesmírných letů v Marylandu. Pozvání jsem získal díky svému příspěvku k teorii hluboké horké biosféry a jejím důsledkům pro mimozemský život. Byl jsem samozřejmě polichocen, ale zároveň mě mrzelo téma, o které jsem byl požádán: život v extrémních prostředích. Neměl jsem velký zájem mluvit o povrchové biosféře na Zemi, a přesto, pokud bych měl téma brát doslova, právě o to jsem byl požádán. Život v extrémních prostředích je náš vlastní povrchový život.

Pokud existuje jedna myšlenka, kterou si, jak doufám, uchováte ještě dlouho po dočtení této knihy, pak je to tato: Jsme to my, kdo žije v extrémních prostředích. A jestli ve vás chci vzbudit nějakou touhu, pak je to zvědavost dozvědět se více o prvních a skutečně pozemských bytostech – všech, které žijí hluboko pod našima nohama, v tom, čemu jsem začal říkat hluboká horká biosféra.

Bohužel mohu tuto zvědavost uspokojit pouze zde, protože v tuto chvíli je v našem biologickém a vesmírném chápání stále více otázek než odpovědí. Ale právě proto je zkoumání hluboké horké biosféry tak vzrušující.

Thomas Gold  
Ithaca, New York  
prosinec 1998

# Obsah

---

	Předmluva	v
	Freeman Dyson	
	Předmluva	xi
Kapitola 1	<b>Naše rajská zahrada</b>	1
	Úzké okno pro život na povrchu	2
	Chemická energie pro podpovrchový život	4
	Náhled na tuto knihu	7
Kapitola 2	<b>Život na hranicích</b>	11
	Energie hluboko v Zemi	13
	Ekologie života v hlubokomořských průduších	19
	Další hraniční ekologické oblasti	23
	Hloubka je žádoucí	27
	Pod hranicemi	30
Kapitola 3	<b>Teorie hlubinného plynu</b>	37
	Původ ropy: dvě protichůdné teorie	
	Pět předpokladů, na nichž je založena teorie hlubinných plynů v Zemi	38
Kapitola 4	<b>Důkazy o přítomnosti plynu v hlubinách Země</b>	57
	Ropné zásobníky, které se doplňují	59
	Stopy v karbonátovém záznamu	61
	Asociace helia s uhlovodíky	72

Kapitola 5	<b>Řešení ropného paradoxu</b>	79
	Řešení pro hlubokou horkou biosféru	80
	Biologické molekuly v nebiologické ropě	82
	Vzestupná teorie vzniku uhlí	86
	Důkazy pro teorii vzestupného proudění	94
	Výjimka pro rašelínu	100
Kapitola 6	<b>Siljanský experiment</b>	105
	Vrtání ve švédské žule	107
	Magnetit a mikrobiální geologie	114
Kapitola 7	<b>Rozšíření teorie</b>	125
	Původ diamantů	127
	Nové vysvětlení koncentrovaných kovových ložisek	131
Kapitola 8	<b>Přehodnocení zemětřesení</b>	141
	Bahenní sopky	142
	Výzva pro teorii zemětřesení	143
	Výpovědi očitých svědků	145
	Místa zemětřesení a zemní valy	156
	Vzlínající hlubinný plyn jako příčina zemětřesení	159
Kapitola 9	<b>Vznik života</b>	165
	Obyvatelnost povrchových a podpovrchových oblastí	166
	Zvýšená pravděpodobnost vzniku života	170
	Darwinovo dilema	176
Kapitola 10	<b>Co dál?</b>	185
	Mikrobiologická šetření	188
	Vyhlídky na mimozemský povrchový život	193
	Prohloubení pátrání po mimozemském životě	201
	Nezávislý počátek nebo panspermie?	205
	Doslov k brožovanému vydání	209
	Poznámky	217
	Poděkování	235
	Index	237

# Kapitola 1 Naše rajská zahrada

---

žádný vědecký obor pro nás neskrývá tolik překvapení jako biologie. Především je překvapením, že život vůbec existuje. Jak mohl život vzniknout? Vznikl první primitivní živý organismus díky jedné mimořádné náhodě ve vesmíru a z toho vyplynulo vše ostatní?

Jaké chemické a fyzikální okolnosti byly nutné, aby k takové nepravděpodobné události došlo? Nabízela naše Země jediné příznivé podmínky? Nebo (podle hypotézy známé jako "panspermie") vznikl život někde jinde a šířil se astronomickým prostorem, aby zakořenil na jakémkoli úrodném místě, na které narazil? Nebo život přece jen není nepravděpodobný? Možná je život nevyhnutelným důsledkem fyzikálních zákonů a vzniká spontánně na milionech míst.

Ať už jsou odpovědi na tyto otázky jakékoliv, víme, že život na povrchu Země má obrovskou rozmanitost forem. Tyto formy sahají od mikrobů přes velryby, obří houby až po obrovské stromy. Patří k nim i nezměrné množství hmyzu. Pokud k tomu připočteme formy života, které zanikly, pak se rozmanitost rozšíří o dinosaury, trilobity a mnoho dalších.

Všechna tato živá rozmanitost má mnoho společného. Stavba všech známých organismů zahrnuje složité formy bílkovinných molekul. Ty se zase skládají ze souboru stavebních kamenů zvaných aminokyseliny, které jsou společné všem známým formám života. Chemická konfigurace některých



těchto aminokyselin se mohou vyskytovat ve dvou formách, z nichž jedna je zrcadlovým obrazem druhé. Přesto zjistíme, že veškerá obrovská rozmanitost života využívá pouze jeden druh každé takové dvojice molekul. Zdá se tedy, že všemi známými formami života se táhne silná spojovací nit.

Neméně důležité, než společné složky života jsou společné podmínky, za nichž se mohou všechny známé formy života vyvíjet a přežít. Mezi tyto podmínky patří požadavek na vodu v kapalném stavu, omezený rozsah teplot a zdroje energie, které jsou dodávány v chemické formě (nebo mohou být na tuto formu převedeny). Máme tendenci předpokládat, že tyto podmínky jsou nejlépe – a možná ideálně – zajištěny na povrchu naší planety. A docházíme k závěru, možná smutnému, že tyto podmínky téměř jistě nejsou přítomny nikde jinde ve sluneční soustavě. Jsou však tyto předpoklady platné?

## Úzké okno pro život na povrchu

vesmír je drsné a kruté místo, říše extrémů. Většina vesmíru je prakticky prázdná a velmi chladná – přesněji řečeno 2,7 kelvina neboli  $-270,5^{\circ}\text{C}$  nad absolutní nulou. Tento obrovský chlad je přerušován body intenzivního tepla a světla – hvězdami – jejichž povrchové teploty dosahují milionů stupňů.

Hvězdy si svůj lesk neudrží věčně, a právě z nich pocházejí složky života. Hvězdy, které mají třikrát nebo vícekrát větší hmotnost než Slunce, zaniknou ve zběsilém výbuchu supernovy, která může nakrátko vzplanout jasně stovkami miliard hvězd. Výbuch rozptýlí hvězdný materiál do vesmíru a vytvoří chladná mračna, z nichž vznikají nové hvězdy. Různá atomová jádra vytvořená v jádru hvězdy a během jejího výbuchu dodávají materiály, z nichž mohou vznikat planety. Stejně hvězdné materiály poskytují prvky, z nichž jsme my a všichni ostatní nám známí živí tvorové postaveni.



Život je tedy vytvořen z různých atomů, které se kují v jaderných pecích hluboko uvnitř obřích hvězd. Přesněji řečeno, život je postaven z molekuly, shluky atomů, které jsou v dostatečně těsném kontaktu a dostatečně chladné, aby je slabá přitažlivá síla udržela pohromadě. Vnitřní prostory hvězd jsou vhodné pro vznik prvků, ale jejich teplo je příliš intenzivní pro vznik složitých molekul.

Většina míst ve vesmíru neumožňuje chemické působení, které je příznivé pro život. Hvězdy jsou příliš horké a většina ostatních míst je tak chladná, že látky jsou ve formě pevné látky nebo plynu o velmi nízké hustotě, jehož chemická aktivita je nesmírně pomalá. Ve vesmíru však vidíme některé oblasti, v nichž se vytvořilo mnoho různých typů molekul. Jedná se o velká plynná mračna v mezihvězdném prostoru, zahřívána hvězdami, které se v nich nebo v jejich blízkosti nacházejí. Rádiové techniky umožnily identifikovat mnoho různých molekul, které se tam nacházejí. Jednou z běžných složek plynu je voda a také uhlovodíky – kombinace vodíku a uhlíku. Předpokládá se, že právě z materiálů těchto mračen vznikly naše a další hvězdné systémy.

Aby mohly vzniknout a přetrvat formy života, musí být molekuly zaplaveny kapalinou nebo plynem, aby jemné kontakty mezi molekulami mohly vytvářet další molekuly a vytvářet takovou složitost, jakou nacházíme v biologických materiálech. Ve všech nám známých projevech života tuto pohyblivost zajišťuje kapalná voda. Vzhledem k divokým a nepříznivým podmínkám vesmíru – s místy intenzivního horka a rozsáhlými oblastmi krutého chladu – by se mohlo zdát, že je opravdu vzácné, aby se na nějakém místě udržely povrchové teploty v rozmezí, které by z vody učinily kapalinu. Povrchové teploty závisí nejen na slunečním záření, které planeta zachytí, a tedy na její vzdálenosti od Slunce a na velikosti Slunce a jeho povrchové teplotě, ale také na hmotnosti a složení atmosféry planety.

Hmotnost a složení atmosféry rozhodujícím způsobem určuje atmosférický tlak. Bez tlaku plynu neexistuje kapalná voda. Při absenci podstatné části atmosféry je voda buď pevná látka, nebo pára. Celkově lze říci, že planeta, která nabízí na svém povrchu kapalnou vodu, je

vzácným jevem. Ještě vzácnější by byla podmnožina takových míst, která dala vzniknout složitým konstrukcím, jimž říkáme "život".

Mohla by v tomto divokém vesmíru existovat místa, kde třeba po úbočí kopce teče potůček, stromy se jemně pohupují ve větru a u něj sedí tvorové, kteří se kochají výhledem? Zdá se to být v tomto zapovězeném vesmíru přitažené za vlasy. A přece jedno takové místo známe: naši malou Zemi.

Jak se na naší planetě mohlo zrodit obrovské množství povrchového života, které vidíme kolem sebe? Žádná z ostatních planet ani jejich měsíců nemá nic srovnatelného. Protože povrch všech ostatních těles v naší planetární soustavě v podstatě nenabízí žádnou možnost existence kapalné vody, je velmi nepravděpodobné, že by povrchový život existoval kdekoli jinde v naší sluneční soustavě než na Zemi. Pro velké formy života, jako jsme my, zde může existovat pouze jedna rajska zahrada. Ale živé bytosti dostatečně malé na to, aby osídlily malé póry, mohou klidně existovat na několika – a možná i mnoha - dalších planetárních tělesech.

## Chemická energie pro podpovrchový život

Slunce poskytuje dvě různé činnosti.

Zprv je zdrojem tepla, díky němuž se teplota zemského povrchu dostává do rozmezí vhodného pro složité chemické reakce molekul, a tedy i pro život. Okolní teplo však nemůže být zdrojem energie a teplo našeho povrchového okolí by nemohlo představovat zdroj energie pro povrchový život. Pouze tok tepla z teplejšího tělesa na chladnější může být přeměněn na jiné formy energie. Takový tok energie máme od horkého povrchu Slunce k chladnější Zemi – druhé působení, které Slunce poskytuje - a energie je z tohoto toku odebírána a přeměňována na chemickou energii v procesu fotosyntézy.

Fotosyntézu dnes provádějí převážně rostliny a řasy, které využívají sluneční světlo k disociaci molekul vody ( $H_2O$ ) a atmosférického oxidu uhličitého ( $CO_2$ ) a následně změně konfigurace atomů za vzniku

sacharidů, jako je  $C_6 H_{12} O_6$ , které mohou být podle potřeby oxidovány ("spáleny") zpět na  $H_2O$  a  $CO_2$ , aby se získala metabolická energie. Tento proces pak slouží jako hlavní zdroj energie pro veškerý povrchový život. Povrch planety, na kterém neexistuje fotosyntetický život, by byl nepřátelský pro všechny nám známé povrchové formy života. Pod povrchem může být teplota podobná teplotě na povrchu, ale na malých rozměrech – jako je velikost tamních živých forem – dochází jen k poměrně zanedbatelnému *toku* energie. Proto pod zemským povrchem nemůže existovat žádný zdroj energie.

Když se však zamyslíme nad počátkem života, uvědomíme si, že v tomto popisu energetické transformace se skrývá hádanka. Fotosyntéza je nesmírně složitý proces. Mikroorganismy, které ji vyvinuly, musely mít složité systémy chemického zpracování už předtím, než získaly tuto pokročilejší schopnost. Zdroj energie, z něhož tyto původní mikroorganismy čerpaly, musel být zpočátku chemický. Chemická energie, která byla k dispozici před vznikem fotosyntézy, nemohla být vytvořena sluneční energií ani životem. Musela být bezplatným darem vesmíru.

Odkud přesně se taková chemická energie vzala? Domnívám se, že původní zdroj energie pro pozemský život nepocházel z fotosyntézy, ale z oxidace již přítomných uhlovodíků, které jsou přítomny i na mnoha jiných planetárních tělesech a v původních materiálech, z nichž vznikla sluneční soustava. Uhlovodíky, které sahají od lehkého plynu metanu až po nejtěžší ropu, jsou dnes na Zemi přítomny ve velkém množství a ve velkých hloubkách – domnívám se, že mnohem větších a hlubších, než se obvykle odhaduje. Tento názor na genezi uhlovodíků jsem nazval *teorií hlubinných zemních plynů*.<sup>1</sup>

Myslím, že nyní máme dobré důkazy o tom, že hluboko pod povrchovou biosférou, která je domovem lidí, existovala a stále existuje velmi významná oblast života. Tuto podpovrchovou sféru a její obyvatele nazývám hlubokou horkou biosférou – hlubokou proto, že může sahat až do hloubky deseti kilometrů a více pod zemský povrch, a horkou proto, že v důsledku přirozeného teplotního gradientu Země se teploty ve velké části této sféry blíží nebo dokonce přesahují  $100^{\circ}C$ .

Obvyklá představa je, že uhlovodíky přítomné ve svrchních vrstvách zemské kůry pocházejí výhradně z rostlinných a živočišných zbytků přeměněných geologickými procesy – a že tedy uhlovodíky nemohly hrát roli při vzniku života. Tento předpoklad však budeme mít důvod zpochybnit, stejně jako mnoho dalších předpokladů. A jak uvidíme v kapitole 2, množství nových objevů potvrdilo přítomnost života v této oblasti zemské kůry, a to za podmínek, které byly dříve jen zřídka považovány za přijatelné pro jakoukoli formu života.

Chemická energie se uvolňuje při chemických reakcích. Látky, které v naší povrchové sféře nazýváme palivy, jsou ve skutečnosti pouze jednou ze složek reakcí, při nichž vzniká energie. Druhá složka, kyslík, je kolem nás tak hojná, že na ni zapomínáme. Uhlovodíky, vodík a uhlík jsou pro nás palivy jen proto, že druhá složka potřebná pro reakci, při níž vzniká energie, je snadno dostupná z obrovské zásoby kyslíku přítomného v naší atmosféře a rozpuštěného v mořské vodě jako  $O_2$ . Tento kyslík vzniká z velké části, ale ne zcela, jako zbytková látka v procesu fotosyntézy. Spíše než ropu nebo uhlí představuje fosilní palivo, které zbylo po zaniklé vegetaci.

Předtím, než život vymyslel fotosyntézu – a dokonce i nyní v hloubkách, kam atmosférický kyslík nepronikne - musel být jakýkoli život využívající uhlovodíky závislý na jiných zdrojích kyslíku. Kyslík je druhým nejrozšířenějším prvkem (po křemíku) v zemské kůře. V horninách je tedy kyslíku dostatek, ale většina z něj je příliš pevně vázána na to, aby byl užitečný. Je zřejmé, že zdroje kyslíku, které vyžadují více energie k uvolnění kyslíku z jeho vazby v horninách, než je energie získaná oxidací uhlovodíků s ním, nemohou mikrobům poskytnout zdroj energie.

Podpovrchový život proto musí záviset na zdrojích kyslíku, v nichž jsou tyto životně důležité atomy jen slabě vázány s ostatními prvky. Největšími zdroji slabě vázaného kyslíku v zemské kůře jsou některé druhy oxidů železa a sírany (oxidované sloučeniny síry). Když se kyslík extrahuje z oxidů železa, jako je železo, zanechává tento proces železo v nižším oxidačním stavu, ve kterém je magnetické; příkladem jsou minerály magnetit a greigit. Když se

kyslík odebírá ze síranů, může po něm zůstat čistá síra nebo sulfidy, jako je sirovodík a sulfid železa. Existence takových vedlejších produktů metabolické činnosti v podpovrchové sféře nám pomáhá identifikovat biochemické procesy, které proběhly. Tyto vedlejší produkty také poskytují představu o rozsahu a dosahu hluboké horké biosféry.

Pro teorii podpovrchového života je zásadní, že konečný zdroj vyvěrajících uhlovodíků se nachází mnohem hlouběji než nejspodnější oblast podpovrchového života. Hluboká horká biosféra může být hluboká, ale nesmí být příliš hluboká. Proč tomu tak je? Exponenciální rychlost růstu mikrobů (stejně jako všech forem života) znamená, že tam, kde se život vyskytuje, musí zdroj energie, který ho podporuje, přicházet v odměřeném toku. Kdyby první formy podpovrchového života nebyly omezeny přísunem potravy, jejich početní nárůst by velmi rychle spotřeboval veškerou zásobu v jednom okamžiku geologického času, což by neumožnilo postupnou evoluci.

Proto musí být k dispozici energie, kterou může život využít, ale nesmí být k dispozici najednou. Odměřený tok energie pro povrchovou biosféru zajišťuje Slunce, kterému trvá miliardy let, než spotřebuje své vlastní omezené zásoby paliv. Chemická energie (například cukry), kterou zde na Zemi vytvářejí fotosyntetizující formy života, se tedy vytváří v průběhu času odměřeným způsobem a pouze v oblastech, kde je tekutá voda – nikoliv v nejsušších pouštích nebo v ledových polích polárních či vysokohorských oblastí. Přeměna sluneční energie na chemickou nyní probíhá v míře dostatečné k tomu, aby uživila veškerý povrchový život, který vidíme. Ale bez ohledu na to, jak chamtivý život může být, organismy jednoduše nemohou přimět Slunce, aby vyzařovalo energii rychleji. Je to energie, která podporuje život, ale pouze dávkovaný tok energie udržuje život po dlouhou dobu.

Pochopení významu odměřeného přísunu energie pro život je zásadní pro vymezení možností vzniku života. Často diskutované teplé jezírko, které obsahovalo živiny, jež se jen velmi obtížně

vytvářely povrchovými procesy, není podle mého názoru vhodným prostředím pro přechod od neživota k životu. Takové prostředí by poskytovalo omezené množství chemických zásob a energie, nikoliv dlouhodobý a nepřetržitý dávkovaný přísun. Potřebujeme spíše prostředí, které může dodávat chemickou energii v dávkovaném toku po dobu desítek nebo stovek milionů let, během nichž by mohlo dojít k nepochopitelně velkému množství molekulárních experimentů.

## Náhled na tuto knihu

Ve zbývajících kapitolách předložím teorii, že v hloubce Země existuje plně funkční a silná biosféra, která se živí uhlovodíky, a že prvotní zdroj uhlovodíků leží ještě hlouběji. Budu tvrdit, že fotosyntéza se vyvinula v odnožích podzemního života, který postupoval směrem k povrchu a poté vyvinul způsob, jak využívat fotony k dodávání ještě většího množství chemické energie. Když se podmínky na povrchu staly příznivými pro život (s ohledem na teplotu, přítomnost tekuté vody, filtraci drsných složek slunečního záření a ukončení ničivých dopadů asteroidů), mohlo vzniknout obrovské množství povrchového života.

Při zpětném pohledu není těžké pochopit, proč vědecká komunita obvykle hledala na nebi pouze povrchový život. Vědcům v tom bránil jakýsi "povrchový šovinismus". A protože pozemští vědci neuznávali přítomnost chemické energie pod svými nohama, nemohli astronomové a planetární vědci do svého pátrání po mimozemském životě zabudovat podpovrchovou složku. Toto nedorozumění bohužel přetrvává. Představu, že uhlovodíky na Zemi jsou chemickými pozůstatky povrchového života, které byly dlouho pohřbeny a pod tlakem převařeny na ropu a zemní plyn, bylo nesmírně obtížné vyvrátit. Snažím se o to od roku 1977 a cestou jsem zjistil, že někteří průkopnickí ruští vědci byli mými předchůdci.<sup>3</sup> Důvod tohoto přetrvávajícího zmatku v chápání toho, jak uhlovodíky vznikly, je příběh sám o sobě; budu se jím zabývat ve třetí kapitole.

Dokud budou západní vědci předpokládat biologický původ všech pozemských uhlovodíků, nebudou hlavní zdroje chemické energie Země rozpoznány. A dokud nebudou tyto významné zdroje potraviny rozpoznány, a to že skutečně může existovat rozsáhlá podzemní biosféra až do velké hloubky patrně nepřitáhne pozornost vědy. Proto má zvláštní význam kapitola 3, v níž se budu zabývat úvahami, které svědčí ve prospěch teorie hlubinného zemního plynu.

Povrchové důkazy pro tuto teorii jsou uvedeny v kapitole 4. Především uvádím soubor pozorování, která nelze sedimentárním původem uhlovodíků vůbec vysvětlit – silnou asociaci uhlovodíků s plynem, který nemůže mít žádné chemické interakce ani s rostlinnými materiály, ani s uhlovodíky: inertní prvek helium. Jak je možné, že se v ropě shromáždily zjevně biologické molekuly, ale také inertní plyn, který je v horninách normálně málo rozšířen? Tomuto spojení říkám "ropný paradox". Jeho řešení (v kapitole 5) naznačuje, že v pórových prostorech hornin musí existovat množství mikrobiálního života. Podle mého názoru nejsou uhlovodíky biologií přepracovanou geologií (jak tvrdí tradiční názor), ale spíše geologií přepracovanou biologií. Jinými slovy, uhlovodíky jsou prvotní, ale jak se dostávají do vnější zemské kůry, vniká do nich mikrobiální život.

Kapitola 6 představuje pozoruhodné výsledky rozsáhlého vrtného projektu, který jsem inicioval ve Švédsku s cílem ověřit teorii hlubinného zemního plynu a také hledat hlubinný mikrobiální život. V kapitolách 7 a 8 se snažím ukázat, jak teorie hlubinného plynu vysvětluje koncentrovaná ložiska některých kovových rud v zemské kůře a také důležité rysy zemětřesení.

V kapitolách 9 a 10 využívám teorie hlubokého zemského plynu a teorie hluboké horké biosféry k novým úvahám o dvou zřejmě nejhlubších záhadách biologických věd: o původu pozemského života a o vyhlídkách na mimozemský život. Na začátku uvádím srovnání obou biosfér. V čem se mohou povrchová a hlubinná biosféra lišit, kromě prostého faktu, že jedna čerpá chemickou energii a druhá sluneční? Poté se vracím k otázce vzniku života a vysvětluji, proč se domnívám, že

povrchový život je potomkem původní formy života, která vznikla v hloubce, a nikoli naopak.

Pokud tato posloupnost od hloubky k povrchu nejlépe vysvětluje vznik a rozšíření pozemského života, pak se podpovrchový život na mnoha dalších planetárních tělesech jeví jako velmi pravděpodobný. Ve sluneční soustavě existuje mnoho těles, jejichž vnitřní podmínky jsou pravděpodobně podobné podmínkám na naší Zemi, ale jejichž povrch nenabízí pro život takové mimořádné výhody jako ten náš. Bylo by skutečně nepravděpodobné, že by se podpovrchový život vyvinul pouze na jediném unikátním tělese, které by mohlo podporovat i povrchový život. Tato úvaha mě v roce 1992 vedla k předběžné předpovědi, že naše vlastní sluneční soustava ukrývá ne jednu, ale deset hlubokých horkých biosfér.<sup>4</sup>

My, povrchoví tvorové, jsme možná ve sluneční soustavě sami, ale zdá se, že obyvatelé pozemských hlubin mají mnoho – možná nezávisle vyvinutých - vrstevníků. Teprve až si uvědomíme existenci prosperující podzemní biosféry v rámci naší vlastní planety, naučíme se správné postupy pro zahájení pátrání po mimozemském životě na jiných planetárních tělesech. Některé takové techniky a další návrhy pro budoucí výzkum budou uvedeny v kapitole 10.

Naše cesta začne v další kapitole, kde se podíváme na hraniční oblasti mezi oběma biosférami. Podél hydrotermálních průduchů a ropných vývěrů v oceánu a v horkých pramenech a jeskyních bohatých na metan na souši se setkáme s některými mimořádnými vyslanci hluboké horké biosféry. Zde také můžeme začít chápat, proč mohou být hlubiny pro život vlastně žádoucí.



## Kapitola 2 Život na hranicích

---

V únoru a březnu 1977 sestoupila malá hlubinná ponorka Alvin do hloubky 2,6 kilometru podél Východního Pacifiku. Tato oblast severovýchodně od Galapážských ostrovů byla známa jako centrum rozšiřování mořského dna. Výzkumná loď nad touto oblastí v předchozím roce táhla kameru, která potvrdila existenci řady trhlin na oceánském dně, které se zdály být vulkanicky aktivní. Posádka lodi Alvin však viděla mnohem víc.

Daleko pod nejhlubší možností fotosyntetického života odhalil Alvinův reflektor kousek oceánského dna kypícího životem, který byl v ostrém kontrastu s okolními pustinami. Tato oblast byla pokryta hustými společenstvy mořských živočichů – někteří byli na svůj druh výjimečně velcí. Tito živočichové, ukotvení na skalách, prosperovali na bohatém pomezí, kde se horké tekutiny ze země setkávaly s mořským chladem. Novinkou pro vědu byly druhy citronově žlutých mlžů a škeblí s bílou skořápkou, které dosahovaly délky až třetiny metru. Nejpozoruhodnější ze všech byli trubkovití červi, kteří číhali uvnitř svislých bílých stonků vlastní výroby, z jejichž vrcholu vyčnívaly jasně červené žábry. Stejně jako trubkovití červi z mělkých vod žijí tito obyvatelé hlubin seskupeni ve společenstvech, jejichž trubky jsou orientovány směrem ven a připomínají štětiny na kartáči. Na rozdíl od svých známějších příbuzných jsou však trubkovití červi z hlubin obři, kteří dosahují délky přes dva metry.

Další pátrání brzy ukázalo, že toto podivné a izolované životní společenství není v žádném případě ojedinělé. Populace stejných organismů byly objeveny i na dalších místech podél oceánského zlomu, u hydrotermálně aktivních prúdů jinde v Tichém oceánu a také v Atlantiku a Indickém oceánu. Jednalo se zjevně o globální jev. Tyto netušené oázy představují zcela nové prostředí pro život. Odkud se tito tvorové vzali? Jaké zdroje energie a živin mohly podporovat tak úžasnou plodnost a v takovém mozaikovitém rozmístění?

Skrze okna Alvina byla posádka v roce 1977 svědkem nejen podivných forem života, ale také proudů mléčných tekutin a černého "kouře" vycházejících z prúdů na mořském dně. O těchto prouděch hydrotermálních tekutin, zahřátých a obohacených o plyny a minerály, je dnes známo, že jsou zdrojem chemické energie v základu potravního řetězce prúdušského společenství. O dvě desetiletí později jsme však teprve začali chápat, jak to všechno funguje.

Protože jsme povrchoví tvorové, snadno si osvojíme názor, že povrchový život je jediný možný. Obdivujeme exotický život podél hlubokomořských prúdů. Předpokládáme samozřejmě, že prúduchy byly původně kolonizovány emigranty z povrchového ekosystému – průkopníky ve vývoji adaptací nezbytných pro přežití na energii čerpanou z chemických zdrojů, nikoliv ve formě fotonů, jednotek energie, v nichž je světlo dodáváno. Tento scénář "shora dolů" je pro velké živočichy rozumný. Trubkovití červi a mlži jistě migrovali z mělkých vod dolů. Ale žádný živočich jakéhokoli druhu nemůže sloužit jako základ potravního řetězce. Všichni živočichové jsou závislí na chemické energii uložené v tělech organismů, které konzumují. Něco tedy muselo růst v okolí oceánských prúdů už v době, kdy červi a mlži rostli a dorazily škeble.

Podle mého názoru je pravděpodobnější, že základ potravního řetězce v hlubokomořských prúduších vznikl zespodu, než že by

sestoupil shora. Mikrobi (bakterie a archea), kteří dnes podporují celý tento složitý podnik, jsou potomky mikrobiálních společenstev, která žila a stále žijí v zemské kůře. Zatímco velké formy života mohou existovat pouze tam, kde je pro ně značný prostor, mikrobiální život, který je živí, se vyskytuje v jednotkách dostatečně malých, aby mohl obývat drobné pukliny v horninách mořského dna i jinde ve svrchní části zemské kůry. Celkový objem hornin, který je těmto mikrobům přístupný, je obrovský; jak uvidíme v kapitole 5, mikrobiální obsah svrchní části zemské kůry může svou hmotností i objemem převyšovat veškerý povrchový život. Mikrobi z oblasti, kterou nazývám hlubokou horkou biosférou, pravděpodobně pronikli na toto pomezí mezi oběma světy – mezi hlubokou a povrchovou biosférou – dlouho předtím, než se na povrchu vyvinula fotosyntéza. Ve skutečnosti mohly být chemické rozdíly mezi oběma světy nepatrné již před příchodem fotosyntézy, protože právě fotosyntéza proměnila zemský povrch v zónu prostoupenou volnými molekulami kyslíku  $O_2$ .

### Energie hluboko v Zemi

Fotosyntéza je mimořádně složitý proces přeměny energie světla na energii chemickou. Proč ale musí cesta, kterou se energie ubírá, zahrnovat chemické formy? Proč nemůže sluneční světlo přímo pohánět všechny procesy, které organismus potřebuje? Existuje několik pádných důvodů. Zaprvé, energie potřebná pro chod buněčných metabolismů musí být k dispozici v přírůstcích, které nejsou silnější než desetina energie dodané jediným slunečním fotonem. Očekávat, že buňka využije foton přímo k syntéze cukru, by bylo směšnější než očekávat, že hráč baseballu bude odpalovat kulky z kulometu. Život si spíše vymyslel nesmírně důmyslný aparát, který má za úkol provést prvotní úkol – zachytit kulky.

Za druhé, foton nemá žádnou trpělivost. Využijte ji hned, nebo ji navždy ztratíte. Sluneční světlo nelze zachytit do sklenice a uložit

na polici. Jeho energii však lze využít k vytvoření molekul, například cukrů, které budou dodávat energii při spojení s atmosférickým kyslíkem. Dokládá to naše dýchání: takové "redukované" (nezoxidované) sloučeniny uhlíku přijímáme v potravě, vdechujeme kyslík a vydechujeme oxid uhličitý. To popisuje celkovou metabolickou aktivitu, ale ve skutečnosti existují různé fáze mezi nimi, všechny závislé na energii dodané oxidací redukovaných sloučenin uhlíku, které přijímáme, případně na  $\text{CO}_2$ . Cukry nebo jiné meziprodukty mohou být uloženy na buněčné polici a rychlost "spalování" lze řídit. Chemická energie tak nese výhodu dostupnosti, nabízí upravené množství tam, kde a kdy je potřeba.

Protože fotosyntéza je tak složitý proces, a protože energie získaná z fotonů musí být přeměněna na chemickou energii, než ji buňka může využít, vědci, kteří zkoumají možný původ pozemského života, jsou přesvědčeni, že první živé buňky nevyužívaly sluneční světlo, ale chemickou energii přítomnou v prostředí. Odkud se tato chemická energie vzala a z čeho se skládala, zůstává předmětem vášnivých diskusí, ale všeobecně se předpokládá, že buď se tento prvotní zdroj energie již dávno vyčerpал, nebo podmínky, které ji před miliardami let vytvářely, již nepanují. K této otázce se vrátím v dalších kapitolách. Prozatím je důležité si pouze uvědomit, že by bylo mnohem obtížnější zkonstruovat živou buňku, která by dokázala vytvářet chemickou energii z fotonů než zkonstruovat živou buňku, která by získávala chemickou energii ze svého okolí.

Buňky, které provádějí tuto složitou funkci fotosyntézy, musí mít přístup ke kapalné vodě, jak již bylo uvedeno, a musí mít přístup k uhlíku a dusíku pro výrobu bílkovin, hlavních stavebních prvků jejich chemického zařízení. Sluneční energie se využívá k "redukci" (odkyselení) sloučenin, které později slouží jako zdroj energie při jejich opětovné oxidaci. Proto musí být k dispozici také kyslík a katalyzátory (enzymy), které iniciují a řídí rychlost reakcí, a tím i výkon.

Život, jak ho známe, je zásadně závislý na přítomnosti uhlíku; pozemský život se někdy označuje jako "život založený na uhlíku", aby se odlišil od teoreticky možného (ale neznámého) "života založeného na křemíku". Atomy uhlíku tvoří kostru všech bílkovin a všech genetických materiálů všech nám známých forem života. V povrchové biosféře je uhlík dodáván oxidem uhličitým, který je v malém množství přítomen v atmosféře. Každá z několika druhů fotosyntézy, které se vyvinuly pro život, začíná oxidem uhličitým, z něhož se pak vytvářejí složité molekuly života. V nejběžnější formě fotosyntézy se k disociaci vody a tím k přístupu k atomům vodíku využívají energetické fotony ze Slunce. Vodík je dále použit k "redukci" (odebrání kyslíku) molekuly oxidu uhličitého. Tím se uvolní neokysličený uhlík, který lze následně použít pro výrobu stavebních materiálů a různých funkčních materiálů, jako jsou například bílkoviny. Neoxidovaný uhlík lze také použít ke stavbě různých cukrům podobných látek (sacharidů a polysacharidů), které poskytují skladovatelné zdroje chemické energie.

Když fotosyntetizující organismus odumře a když odumrou i ostatní organismy, které využívaly jeho produkty, vrátí mikrobiální rozklad do atmosféry všechny materiály, které z ní byly odebrány. V závislosti na typu mikrobu, který rozklad provádí, se uhlík vrátí do atmosféry buď jako oxid uhličitý, nebo jako metan ( $\text{CH}_4$ ). Protože atmosféra je bohatá na kyslík, veškerý metan, který se do ní uvolní, se samovolně přemění na oxid uhličitý a vodu v časovém horizontu přibližně deseti let. Z hlediska energetické bilance se tedy nevyčerpala žádná chemická energie získaná ze země. Oxid uhličitý se vrací jako oxid uhličitý a voda se vrací jako voda.

Může se tedy zdát, že koloběh uhlíku v povrchové biosféře je úplný a uzavřený. Pokud atmosféra a obnažené horniny zpočátku disponují množstvím surovin potřebných pro život, měl by tento proces probíhat tak dlouho, dokud svítí slunce a teploty umožňují, aby voda zůstala v kapalném stavu. Jak však uvidíme v kapitole 4, cesta, kterou uhlík prochází cyklem fotosyntézy a oxidace, zdaleka není uzavřená. Několikanásobně větší množství uhlíku, než kolik

ho přijímají živé materiály, je neustále získáváno z atmosféry a vyřazováno z oběhu v podobě dlouhověkých nebo trvalých uhličitanových hornin. Povrchová biosféra tedy musela být udržována při životě neustálým a velkým přísunem uhlíku ve formě metanu nebo  $\text{CO}_2$  (nebo, jak naznačují některá pozorování, směsí obou).  $\text{CO}_2$  bude v obou případech konečným přírůstkem atmosféry.

V povrchové biosféře pochází veškerá energie pro biochemické přeměny nakonec ze slunečního záření. Život v hluboké horké biosféře nemá přístup ke slunečnímu světlu, takže zdroj energie nemůže fungovat stejným způsobem. Ale i tam je uhlík základní stavební jednotkou života. Jaký je zdroj tohoto uhlíku v podpovrchové sféře?

Představu odvozenou z povrchové biologie, že  $\text{CO}_2$  je standardním zdrojem uhlíku pro veškerý život, někteří badatelé aplikovali i na život v hlubinách. Oceánská voda sice obsahuje velké množství  $\text{CO}_2$ , ale nemá žádný zdroj energie, který by ho redukoval. Redukovaný uhlík, který stéká z povrchových vrstev, by byl zcela nedostatečný. Z procesu, který začíná i končí oxidovaným uhlíkem, nelze získat žádnou energii. Pokud by byl na začátku k dispozici nezoxidovaný uhlík ve formě molekul uhlovodíků migrujících vzhůru, pak by tyto molekuly byly logickým kandidátem na zdroj uhlíku, který by rovněž přinesl sekvenci produkující energii a končil by  $\text{CO}_2$ .

Horké oceánské průduchy nejsou samy o sobě provinciemi hluboké horké biosféry; jsou to hraniční oblasti mezi dvěma světy, mezi povrchem a podpovrchovým prostředím. Přesto jsou jejich potravní řetězce poháněny procesy natolik odlišnými od povrchové sféry, že jsou vhodným místem pro začátek našeho zkoumání energie hlubinné horké biosféry. Množství uhlíku, které klesá dolů z povrchového života v oceánech, je zcela nedostatečné pro zásobování mimořádně plodné biologie oceánských průduchů. Sopečné horniny mořského dna obsahují jen velmi malou část uhlíku – asi 200 částic na milion (ppm). Získávání uhlíku z tohoto zdroje by bylo obtížné a energeticky velmi náročné. Ve všech těchto společenstvech se však nachází mnohem větší zdroj uhlíku:

uhlovodíky. Metan ( $\text{CH}_4$ ) je obecně nejrozšířenější, ale těžší členové této řady, jako je etan ( $\text{C}_2\text{H}_6$ ) a až po oleje tvořené dvaceti až třiceti atomy uhlíku, se také vyskytují podél stejných zlomových linií, i když v oblastech, kde je méně sopečného tepla. Jak ukáží následující dvě kapitoly, tyto uhlovodíkové kapaliny vykazují mnoho znaků, které naznačují, že pocházejí z mnohem hlubších oblastí.

Můžeme tedy předpokládat, že chemická energie je dodávána oxidací těchto uhlovodíků. Začínáme-li s uhlovodíky, vyhneme se prvnímu a energeticky nejnáročnějšímu kroku v cyklu povrchové energie. Chemická energie, která je k dispozici v oceánských průduších, je velmi podobná té, která je k dispozici při spalování zemního plynu (který je z velké části tvořen metanem) a jeho přeměně na vodu a oxid uhličitý. Je tu však jeden háček. Při spalování metanu v peci je neustále k dispozici neomezené množství kyslíku z atmosféry. V oceánských průduších, na pomezí povrchové a hlubinné biosféry, může být k dispozici určité množství atmosférického kyslíku, který byl v roztoku zanesen dolů ve studené oceánské vodě. Pokud by to stačilo k přeměně veškerého metanu dodávaného z průduchů na oxid uhličitý a vodu, pak by tato hraniční provincie byla závislá na povrchových biologických procesech a nebyla by výspou toho, co předpokládám, že je nezávislou sférou života, která se rozprostírá dole v horninách. Zdá se pochybné, že by plodný život na těchto koncentrovaných místech na dně oceánu mohl přijímat dostatek atmosférického kyslíku z vody, ale pevnou odpověď zatím neznáme. Tato otázka však nemá zásadní význam. Dnes známe mnoho případů, kdy můžeme sondovat tak hluboko do hlubin biosféry, kam atmosférický kyslík nemá absolutně žádný přístup, a pozorujeme tam probíhat obecně podobné metabolické procesy. Odkud se potřebný kyslík bere?

Jak již bylo uvedeno, v horninách je vázáno velké množství kyslíku, ale většina z něj je vázána tak silně, že k jeho odstranění by bylo zapotřebí více energie, než kolik by bylo možné získat jeho následnou oxidací uhlovodíků. Existují pouze dvě běžné látky, v

nichž jsou atomy kyslíku vázány natolik volně, že by se využitím takto získaného kyslíku získalo více energie, než se spotřebuje na jeho získání. Těmito dvěma běžnými látkami jsou silně oxidované železo ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$  a související sloučeniny) a oxidovaná síra (například  $\text{SO}_2$  a  $\text{H}_2\text{SO}_4$  ve sloučeninách, které se nazývají sírany). Pokud si mikrobi v oceánských průduších nebo pod nimi zajišťují potřebu kyslíku z oxidů železa, zůstane méně oxidovaná forma železa - magnetit nebo greigit. Působení mikrobů za sebou zanechává zřetelný otisk: Krystaly těchto produktů jsou mnohem menší než krystaly stejných látek, které zmrzly při ochlazení hornin z kapalné do pevné formy.

Voda oceánů obsahuje ve velkém množství druhý zdroj lehce vázaného kyslíku, sírany. Sírany ( $\text{SO}_4$ ) jsou druhým nejrozšířenějším iontem se záporným nábojem v mořské vodě. Množství kyslíku, které by mohlo být získáno z mořských síranových iontů, může značně převyšovat množství konvekčního atmosférického kyslíku dostupného v oceánských průduších. Pokud je kyslík v blízkosti průduchů skutečně dostupný především ve formě síranů, pak budou mít mikrobi, které využívají uhlovodíky, ideální podmínky: Chemické přeměny pro získávání chemické energie z uhlovodíků ve vřídlech nebudou probíhat samy od sebe, protože pro první krok uvolnění atomů kyslíku ze síranu je nutný počáteční přísun energie. Tento energeticky náročný krok však bude mikrobům dostatečně kompenzován při druhém kroku.

Zprostředkování takových transakcí je svěřeno světu mikrobů. Zde je důležité si uvědomit, že chemické palivo je pro život nepoužitelné, pokud se samovolně vznítí. Večeře by vám nebyla nic platná, kdyby vám jídlo na talíři vzplálo. Aby se látka mohla považovat za "potravinu", musí se oxidovat pouze za pomoci katalyzátoru vytvořeného a nasazeného životem. To je základní požadavek jak pro organismy na základně potravních řetězců povrchové a hlubinné biosféry, tak pro všechny organismy, které stojí později v řadě.



Odstraněním kyslíku ze síranů v oceánských průduších vzniká buď čistá (elementární) síra, nebo sulfidy, což jsou neoxidované sloučeniny síry. Velké množství sulfidů kovů, které se nahromadí na okrajích oceánských průduchů, naznačuje, že k takovým biologickým usnadněným přeměnám skutečně dochází.

Další podmínkou pro stavbu organismů – ať už jde o obyvatele povrchové nebo podpovrchové biosféry - je přísun různých kovů, které jsou potřebné v molekulách bílkovin známých jako enzymy, jež katalyzují chemické reakce. Pro biologickou stavbu nebo chemické zpracování jsou rovněž nezbytné některé reaktivní molekuly, které obsahují prvky, jako je síra, fosfor a chlor. Potřebná množství těchto prvků jsou natolik malá, že je obvykle dokáže dodat svrchní část zemské kůry. Hlubinná biosféra a pozemské části povrchové biosféry jsou tak dostatečně vyživovány. Povrchové vody otevřených oceánů však mohou být ochuzeny, zejména o fosfor a železo.

Souhrnně lze říci, že mezi oběma biosférami existují významné rozdíly a důležité podobnosti. Povrchová biosféra funguje na základě sluneční energie přeměněné na energii chemickou; hlubinná biosféra začíná chemickou energií volně dodávanou z hlubin Země. Obě biosféry jsou závislé na neoxidovaném uhlíku jako stavebním kamení života, ale povrchový život jej zpočátku získává s pomocí slunečního záření z oxidu uhličitého v atmosféře, zatímco hlubinný život jej získává ze stejných látek, které používá jako zdroj energie: z uhlovodíků. Kyslík je v obou sférách podmínkou, protože chemickou energii poskytuje pouze v procesu oxidace. Pro povrchové tvory je kyslík dostupný převážně ve formě čistého, molekulárního kyslíku. Obyvatelé podpovrchových prostor se musí o jeho přísun více snažit a získávat atomy kyslíku, které jsou volně vázány v oxidech železa a síranech.

## Ekologie života v hlubokomořských průduších

Protože jsme povrchoví tvorové, máme sklon považovat ekosystém založený na chemické energii místo na fotosyntéze za zvláštní, i když úžasnou adaptaci života. Obdivujeme ekologii hlubokomořských průduchů jako obratné přizpůsobení povrchového života nehostinnému prostředí. Důkazy však svědčí o opaku. Mikrobům, a dokonce i živočichům se v těchto průduších daří; předpokládá se, že rychlost jejich růstu převyšuje rychlost růstu i v těch nejproduktivnějších povrchových oblastech. Pokud je teorie hluboké horké biosféry správná, mohli bychom z toho vyvodit, že mikrobiální průkopníci sem vtrhli zdola. V důsledku toho by se muselo změnit mnoho názorů.

Živočišná společenstva v hlubokomořských průduších se od ostatních mořských ekosystémů neliší ani tak pestrou makrofaunou, ale neviditelnými mikrobi – bakteriemi a archei, které tvoří základ potravního řetězce. Dvě desetiletí studií odhalilo, že tyto mikrobi se živí molekulami, které z průduchů tryskají: vodíkem ( $H_2$ ), sirovodíkem ( $H_2S$ ) a metanem ( $CH_4$ ), z nichž každý může dodávat energii pouze tehdy, je-li k dispozici kyslík. <sup>1</sup> Žádný známý živočich se nemůže živit přímo některou z těchto chemických látek, ale živočichové se mohou živit mikrobi, které je využívají. Na společenstvech hlubokomořských průduchů je pozoruhodné zejména to, že mnoho makrofágů je zřejmě závislých na symbiotickém partnerství s mikrobi.

Mlži a škeble navázaly symbiotické partnerství s mikrobi vázanými v jejich žaberních tkáních. Obří druh trubkovce však partnerství posunul do nové dimenze. Jeho vnitřní hosté jsou natolik zdatní v produkci potravy pro sebe i svého hostitele, že koevoluce atrofovala trávicí systém červa a zbavila ho úst. Červ trubkovitý, který je nyní zcela závislý na nadbytečné produkci svých symbiontů, vyvinul hluboko ve svém těle velký a specializovaný orgán, který mikrobi obývají. Červ zásobuje své mikrobi potřebnými látkami pomocí červených žaber, které filtrují užitečné molekuly z mořské vody. Poté dobrovolně využívá svůj vlastní oběhový systém, aby dodal to, co žábry nashromáždily.

Největší problém pro organismy podél hydrotermálních průduchů představuje riziko, že budou vyplaveny z dosahu průduchu a ztratí tak zásoby chemických látek a teplotní rozsah, který potřebují. Mlži a trubicovci řeší tento problém tím, že se ukotvují na místě. Krabi, krevety a plži, kteří žijí mezi pevnými organismy, se samozřejmě mohou podle potřeby plazit a přichytávat. Také mikrobi, které tvoří základní stupeň potravního řetězce, našly způsob, jak se udržet na svém místě. Nejvíce přizpůsobené druhy mohou žít v těsné blízkosti průduchu (a dokonce i uvnitř něj). Všude tam, kde je příliš horko na to, aby tam pronikli živočišní spásací, jako jsou plži, se mikrobi drží na skalách ve společných rohožích slizu. Ti, kteří se uchyťí ve vodním sloupci nad vývěrem, mají bičík, kterým se pohybují, a podle teplotních nebo chemických podnětů určují směr svého pohybu, a tak zůstávají uvnitř vývěru nebo v jeho blízkosti. Nejedvážnějšími podnikateli jsou bakterie, které se staly vítanými hosty v samotných tkáních mlžů a trubicových červů. Tam jsou chráněny před slídívními pastevcí i bludnými proudy.

Vodík, sirovodík a metan, které spotřebovávají jak volně žijící, tak symbiotické mikrobi ve společenstvech průduchů, jsou využívány mikrobi, které mají přístup k atomům kyslíku volně vázaným v oxidu železitém, který je vynášen z hlubin v průduchových tekutinách, ke kyslíku pocházejícímu ze síranů, které prostupují mořskou vodou, a možná také k volnému kyslíku v mořské vodě.

Všichni živočichové jsou však při své látkové výměně závislí na molekulárním kyslíku. Není známo, že by některý živočich získával kyslík přímo z oxidovaných materiálů ve svém okolí. Mnozí badatelé proto předpokládali, že makrofauna v průduších je závislá na molekulárním kyslíku unášeném mořskou vodou. Tyto druhy by tedy byly stále závislé – nepřímou – na povrchové fotosyntéze. Stále by byly členy našeho potravního klubu.

Velké množství molekulárního kyslíku v atmosféře je způsobeno především jeho produkcí jako odpadního produktu

fotosyntézy – rostlinami na souši a řasami a sinicemi u mořské hladiny. Molekulární kyslík difunduje do povrchových vod, zejména ve vysokých zeměpisných šířkách, protože rozpustnost kyslíku v mořské vodě se při nízkých teplotách výrazně zvyšuje. Vody bohaté na kyslík z Arktidy a Antarktidy se noří do hlubin a pak se pomalu plazí podél oceánského dna po údolích směrem k rovníku. Systém atmosférické a oceánské cirkulace v globálním měřítku tak přináší molekulární kyslík do některých hlubokých oblastí oceánského dna.

Většina objevených oceánských průduchů se nachází na sopečných hřebenech a na vyvýšených místech oceánského dna a do těchto oblastí neproudí studené, na kyslík bohaté proudy polárních vod. Je pochybné, zda by kyslík, který se do těchto míst rozptýlil a je k dispozici pouze pomalu se pohybující vodou, stačil k podpoře extrémně rychlého růstu pozorovaného u průduchů. Makrofauna sice nemůže získávat kyslík z jiných zdrojů, ale mikrobiální život ano. Pokud je přísun kyslíku limitujícím faktorem pro společenstvo průduchů, pak musíme mít podezření, že symbiotická výměna mohla pokročit do takového stavu, že symbiotické mikrobi uvnitř živočichů odebírají atomy kyslíku ze síranu mořské vody nejen pro sebe, ale i pro své živočišné hostitele. Další výzkumy nepochybně určí, odkud makrofauna kyslík získává. Jak však probereme v následující části, bylo zjištěno mnoho mikrobiálních společenstev, která zcela jistě nemají přístup k atmosférickému kyslíku.

Životu se v oceánských průduších daří, protože se jedná o místa na hranici dvou světů. Z chemických látek, které se zde setkávají a které neměly možnost dosáhnout vzájemné rovnováhy, lze získat velké množství chemické energie. Vzestupné kapaliny ze světa pod hladinou jsou bohaté na "redukované" molekuly, jako je vodík a metan. Přítomen je také sirovodík, ale zatím nevíme, zda se jedná o primární tekutinu z hlubin Země, nebo o produkt mikrobů, protože ti využívají kombinaci vodíku a síranů pro energetické potřeby.

Ze tří hlavních zdrojů, které poskytují energii při reakci s kyslíkem (vodík, sirovodík a metan), přitahuje sirovodík největší zájem výzkumníků, protože se zdá, že je palivem, na němž jsou závislí mikrobiální symbionti obřích trubcových červů a mlžů. Atomy uhlíku, které tvoří jádro všech organických molekul, se však musí získávat jinde. Přítomnost metanu ve výstupu z oceánských průduchů tak nabývá zvláštního významu; může být zdrojem potřebného uhlíku i zdrojem chemické energie.

Uhlovodíky se strukturně podobají potravinám, které jíme a které pocházejí z fotosyntetických látek. Například jediný věčný rozdíl mezi molekulou hexanu (šestiuhlíková forma ropy) a molekulou glukózy (šestiuhlíkatý cukr, běžný v potravinách na povrchu) spočívá v tom, že atomy vodíku obklopují řetězec uhlíku v hexanu, zatímco molekuly vody obklopují řetězec uhlíku v cukru. Hexan  $C_6H_{14}$  je *uhlovodík*, zatímco cukr  $C_6H_{12}O_6$  je *sacharid*. Tento terminologický rozdíl je jemný, ale důležitý. Pro nás živočichy je sacharid potravou, uhlovodík jedem. Nicméně biologické zvláštnosti našeho vlastního kmene složitého života by neměly omezovat náš úsudek o možnostech – a vlastně i preferencích – mezi mnohotvárnými mikrobi. Jejich metabolismus může klidně vyžadovat přísun ropy.

Je známo, že ve společenstvech hydrotermálních průduchů jsou přítomni mikrobi, kteří využívají metan jako zdroj energie v přítomnosti kyslíku a také jako zdroj uhlíku. Tito *metanotrofové* ("požírači metanu") byli identifikováni jako symbionti v rámci makrofauny – zatím pouze u mlžů – ale pravděpodobně žijí i volně.<sup>2</sup> Mohou konzumovat i těžší uhlovodíky.

Jsou metanotrofové z hlubokomořských průduchů vyslanci z jiného, hlubšího a možná nezávislého světa? Víme, že mlži a červi se neodvažují jít hlouběji než do tenké vrstvy povrchových hornin a sedimentů. Ale co bakterie a archea? Pokud se mikrobiálnímu slizu na horninách v blízkosti průduchů a uvnitř nich daří díky metanu a sulfidickým plynům, které stoupají zdola, nemohly by najít vhodné prostředí také v puklinách a pórových prostorech hluboko pod povrchem zemské kůry?

## Další hraniční ekologické oblasti

V posledních třech desetiletích bylo objeveno mnoho různých hraničních ekosystémů a prozkoumána jejich tajemství. Jako první upoutal pozornost vědců typ, který se již dlouho těší oblibě davů turistů: mikrobiální společenstva, která pestře pokrývají skály v horkých jezírkách Yellowstonekého národního parku. Seriózní studium metabolismu yellowstonských termofilních (teplomilných) mikrobů začalo v polovině 60. let 20. století.<sup>3</sup> Právě zde vědci poprvé ocenili mimořádné schopnosti zdánlivě nejjednodušších forem života na Zemi. Například jedna z bakterií objevených v yellowstonských horkých bazénech, *Thermus aquaticus*, poskytla enzym, který odstartoval průmysl molekulární biologie tím, že umožnil rychlou a snadnou replikaci DNA. Yellowstoneké horké prameny dnes nabízejí bohaté možnosti pro vědce, kteří se snaží rozšířit seznam mikrobů zařazených do taxonomické oblasti Archaea o nová jména.

V roce 1977 byla pod mořskou hladinou objevena vzrušující exotika, o které jsme již hovořili – složitá seskupení mikrobů a živočichů na okrajích horkých pramenů na dně oceánu. V roce 1984 byly objeveny další skupiny symbiotických mikrobů, trubicových červů a mlžů – tentokrát ne v hlubinách, ale na mnohem mělčích kontinentálních šelfech.<sup>4</sup> Podobní, ale taxonomicky odlišní na úrovni druhů nebo dokonce rodů, trubicoví červi a mlži na kontinentálních šelfech se živili v oblastech "studených průsaků", kde ropa a těkavé uhlovodíky prosakují sedimenty. S těmito průsaky nejsou spojeny žádné horké prameny ani jiná hydrotermální činnost. Na rozdíl od hydrotermálních vývěřů, které jsou bodovými zdroji omezenými na velikosti, studené ropné vývěry poskytují mořskému životu chemickou energii na rozsáhlých plochách kontinentálních šelfů, které jsou příliš hluboké na to, aby podporovaly fotosyntézu. (I v nejčistších oceánských vodách není fotosyntéza možná hlouběji než asi 200 metrů pod hladinou oceánu a kontinentální šelfy často klesají do hloubky jednoho kilometru nebo více.) Míra růstu v oblastech vývěřů uhlovodíků však není tak vysoká jako v aktivně ventilujících riftových zónách hlubokého oceánu.

Také na souši upoutala pozornost vědců a veřejnosti ekosystémová hraniční oblast. V roce 1986 byla v Rumunsku objevena jeskyně – do té doby izolovaná od atmosféry - a bylo zjištěno, že se v ní nachází prosperující ekosystém založený na chemické energii redukováných plynů, které se šíří zdola. O deset let později, když byl zveřejněn její biologický inventář, bylo toto jeskynní prostředí v médiích označeno za první případ suchozemské ekologie, která není založena na fotosyntéze, a přesto je schopna podporovat nejen mikrobi, ale i suchozemské živočichy. <sup>5</sup> Na bakteriální bázi potravní sítě se živí více než čtyřicet druhů jeskynních bezobratlých živočichů, včetně pavouků, mnohonožek, stonožek, pilatek, chvostokoků, štírů a pijavic. Třicet tři z nich je pro vědu nových. Stejně jako v případě stanovišť hlubokomořských průduchů byl i v této jeskyni identifikován sirovodík jako redukováný plyn podporující základ potravního řetězce, i když předpokládám, že svou roli hraje také metan. Konzumenti metanu mohou skutečně vytvářet sirovodík jako odpadní produkt při oxidaci metanu sírany, v takovém případě by konzumenti sulfidu byli o stupeň výše než základna potravního řetězce. Sirovodík přeměněný vodou na kyselinu sírovou pravděpodobně vyhloubil vápencovou jeskyni.

V roce 1997 byl v jižním Mexiku prozkoumán další jeskynní ekosystém založený výhradně na chemické energii. I tato jeskyně byla zřejmě vytvořena z vápence proudem kyseliny sírové. Kyselé výpary v této jeskyni jsou tak intenzivní, že vědci byli schopni proniknout kilometr do jejích tunelů pouze s pomocí dýchacích masek. Mikrobiální život je v celé jeskyni tak bohatý, že stěny jsou zahaleny slizem. <sup>6</sup> Na mikrobech hoduje společenství bezobratlých, ale tento ekosystém podporuje i obratlovce: drobné rybky v po pás hluboké vodě, která je v systému tunelů.

V nedávné době se ruští vědci připravovali na průzkum rozsáhlého jezera velkého jako jezero Ontario, které bylo objeveno v centrální Antarktidě pod čtyřmi kilometry ledu. <sup>7</sup> Jezero Vostok vděčí za svou existenci zachytávání tepelných vývěrů všude uvnitř

Země. Tlustý ledovcový led kupodivu funguje jako tepelný izolátor, který odděluje teplo od intenzivního chladu antarktického vzduchu. Dálkové senzory ukazují, že hloubka vody je v některých místech možná až 600 metrů a je podložena sedimenty o tloušťce 100 metrů. Vrtání bylo zastaveno 250 metrů nad vodní hladinou, dokud nebudou zavedeny postupy, které by zajistily sterilní kontakt. Pokud se tam dole vyskytuje život, bude nepochybně založen na chemické energii vyvěrající zdola. Pro ověření této možnosti je nezbytné zabránit kontaminaci nedotčeného jezera povrchovými mikrobi. NASA projevila zájem o podporu technologií pro sterilní průzkum jezera Vostok, k němuž by pravděpodobně nedošlo dříve než v roce 2001. Jedním z důvodů zájmu NASA je skutečnost, že podledovcové jezero nabízí mimořádnou analogii podpovrchového prostředí Europy, Jupiterova měsíce, který je pokryt silnou vrstvou ledu a pod níž se možná nachází kapalná voda.<sup>8</sup>

V posledních dvou desetiletích došlo k významnému objevu velmi velkého množství metanu. Hydráty metanu, krystalky vodního ledu, které ve svých mřížkách zachycují molekuly metanu, se vyskytují ve velkém množství na mnoha místech oceánského dna. Přítomnost metanu zvyšuje bod tuhnutí vody o hodnotu závislou na okolním tlaku, a proto se tento led může tvořit v oblastech, kam je voda dodávána v kapalném stavu, a poté zamrzá tam, kde se přidává metan.

Aby se hydráty metanu mohly tvořit, nesmí být teplota vyšší než přibližně 7°C a tlak nižší než přibližně 50 atmosfér. To znamená, že na většině mořského dna, které se nachází mimo vulkanické zóny a je pokryto vodou do hloubky 500 m a více, by se mohly vyskytovat hydráty metanu.<sup>9</sup> V posledních dvou desetiletích jsme díky dálkovému průzkumu i přímému odběru vzorků zjistili, že metanhydráty skutečně existují ve velkém množství v mnoha oblastech oceánského dna. Vytvářejí jasnou a jedinečnou signaturu na sonaru a jsou dálkově snímány jako zřetelná vrstva v oceánském bahně, která někdy leží přímo na podloží oceánského dna. Tímto



způsobem byla prozkoumána velká oblast kontinentálního šelfu. Výsledky naznačují, že metanhydráty mohou být ve skutečnosti přítomny ve všech oblastech, kde tlak a teplota umožňují jejich vznik.<sup>10</sup> Odhaduje se, že metanhydráty (ty v arktické věčně zmrzlé vrstvě i ty pod mořskou hladinou) obsahují více neoxidovaného uhlíku než všechna ostatní známá ložiska neoxidovaného uhlíku v zemské kůře, jako je ropa, zemní plyn a uhlí.<sup>11</sup>

V atomech metanu zachycených v ložisku hydrátu je často více uhlíku než ve všech sedimentech spojených s tímto ložiskem. V takových případech nemůže konvenční vysvětlení jeho zdroje (biologické materiály pohřbené se sedimenty) vysvětlit produkci takového množství metanu. Metan usazený v ledových mřížkách musel stoupat zdola, nesčetnými puklinami v horninovém podloží. Jakmile se vytvoří tenká, krycí vrstva pevného tělesa, geneze dalších takových hydrátů pod ním se stává nevyhnutelnou za předpokladu, že metan bude nadále stoupat.

Tento závěr – že zdroj metanu leží pod sedimenty zemské kůry, nikoliv v nich – posilují důkazy o volných ložiscích metanu pod některými oblastmi hydrátového ledu<sup>12</sup> a také pod vrstvami permafrostu v arktické tundře.<sup>13</sup> V těchto oblastech se migrace metanu z nadložních sedimentů směrem dolů nezdá být myslitelná. Plyny ostatně nemigrují směrem dolů v kapalině o větší hustotě. Pokud k nějakému proudění dochází, pak v opačném směru.

Jezero Vostok, o kterém jsme právě hovořili, bude ideálním místem pro kontrolu množství uhlovodíků, které se od vzniku ledového příkrovu dostaly na povrch. Množství metanových hydrátů v něm obsažených může být velmi velké, mohou dokonce představovat hlavní složku jezera.

V oblasti vysokého obsahu metanhydrátů se vyskytuje také makroživot, stejně jako v oceánských průduších. Vyskytují se zde malí červi, kteří se prodírají metanhydráty a nadložní vodou.<sup>14</sup> Jejich existence svědčí o tom, že takové metanhydráty jsou zde dostatečně dlouho na to, aby se život přizpůsobil zvláštním podmínkám. Symbiotické mikrobi uvnitř červů nejspíše využívají

energii získanou oxidací metanu. Sacharidy a další biologické molekuly, které mikrobi produkují, pak sdílejí se svými živočišnými hostiteli.

Hydráty tvořené spíše  $\text{CO}_2$ , než metanem mohou existovat také, i když v menším rozsahu stability teploty a tlaku než hydráty metanu. Přesto existují značné oblasti oceánského dna, které by mohly obsahovat hydráty  $\text{CO}_2$ , ale takových vzorků bylo nalezeno jen málo, pokud vůbec nějaké. Závěr musí být takový, že "jemně", ale rozsáhlé přidávání uhlíku do atmosféry je globálním jevem difúze metanu a dalších uhlovodíků ze země, nepochybně různou rychlostí na různých místech a v různých dobách. Převaha  $\text{CO}_2$  nad metanem ze sopek je výjimkou, nikoli pravidlem. Tento závěr pak souhlasí se zjištěním, že metan je ve vrtech mnohem hojnější než  $\text{CO}_2$  (ke štěstí ropného průmyslu), a také s důkazy z meteoritů, že uhlovodíky, a nikoli sloučeniny produkující  $\text{CO}_2$ , budou hlavním vstupem uhlíku při formování Země. (Těmito body se podrobně zabývají kapitoly 3 a 4).

## Hloubka je žádoucí

Vzhledem k objevům prosperujících ekosystémů na chemické bázi spojených s metanhydráty, horkými oceánskými proudy a studenými ropnými skvrnami na dně oceánů, stejně jako s horkými prameny a jeskyněmi bohatými na plyn na pevnině, můžeme dojít k závěru, že metan, sirovodík a další energeticky bohaté plyny (ty, které by mohly poskytnout velké množství energie, pokud by se spojily s dodávkami kyslíku) jsou atraktivní pro formy života, které se pohybují v širokém teplotním rozmezí. V těsné blízkosti horkých oceánských vývěrů a všude tam, kde jsou horké prameny na souši více než jen teplé – řekněme nad  $45^\circ\text{C}$  – však tato stanoviště nejsou pro makrofaunu vhodná. Na těchto místech se však hojně vyskytují teplomilní (termofilní) mikrobi.

S dalším nárůstem teploty termofilové ubývají, ale hypertermofilové – mikrobi, kteří nejlépe rostou při teplotě  $80^\circ\text{C}$  nebo vyšší<sup>15</sup> – pokračují ve své činnosti nerušeně. Voskovité

buněčné membrány charakteristické pro hypertermofily usnadňují výměnu materiálu při teplotách, při kterých by se tukové membrány, jako je ta naše, jednoduše roztavily.<sup>16</sup> Hypertermofilové mohou růst a rozmnožovat se pouze při takto vysokých teplotách. Při nižších teplotách jejich membrány ztuhnou do té míry, že jimi materiály již nemohou procházet podle potřeby. Molekuly zvané proteiny tepelného šoku obalují DNA a běžné proteiny hypertermofilů a chrání složité poskládané struktury před rozpadem, který by jinak způsobilo tak vysoké teplo.

Jaké nejvyšší teploty snášejí hypertermofilové? Stále si nejsme jisti. Víme však, že teplota sama o sobě neurčuje životaschopnost prostředí o nic víc než teplota varu kapaliny. Je třeba vzít v úvahu ještě jeden faktor: tlak.

Ačkoli teplota varu vody na úrovni moře je 100°C, v hloubce pouhých 876 metrů stoupá na plných 300°C. V této hloubce působí na vodní sloupec tlak 87 atmosfér, což znamená 87krát větší tlak, než jaký působí atmosféra na hladině moře. Tento tlak je dostatečný k tomu, aby zabránil molekulám vody i při teplotě 299°C expandovat do fáze páry. Ještě hlouběji, v hloubce 2,25 km, je dosaženo "kritického bodu". Zde je tlak tak velký, že bez ohledu na teplotu již není rozdíl mezi párou a kapalinou. Vhodnější je označovat vodu za kritickým bodem jako kapalinu – konkrétně jako "superkritickou" kapalinu.

Nyní si uvědomte, že první společenstvo organismů hydrotermálních průduchů, které kdy bylo v mořské propastné říši pozorováno, bylo nalezeno v hloubce 2,6 km. Voda je zde nadkritickou tekutinou. Z průduchů byla zjištěna voda o teplotě kolem 300 °C která však v důsledku mísení s okolní vodou rychle chladne. Vaření není pro organismy v této hloubce problémem, protože voda zde nemůže vřít. Limitujícími faktory pro život při vysokých teplotách se mohou stát spíše tání membrán a rozpad bílkovin.<sup>17</sup> Vzhledem k působení tlaku, pokud je třeba se vyrovnat s teplotami blízcími se nebo přesahujícími 100°C je hloubka jistě žádoucí. Jak rozšířené jsou zóny takto vysokých teplot? Horké prameny – ať už na mořském dně nebo na souši - nejsou zdaleka normou. Vyskytují se tam, kde teplo vznikající hluboko v nitru

planety nachází rychlou únikovou cestu na povrch prostřednictvím tekutin vyvěrajících zespodu. Jedná se o aktivní vulkanické zóny. Mnohem častější jsou nesopečné oblasti, jako například ty, nad kterými teď pravděpodobně sedíme my dva.

Země vytváří vlastní teplo v důsledku stlačování, gravitačního třídění a radioaktivního rozpadu hluboko ve svém jádře a plášti. V nevulkanické oblasti se teplota hornin, počínaje povrchem, s hloubkou neustále zvyšuje, a to poměrně rovnoměrně po celé zemské kůle. Tento jev se označuje jako teplotní gradient Země. Teplota zemské kůry v blízkosti jejího kontaktu s atmosférou je na většině území přibližně  $20^{\circ}\text{C}$ . V nevulkanických oblastech se teplota zvyšuje rychlostí  $15^{\circ}\text{C}$  až  $30^{\circ}\text{C}$  na kilometr hloubky.

Jsou známy hypertermofyly, které mohou růst při teplotách  $110^{\circ}\text{C}$ . To znamená, že v průměru a za předpokladu přítomnosti potřebných chemických zdrojů by život, jak ho známe, mohl přežít až do hloubky šesti kilometrů v oblastech zemské kůry, které vykazují nízký teplotní gradient ( $15^{\circ}\text{C}$  na kilometr nebo méně), a tři kilometrů, kde je teplotní gradient vysoký ( $30^{\circ}\text{C}$  na kilometr). Zatím není jasné, zda existují hypertermofilové, kteří snášejí ještě vyšší teploty. Někteří mikrobiologové se domnívají, že teplotní hranice pro mikrobiální život může být až  $150^{\circ}\text{C}$ .<sup>18</sup> V takovém případě by se život mohl rozšířit do větších hloubek, v některých chladných oblastech možná až do hloubky deseti kilometrů.

Je důležité si uvědomit, že vzhledem k neustálému zvyšování tlaku s hloubkou nikde v zemské kůře (s výjimkou sopečných oblastí) nedochází při kombinaci teploty a tlaku k varu vody. A co metan, který je ze všech uhlovodíků nejlehčí, a proto se nejrychleji vaří? Při pohybu směrem dolů podél jakéhokoli teplotního gradientu se metan při vyšších tlacích v rostoucí hloubce stává hustším, i když zůstává v podobě páry. Co toto zvýšení hustoty znamená pro podzemní formy života, které se metanem živí?

Za prvé, větší hustota znamená, že metan je ve skutečnosti pro život v hloubce snadněji dostupný. Například v hloubce šesti kilometrů je metan 400krát hustší než na povrchu při

atmosférickém tlaku. Vyšší teploty, které se vyskytují ve větších hloubkách, také zvyšují rychlost, s jakou se molekuly metanu srážejí s buněčnými membránami mikrobů. Oba faktory zvyšují rychlost, s jakou by metan měl difundovat přes buněčné membrány. Hloubka je tedy žádoucí nejen pro zmírnění některých biologických problémů způsobených vysokými teplotami, ale také pro usnadnění přístupu konzumentů metanu k potravě.

V povrchové biosféře, kde se metan vyskytuje pouze jako rozptýlený plyn, jsou konzumenti metanu zvláštní skupinou. Metanotrofové však zdaleka nemusí být jen nevýznamnými členy potravní sítě v hluboké biosféře. Ve skutečnosti mohou být základem tohoto systému.

## Pod hranicemi

abychom mohli studovat hlubokou horkou biosféru a odebírat vzorky jejích obyvatel, musíme sondovat hluboko pod hraničními oblastmi horkých pramenů, hydrotermálních vývěřů, ropných vývěřů, metanových hydrátů a jeskyní bohatých na plyn. Musíme nahlédnout na dno hlubokých vrtů vyvrtaných do zemské kůry.

Když jsem na počátku 80. let začal rozvíjet myšlenku hluboké horké biosféry a když byl v roce 1992 publikován můj článek "Hluboká horká biosféra",<sup>19</sup> přetrvávala kritika, že mikrobi objevující se ve vzorcích z hlubin ropných a plynových vrtů nejsou původními obyvateli, ale oportunisty zavlečenými z povrchu v biologicky kontaminovaných vrtných kapalinách.<sup>20</sup> Tento argument o kontaminaci bylo zpočátku obtížné vyvrátit. V roce 1995 však klíčová práce publikovaná v jednom z nejlepších vědeckých časopisů prokázala, že mikrobi objevené v hloubce 1,6 kilometru ve Francii jsou skutečně "členy hlubinného autochtonního termofilního společenstva."<sup>21</sup> V následujícím roce další zpráva o autochtonních mikrobech, tentokrát z ropného vrtu na Aljašce, prokázala aktivní biologii v hloubce 4,2 kilometru a teplotě 110°C.

<sup>22</sup> V roce 1997 potvrdil domorodý výklad nález mikrobiálních fosilií

usazených v žulové hornině v hloubce 200 metrů; fosilie nemohou být do pevné žuly zaneseny vrtnými kapalinami.<sup>23</sup>

Zatím nejhlubší náznak aktivní biologie byl zjištěn v roce 1991 v hloubce 5,2 km ve Švédsku, jak uvidíme v kapitole 6.<sup>24</sup> Důležité je, že vrt, v němž byly tyto mikrobi zjištěny, byl vyvrtán do pevného žulového podloží, nikoli do sedimentárních vrstev, které obvykle lákají hledače ropy. Vzorek, který byl odebrán a zapečetěný v hloubce a poté vytažený byl kultivován v laboratoři. Byly nalezeny dosud neznámé kmeny anaerobních mikrobů, které se rozmnožovaly pouze v teplotním rozmezí, z něhož byly odebrány vzorky, tj. 600 až 700 °C.

Termín, který jsem vymyslel, "hluboká horká biosféra", se někdy objevuje ve vědeckých článcích nebo v médiích při interpretaci takovýchto nálezů mikrobiálního života objeveného v hloubce.<sup>25</sup> Mnohé z těchto zpráv však nepochopily můj argument a podle mého názoru dezinterpretují fakta způsobem, který zdaleka není triviální. Tyto chyby jsou dvojího druhu.

Za prvé, mikrobi z hlubokých ropných vrtů jsou správně interpretováni jako živočichové živící se uhlovodíky. Existuje však implicitní předpoklad, že uhlovodíky jsou přepracované zbytky života, které kdysi patřily do fotosyntetického potravního klubu – řasy a podobně.<sup>26</sup> To je standardní západní pohled na domnělý biogenní původ ropy, který zpochybním v následující kapitole. Dokud bude ropa považována za biogenní, pak bez ohledu na to, jak hluboko v ropných vrtech lze nalézt život, bude vždy považována za novinku – vzrušující prodloužení povrchové biosféry směrem dolů, když těží své vlastní dřívější pozůstatky.

Druhou chybou ve zprávách, které ohlašují objev hlubinné biosféry, nebo dokonce hlubinné horké biosféry, je charakterizování původních mikrobů jako "horninožravých". Tato druhá chyba vyžaduje trochu více vysvětlení než první. Začneme tím, že "pojídání hornin" je obvyklá interpretace mikrobiálního metabolismu, když jsou mikrobi objeveni ve vrtech vyvrtaných ve vyvřelých horninách. Protože vyvřelé horniny vznikly z taveniny, jediné uhlovodíky, které by mohly obsahovat, musely migrovat

odjinud poté, co se magma ochladilo na horninu. Podle standardního způsobu uvažování by tyto uhlovodíky měly pronikat do puklin a pórů vyvřelé horniny z nedaleké sedimentární "zdrojové" horniny (např. černé břidlice). Pokud v blízkosti žádná zdrojová hornina není, je toto vysvětlení nepoužitelné.

Zprávy o mikrobiálním životě ve vyvřelých horninách jsou podstatně méně rozšířené než zprávy o mikrobech zjištěných v sedimentárních horninách. Důvod jejich vzácnosti je jednoduchý: Pokud se domníváme, že ropa a zemní plyn jsou přepracované pozůstatky povrchového života dávno pohřbené v sedimentech, které se konsolidovaly do hornin, proč by potom někdo vrtal na vyvřelém území?

Počet vrtů provedených v sedimentárních horninách je o tolik vyšší než počet vrtů provedených ve vyvřelých horninách, že už jen tento rozdíl může snadno vysvětlit rozdíl v počtu zpráv o mikrobiálním životě z těchto dvou oblastí.

Hluboké vrty do nesedimentárních hornin se nicméně provádějí, ať už pro obecný průzkum, nebo pro zcela jiný účel: pro hodnocení radioaktivní kontaminace podzemních vod. Během studené války nebyly radioaktivní odpady vzniklé při výrobě plutonia vždy pečlivě likvidovány. Tak tomu bylo v zařízení na zpracování jaderného odpadu Hanford ve středním státě Washington, které bylo postaveno na čediči řeky Columbia. Zkušební vrt vyvrtaný 400 metrů do vyvřelé horniny za účelem odebrání vzorků radioaktivního znečištění vodonosných vrstev měl vedlejší účinek v podobě odhalení bakterií.<sup>27</sup> Čím se živily? Protože se všichni domnívali, že tak rozsáhlý čedič nemůže obsahovat uhlovodíky, byla hojná zásoba metanu, která tam byla zjištěna<sup>28</sup>, interpretována jako vedlejší metabolický produkt pozdějšího stupně potravního řetězce (s jakým zdrojem uhlíku?) - a ne, jak bych to řekl já, jako zdroj paliva pro primární producenty.

Ve vyvřelých horninách je metan zdaleka nejčastější tekutinou, hned po vodě. Metan je nejpravděpodobnějším zdrojem paliva, uhlíku a vodíku v základně potravního řetězce. Podle mého názoru

je oxid uhličitý z velké části produktem mikrobiální oxidace uhlovodíků, nikoliv zdrojem uhlíku pro základnu potravního řetězce. Tento názor – že uhlovodíky jsou zdrojem uhlíku i palivem pro biosyntézu v hloubce - výrazně posílila práce publikovaná v roce 1994.<sup>29</sup> Petra Rueterová a její kolegové kultivovali mírně termofilní mikrobi v podmínkách, které potvrdily, že se tato metabolická strategie používá, přičemž oxidantem je síran.

Z mnoha důvodů proto nesouhlasím s ekologickými interpretacemi výzkumníků, kteří se zabývají kolumbijským čedičovým akviferem. Nicméně dobře chápu, že mohlo dojít k chybným interpretacím. Je obtížné odebírat vzorky, kultivovat a zjišťovat přítomnost původního života v hloubce. Ještě obtížnější je určit základ potravní sítě a zdroje paliv a materiálů, na nichž je založen primární metabolismus. Dokud však není primární metabolismus identifikován, nelze si být jistý, zda je určitá chemická složka původním zdrojem nebo biologickým produktem.

Nyní by mělo být jasné, že nejlepším způsobem, jak se dozvědět o hluboké horké biosféře – a dokonce i ověřit, zda tato předpokládaná oblast života skutečně existuje - je vrtat do hornin a zkoumat, co se tam dole nachází. Zatím bylo vyvrtáno jen málo vrtů, pokud vůbec nějaké, které by měly za cíl hledat život v hlubinách. Vrty se vrstají za účelem hledání komerčních množství uhlovodíků, testování kontaminace podzemních vod nebo získávání údajů pro pochopení geologických procesů. Jakýkoli mikrobiální život, na který se během těchto akcí narazí, je téměř vždy odmítnut jako biologická kontaminace z povrchu, která se dostala do vrtných kapalin.

Hraniční stanoviště jsou zajímavá, ale nemohou s jistotou prokázat, zda a jaké biologické procesy mohou být v hloubce aktivní. Zatím jsme měli možnost jen letmo nahlédnout do toho, co se může ukázat jako rozsáhlý projev pozemského života, který čeká na náš průzkum. Naštěstí se v poslední době prudce zvýšila poptávka po studiu mikrobů vytažených z hloubky. Zájem o hlubinnou horkou biosféru (i když ne nutně podle mé přísné



interpretace nezávislé hlubinné biosféry založené na uhlovodících) vzkvétá. Částečně byl tento zájem podnícen počtem hlubinných vrtů, které byly pozitivně testovány na přítomnost biologických obyvatel. Nepředpokládá se, že by tam dole měl být život, takže naše zvědavost je podnícena. Další podstatnou část zájmu lze přičíst úspěchu evolucionisty z Illinoiské univerzity Carla Woese, který přesvědčil biology, že na průzkum čeká zcela nová oblast života – archea.<sup>30</sup>

Donedávna byly všechny živé organismy klasifikovány buď jako prokaryota (kam patřily všechny organismy, které se tehdy nazývaly bakterie), nebo jako eukaryota (kam patřily rostliny, živočichové, houby, slizovité plísně a jednobuněční prvoci). Tyto dvě skupiny se lišily několika důležitými buněčnými znaky, přičemž hlavní rozdíl spočíval v tom, že prokaryota na rozdíl od eukaryot postrádají jádro, v němž by byl uložen jejich genetický materiál.

V 60. a 70. letech 20. století Woese zjistil, že jedna skupina prokaryot (kterou nazval archeobakterie) se výrazně liší od všech ostatních prokaryot.

v sekvencích ribozomální RNA a v některých důležitých metabolických a morfologických vlastnostech. Když byla v roce 1996 zveřejněna úplná genetická sekvence jednoho z těchto aberantních mikrobů,<sup>31</sup> bylo většině odborníků jasné, že klasifikace prokaryot bude muset být přehodnocena: Archeobakterie obsahovaly mnoho jedinečných genů a zdálo se, že archeobakteriální geny mají více společného s geny eukaryot než se zbytkem kmene prokaryot. V důsledku této práce jsou nyní prokaryota obvykle považována za dvě "domény", z nichž jedna se stále nazývá Bacteria (nebo Eubacteria) a druhá Archaea. (Eukarya zůstala stejná jako dříve, ale nyní je v tomto taxonomickém systému považována za třetí doménu).

Woeseho koncepční revoluce zdůrazňuje důležitost dalšího výzkumu v oblasti Archaea, o které se toho ví tak málo.

Třídoménová klasifikace života navíc naznačuje, že hypertermofilie je nejstarší z vlastností.

Woesem navržená reklasifikace mikrobiálního života silně rezonuje s konceptem hluboké horké biosféry. Samostatná větev života, kterou nazval Archaea, musela mít, soudě podle jednoduchých genetických systémů těchto organismů, raný původ ve vývoji života, a protože mnoho kmenů je hypertermofilních, musely vzniknout při vysoké teplotě. Zdá se velmi nepravděpodobné, že by se jedna forma termofilních Archaea vyvinula na jednom horkém oceánském průduchu a odtud se rozšířila na mnoho dalších míst, kde se vyvinula do velké rozmanitosti kmenů, kterou nyní pozorujeme. Pravděpodobnější se zdá, že představují globální vývoj rané formy života, která byla závislá na dodávkách chemické energie, jež jí Země dodávala. Archea by tak byla produktem dlouhého vývoje v rozsáhlém, propojeném a dlouho trvajícím prostředí. Mohou být nejstaršími obyvateli – a i dnes hlavními obyvateli hluboké horké biosféry, která obklopuje Zemi.

Chceme-li prozkoumat původ pozemského života, musíme se podívat na organismy, kterým se daří v extrémním horku. Pouze mezi bakteriemi a archei se vyskytují hypertermofilové a pouze u archei tato vlastnost dominuje. Kde hypertermofily hledat? Můžeme samozřejmě zkoumat hraniční systémy horkých pramenů a hlubokomořských průduchů, ale zdaleka největší příležitost se jistě skrývá ve vzdálenějších oblastech hluboké horké biosféry.

Teorie hluboké horké biosféry nakonec stojí a padá na důkazech získaných z hlubin Země – nikoli z pohraničí, i když pohraničí naznačuje bohatství možností, jako v případě hlubokomořských průduchů, studených ropných průsaků, metanhydrátů a jeskyní bohatých na plyn. K nejzajímavějším aspektům společenstev hydrotermálních průduchů patří to, že metan, který se podílí na podpoře života v této sféře, nemá biogenní vysvětlení, a přesto je známo, že metan je v tekutinách hydrotermálních průduchů hojný.

Biogenní vysvětlení je nepravděpodobné, protože na dně hlubokého oceánu, pod ním nebo dokonce v jeho blízkosti se nachází jen málo sedimentů pocházejících z povrchu. Všechny horniny, které se nacházejí tak hluboko, jak jen je možné sondovat, jsou vyvřelé, což znamená, že kdysi proudily kůrou vzhůru jako mimořádně horké tekuté magma. Přesto jsou zemní plyn a ropa podle všeobecného názoru, který jsme se všichni naučili ve škole nebo který jsme převzali z naší kultury, považovány pouze za pozůstatky organismů, které geologie přepracovala na "fosilní paliva". Zvýšená (nikoli však vulkanická) teplota a zvýšený tlak – obojí vyvolané pohřbením organických materiálů, které byly kdysi živé - provedou za dostatečně dlouhou dobu tento alchymistický čin v sedimentech, které obsahují organické zbytky (nebo se nám to alespoň tvrdí). Metan se tedy nachází v sedimentárních horninách, nikoli ve vyvřelých oblastech. Jak tedy může být metan spojen s vulkanickými riftovými zónami oceánského dna?

Pokud je správné tvrzení, že zásoby ropných kapalin a většiny plynů na Zemi v žádném případě nepocházejí z biologie, měli bychom být schopni tyto uhlovodíky nalézt ve vyvřelých i sedimentárních oblastech. Ropa není guláš z vařených řas, a přestože byly učiněny pokusy, nikdy nebyla syntetizována v laboratoři z biologických materiálů. Část metanu je skutečně biogenní. Mikrobi nazývaní metanogeny ("generátory metanu", na rozdíl od metanotrofů žijících se metanem) žijí v prostředí s nedostatkem kyslíku, například v bahně rýžových polí a v trávicím traktu skotu, kde produkují metan jako vedlejší produkt své potravní strategie. Známe také metanolové benzinové doplňky destilované z kukuřice z Iowy. Podle mého názoru však zdaleka největší podíl metanu není biogenní. Uhlovodíky je třeba chápat spíše jako prapůvodní složky úlomků sluneční soustavy, z nichž se zhruba před 4,5 miliardami let zformovala Země. Tímto zásadním bodem se budeme zabývat v následující kapitole.

# Kapitola 3 Teorie hlubinného plynu

---

nové myšlenky ve vědě nejsou správné jen proto, že jsou nové. Ani staré myšlenky nejsou špatné jen proto, že jsou staré. Od každého hledače pravdy se jednoznačně vyžaduje kritický postoj. <sup>1</sup> Je však třeba být stejně kritický jak ke starým, tak k novým myšlenkám. Kdykoli jsou nekriticky přijímány zavedené myšlenky a nové důkazy, které jsou s nimi v rozporu, jsou odsouvány stranou nebo dokonce nejsou uváděny, protože se nehodí, má daná věda hluboké potíže. To se v několika oborech stává poměrně často. Například v geologii byl člověk, který se domníval, že se kontinenty nebo jejich části mohly v minulosti pohybovat, zesměšněn před rokem 1960, přestože existovaly dobré důkazy z měření magnetických hornin. Po roce 1965 byl zase terčem posměchu každý, kdo v takový pohyb nevěřil. V ropné geologii se s masivními a přesvědčivými důkazy o hlubinném původu tekutin stále zachází s opovržením a v některých časopisech je nelze publikovat.

Uhlík a vodík mohou tvořit nejrůznější molekuly s různým poměrem uhlíku a vodíku a různou geometrií molekul, které se nazývají uhlovodíky. Při teplotách a tlacích na zemském povrchu nebo v jeho blízkosti jsou některé uhlovodíky v pevném skupenství (uhlí), některé v kapalném (ropa) a některé v plynném (zemní plyn, který je tvořen převážně metanem). Kapalně a plynně uhlovodíky se běžně nazývají ropa, která vykazuje velké rozdíly v poměru jednotlivých molekul uhlovodíků. Ropa

má také jednotící rysy, které naznačují podobný způsob vzniku. Jak tedy vzniká ropa?

V současné době by většina ropných geologů mimo území bývalého Sovětského svazu řekla, že tato otázka je již zcela zodpovězena – že veškerá přírodní ropa pochází z biologických zbytků, které byly přepracovány geologickými procesy. Zvýšené teploty (ale ne zvýšené na sopečnou úroveň) a zvýšené tlaky panující v hloubce, pokud je k tomu dostatek času, provedou tento alchymistický čin a přemění zbytky povrchového života pohřbené v sedimentech – nebo se nám to alespoň tvrdí. Ropa je proto považována za "fosilní palivo". Soubor všeobecně uznávaných faktů o chemismu ropy a jejím geografickém a geologickém výskytu, posuzovaný jako celek, však nepodporuje upřednostňování tohoto standardního řešení.

Alternativní vysvětlení, které upřednostňuji, se označuje jako abiogenní teorie nebo teorie hlubinného zemského plynu. Podle ní zemní plyn a ropa nepocházejí z biologických zbytků, ale z výchozích materiálů, z nichž vznikla Země. Cílem této a následující kapitoly je předložit argumenty a důkazy pro tento názor. Abiogenní teorie nám pak poslouží jako základ pro diskusi o titulním tématu této knihy: teorii hlubinné horké biosféry.

## Původ ropy: dvě protichůdné teorie

ačkoli teorie biogenního původu vede k mnoha nesrovnalostem (které budou popsány v kapitolách 4 a 5), přesto je v západním světě nyní prakticky nemožné provádět jakýkoli výzkum v ropné geologii, který by znamenal zpochybnění tohoto přijatého stanoviska. Mladý člověk – jakkoli brilantní - bez vědeckého postavení, který by se o to pokusil, by neměl naději projít odborným hodnocením ani pro získání finančních prostředků, ani pro publikování sporných výsledků. Naštěstí pro mě jsem si v době, kdy jsem začal pronikat do oblasti ropné geologie, vybudoval

příznivé postavení v oborech fyziky, včetně geofyziky, a astronomie. V té době jsem již byl zvolen členem několika prestižních vědeckých společností a toto postavení mi umožnilo vyslovit své kacířské názory na původ a všudypřítomnost ropy a zemního plynu.

Od roku 1977 jsem napsal řadu článků na téma "hlubinný zemní plyn", v nichž jsem vysvětloval své důvody, proč se domnívám, že zemní plyn a další uhlovodíky vznikají ve velké hloubce – možná 100 až 300 kilometrů pod zemským povrchem.<sup>2</sup> Tato hloubka je téměř o 100 až 300 kilometrů hlouběji, než kam by umístili původ ropy zastánci biogenního názoru, což je důsledek jejich ústředního předpokladu, že ropa vzniká ze zbytků povrchového života pohřbených spolu se sedimenty. Teorii hlubinného zemního plynu jsem představil v době takzvané energetické krize, která podle mého názoru nevznikla proto, že by byl fyzický nedostatek ropy a zemního plynu, ale proto, že kartel velkých producentů ropy získal velkou sílu, když několik vysoce postavených ropných geologů předpovědělo, že do patnácti let budou vyčerpány všechny zásoby ropy na světě. Bylo tedy v zájmu producentů ropy omezit těžbu a získat ze zbývajících zásob co největší příjmy. Nyní, o pětadvacet let později, je svět zaplaven ropou a má jí více, než potřebuje – a to i podle konzervativních odhadů, a dokonce i při předpokládané výrazně vyšší míře spotřeby.

Můj návrh (a návrh mnoha ruských kolegů), že ropa je abiogenní a všudypřítomná hluboko v zemi, ačkoli je daleko od hlavního názorového proudu, se setkal s pozorností – zejména ze strany ropných podnikatelů<sup>3</sup> – protože jeho praktický význam daleko přesahuje hranice čisté vědy. V roce 1982 jsem teorii hlubinných zemních plynů ve své mysli doplnil představou, že na těchto hlubinných zdrojích prosperuje "hlubinná horká biosféra". Uplynulo celé desetiletí, než jsem mohl tuto hypotézu publikovat.<sup>4</sup> Při tomto dalším kroku se mi však konečně podařilo dát dohromady všechny důkazy – včetně těch, které původně podporovaly teorii biogenního původu – způsobem, který podle mého názoru poskytoval uspokojivé řešení všech paradoxních informací.

Původ ropy je předmětem mnoha intenzivních a vášnivých debat již od 60. let 19. století, kdy byla poprvé objevena ropa, která se ve velkém množství vyskytuje v pórech mnoha hornin. Byla přítomna již při vzniku Země? Nebo je to tekutina koncentrovaná z obrovského množství rostlinných a živočišných zbytků, které mohly být pohřbeny v sedimentech po stovky milionů let? Pro každý z těchto dvou pohledů byly předloženy argumenty, a přestože se zdá, že si odporují, každá argumentační linie má své silné stránky.

Biogenní teorie tvrdí, že biologické zbytky pohřbené v sedimentech se v průběhu času rozkládají na ropu a zemní plyn a že tato ropa se pak koncentruje v pórových prostorech sedimentárních hornin v nejsvrchnějších vrstvách zemské kůry. Hledání ropy bylo vedeno s ohledem na tuto teorii biologického původu, takže přítomnost biologického materiálu v sedimentech byla považována za klíčový ukazatel vrstev, které stojí za to prozkoumat. V případech, kdy se našla ložiska ropy v horninách, které neobsahovaly žádné materiály, z nichž by ropa mohla vzniknout, se jednoduše připustilo, že ropa a zemní plyny často migrují na velké vzdálenosti, a že zdrojové horniny proto mohou být někdy neurčitelné.

Biogenní teorie vzniku ropy byla široce přijata kolem 70. let 19. století, kdy se předpokládalo, že Země vznikla jako velmi horké těleso, možná jako roztavená hornina. Pokud by tato teorie byla správná, pak by žádné uhlovodíky dodané s horkým skalním materiálem nemohly přežít; všechny by byly oxidovány na  $\text{CO}_2$  a  $\text{H}_2\text{O}$ . Dokud byl tento způsob vzniku Země dominantním názorem, nebyl abiogenní původ ropy, vzniklé z materiálů nahromaděných při vzniku Země, obhajitelný. V té době se vznik ropy z vegetace po dostatečném ochlazení povrchu jevil jako jediné možné vysvětlení. Pozdější objev molekul jednoznačně biologického původu ve všech přírodních ropách biogenní teorii značně posílil.

Současná teorie vzniku Země předpokládá, že vznikla složením chladných pevných částí kondenzovaných z mlhoviny obklopující Slunce. Velká část takto získaného materiálu by unikla nadměrnému zahřátí a abiogenní řešení se nyní zdálo být možné; ale biogenní teorie byla v té době již tak pevně zakořeněná, že

opačné důkazy byly odsunuty stranou. Dokonce i když se ve čtyřicátých letech 20. století bylo objeveno mnoho uhlovodíků na jiných planetárních tělesech sluneční soustavy (tělesech, která je nemohla získat z vegetace), nadále se tvrdilo, že právě naše Země získala uhlovodíky ze zdroje, který mohl být dodáván pouze zde: z vegetace.

Nyní se má za to, že kdykoli se ropa nebo zemní plyn objeví ve vyvřelých horninách (horniny, které utuhly z taveniny), uhlovodíky migrují ze sedimentární "zdrojové" horniny. Podle tohoto názoru vyvřelé horniny, které se nacházejí pod nejhlubšími sedimentárními horninami, nemají vůbec žádné vyhlídky na obsah uhlovodíků, a proto bylo do těchto "bazálních" hornin vyvrtáno jen velmi málo vrtů. Téměř všechny vrty byly vyvrtány v sedimentárních horninách, takže téměř všechna ropa byla vytěžena ze sedimentárních hornin. Zanedlouho pak byla tato skutečnost považována za důkaz, že sedimenty jsou pro těžbu ropy nezbytné. Sedimentární vrstvy byly skutečně zásadní pro těžbu velké části ropy, kterou dnes máme, ne proto, že by v sedimentech bylo nutně více ropy, ale proto, že se ropné společnosti rozhodly vrtat právě tam. Víra v biogenní původ ropy tak vedla k sebenaplňujícímu se proroctví.

Teorie biologického původu uhlovodíků byla ve Spojených státech a ve velké části Evropy natolik oblíbená, že v podstatě znemožnila práci na opačném názoru. V zemích bývalého Sovětského svazu tomu tak nebylo. Od poloviny devatenáctého století zde pokračovalo mnoho prací na obou stranách diskuse. Zdá se, že Sovětský svaz byl při pokusech o vyřešení této otázky shovívavější k vědeckému nesouhlasu než západní země, pravděpodobně proto, že Mendělejev, uznávaný ruský chemik, podporoval abiogenní názor. Argumenty, které předložil, jsou dnes ještě silnější vzhledem k tomu, že máme k dispozici mnohem více informací.

Podle abiogenní teorie byly uhlovodíky součástí materiálu, z něhož se před přibližně 4,5 miliardami let akrecí pevných látek vytvořila Země. S rostoucím vnitřním teplem se uvolňovaly kapaliny a plyny, a protože měly menší hustotu než horniny, vztlakové síly je hnaly vzhůru. Za příznivých podmínek by se jejich



cesta vzhůru z oblastí vzniku dočasně přehradila v porézních horninách v hloubkách, do kterých se dostanou naše vrty a ze kterých pak získáváme komerční ropu.

Ve vulkanických oblastech je situace jiná. Tam se mohou kanály kapaliny bez přerušení táhnout do velkých hloubek, protože tlakové rozdíly mezi pevnou horninou a téměř stejně hustým magmatem jsou malé. Pokud metan z hlubších vrstev vstoupí do takového kanálu, bude stoupat jako masa bublin a každá bublina se při výstupu mnohokrát dostane do kontaktu s čerstvým povrchem magmatu. Jakýkoli volně vázaný kyslík, který zde může být k dispozici, bude zachycen bublinami a při vysoké teplotě bude metan oxidovat na  $\text{CO}_2$  a vodu. Není tedy překvapivé, že emise ze sopek v klidných obdobích produkují převážně  $\text{CO}_2$  a vodu a jen malé procento metanu (u většiny sopek se uvádí 2-5 %, u některých však mnohem více; u Azorských ostrovů se uvádí 17 %). Při velkých erupcích stejných sopek se však často jedná o velké množství hořlavého plynu a při mnoha takových příležitostech byly pozorovány plameny. Nejzřetelněji identifikovatelný případ byl v průběhu erupcí pod mořskou hladinou jedné ze sopek Krakatau v Sundském průlivu, erupcí, které neprozazily vodní hladinu, ale vyústily v plameny tančící na hladině na velkých plochách. V tomto případě nelze zaměňovat plameny a sopečný aerosol žhavého popela, jak bylo naznačeno u mnoha událostí, kde byla přítomnost plamenů hlášena. Zdánlivě spolehlivé zprávy o plamenech pocházejí také ze středoamerických sopek, ze Santorini ve Středozemním moři severně od Kréty a z velkého afrického riftu. (Šance spatřit plameny při erupci závisí na větru, který žene hustý kouř stranou od více svislých plamenů).

Při prudké erupci nevznikají malé bublinky, které se objevují v klidných obdobích, ale velké vývěry plynu, které stoupají vzhůru roztavenou horninou. Kontaktní plocha mezi plynem a horninou bude mnohem menší a doba tohoto kontaktu mnohem kratší, čímž se sníží množství oxidace, ke které může dojít. Celkově lze říci, že řada důkazů naznačuje, že hlavní složkou sopečných plynů jsou uhlovodíky nebo vodík.

$\text{CO}_2$ , který se běžně vyskytuje v klidných obdobích v sopkách, není důkazem toho, že  $\text{CO}_2$  je primárním uhlíkatým plynem dodávaným na zemský povrch. Tam, kde lze přímo měřit emise plynů do atmosféry, je téměř vždy dominantním uhlíkatým plynem metan, s výjimkou případů, kdy se měřící zóna blíží oblasti aktivního vulkanismu, a tam často převládá  $\text{CO}_2$ . (K tomuto bodu se vrátím v diskusi o bahenních sopkách v kapitole 8).

Uhlovodíky, které se dostanou na zemský povrch, aniž by se setkaly s magmatem, mohou, ale nemusí být cestou oxidovány. V každém případě se oxidují brzy po vystavení atmosféře bohaté na kyslík. To znamená, že konečným osudem prvotních uhlovodíků je jejich oxidace na oxid uhličitý a vodu.

Abiogení teorie vzniku ropy závisí na pravdivosti pěti základních předpokladů. Zaprvé, uhlovodíky nebo sloučeniny, které se mohly přeměnit na uhlovodíky při intenzivních tlacích v zemských hlubinách, musely být běžnou součástí prvotních materiálů, z nichž Země vznikla. Za druhé, během čtyř a půl miliardy let, které uplynuly od akrece Země, se prvotní uhlovodíky nesměly následně disociovat a plně oxidovat na oxid uhličitý a vodu působením značného množství kyslíku vázaného v horninách zemské kůry. Za třetí, uhlovodíky musí být chemicky stabilní při kombinaci vysoké teploty a tlaku, které převládají v hlubinách Země. Za čtvrté, uhlovodíkové kapaliny musely najít nebo vytvořit vhodné póry, v nichž mohou existovat v hloubce a kterými se mohou pohybovat na své cestě vzhůru, poháněny vztlakovými silami v důsledku své nízké hustoty ve srovnání s hustotou hornin. Konečně za páté, ve velké hloubce musí stále existovat zdroj uhlovodíků. Může všech těchto pět předpokladů platit?

### **Pět předpokladů, na nichž je založena teorie hlubinných plynů v Zemi**

#### **1. Uhlovodíky jsou prvotní.**

První předpoklad, z něhož vychází abiogení pohled na vznik ropy – že uhlovodíky byly běžnou součástí prvotních materiálů, z nichž se Země akretovala – je dnes mezi astronomy a planetárními vědci, jejichž

obor zkoumání sahá do celé šíře této hvězdné soustavy i mimo ni všeobecně známý. Je však třeba připomenout, že biogenní teorie vzniku ropy byla vyvinuta v 70. letech 19. století, tedy dříve, než vědci vůbec tušili, že takzvané "organické" molekuly, včetně uhlovodíků, jsou ve vesmíru skutečně hojné. Tento astronomický fakt je znám již od prvních desetiletí dvacátého století díky vynálezu spektrografů, které analyzují vlnové délky v optické a rádiové části elektromagnetického spektra. Pomocí těchto nástrojů bylo možné provádět chemická určení vzdálených těles zachycením spektrálních signatur slunečního světla buď filtrovaného planetární atmosférou, nebo méně přesně odraženého od povrchu pevných těles, která atmosféru nemají. Důsledky těchto objevů nebyly dosud plně začleněny do současného geologického myšlení. Země je koneckonců planeta, a proto by geologie měla být považována především za podmnožinu planetární vědy, ale tento názor se prosazuje pomalu. Protože jsem velkou část svého profesního života strávil jako astronom, byl jsem si významu a spolehlivosti těchto pozorování vědom velmi brzy.

Co odhalily spektrografické studie? V zásadě prokázaly, že uhlík je čtvrtým nejrozšířenějším prvkem ve vesmíru a také v naší sluneční soustavě (po vodíku, heliu a kyslíku). Mezi planetárními tělesy se uhlík vyskytuje převážně ve sloučeninách s vodíkem – uhlovodíky, které mohou být při různých teplotách a tlacích plynné, kapalné nebo pevné. Astronomické metody tak přinesly jasné a nezpochybnitelné důkazy o tom, že uhlovodíky jsou hlavní složkou velkých i malých těles v naší sluneční soustavě (i mimo ni). Největší množství se nachází v masivních vnějších planetách a jejich satelitech. Jupiter, Saturn, Uran a Neptun mají ve svých rozsáhlých atmosférách velké příměsi uhlíku, především ve formě uhlovodíků – hlavně metanu. Titan, měsíc Saturnu, má ve své atmosféře metan a etan ( $\text{CH}_4$  a  $\text{C}_2\text{H}_6$ ) a několik dalších uhlovodíkových molekul. Podobně jako voda v naší atmosféře jsou tyto molekuly uhlovodíků zodpovědné za mraky, které na Titanu vidíme a které se pravděpodobně srážejí jako déšť na metan-ethanových jezerech nebo mořích. Teplota v této vzdálenosti od Slunce (9,5krát

vzdálenější než Země, a tedy přijímající jen o něco více než 1 procento intenzity záření, které přijímáme my) staví tyto sloučeniny právě do oblasti, kde mohou existovat v kapalně nebo plynné formě, zatímco voda na povrchu by se tam samozřejmě mohla vyskytovat jen jako velmi studený led.

Planety a jejich měsíce nejsou jedinými zásobárnami uhlovodíků v naší hvězdné soustavě. Zdá se, že uhlovodíky na svém povrchu a pravděpodobně i ve svém nitru mají také mnohé asteroidy – roj menších planetárních těles mezi Marsem a Jupiterem. Nedávný průlet evropské sondy s přístroji kolem Halleyovy komety silně naznačuje, že uhlovodíky pokrývají i povrch tohoto ledového tělesa. Zdá se totiž, že všechna planetární tělesa sluneční soustavy vznikla původně shlukováním pevných látek.

Zde doma nacházíme další důkaz, že uhlovodíky byly skutečně běžnou součástí akreční země. Meteority, které se srážejí se Zemí, i dnes poskytují vzorky dávných materiálů, z nichž se formovaly planety. Ty z třídy uhlíkatých chondritů obsahují některé těkavé látky a obecně se má za to, že tato třída dodávala Zemi většinu jejího doplňku těkavých látek. Ačkoli je uhlík v ostatních typech meteoritů minoritní složkou, v uhlíkatých chondritech je přítomen v množství několika procent, většinou v nezoxidované formě, s určitým podílem ve formě uhlovodíkových sloučenin. Ruský izotopový badatel E. M. Galimov předložil pádné důkazy o tom, že Země získala značnou část materiálu uhlíkatých chondritů, protože mnohé poměry izotopů těkavých prvků v naší atmosféře se přesně shodují s poměry v těchto meteoritech, ale podstatně se liší od poměrů zjištěných v jiných meteoritech. Galimov ukazuje, že pozemské izotopové poměry dvou stabilních izotopů vodíku a uhlíku, stejně jako izotopové poměry neonu, argonu a xenonu (tři inertních plynů) jsou podobné jako v uhlíkatých chondritech, ale podstatně se liší od hodnot v jiných typech meteoritických materiálů; u neonu je rozdíl až 500násobný. Tím, že se Galimov při těchto srovnáních soustředil na vzácné (chemicky inertní) plyny, si zajistil, že použije vzorky, které nejsou kontaminovány směsicí různých materiálů zemské kůry.<sup>5</sup>



dobře promíchaná – a že se pak postupně ochlazovala a vytvořila diferencovanou kůru, která překrývala homogenní plášť. V takové vývojové historii nemohly žádné prvotní uhlovodíky přežít roztavený stav. I kdyby byly uhlovodíky zpočátku dodávány v procesu vzniku, pak by podle názoru o roztavené Zemi byly jistě brzy poté zničeny. Aby vysvětlili přísun přebytečného uhlíku na povrch, uvažovali zastánci této teorie pouze o oxidovaném uhlíku, protože to by byla stabilní forma, která by se v takovém případě očekávala. Bylo skutečně zjištěno, že oxid uhličitý vychází ze sopek, což tento názor zřejmě potvrdilo.

Dnes je již zcela jasné, že naše planeta, stejně jako ostatní vnitřní planety a satelity vnějších planet, vznikly jako pevná tělesa z pevných látek, které zkondenzovaly z plynného planetárního disku. Všechny primární kondenzáty, od malých zrnek až po planetky velikosti asteroidu, přispěly ke vzniku konečné podoby Země. V rané Zemi skutečně docházelo k částečnému tavení, v jehož důsledku se taveniny s nižší hustotou dostávaly na povrch, zatímco taveniny s vyšší hustotou pravděpodobně klesaly směrem do středu. Teplo, které způsobilo toto tavení, bylo produktem radioaktivity obsažené v materiálu a také tepla vznikajícího v důsledku gravitační komprese. Jakmile došlo k částečnému tavení, vstoupily do hry další dva zdroje tepla. Jednak se uvolňovala gravitační energie, protože se materiály pohybovaly a třídily podle hustoty. Za druhé to byla chemická energie spontánních reakcí mezi mísícími se materiály, protože původní materiály, které byly akretovány jako chladné objekty, by nebyly v konfiguracích s nejnižší chemickou energií. Dílčí taveniny s nízkou hustotou vytvořily skalnatou vrstvu, kterou nazýváme zemská kůra. Tato kůra pokrývá téměř celý povrch a na každé základní hornině bylo vidět, že kdysi byla tekutým magmatem nebo částečně roztaveným agregátem, takže vědci zůstali u dojmu, že Země ztuhla z původní taveniny.<sup>6</sup>

Tato představa kdysi tekuté země byla přijata a v počátcích geologie určovala většinu diskusí. Přestože je dnes již zcela jasné, že šlo pouze o částečné roztavení a že většina planety nikdy nebyla roztavená, k důkladnému přehodnocení geologické teorie, které by taková změna měla podnítit, nikdy nedošlo. Nikde to není patrnější než v diskusi o původu těkavých látek na povrchu: vody v oceánech, dusíku v atmosféře a tekutin obsahujících uhlík, které byly zřejmě zodpovědné za velké obohacení povrchu uhlíkem.

V původně roztavené zemi by se těkavé látky dostaly na povrch v první fázi. Později, po ochlazení takového tělesa, by se dalo jen těžko očekávat, že by došlo k obnovení přísunu těkavých látek zdola. U chladného tělesa, které se zahřívá, by se však očekával pravý opak: vrstvy by postupně dosáhly teplot, při kterých by byly těkavé látky vytlačeny. Procesy uvolňování plynů by měly pokračovat, dokud by se v kterékoli části tělesa zvyšovala vnitřní teplota. Kromě toho by existovala zcela odlišná očekávání ohledně chemické povahy různých těkavých látek. Na horké rané Zemi by se většina tekutin brzy dostala do konfigurace s nejnižší chemickou energií a později by nemohla poskytovat žádný zdroj energie. Naproti tomu na chladném tělese, které se zahřívalo, by vzniklé tekutiny často nebyly v chemické rovnováze s okolím, a mohly by tak být zdrojem chemické energie.<sup>7</sup>

Jak bylo uvedeno v kapitole 2, základním předpokladem teorie hluboké horké biosféry je zdroj chemické energie z nitra Země. Pokud neexistuje žádná chemická energie, kterou by bylo možné využít, tj. pokud všechny látky uvnitř Země dosáhly chemické rovnováhy, pak by jediným zdrojem energie pro život na Zemi bylo sluneční světlo dopadající na povrch. Pochopení oxidačního stavu uhlíku v Zemi má tedy zásadní význam.

Otázka stability prvotních zásob uhlovodíků v Zemi vůči oxidaci, tj. vůči slučování s kyslíkem obsaženým v křemičitanových a jiných minerálech hornin, úzce souvisí s podrobnostmi procesu odplyňování. Pokud by plyny stoupaly v oblastech magmatu, pak by se (jak jsme již uvedli) blížila chemická rovnováha mezi uhlovodíky a magmatem, což by obvykle podporovalo oxidaci uhlovodíkových plynů. Není tedy překvapením, že sopky obecně emitují uhlík především ve formě  $\text{CO}_2$  a jen menší množství ve formě metanu,  $\text{CH}_4$ .

Pokud si však plyny prorazí cestu pevnou horninou, je osud uhlovodíků zcela odlišný. V tomto případě není třeba očekávat chemickou rovnováhu mezi horninou a plynem. Mnozí badatelé vycházeli z toho, že taková rovnováha nastala, což by vylučovalo vzestup metanu, který by se v hlubokých vrstvách změnil na oxid uhličitý. Místo toho, aby se v magmatu válel a narážel na molekulu po molekule potenciálního oxidantu, přichází jakýkoli plyn

stoupající pevnými látkami do kontaktu s velmi omezeným množstvím horniny na povrchu pórů. Dostatečný tok uhlovodíků, který se pohybuje póry a puklinami po dostatečně dlouhou dobu, odčerpá veškerý dostupný kyslík, a umožní tak uhlovodíkům, které se později vydají stejnými cestami vzhůru, neohrožený průchod. To znamená, že ačkoli jsou aktivní vulkanické prvky nejnápadnějšími místy pro odběr vzorků plynů, které vystoupily z velkých hloubek, jsou kvůli oxidačním procesům nejhoršími místy pro získání reprezentativních údajů o složení plynů a dalších tekutin v hloubce. Nejlepšími místy pro získání reprezentativního údaje jsou oblasti vzdálené od sopek a od jakýchkoli jiných známek magmatu sídlícího pod nimi – prostě průměrné oblasti oceánského dna a kontinentálního povrchu.

Teorie hlubinných plynů tak částečně závisí na platnosti druhého předpokladu. Uhlovodíky musely být nejen prvotní složkou nově akretované Země, ale také nemusely být následně plně oxidovány. Země musela být vystavena pouze částečnému roztavení.

### 3. Uhlovodíky jsou stabilní ve velkých hloubkách.

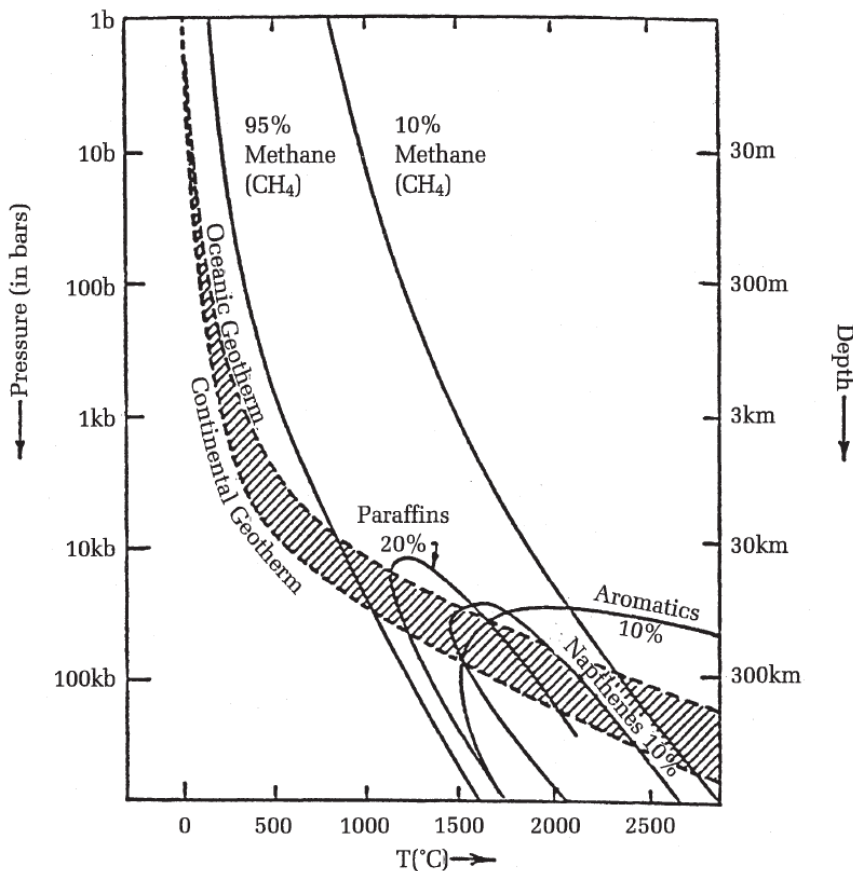
Nyní přejdeme ke třetímu předpokladu, na němž závisí abiogenní teorie vzniku uhlovodíků, a to k termodynamické stabilitě uhlovodíků ve velkých hloubkách. Dříve se předpokládalo, že teploty nad 600<sup>0</sup>C disociují i ten nejjednodušší a tepelně nejodolnější uhlovodík, metan (CH<sub>4</sub>), a že teploty do 300<sup>0</sup>C stačí ke zničení většiny těžkých uhlovodíkových složek přírodní ropy. Protože takových teplot je dosahováno v hloubkách jen několika desítek kilometrů v zemské kůře, zdálo se zbytečné diskutovat o původu uhlovodíků z nebiologických zdrojů v hlubších vrstvách. Pokud bylo nutné hledat původ ve svrchních a chladnějších částech zemské kůry, pak vlastně neexistovala žádná alternativa k biogenní teorii.

Tento tradiční názor na tepelnou nestabilitu uhlovodíků byl nezpochybnitelný jednoduše proto, že náklady na provádění experimentů při vhodných tlacích byly příliš vysoké a jejich význam nebyl doceněn. Výpočty tepelné stability, které se prováděly na Západě, nebraly v úvahu podstatný vliv tlaku: vysoký



tlak výrazně stabilizuje uhlovodíky proti tepelné disociaci. Otázku stability uhlovodíků proto musíme posuzovat nejen při teplotách, ale také při tlacích, které panují v různých hloubkách.

Termodynamické výpočty geologa E. B. Čekaljuka publikované v ruském časopise v roce 1980 ukazují, že metan by odolal úplné disociaci až do hloubky 300 kilometrů, s výjimkou vulkanických oblastí, které porušují běžný teplotní gradient Země. <sup>8</sup> Možná, že hloubka někde kolem 600 kilometrů by byla spodní hranicí možné existence metanu v zemi. <sup>9</sup> (Viz obrázek 3.1.)



3.1 Stabilita uhlovodíků při teplotách a tlacích v zemi (podle Čekaliuk, 1976). Svislá stupnice vlevo představuje tlak vyznačený v barech, přičemž 1 bar se rovná tlaku působícímu v atmosféře; horní část diagramu tedy označuje zemský povrch. Svislá stupnice vpravo představuje hloubku odpovídající tlaku za předpokladu, že střední hustota horniny je 3,5násobek hustoty vody. Nárůst

teploty s hloubkou v zemi se označuje jako "geoterma" a oblast mezi dvěma geotermami je oblast, která může představovat vztah mezi teplotou a hloubkou v různých místech. Hluboká půda pod oceány je obecně teplejší než hluboké podloží ve stejné hloubce na kontinentech, jak je vidět na obrázku. Metan ( $\text{CH}_4$ ) je nejstabilnější molekula z uhlovodíků; většina z něj by přežila ve všech hladinách až do hloubky 300 km, pokud by tam teplota nepřesáhla  $2000^\circ\text{C}$ . U ostatních složek přírodní ropy – parafínů, aromátů a naftenů – jsou znázorněna procenta v rovnovážném stavu; tyto hodnoty by s největší pravděpodobností vznikly ze směsi vodíku a uhlíku. Metan proudící z velké hloubky by mohl v roztoku přinést významné podíly těchto ropných složek.

A co těžší molekuly uhlovodíků, které tvoří většinu ropy? Termodynamické výpočty provedené v Rusku a na Ukrajině naznačily nejen to, že většina těchto molekul je stabilní v tlakově-teplotních režimech, které panují v hloubkách mezi 30 a 300 kilometry, ale také to, že by vznikaly, kdyby se v těchto hloubkách vyskytovala směs jednoduchých atomů uhlíku a vodíku.

V hloubce řekněme 200 kilometrů by očekávanou rovnovážnou konfigurací byla směs molekul uhlovodíků – a to navzdory tomu, že tepelné podmínky, které by při zanedbání tlaku značně překročily práh disociace těchto molekul. Podrobné chemické složení výsledných molekul by záviselo na tlaku, teplotě a poměru uhlíku a vodíku. Další atomy, které by mohly být také přítomny, například kyslík a dusík, by s uhlíkem a vodíkem tvořily různé složité molekuly.

Je velmi zajímavé, že složité molekuly z uhlíku, vodíku, kyslíku a dusíku vytváří také život – ale život je schopen tohoto výkonu i při nízkých tlacích, které panují na zemském povrchu nebo v jeho blízkosti. Tyto molekuly nazýváme bílkoviny. Při velmi vysokých tlacích, které panují v hloubce, může docházet i k dalšímu stupni molekulární komplexifikace. Atomy kovů přítomné v takových hloubkách by se spojovaly s uhlovodíky za vzniku organokovových sloučenin (tuto možnost budeme zkoumat v kapitole 7, protože může mít vliv na vznik blízko povrchových ložisek koncentrovaných kovů). Enzymy, katalyzátory biochemických

reakcí, se často skládají z atomů kovů ve složitých molekulách z uhlíku, vodíku, kyslíku a dusíku.

#### 4. Hornina v hloubce obsahuje póry.

A co prosté fyzikální tvrzení, že obrovské množství uhlovodíků může skutečně zůstat ve velkých hloubkách v zemské kůře, protože v těchto oblastech skutečně existují pórové prostory pro jejich přítomnost a existují mechanismy, které usnadňují jejich tok?

Poprvé jsem se začal zajímat o otázku, zda existují póry ve velkých hloubkách, na počátku 50. let, když jsem ještě studoval na Cambridge. Podnětem k mému zájmu bylo zjevně chybné tvrzení, na které jsem narazil v učebnici geologie, kterou jsem četl spíše ze zvědavosti než s nějakou konkrétní otázkou na mysli. Bylo tam uvedeno, že horniny dostatečně pórovité, aby zadržovaly a přenášely tekutiny, musí být omezeny na tenkou vnější vrstvu zemské kůry, ne o mnoho hlubší, než je hloubka, do které pronikají nejhlubší ropné vrty. Pod touto vrstvou, vysvětlovala učebnice, by byla tíha nadloží tak velká, že by i ty nejpevnější horniny byly rozdrceny do té míry, že by se všechny póry stlačily, prostory by byly eliminovány; nemohly by se v nich udržet žádné tekutiny a nebyl by možný žádný pohyb tekutin skrze všechny hlubší horniny. Byl uveden výpočet, který ukazuje naměřené drtivé síly hornin a porovnává je s tlaky, které by byly vyvíjeny vahou nadloží. Povrchně to mohlo znít přesvědčivě a použitá čísla byla zcela správná. Chybný byl však závěr, že v hlubších vrstvách nemohou být tekutiny zadržovány, i kdyby v nich byl tlak podobný tlaku v horninách.

Vzpomínám si, jak jsem o tom diskutoval se svým přítelem a kolegou z Cambridge, astronomem Fredem Hoylem. Žertem jsem řekl: "To je asi tak hloupé jako otázka školáka, který se poprvé dozví o atmosférickém tlaku a ptá se, proč není rozmačkaný jako placka, když na jeho tělo působí tlak 14,7 libry na čtvereční palec." Probrali jsme situaci "tlakové lázně", kde je vše – kameny, kapaliny a plyny - ponořeno na každé úrovni do společného tlaku. Za

takových podmínek by existovala stejná pórovitost a propustnost v podobě propojených pórových prostor, které umožňují migraci kapalin, jako existuje v horninách a sedimentech v blízkosti povrchu při nízkých tlacích. Stejně jako školák nebyl rozmačkán na plocho, tak by hluboké póry nebyly vymačkány.

Připomeňme si z kapitoly 2, že život v hlubokomořských průduších musí vyrůstat z malých vajíček v dospělé mlže a trubicovité červy při tlaku 20 až 200krát vyšším, než jaký zažívají živočichové na povrchu. Živí tvorové jsou tam dole stejně křehcí jako tady nahoře, a přesto vysoký tlak v hlubinách oceánu nepředstavuje pro biologický růst, který si můžeme představit jako vytváření dalších a dalších "pórů" v podobě buněk, žádný problém. Póry v horninách, podobně jako buňky v živých organismech, se mohou udržet při velmi vysokých tlacích, pokud tekutina, která pór nebo buňku obsazuje, vyvíjí navenek stejně velký tlak jako opačný tlak okolí. Právě toto vyrovnávání tlaku nebo tlakový rozdíl, nikoli absolutní tlak, rozhoduje o osudu póru nebo pór.

Tento argument ve prospěch hluboké pórovitosti zemské kůry se poprvé objevil v Hoylově knize *Frontiers in Astronomy*, vydané v roce 1955. Hoyle jej sepsal jako kapitolu s názvem "Goldova teorie pórů". Když jsem se o čtvrtstoletí později znovu zabýval tímto tématem, na tuto ranou diskusi a Hoylovu publikaci této myšlenky jsem docela zapomněl, ale rozvinul jsem přesně stejnou představu. Teprve později jsem v Hoylově knize našel kapitolu, která ukazovala, že jsem totéž řekl už dávno!

Horniny stejného složení, počínaje zemským povrchem, mají skutečně tendenci se v hloubce stávat méně porézními, a to až do úrovně bez podstatných spojů mezi póry. Na této úrovni by byl proudění kapaliny kladen velký odpor. Ropní geologové proto z této křivky klesající pórovitosti extrapolovali závěr, že v ještě větších hloubkách bude pórovitost a propustnost ještě menší. Opak je však pravdou. Na kritické hloubkové hranici, kde je proudění značně ztíženo stlačením horniny, tato neúplná, ale přesto účinná bariéra umožňuje, aby za ní vznikl vyšší pórový tlak kapalin pod vyšším tlakem, které přicházejí zespodu. V této poněkud hlubší oblasti lze proto očekávat opět vysokou pórovitost a propustnost horniny.

Místo dříve diskutované idealizované "tlakové lázně" se u horniny, která má konečnou pevnost v tlaku, nastaví její postupné přibližování. Po dosažení drtícího tlaku na horninu se hornina stlačí do stavu nízké propustnosti. (Drtivý tlak je určen hmotností nadloží horniny sníženou o tlak tekutiny daný výtlakem tekutiny, který je obvykle jen asi třetinový, protože většina tekutin má asi třetinovou hustotu jako hornina). V ještě hlubších vrstvách se může opakovat stejný vzorec a může dojít k několika cyklům, než se hornina zahřeje natolik, že postrádá mechanickou pevnost, a v této fázi se vytvoří ideální tlaková lázeň.

Tradiční kritika, že uhlovodíkové kapaliny nemohou existovat v hloubce kvůli nedostatku pórového prostoru, tedy neobstojí.

## 5. Uhlovodíky stále stoupají.

Posledním předpokladem, na němž závisí abiogenní teorie vzniku ropy, je, že pro vysvětlení uhlovodíků, které jsou nyní v zemské kůře k dispozici, je ve velké hloubce stále přítomen zdroj uhlovodíků, z něhož tyto kapaliny vytékaly. Řada empirických důkazů na nebo v blízkosti

TEORIE HLUBINNÉHO ZEMSKÉHO PLYNU 55

povrchu svědčí v tomto směru. V kapitole 4 uvidíme, že chemické údaje (izotopy uhlíku), které kritici předkládají jako nejsilnější vyvrácení abiogenní teorie, ve skutečnosti hovoří v její prospěch. V kapitole 5 ukážu, jak lze biochemické údaje považovat za konzistentní s abiogenní teorií. V kapitole 6 předložím velmi silné zpochybnění biogenní teorie tím, že uvedu výsledky hlubokých vrtů v geologické provincii (zcela vyvřelé), kde podle konvenční teorie uhlovodíky prostě nemohou existovat.



# Kapitola 4 Důkazy pro plyn v hlubinách Země

---

Abiogení teorie vzniku ropy předpokládá, že obrovský zdroj prvotních uhlovodíků se nachází ve svrchním plášti a ve spodní části zemské kůry – mnohem hlouběji, než lze přímo navrtat a odebrat vzorky. V důsledku toho musíme hledat důkazy v těch oblastech zemské kůry, do kterých může proniknout naše vrtné zařízení. Jaké empirické důkazy v mělké zemské kůře nebo na zemském povrchu podporují teorii, že ve velké hloubce existuje významný zdroj uhlovodíků?

Empirické důkazy jsou sedmi hlavních typů. <sup>1</sup> Zaprvé, ložiska ropy, včetně různých plynných forem, jako je metan a etan, se často nacházejí v zeměpisných vzorech v podobě dlouhých linií nebo oblouků táhnoucích se stovky nebo dokonce tisíce kilometrů. Nejlepším příkladem je asi ostrovní oblouk v Indonésii. Tyto lineární vzory souvisejí spíše s hluboko uloženými a rozsáhlými strukturními rysy zemské kůry než s menší mozaikou sedimentárních usazenin. Dmitrij Mendělejev, ruský chemik, který je původcem periodické tabulky prvků, si těchto velkoplošných vzorců výskytu uhlovodíků všiml již v 70. letech 19. století a mnoho nových informací tento případ značně posílilo.

Za druhé, objevená ložiska ropy se řídí takzvaným Koudrjavcevovým pravidlem: oblasti bohaté na uhlovodíky mají

tendenci být bohaté na uhlovodíky ve všech nižších úrovních, které odpovídají zcela odlišným geologickým epochám a sahají až ke krystalickému podloží, které je pod sedimenty.<sup>2</sup> Velký ruský ropný geolog z počátku dvacátého století N. A. Koudrjavcev uvedl mnoho příkladů z celého světa, které tento hloubkový efekt jasně prokázaly, což učinilo i mnoho pozdějších ruských ropných geologů. Dokonce i tam, kde vrty pronikly za sedimentární vrstvy a do podložních hornin, se důkazy o uhlovodících nevyčerpávají. Invaze uhlovodíkových kapalin do oblasti zdola by mohla lépe vysvětlit vertikální dosah uhlovodíků než možnost postupného ukládání biologických sedimentů produkujících uhlovodíky v epochách, které se liší o desítky milionů let a které nevykazují žádné podobnosti klimatu, vegetace ani jiných relevantních charakteristik.

Za třetí, metan se vyskytuje na mnoha místech, kde je biogenní vysvětlení jeho přítomnosti nepravděpodobné nebo kde se zdá, že biologická ložiska nejsou dostatečná pro vysvětlení velikosti a rozsahu zdrojů metanu. Mezi tyto anomální lokality patří velké oceánské rifty (které postrádají jakékoliv podstatné sedimenty); pukliny v horninách, které zjevně ztuhly v důsledku tavení při příliš vysoké teplotě a příliš nízkém tlaku na to, aby se v takových extrémních podmínkách mohly udržet jakékoli dříve existující uhlovodíky nebo biologické zbytky; a hloubky hluboko pod jakýmikoliv sedimenty, které obsahují biologické látky. (V kapitole 6 se podrobněji podíváme na jeden takový výskyt uhlovodíků ve Švédsku). Kromě toho, jak bylo uvedeno v kapitole 2, bylo objeveno obrovské množství hydrátů metanu, které pokrývají rozsáhlé oblasti oceánského dna. Hydráty metanu se ve velkém množství vyskytují také ve věčně zmrzlé půdě.<sup>3</sup> Jejich rozsáhlé rozšíření naznačuje, že mnoho nebo většina oblastí zemské kůry emituje určité množství metanu – dostatečně dlouhou dobu na to, aby nasatily jakoukoli oblast, v níž je tento led stabilní. Rychlost odtoku však může být regionálně značně proměnlivá. Názor, že hlavní přísun uhlíku na povrch pochází z vulkanických emisí oxidu uhličitého, je tedy zpochybněn, dokud nebyl proveden odhad součtu rozptýleného odtoku metanu na všech mořských a pevninských površích.

Za čtvrté, ložiska uhlovodíků na velkém území často vykazují společné chemické vlastnosti bez ohledu na různorodé složení nebo geologické stáří útvarů, v nichž se nacházejí. Takové chemické "podpisy"



lze pozorovat například v poměrech hojnosti některých méně významných složek, jako jsou stopy některých kovů, které jsou v ropě obsaženy (nejčastější, ale zdaleka ne jediné, jsou nikl a vanad), a ve společné tendenci upřednostňovat některé z různých molekul, z nichž se ropa skládá. Chemická analýza vzorku ropy tak často umožňuje určit obecnou oblast jejího původu, přestože ropy z této oblasti mohou pocházet z nejrůznějších geologických formací.

Za páté, jak si mnozí pozorovatelé všimli, zdá se, že řada ložisek uhlovodíků se při jejich komerční těžbě znovu zaplňuje. Jak brzy vysvětlím, abiogenní teorie by toto pozorování vysvětlila. Nemyslím si, že by to biogenní teorie dokázala – alespoň jsem neslyšel o žádné předpovědi tohoto jevu opětovného zaplňování. Byl prostě pozorován a zaznamenán.

Za šesté, rozložení velkého množství karbonátových hornin ve svrchní kůře a izotopové složení atomů uhlíku v nich svědčí proti teorii o povrchovém biologickém původu většiny pohřbených uhlovodíků.

Za sedmé a konečně, jasné, dobře prokázané regionální asociace uhlovodíků s chemicky inertním plynným prvkem héliem nemají žádné vysvětlení v teoriích biologického původu ropy. Jak však uvidíme, tyto asociace jsou vysvětlitelné, pokud uhlovodíky vystoupily z velkých hloubek.

Z těchto sedmi skupin empirických důkazů, které podporují abiogenní teorii vzniku ropy, jsou první čtyři v ropném průmyslu dobře známé. Pro naše účely postačí jejich stručný popis, který jsem právě uvedl, a nebudu je zde dále rozvádět. U posledních tří bodů však mohu nabídnout některé argumenty, které dříve nebyly známy nebo nebyly dostatečně zohledněny.

## Ropná ložiska, která se doplňují

Při průzkumu nového ropného nebo plynového pole se běžně pozoruje pokles tlaku v důsledku daného objemu těžby. Měření této změny se používá k odhadu celkového objemu dostupného ve vrtu. Tyto odhady zásob jsou celosvětově seskupovány a určují průzkum

ropných ložisek a do jisté míry i ekonomické vyhlídky průmyslových zemí. Ukázalo se však, že tyto odhady jsou téměř vždy mnohem nižší než skutečná těžba v průběhu mnoha let. Stejná chyba v původních odhadech byla také důvodem široce propagovaného přesvědčení z počátku 70. let, že světové zásoby ropy budou vyčerpány do patnácti let. Tato hrozivá předpověď zásadně ovlivnila cenu ropy – a tím i rozdělení bohatství mezi státy.

Podle abiogenní teorie, pokud ropa a zemní plyn proudí z hlubokých (a tedy vysokotlakých) vrstev vzhůru, nemůže být jejich cesta zastavena žádnou horninou, ať už je jakkoli mocná. Žádná hornina nemá významnou pevnost v tahu, takže žádná hornina nemůže zadržet kapalinu, která vystupuje pod větším tlakem, než jaký působí váha nadloží. Nepropustné nadloží vytvoří koncentraci tekutin pod ní, ale ustálený průtok se nakonec obnoví na hodnotě rovnající se průtoku v hlubinném zdroji. Průtok těsnící překážkou se tedy podobá průtoku řeky protékající přehradou. Přehrada způsobí, že se na straně proti proudu vytvoří jezero, ale po jeho naplnění se rychlost proudění obnoví. Přes přehradu poteče stejné množství vody, jaké řeka nesla před postavením přehrady.

Mohlo by se zdát, že vzestupné proudění uhlovodíků by mohlo samo o sobě zajistit mechanismus doplňování rezervoáru. Vzestupný proud to do jisté míry zajistí. Pokud by však stoupavý proud byl tak rychlý, jak naznačují pozorování doplňování zásob, pak by rychlost, s jakou se uhlík dostává do atmosféry, byla mnohem vyšší, než umožňují atmosférická pozorování. Existuje však jiný proces, který může způsobit mnohem rychlejší doplňování, aniž by se do atmosféry dostalo více uhlíku.

Jak již bylo uvedeno, v hornině, která obsahuje v pórech kapalinu o menší hustotě, se nevyhnutelně vytvoří režim pórového tlaku, v němž tlak kapaliny vymezuje na sebe navazující oblasti, z nichž každá je oddělena od té nižší vrstvou drcené horniny s velmi nízkou pórovitostí a propustností. Pokud ropa a plyn skutečně vystupovaly zesponu, můžeme očekávat, že pod těžebním polem se bude vršit vertikální řada hlubších ložisek. Pokud se nyní v nejsvrchnějším ložisku sníží tlak kapaliny v důsledku těžby ropy nebo plynu, pak se tlakový rozdíl přes drcenou vrstvu s nízkou propustností automaticky zvýší. Transport kapaliny touto vrstvou

se proto zrychlí. Horní pole se bude doplňovat rychlostí danou únikem zesponu, když se změnila křehká tlaková rovnováha mezi horninou a kapalinou. Horní pole bude čerpat z hlubších zásob, které nebyly přímo zpřístupněny. V průběhu času se pomalým tečením horniny přizpůsobí postupně stav hladiny nové tlakové situaci. Jinými slovy, aniž bychom museli vrtat hlouběji, můžeme přesto čerpat z hlubších zásob, které mohou být klidně mnohem větší než těžený rezervoár. Průměrná rychlost odtoku z nejhlubšího zdroje uhlovodíků se nezvýší; spíše se zpřístupní více tekutin, které již existují ve středních hloubkách.

Fenomén ropných zásobníků, které se zdánlivě samy doplňují, je hojně popisován, zejména na Blízkém východě a na pobřeží Mexického zálivu v USA. <sup>4</sup> Považuji tyto jevy za pádný důkaz pro teorii hlubinného plynu.

### Klíče v karbonátovém záznamu

Povrchové a podpovrchové sedimenty na Zemi obsahují přibližně stokrát více uhlíku, než kolik by ho bylo získáno rozmělněním základních hornin, které se na vzniku sedimentů podílely. Povrch je tak enormně obohacen o uhlík. Toto obohacení vyžaduje vysvětlení.

Celkové množství uhlíku obsaženého v sedimentech a na povrchu se odhaduje v průměru na 200 tun na každý metr čtvereční zemského povrchu. Pětina tohoto uhlíku je v nezoxidované formě, včetně různých druhů uhlí, ropy, kerogenu (uhlíkaté sloučeniny rozptýlené v horninách) a zemního plynu, ať už jako volný plyn, nebo ve formě metanhydrátových ledů. Kromě toho je zde tenká vrstva živého a dosud nerozloženého biologického materiálu. Tato poslední kategorie – podle mého názoru jediná prokazatelně biologická složka - představuje jen velmi malou část celkového nezoxidovaného uhlíku.

Zbývající čtyři pětiny uhlíku jsou v oxidované formě, většinou ve formě vápence (uhlíčan vápenatý,  $\text{CaCO}_3$ ) a dolomitu (směs uhlíchanu vápenatého a hořečnatého). <sup>5</sup> Velká část tohoto uhlíchanu byla uložena v oceánech, které získaly uhlík z atmosféricko-oceánského fondu  $\text{CO}_2$ . Uhlíčitan se přirozeně sráží z vodního sloupce z rozpuštěného oxidu uhlíkatého a oxidů vápníku nebo hořčíku. Může být také vysrážen z vody

biologicky, a to organismy, které vytvářejí uhličitanové schránky nebo kostry.

Jedním z pokusů o vysvětlení tohoto velkého přebytku uhlíku na povrchu a v sedimentech byla domněnka, že v počátcích planetární akrece získala Země obrovské množství oxidu uhličitého, který se pak přeměnil na karbonátové horniny. Později subdukce části uhličitanů nesených podél oceánského dna a do ponorných hranic tektonických desek přenesla horniny do hloubek, v nichž se uhličitanové disociovaly. Uvolňoval by se oxid uhličitý, který by se vracel do atmosféry při sopečných erupcích. Poměrně stálá rychlost tohoto toku uhlíku, cyklický pohyb mezi ukládáním ve formě uhličitanů a uvolňováním ve formě oxidu uhličitého, byla navržena jako vysvětlení nepřetržitého přísunu oxidu uhličitého do atmosféry v průběhu geologického času, přinejmenším za poslední dobře zdokumentované dvě miliardy let. (Dřívější období neposkytují užitečné údaje, kromě toho, že některé karbonátové horniny skutečně existovaly před více než třemi miliardami let.)

Podle tohoto vysvětlení obohacení zemského povrchu uhlíkem by počáteční vrstva oxidu uhličitého v zemské atmosféře musela být velmi vysoká. Podle hmotnosti zmíněné karbonátové horniny by v rané atmosféře muselo být osmdesátkrát více oxidu uhličitého než v celé naší současné atmosféře a zhruba stejně velké množství jako na naší sesterské planetě Venuši. Naproti tomu dnešní podíl oxidu uhličitého v zemské atmosféře činí pouhých 3,5 objemových dílů na deset tisíc.

Existují však dobré důvody domnívat se, že raná Země nezískala mnoho materiálu ve formě plynů, protože v atmosféře je dnes velmi nízký obsah plynů, jako je neon, neradiogenní argon, krypton a xenon. Žádný fyzikální proces nemohl roztřídit tyto inertní plyny z plynné směsi sluneční soustavy, kde je jejich výskyt podstatně vyšší. A protože všechny tyto inertní plyny jsou těžké atomy, neunikly by zemské gravitaci a neodletěly by do vesmíru větší rychlostí než jiné plynné prvky. Jediným rozumným vysvětlením podle mého názoru je, že atmosférické plyny vznikly převážně z odplyňování těkavých látek získaných v hloubce z pohřbených pevných materiálů – nikoli z

počáteční rozsáhlé atmosféry získané při vzniku Země nebo pozdějším zachycením plynů z vesmíru.

Teorie, že Země měla na počátku masivní atmosféru  $\text{CO}_2$ , selhává v dalším ohledu. Vzorec ukládání karbonátových hornin v průběhu geologického času ji nepodporuje. Spíše než výchylku ukládání uhličitánů v dřívějších dobách ukazuje sedimentární záznam poměrně kontinuální akumulaci takového oxidovaného uhlíku, stejně jako neoxidovaného uhlíku, v průběhu posledních dvou miliard let - což je období, za které je sedimentární záznam užitečně neporušený. Skutečně se jasně ukazuje, že celkový přebytek uhlíku v povrchových vrstvách od raných dob narůstal. Recyklace to nemůže vysvětlit. Spíše je nutné počítat s neustálým přírůstkem ze zdrojů vyvěrajících z nitra Země.

Je zvláštní, že ačkoli většina oxidovaného uhlíku, který se nachází v karbonátových usazeninách, pochází z atmosféricko-oceánského fondu oxidu uhličitého, současný obsah uhlíku v tomto fondu představuje pouze asi jednu část ze 740 známého uloženého množství (s použitím odhadovaného celkového množství uhlíku uloženého v průběhu dvou miliard let a naměřeného obsahu  $\text{CO}_2$  v atmosféře a oceánech). Jaký je původ zásob, které udržují atmosférický  $\text{CO}_2$  na úrovni, jež vede k ukládání uhličitánů po všechny geologické epochy, a které udržují dostatečně konstantní míru zásobování, aby udržely rostliny při životě?

Pokud by za to bylo odplyňování těkavých látek obsahujících uhlík z hlubin Země, jaká by byla průměrná rychlost odtoku? Podle výše uvedených údajů by tato průměrná globální rychlost odplyňování musela být dostatečná k tomu, aby každých 2,7 milionu let nahradila množství odpovídající současnému obsahu oxidu uhličitého v atmosféře a oceánech. Jinými slovy, za dvě miliardy let se musel uhlík v těchto povrchových zásobnících nahradit 740krát.

Jak již bylo zmíněno, chemické složení meteoritů naznačuje, že uhličitany nebo jiné formy oxidovaného uhlíku nebyly běžnou součástí materiálů, které tvořily pevné planety. Většina uhlíku byla zpočátku v neoxidované formě, především ve formě uhlovodíků. Důkazy z hlubokých vrtů, které se nenacházejí příliš blízko

aktivních vulkanických oblastí, ukazují v souladu s důkazy z meteoritů, že uhlovodíky jsou tam dominantními tekutinami obsahujícími uhlík. V ještě hlubších vrstvách, kde je tlak tak velký, že stabilní formou uhlíku jsou diamanty, opět zřejmě převládá neoxidovaný uhlík, který tvoří tyto krystaly čistého uhlíku. (Další vysvětlení najdete v kapitole 7.)

Určitá část těchto vzestupných uhlíkatých kapalin, které začínají převážně ve formě  $\text{CH}_4$  a dalších lehkých uhlovodíkových molekul, bude během výstupu oxidována. Dostupnost kyslíku z hornin, teplota a tlak podél cest proudění a působení podpovrchového mikrobiálního života určují poměr metanu a oxidu uhličitého vystupujícího ze země v každé oblasti. Metan, který se dostane do atmosféry, aniž by byl cestou oxidován, se v atmosféře bohaté na kyslík rychle zoxiduje na oxid uhličitý a připojí se k atmosféricko-oceánskému fondu  $\text{CO}_2$ . Jaká část všech vzlínajících uhlíkatých těkavých látek by se dostala do atmosféry jako metan a jaká část jako oxid uhličitý? Oxid uhličitý pocházející ze sopek je dobře prozkoumán, zatímco velká množství metanu, která vznikají z nesopečného podloží, zůstávají většinou nepovšimnuta. Vzniká tak (povrchní) dojem, že oxid uhličitý je hlavním zdrojem přebytku uhlíku na povrchu a že je také hlavním uhlíkatým plynem v zemi.

Analýza izotopů uhlíku však odhaluje chybu v tomto převládajícím názoru. Studium izotopů uhlíku je rozsáhlý a složitý obor. Zmíním se zde pouze o jednom aspektu, který se přímo dotýká diskutovaného tématu, ale i ten je nutně spíše technický. Je třeba se jím zabývat, protože o jeho interpretaci a významu se vedou rozsáhlé diskuse. (Čtenáři, kteří nejsou ochotni vstřebat tuto úroveň podrobností, mohou přeskočit na stranu 68.)

Přírodní uhlík má dva stabilní izotopy: uhlík-12 (C-12), který má 6 protonů a 6 neutronů, a C-13, který má 6 protonů a 7 neutronů. V pozemských materiálech je asi jeden ze sta atomů uhlíku těžký izotop C-13; zbytek tvoří C-12. Žádný chemický děj nemůže změnit jeden z těchto stabilních izotopů na druhý. Pozorovaný poměr je dědictvím jaderných procesů ve hvězdách, které tento uhlík sestavily. Jediné, co se může na Zemi a v jejím nitru dít (pomíneme-

li jaderné reaktory), jsou selekční procesy – izotopová frakcionace -, které podporují pohyb jednoho nebo druhého izotopu. Chemické reakce obou izotopů jsou si velmi podobné a nelze očekávat žádnou významnou chemickou frakcionaci. Nejvýznamnějším rozdílem mezi nimi, který by mohl způsobit frakcionaci, je rozdíl v jejich hmotnostech, který přináší rozdíl v rychlosti jejich tepelného pohybu. To způsobí, že se obě molekuly budou pohybovat různými rychlostmi za okolností, kdy je rychlost proudění ovlivněna rychlostí tepelného pohybu, například při molekulární difúzi jemně porézním materiálem. V takových tocích lze v mnoha případech očekávat výraznou frakcionaci.

U lehkých molekul, jako je metan, by izotopická frakcionace byla důležitým efektem. Metan má molekulovou hmotnost 16 jednotek, pokud je vyroben z lehkého izotopu uhlíku, a 17 jednotek, pokud je vyroben z těžkého izotopu. Rychlost difuze by byla o 3 % vyšší u lehkých molekul. Pokud by tedy proud metanu protékal přes polopropustnou membránu, mohli bychom očekávat, že na druhé straně této membrány se zvýší podíl lehkého metanu, dost možná o 3 %.

Pokud by izotopy uhlíku byly obsaženy v molekulách oxidu uhličitého, a nikoli metanu, izotopová frakcionace by stále probíhala, ale byla by méně výrazná – pouze 1 % - protože jednotky molekulové hmotnosti by byly 44 proti 45 pro oba izotopy uhlíku. Podíly obou izotopů uhlíku v oxidu uhličitém odebraném ve vzduchu nebo ve vodě jsou na celém světě prakticky stejné. To znamená, že zásobárny tekutin na zemském povrchu jsou zásobovány oxidem uhličitým z jediného zdroje s daným poměrem izotopů. Z toho však vůbec nic nevyplývá. Jakýkoli plynný uhlík, který se dostane do atmosféry, se globálně promísí za krátkou dobu v porovnání s dobou potřebnou k jeho fixaci do pevné látky. Je to tedy pouze globální průměr izotopických příspěvků obou uhlíkových plynů, který tato jediná naměřená hodnota představuje. Jak metan, tak  $\text{CO}_2$  mohly přispívat různými izotopovými poměry.

Abychom pochopili význam izotopových dat uhlíku pro teorii hlubinných plynů, musíme se nyní zaměřit na izotopové poměry.

Všechny pozdější stupně potravního řetězce povrchové biosféry přenášejí stejný poměr lehkého a těžkého uhlíku, jaký se objevuje u fotosyntetizérů. Rostliny a řasy mají vždy nedostatek C-13 ve srovnání s poměrem, který se udržuje v atmosféře. Fotosyntetizéry si vybírají ve prospěch lehčího izotopu C-12. Když byla tato skutečnost poprvé objevena, proces, kterým život frakcionuje izotopy uhlíku, nebyl znám. Protože fotosyntetizéry všude prováděly stejný trik frakcionace, vznikl názor, že za nedostatek C-13 kdekoli v horninovém záznamu je zodpovědný pouze život.

Nyní víme, že život dosahuje této izotopové frakcionace pasivní difuzí, nikoli aktivním zprostředkováním a řízením. Lehčí C-12 snáze prochází póry polopropustných membrán, které jsou součástí vybavení fotosyntetizérů. Jakýkoli proces, při kterém molekula nesoucí uhlík pasivně difunduje porézní hmotou – ať už se jedná o živou nebo neživou látku – by tedy měl vést k frakcionaci. Mohou geologické procesy způsobit takovou frakcionaci?

Ano. Vzestupně proudící metan by podléhal frakcionaci všude tam, kde prochází vlhkým místem v horninách nebo obzvláště těsnou sítí pórů. Velmi vysokých faktorů frakcionace lze skutečně dosáhnout v několikanásobně složených difúzních systémech, které se mohou snadno vyskytnout při vzestupné cestě uhlovodíků pocházejících z velkých hloubek. Takový rozšířený proces frakcionace by vysvětloval extrémní hodnoty nedostatku C-13 zaznamenané u uhlovodíků odebraných v některých lokalitách – větší hodnoty, než jaké byly zaznamenány u rostlin kdekoli jinde. Nicméně interpretace, že pouze biologie může způsobit významnou frakcionaci, byla přijata tak drtivě, že kdykoli se zjistí, že v podpovrchové pevné látce nebo kapalině převažuje lehký izotop uhlíku, je za to nepochybně zodpovědný život.<sup>6</sup>

Geochemická analýza vzorků zemního plynu odebraných ze zemské kůry všude na světě ukazuje, že více než 99 % uhlovodíkových plynů je obohaceno lehčím izotopem uhlíku ve srovnání se zásobou izotopů uhlíku obsažených v atmosféře a oceánech, i když rozptyl hodnot obohacení je poměrně velký. Tato skutečnost byla použita na podporu biogenní teorie vzniku uhlovodíků. Uspokojivé vysvětlení by však poskytla i abiogenní teorie. Molekuly metanu nesoucí těžší izotop uhlíku by stoupaly



horninou pomaleji než molekuly nesoucí lehčí izotop. Difuze z póru do póru by byla zpomalena. Delší doba průchodu by vystavila tyto těžší molekuly většímu množství příležitostí k oxidaci. Uhlíková složka mnoha těžkých molekul metanu by tak oxidovala na oxid uhličitý, který by pokračoval ve vzestupu. Oxid uhličitý vycházející ze Země je ve skutečnosti obohacen o těžký izotop ve srovnání s uhlovodíky. K ověření tohoto vysvětlení by však bylo zapotřebí mnohem přesnějších údajů – nejen o izotopových rozdílech mezi metanem a oxidem uhličitým vycházejícím z atmosféry, ale také o relativním množství každého z nich uvolňovaném do atmosféry. Zde by byl důležitý poměr metanu a oxidu uhličitého.

Jak biogenní, tak abiogenní teorie vzniku uhlovodíků tak může vysvětlit izotopovou signaturu uhlovodíků nalezených v zemské kůře. Tvrdím však, že pouze abiogenní teorie může uspokojivě vysvětlit izotopové složení uhlíku v karbonátech, které tvoří hlavní složku zásob uhlíku na zemském povrchu. Abychom se mohli s touto otázkou vypořádat, je třeba nejprve uvést několik základních informací.

Ve vědách o Zemi se přesná měření malých změn v poměru izotopů uhlíku používají k odvození historie uhlíkových materiálů vázaných v horninách. Tato měření se obvykle uvádějí jako deficit (záporný) nebo přebytek (kladný) C-13 vzhledem ke standardní karbonátové hornině vybrané jako typický mořský karbonát. Výsledky se obvykle vykreslují jako odchylky od tohoto standardu v tisícinách. Důležité je také vědět, že karbonátové horniny usazené v oceánech nesou přibližně stejný izotopový podpis uhlíku jako atmosféricko-oceánský rezervoár CO<sub>2</sub> v době jejich usazení. Při fyzikálním srážení karbonátů dochází k malé frakcionaci. K malé frakcionaci dochází i v případě, že je vápenec tvořen převážně ze schránek a koster uhličitánu vápenatého, které byly vytvořeny životem. Je to proto, že živé organismy srážejí uhličitany z okolní vody pro vlastní potřebu; nevytlačují uhličitany přes buněčné membrány. Nedochozí tedy k žádné difúzi.

Podle biogenní teorie by veškeré zásoby ropy, zemního plynu, uhlí a kerogenu, jakož i hydrátů metanu, představovaly odstranění

uhlíku z atmosférického  $\text{CO}_2$ . Tato ložiska se v průběhu geologického vývoje zvětšovala a představují trvalý proces. Uhlík uložený vegetací by měl nedostatek C-13 ve srovnání s atmosférickým  $\text{CO}_2$ , z něhož se předpokládalo, že pochází, a došlo by ke kumulativnímu posunu ve prospěch těžkého izotopu tohoto atmosférického  $\text{CO}_2$ . Protože oceánské karbonátové horniny získaly uhlík z tohoto  $\text{CO}_2$ , měl by karbonátový záznam vykazovat postupný nárůst podílu C-13. Vzhledem k odhadovaným množstvím v ložiscích a jejich izotopovým poměrům by tento efekt měl být dostatečně velký, aby byl pozorovatelný v karbonátech ukládaných v průběhu geologického času.

Žádný takový účinek se však neprojevil. Uhličitanové usazeniny ve skutečnosti vykazují malý rozsah izotopového poměru, který zůstává pozoruhodně konstantní od raného archaiku až do současnosti.<sup>7</sup> Biogenní teorie tuto skutečnost nedokáže vysvětlit. Tato nerovnováha by nemohla být napravena recyklací neoxidovaných uhlikatých usazenin; ty by se z velké části změnily v nerozpustný a žáruvzdorný elementární uhlík.

Na základě abiogenní teorie bychom většinu neoxidovaných uhlíků v zemské kůře považovali za pocházející z vyvěrajících uhlovodíků, nikoli ze sedimentů pocházejících z atmosféry. Ložiska neoxidovaného uhlíku by tedy nemohla mít žádný vliv na poměr izotopů  $\text{CO}_2$  v atmosféře. Veškerý frakcionovaný uhlík rostlin by se vrátil do atmosféry v procesu rozkladu povrchového života, takže frakcionace živými buňkami by neměla vliv na průměrné izotopové složení atmosféry.

Na množství kyslíku, který je v atmosféře k dispozici, má významný vliv také forma, v níž je uhlík do atmosféry dodáván, tedy oxidovaný nebo neoxidovaný.<sup>8</sup>

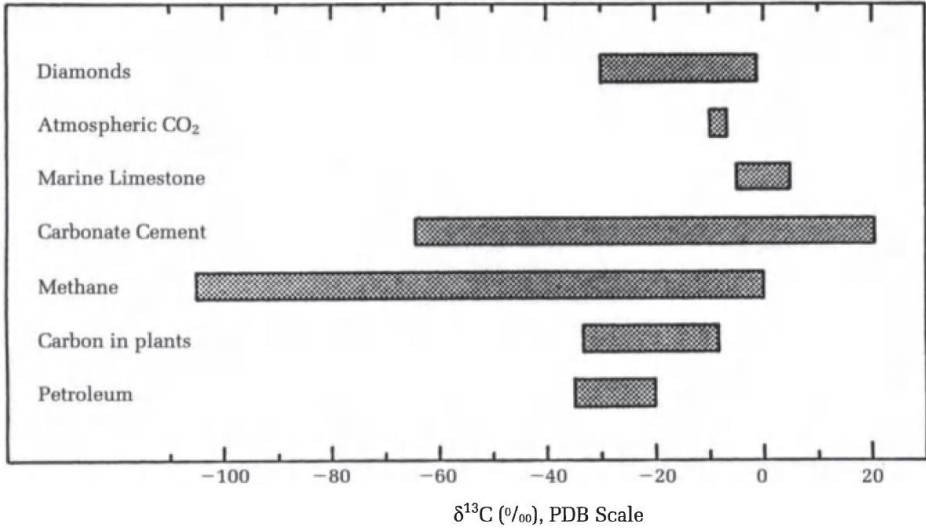
Existuje ještě jedna třída uhličitanů, která rozhodně nepochází z atmosférického oxidu uhličitého. Jedná se o karbonáty vyplňující trhliny, proto se nazývají cementy, které se nacházejí v mnoha horninách. Karbonátové cementy jsou běžné v oblastech s výskytem ropy. Ve skutečnosti mohou hrát významnou roli při

zadržování dostatečně velkých zásob uhlovodíků pro komerční využití, protože snižují propustnost horniny nad ložiskem.

Karbonátové cementy se od většiny mořských karbonátů odlišují třemi nezávislými znaky. Zaprvé vyplňují trhliny a nejsou vrstevnaté. Zadruhé jsou hojnější v oblastech s výskytem ropy. Za třetí, vykazují mnohem větší rozptyl izotopového poměru než ostatní karbonáty (obrázky 4.1 a 4.2).

Široký rozptyl izotopů uhlíku v karbonátových cementech připisují rozptylu izotopových poměrů metanu, z něhož cementy pocházejí. Vzhledem k poměrně velkému rozdílu v hmotnosti mezi jeho dvěma izotopickými formami by se dalo očekávat, že metan bude trpět velkou izotopickou selekcí, když bude proudit vodou nebo těsnými místy v horninách. Část metanu proudícího proti proudu se v horninách oxiduje. Takto vzniklý oxid uhličitý pak snadno reaguje s oxidem vápenatým přítomným ve stejných horninách za vzniku uhličitanu. Tento uhličitán odráží izotopickou variantu, kterou metan přinesl.

Kdykoli budu diskutovat o velkém rozptylu izotopového poměru pozorovaného v karbonátových cementech a nabídnu své vysvětlení vycházející z teorie hlubinného plynu, mohu očekávat, že budu konfrontován s výroky typu: "Nejste si vědom, že to musí být způsobeno směsí dvou různých zdrojů metanu ve všech oblastech, které jste zkoumal. " Existují však stovky příkladů čerpaných ze vzorků jader ropných vrtů, z karbonátových ložisek na dně oceánu, která překrývají oblasti těžby plynu, a samozřejmě i z našich vrtů ve Švédsku. Že by všechny získaly plyny ve srovnatelném množství ze dvou různých zdrojů, z nichž jeden je biogenní? Nebylo by mnoho lokalit, kde přispěl pouze jeden zdroj, a ne jiný? Jak by se biogenní metan dostal 500 metrů (nebo dokonce šest kilometrů) hluboko do švédské žuly, počínaje povrchem, který měl sedimentární pokryv sotva dostačující k zakrytí horninového podloží?

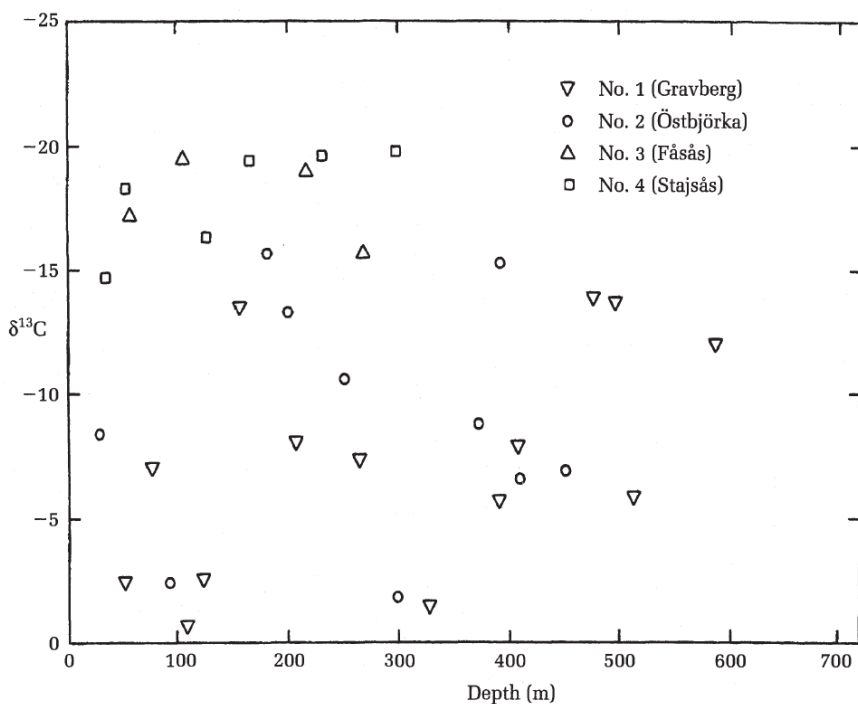


Obrázek 4.1 Široké rozložení izotopických poměrů uhlíku v metanu ze všech přírodních zdrojů. Všimněte si, že rozmezí atmosférického CO<sub>2</sub> je malé, což musí být dáno tím, že všechny rozmanité příspěvky se v atmosféře rychle globálně promíchají. Oceánské karbonáty, které získaly uhlík z atmosférického CO<sub>2</sub>, vykazují podobně malý rozsah. ZDROJ: Thomas Gold, 1987, *Power from the Earth* (původní kompilace z hodnot uvedených v různých učebnicích).

Geologická frakcionace metanu získaná rozdílem rychlostí difuze není z mé strany nijak odtažitá spekulace. Takový proces se ve velkém měřítku používá v průmyslu, například při zpracování uranu pro použití v bombách nebo jaderných reaktorech. V průmyslových procesech se frakcionace často používá v mnoha po sobě jdoucích fázích, a lze tak dosáhnout velmi velkých frakcionačních efektů. V méně uspořádaných podmínkách pórovitých hornin dochází ke stejným frakcionačním efektům s nižší účinností.

Transport plynu horninou probíhá ve dvou typech proudění. Nejprve existuje objemový proud, který proudí propojenými cestami vytvořenými a udržovanými plyny z hlubších a vyšších tlakových úrovní. Rychlost proudění v objemovém proudu je společná pro všechny molekuly plynu bez ohledu na izotopický

obsah. Tato rychlost proudění je určena tlakovými gradienty a viskózním třením v hornině.



Obrázek 4.2 Široký rozptyl izotopových poměrů v karbonátových cementech ve čtyřech mělkých (méně než 600 m hlubokých) vrtech v impaktní formaci Siljan Ring ve středním Švédsku. Všimněte si velkých změn pozorovaných na vzdálenostech pouze několika desítek metrů. Gravberg se nachází v oblasti prvních hlubokých vrtů, které byly v Siljanském prstenci provedeny. Naproti tomu mořské vrstevnaté karbonáty by téměř všechny ležely na svislé ose mezi -4 a +4.

Druhý typ proudění je způsoben difuzí plynu do množství kapilárních pórů, často naplněných vodou. Tam je rychlost dána individuálními pohyby molekul a dochází zde k frakcionaci. Metan, který se dostane do atmosféry z hlubokých vrstev a dlouhými cestami, při nichž utrpí různá množství, ale velké hodnoty frakcionace, se vynoří se všemi známkami této frakcionace, odstraněnými rychle jakmile ho atmosférické míchání vmísí do celosvětového rezervoáru. Stálost

atmosférického poměru izotopů uhlíku všude a v čase tedy neznámá, že frakcionace uhlovodíků nebyla přítomna ve všech jednotlivých oblastech výronu; znamená to pouze, že průměry pro celou Zemi a pro období milionů let byly velmi podobné.

Izotopové důkazy je třeba brát v úvahu při každé diskusi o genezi karbonátů. Jediné vysvětlení, které by odmítlo závěr, že podíl těžkého izotopu v mořských ložiscích uhličitánů se musí v průběhu času zvyšovat, by bylo, že většina ložisek neoxidovaného uhlíku v zemi (ropa, plyn, uhlí a hydráty) nepochází z trosk fotosyntetického povrchového života. Spíše musely pocházet z neoxidovaného uhlíku, který se dostal z hloubky. Toto vysvětlení bude spojeno se závěrem, že odplyňování prvotního doplňku uhlíku, především v redukované formě metanu, probíhalo poměrně stabilním tempem. Jakýkoli metan, který se dostane horninami na povrch, by se v atmosféře v každém případě zoxidoval na oxid uhličitý a nemohli bychom jej již odlišit od plynu, který se do atmosféry dostal již v plně zoxidované formě.

Souhrnně lze říci, že technické informace a argumenty v této části vedou podle mého názoru k jednoznačnému obecnému závěru: Objem, stáří a izotopové poměry karbonátů v zemské kůře jsou důležitým důkazem ve prospěch názoru, že uhlovodíky byly prvotní složkou Země, že zůstávají v klidu a že neustále stoupají do vnější kůry, a nakonec se vynořují, oxidují a mísí v atmosféře.

## Spojení helia s uhlovodíky

Je zde velmi silná vazba helia na uhlovodíky. Tato asociace je tak silná, že se při komerčním hledání uhlovodíků ukázalo jako užitečné zjišťování helia podél povrchu. V současné době existují velmi citlivé detektory helia. Poprvé byly použity k detekci podzemních ložisek uranu, která byla považována za hlavní zdroje helia. Toto hledání nebylo úspěšné. Zjišťování helia se však ukázalo jako užitečné při detekci ropných a plynových polí.

Spojení helia s uhlovodíky je pravděpodobně nejnápadnějším faktem, který biogenní teorie nedokáže vysvětlit, a proto mě nejvíce zajímá.

Odkud se helium bere a proč je tak silně spojeno s uhlovodíky? V horninách vzniká helium především při radioaktivním rozpadu uranu a thoria. Byly pozorovány regionální struktury zvýšeného obsahu helia, v nichž je současné množství helia mnohem vyšší, než by kdy mohlo v sedimentech vzniknout z celkového množství jejich radioaktivních složek. V těchto oblastech nadbytku helia bývá směs plynů (včetně uhlovodíků a dusíku) uvnitř zemské kůry a vystupujících z ní pozoruhodně podobná ve velmi rozsáhlých zeměpisných oblastech, které zahrnují i velmi odlišné geologické provincie. Hélium tedy muselo zcela jistě pocházet z podpovrchových vrstev sedimentárních hornin a muselo se tam dostat již v regionálně dobře definovaných směsných poměrech s metanem a dusíkem, takže různá pole v regionu mohla být vyplněna stejnou nebo velmi podobnou směsí. Tohoto efektu mohla dosáhnout pouze směs, která se do sedimentů a jejich jednotlivých plynových polí dostala zespodu.

U chemicky inertního helia, které nevytváří chemické vazby s žádným prvkem, lze vyloučit jakoukoli chemickou nebo biologickou příčinu tohoto obohacení. Žádný chemický proces – biologický ani nebiologický – nemůže způsobit, že by se helium shromáždilo z nízké koncentrace a dostalo se do vyšší. Velké regionální rozdíly v pozorovaných koncentracích helia by mohly vysvětlit pouze rozdíly v koncentracích výchozích radioaktivních prvků a rozdíly v délce cesty horninami, z nichž bylo helium vymeteno. Tam, kde se koncentrace helia v jednotlivých lokalitách značně liší, například stonásobně nebo více, je pravděpodobné, že dominantní roli hraje délka cesty, kterou nosný plyn prošel.

Zhruba od roku 1979 jsem začal pracovat s obrovským množstvím již dostupných heliových dat, abych našel rozumné vysvětlení regionálních struktur. Možná by údaje o obohacení helia mohly sloužit jako dobrý ukazatel hloubky, ze které jeho tekutý uhlovodíkový nosič zahájil cestu vzhůru. Čím hlouběji je zdroj uhlovodíků, tím větší je celková délka pórových prostor, kterými musí uhlovodíky protékat, než se dostanou do vnější kůry a na

povrch. A čím více hornin musí tato kapalina projít, tím více příležitostí je k získání radioaktivně odvozených atomů helia na této cestě. Koncentrace helia v plynu tak může sloužit jako hrubý ukazatel hloubky, ze které tento plyn pochází. Ačkoli je tento výpočet přibližný, měl by nám přesto umožnit rozlišit mezi domnělým biogenním zdrojem v hloubce například pěti kilometrů a abiogenním zdrojem v hloubce 150 kilometrů. Takto variabilita související s hloubkou by měla překrýt mnohem slabší odchylky způsobené rozdíly v koncentracích radioaktivních prvků v horninách, které se vyskytují podél cesty úniku.

Dalším důkazem pro tuto hypotézu o hloubce je rozsah plochy, na které vznikají jednotlivé směsi plynů. Plocha vynořování může odhalit vztah hloubek, ve kterých se uvolňovaly různé plyny. Rozsáhlé geografické rozšíření identifikovatelné směsi znamená, že tyto plyny musely vzniknout z velmi hluboké úrovně. Jiná směs, která na povrchu kreslí menší skvrnu, ale v oblasti první, musela pocházet z mělčí úrovně. Když jsme s kolegou (Marshall Held) analyzovali tento druh údajů, které již byly zaznamenány pro ropná pole v Texasu a Kansasu, zjistili jsme, že ze všech těžkých prvků nebo sloučenin by dusík ve formě  $N_2$  a helia často pocházel z nejhlubších úrovní, zemní plyn (metan) z dalších nejhlubších a ropa s různými příměsemi uhlovodíkových plynů z dalších. V každém případě by však všechny pocházely z úrovní mnohem hlubších, než jsou sedimenty zemské kůry.<sup>9</sup>

Obohacení héliem se v sedimentárních horninách vyskytuje jen zřídka, pokud chybí větší množství uhlovodíků nebo dusíku. Desetiprocentní koncentrace helia v metanových a dusíkových plynech je nejvyšší koncentrace, která byla zjištěna. Aby se helium v oblastech těžby ropy nebo zemního plynu koncentrovalo na mnohem vyšší koncentrace než v sousedních horninách, nelze se odvolávat na nic jiného než na mechanické čerpání. U inertního helia není možné žádné chemické působení. Proč by však mělo jakékoliv čerpání helia směřovat právě do oblastí s výskytem ropy? Tato asociace je tak silná, že veškerá světová komerční produkce helia pochází z ropných a plynových vrtů a koncentrace helia je v

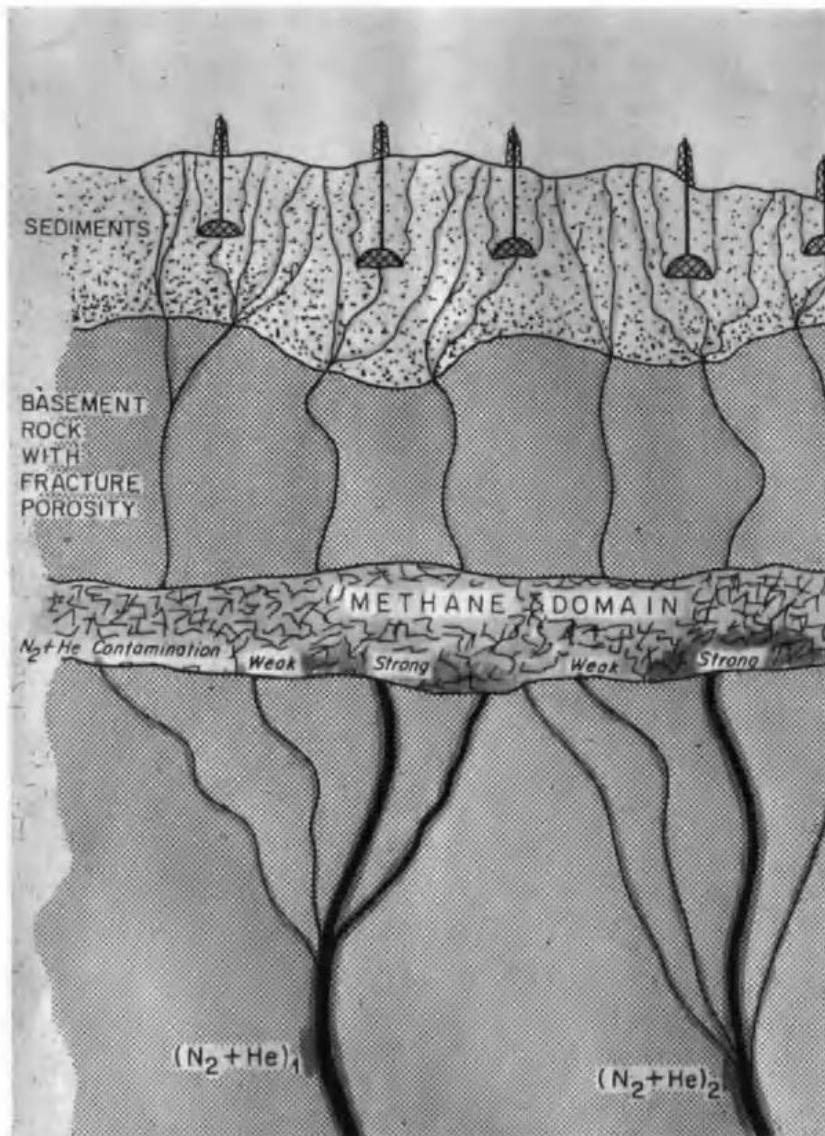


oblastech s ropou často stonásobně vyšší než v sousedních horninách. Dokonce i v malých hloubkách studní pro zemědělce ukazují měření koncentrace helia a metanu těsný vztah. Měření tohoto druhu byla provedena na stovkách míst sběru dat v několika částech zeměkoule (obrázek 4.3). O tomto vztahu nelze pochybovat.<sup>10</sup>

Nedokážu si představit žádné čerpání, které by hnalo helium z okolních oblastí horizontálně právě směrem k oblasti bohaté na uhlovodíky. Jediný děj, který bych chápal a který by přinesl helium do uhlovodíkových oblastí, by byl ten, že by difúzně produkované helium v horninách bylo ve velkém intervalu hloubky vyplaveno plynem, který by sám přispěl k uhlovodíkovým zásobám.

Protože helium pochází především z probíhajícího radioaktivního rozpadu uranu a thoria, je v horninách rozšířeno jen velmi rozptýleně. Samo o sobě by radioaktivně produkované helium nemohlo vytvořit dostatečné tlaky, které by otevřely pórové prostory v horninách a umožnily tak vznik jakéhokoli objemového toku. Jediným mechanismem výstupu helia do hornin by byla jeho molekulární difúze. Ačkoli by molekulární difúze helia byla rychlejší než difúze jakéhokoli jiného plynu, byla by přesto mnohem pomalejší než hromadný transport. Transport helia proto musí být poháněn jiným a mnohem hojnějším plynem, který poskytuje vlastní hnací sílu jak pro proudění vzhůru, tak pro vytváření tlakem vyvolaných pórových prostorů a trhlin po cestě. Právě hnací síla tohoto jiného plynu zajišťuje potřebnou čerpací činnost, která koncentruje helium v ložiscích uhlovodíků v blízkosti povrchu. Pokud je tento jiný plyn uhlovodíkem, bude samozřejmě čerpat helium, které zachytil, do oblastí, které v mělkých vrstvách označujeme jako uhlovodíkové. To by vysvětlovalo spojení uhlovodíků s heliem.

Test hypotézy, že uhlovodíkové kapaliny slouží jako vzestupný nosič helia, by byl následující: Pokud by helium mohlo proudit bez nosné kapaliny, muselo by existovat mnoho míst, kde se nahromadilo množství helia, které je podobné množství helia v některých plynových polích,



Obrázek 4.3 Přenos helia ve vzestupných těkavých látkách. Toto schéma ukazuje, jak by teorie hlubinných zemských plynů vysvětlovala asociaci helia s metanem. Z nejhlubších vrstev (snad asi 300 km) je helium vzniklé radioaktivním rozpadem vháněno do proudu vzestupného dusíku. V hloubce asi 100 kilometrů, která je zde označována jako metanová oblast, se dusík a helium míší s metanem a všechny tři pokračují v cestě vzhůru. Tyto plyny pak dorazí do konečných polí s již určenými směšovacími poměry. Poměr dusíku a hélia je konstantní v mnohem větší oblasti, zatímco směšovací poměry s metanem vykazují jednotlivé menší oblasti v rámci první oblasti.

ale v případě nepřítomnosti metanu nebo dusíku by se jednalo o čistě heliová pole. Vzhledem k rozsahu geologického průzkumu by již mělo být objeveno mnoho takových polí, která by měla velkou hodnotu. Jejich nepřítomnost tedy podporuje koncepci transportu helia pomocí nosného plynu.

Při zkoumání důkazů potvrzujících abiogenní teorii vzniku ropy jsme zkoumali údaje týkající se tří důležitých vlastností, které lze přímo odebrat nebo zjistit ve vnější kůře: fenomén doplňování zásobníků, izotopické a jiné vlastnosti rozsáhlých zásob karbonátů v kůře a silná vazba helia na uhlovodíky. Teorii hlubinných zemských plynů činí přesvědčivou právě asociace s héliem,<sup>9-16</sup> která nemá jiné vysvětlení. Asociace uhlovodíků se specificky primordiálním héliem pozorovaná na mnoha místech dodává další podporu.<sup>17-27</sup>

Nyní jsme však problém přesunuli na druhou stranu sporu: Jak mohly uhlovodíky přitahovat biologické molekuly, když se vynořily z hloubek, které jsou příliš velké na to, aby se takové molekuly vytvořily nebo dokonce udržely? Kde se tedy uhlovodíky vzaly? Pokud ve velké hloubce (a pak nutně při vysoké teplotě), můžeme pochopit, proč nashromáždily mnoho helia. Pokud vznikly v mělké sedimentární oblasti, pochopili bychom přítomnost biologických molekul. Zdá se, že tu máme paradox: Dva typy dokonale bezpečných informací, ale s vysvětleními, která si navzájem odporují. Řešení tohoto zdánlivého paradoxu je předmětem následující kapitoly.

# Kapitola 5 Řešení ropného paradoxu

Podle převládající teorie západních vědců pochází ropa z pohřbených a chemicky přeměněných zbytků kdysi živých buněk. Tvrdit, jako to dělám já, že složité uhlovodíky byly prvotní složkou úlomků sluneční soustavy, z nichž se zformovaly planety, a že tyto uhlovodíky zůstávají v neoxidovaném stavu v zemské kůře a svrchním plášti i dnes, je tedy radikálně protichůdný pohled na vznik ropy. Problém však zůstává: Pokud složité uhlovodíky nalezené v zemské kůře nejsou přepracovanými pozůstatky povrchového života, proč tedy ropa obsahuje stopy života?

Zastánci biogenní teorie vzniku ropy se opírají o čtyři hlavní pozorování.<sup>1</sup> Za prvé, veškerá přírodní ropa obsahuje příměsi skupin molekul, které jsou jasně identifikovány jako produkty rozkladu složitých, ale běžných organických molekul syntetizovaných životem. Tyto molekuly, které jsou zřejmě přítomny v zásobnících ropy na celém světě, nemohly vzniknout nebiologickým procesem.

Za druhé, ropa často vykazuje optickou vlastnost naznačující biologickou aktivitu. Při průchodu rovině polarizovaného světla vzorkem kapaliny se světlo objeví s otočenou rovinou polarizace. Tato rotace znamená, že molekuly, které se mohou tvořit buď s pravotočivou, nebo levotočivou symetrií (ve stejném smyslu jako

79

známe pravotočivé a levotočivé šrouby) nejsou v ropě zastoupeny (statisticky) stejným počtem. Spíše jedna "ruka" převládá – což je charakteristické pro biologické kapaliny, pravděpodobně proto, že jejich molekuly mají společného předka, ale tento rys chybí u kapalin nebiologického původu.

Za třetí, některé petroleje jsou směsí uhlovodíkových molekul, v nichž jsou molekuly s lichým počtem atomů uhlíku zastoupeny více než molekuly se sudým počtem. Opět se vyskytuje i obrácený případ. Bylo navrženo, že takový lichý a sudý efekt lze chápat jako důsledek rozpadu

určitých tříd molekul, které jsou běžné v biologických látkách, jež mohly přispět k určitému vzorku. Stejně jako v případě optického efektu nebylo předloženo žádné podrobné vysvětlení. Biologie se na tom může podílet, ale ne nutně jako zdroj těchto molekul.

Za čtvrté, ropa se většinou nachází v sedimentárních usazeninách a jen zřídka v primárních horninách zemské kůry pod nimi. I mezi sedimenty má ropa přednost před vrstvami, které jsou geologicky mladé. V mnoha případech se zdá, že takové sedimenty jsou bohaté na molekuly podobné dehtu, známé jako kerogen. Tyto molekuly jsou zastánci biogenního názoru interpretovány jako molekuly biologického původu a jsou považovány za zdrojový materiál všech nalezených ropných ložisek v okolí. Předpokládá se, že zemské procesy přeměňují tyto rozptýlené molekuly kerogenu na tekutou ropu. Předpokládá se také, že zemské procesy nějakým způsobem směřují ropu do koncentrovaných zásobníků v porézních sedimentárních horninách, které jsou někdy koncentrovány až stonásobně vzhledem k rozložení kerogenu a ve značných bočních vzdálenostech od horniny bohaté na kerogen, která je považována za zdroj. Žádná teorie tohoto procesu koncentrace nebyla navržena.

## Řešení hlubokou horkou biosférou

Strávil jsem roky nad rozporuplnými důkazy o vzniku ropy. Z důvodů vysvětlených v předchozích dvou kapitolách, jak by se mohla abiogenní teorie vyrovnat se stejně silnými důkazy biologické aktivity? Jak se ukázalo, problém se stal paradoxem jen proto, že argumenty obou stran obsahovaly nepřiznaný skrytý předpoklad.

Ve vědě neexistují žádné skutečné paradoxy; zdánlivé paradoxy jsou pouze zdvořilým způsobem, jak nám příroda *sotto voce* sděluje, že naše chápání je neúplné nebo chybné. Pokud jde o ropný paradox, nepřiznaným předpokladem na obou stranách debaty bylo nezpochybnitelné přesvědčení, že život může existovat pouze na povrchu Země. Nikdo z nás neuvažoval o tom, že velké množství aktivní mikrobiologie může existovat v zemské kůře, a to až do nejhlubších úrovní, kam se můžeme provrtat.

Tento předpoklad je pozůstatkem toho, co jsem nazval povrchoým šovinismem, tedy přesvědčením, že život je pouze povrchoý jev. Pokud se nám podaří tento předpoklad odstranit, můžeme se zabývat tvrzením, že biologické molekuly přítomné v ropě nejsou pozůstatky povrchového života, který je dávno mrtvý, pohřbený a částečně přeměněný. Jsou spíše důkazem prosperujícího společenství mikrobů, které žije svůj život v hloubce a hoduje na uhlovodících hlubinného, abiogenního původu. Jakmile se oprostíme od předsudků, můžeme otevřít oči existenci hlubinné horké biosféry – a ta by musela být obrovská, aby vysvětlila všechny biologické molekuly v ropách po celém světě.

Nějakou dobu předtím, než jsem si uvědomil, že teorie hluboké horké biosféry by mohla vyřešit ropný paradox, jsem zdůrazňoval, že oleje putující sedimenty vzhůru vyluhují veškeré biologické materiály, na které cestou narazí, a že toto vyluhování poskytuje těmto tekutinám biomolekuly.<sup>2</sup> Bylo však obtížné sladit tento proces se skutečností, že některá ropná ložiska nemají žádnou věrohodnou souvislost se sedimentárními vrstvami, v nichž by mohly být pohřbeny biologické materiály, a tudíž by podléhaly vyluhování. Mezi tyto problematické ropy patří i ty z nejhlubších podložních hornin, v nichž byly nalezeny vzorky ropy. Řešením musel být abiogenní původ veškeré ropy a zemního plynu, spojený s mimořádným tvrzením, že v hloubce nejméně do osmi kilometrů (což je hloubka, v níž byla nalezena ropa v nejhlubších vrtech) existovala obrovská mikrobiální biosféra.

Podle tohoto názoru by veškerá ropa odebraná ze země podporovala aktivní mikrobiální život, protože ropa je velmi žádoucí látkou pro různé formy mikrobiologie. Jasně vidíme, že tam, kde je teplota ropy dostatečně nízká pro rozvoj mikrobů, jsou přítomny biologické markery.

Spojení abiogenní teorie neboli teorie hlubinného zemského plynu s předpokladem existence hluboké horké biosféry mi umožnilo interpretovat spojení ropy a hélia jako důsledek dlouhé cesty, kterou ropné kapaliny urazily od svého hlubokého původu k vnější kůře. Jelikož ropa vznikla hluboko pod hranicí hloubky, kde by ji mohla jakákoli biologie obohatit o biomolekuly, které v ní nyní pozorujeme, musela cestovat vzhůru, aniž by některou z těchto

molekul měla. Po dosažení mělčích úrovní, kde podmínky umožňovaly fungování biologie, se vzestupná ropa rychle naplnila velkým množstvím molekulárních druhů, které mohla čilá mikrobiologie v těchto úrovních produkovat.

V ropných vrtech v hloubkách větších, než čtyři kilometry byly zaznamenány nezpochybnitelné důkazy o živých původních mikrobech, jak jsme viděli v kapitole 2. Domnívám se, že všechny hloubky, do kterých se naše vrty mohou dostat a ze kterých proto získáváme vzorky k analýze, jsou menší než přechodová úroveň, pod kterou biologie nemůže fungovat. Proto budou všechny uhlovodíky vykazovat tento typ biologického zesílení, ale ze zcela jiného důvodu, než předpokládá biogenní teorie. Z hlubokých vrtů již byly vytaženy a úspěšně kultivovány živé buňky, nejen biologicky odvozené molekuly. Hluboká horká biosféra má ponorný rozsah, i když je omezena na pórové prostory a pukliny v hornině.

### **Biologické molekuly v nebiologické ropě**

Teorie hluboké horké biosféry tedy vyžadovala, abychom uznali existenci dosud nepoznané a obrovské oblasti života. Právě tento předpoklad by vyřešil petrolejářský paradox, ale byl to velmi velký předpoklad. Před jeho přijetím by bylo nutné předložit potvrzující důkazy. Tyto důkazy se objevily v roce 1984 v podobě pozoruhodného článku Guy Ourissona, Pierra Albrechta a Michela Rohmera, kteří pracovali na univerzitě ve Štrasburku.<sup>3</sup> Ačkoli jsem s autory nesouhlasil v jejich hlavním závěru, že ropu a uhlí vyprodukovaly bakterie - (S jakou potravou? S jakými zdroji uhlíku a vodíku?) -, množství mikrobiálních materiálů, které uváděli, výrazně posílilo mou ochotu učinit mimořádný předpoklad bohaté biosféry ve značné hloubce.

Autoři ukázali, že množství biologických zbytků v ropě je překvapivě velké, i když jejich *podíl* v ropě je malý. V každém případě se předpokládala masivní bakteriální kontaminace, ačkoli to nebyl názor těchto autorů. Ourissonův tým spíše vyjádřil

konvenční názor, že biologie je pro produkci uhlovodíků nezbytná. Neuvažovali o tom, že by oleje mohly být potravou pro plodný mikrobiální život a vytvářet tak spojení mezi ropou a biologií. Reagoval jsem na to v dopise zveřejněném ve stejném časopise v listopadu 1984, kde jsem částečně napsal,

Rozšířená raná bakteriální flóra mohla vzniknout, když uhlovodíkové zplodiny Země poskytly zdroj chemické energie v povrchových vrstvách zemské kůry, kde byl díky fotodisociaci vody a ztrátě vodíku do vesmíru hojný kyslík. V horninách zemské kůry se mohlo dařit bakteriím oxidujícím metan (a možná také oxidátorům vodíku, oxidu uhelnatého a sirovodíku). V průběhu evoluce mohla fotosyntéza se vši svou složitostí jako zdroj energie dost dobře předcházet zplyňování uhlovodíků. Flóra, kterou zplodiny podporovaly, dala ropě a uhlí jejich charakteristický biologický otisk. <sup>4</sup>

Jeden z molekulárních znaků života v olejích pochází ze skupiny molekul, které Ourissonův tým objevil a pojmenoval hopanoidy. Hopanoidy jsou mírně oksyložené a obohacené verze uhlovodíkových molekul známých jako hopany, které obsahují přibližně 27 až 36 atomů uhlíku uspořádaných v sousedních kruzích v jedné molekule. Hopanoidy s vyšším obsahem uhlíku obsahují další uhlíkové složky jako řetězec přidaný ke spojeným kruhům. Hopanoidy jsou výrazné ve všech četných vzorcích ropy, které byly na jejich přítomnost testovány. Patří sem vzorky odebrané ze sedimentů nejrůznějšího stáří a z celého světa. A není sporu o tom, že tyto molekuly pocházejí z membrán kdysi živých buněk.

Podle autorů bylo množství hopanoidů obrovské: "Celosvětová zásoba samotných hopanoidů by činila nejméně  $10^{13}$  nebo  $10^{14}$  tun, což je více než odhadovaných  $10^{12}$  tun organického uhlíku ve všech živých organismech." Ourisson a jeho kolegové se však pozastavili nad tím, že zatímco živé stromy, kapradiny a řasy obsahují hopanoidy na dolním konci spektra počtu uhlíků, pouze bakterie<sup>5</sup> obsahují molekuly s vyšším obsahem uhlíku, například  $C_{35}$  a  $C_{36}$ . Další zajímavá molekula (terpenoid), kterou Ourissonův tým zjistil jako běžnou v uhlovodících, je přítomna i v bakteriích, o nichž je známo, že se živí oxidací metanu. Všechny biogenní molekuly objevené v přírodních uhlovodících na celém světě lze spojit se složkami bakterií nebo archeí a žádná není spojena



výhradně s mikroflórou nebo faunou. V těchto pozorováních tedy není žádný důkaz, že by k vysvětlení všech pozorovaných molekul bylo zapotřebí něco jiného než podstatné mikrobiologické znečištění olejů. A to zase znamená, že neexistuje žádný důkaz, že by k vysvětlení přítomnosti těchto biologických molekul v podpovrchových uhlovodících bylo nutné odvolávat se na nějaký povrchový život.

Na zpochybnění biogenní teorie vzniku ropy však nebylo třeba čekat, až se objeví hopenoidy. Robert Robinson předložil nejpersvědčivější argument více než deset let předtím, než se o mou pozornost přihlásila ropná geologie. "Nelze příliš zdůraznit," napsal v roce 1963, "že ropa nepředstavuje obraz složení očekávaný od modifikovaných biogenních produktů a všechny argumenty ze složek starých olejů stejně dobře nebo lépe odpovídají představě o prvotní uhlovodíkové směsi, do níž byly přidány bioprodukty."<sup>6</sup>

Jednoduše řečeno, je velmi nepravděpodobné, že by se biologické zbytky mohly rozložit na uhlovodíky nasycené vodíkem. Robinsonova argumentace stále platí a zůstává pravděpodobně nejsnáze pochopitelným a nejpersvědčivějším ze všech biochemických argumentů proti biogenní teorii.

Z kádinky s řasami nebo kapradím ještě nikdo v laboratoři nesyntetizoval ropu nebo uhlí. Jednoduchá heuristika ukáže, proč by taková syntéza byla krajně nepravděpodobná. Pro začátek si uvědomte, že sacharidy, bílkoviny a další biomolekuly jsou hydratované uhlíkové řetězce. Tyto biomolekuly jsou v podstatě uhlovodíky, v nichž byly atomy kyslíku (a někdy i jiných prvků, například dusíku) nahrazeny jedním nebo dvěma atomy vodíku. Biologické molekuly tedy nejsou nasyceny vodíkem. Je docela nepravděpodobné, že by biologické zbytky pohřbené v zemi ztratily atomy kyslíku a místo nich získaly atomy vodíku. Pokud už, tak pomalé chemické zpracování v geologickém prostředí by mělo vést k dalšímu získávání kyslíku, a tím i k další ztrátě vodíku. A přesto je "zisk" vodíku přesně to, co vidíme v surových ropách a jejich uhlovodíkových těkavých látkách. Poměr vodíku k uhlíku je v těchto materiálech výrazně vyšší než v nedegradovaných biologických molekulách. Jak by tedy mohly biologické molekuly

nějakým způsobem získávat atomy vodíku, zatímco se pravděpodobně rozkládají na ropu?

Vezměme také v úvahu, že v ropných vrtech se průměrný poměr vodíku k uhlíku s hloubkou zvyšuje, což odpovídá (podle abiogenního pohledu) úbytku vodíku v průběhu času a během migrace kapalin směrem vzhůru. Přesto by hlubší vodíkový rezervoár byl považován za "starší" než mělčí rezervoár ve stejné blízkosti, vzhledem k pravidlu superpozice v geologii – že mladší sedimenty se usazují na starších sedimentech. Proč by tedy nejhlubší ložiska měla mít nejvyšší poměr vodíku k uhlíku?

Vybaven teorií hluboké horké biosféry jako řešení ropného paradoxu jsem provedl odhad (publikovaný v roce 1992) biomasy, kterou by taková biosféra mohla uživit.<sup>7</sup> Začneme s předpokládanou horní teplotní hranicí pro život 110<sup>0</sup>C až 150<sup>0</sup>C (což by ve značné hloubce bylo stále hluboko pod bodem varu vody). Tím by se hloubková hranice pro život v hluboké biosféře nacházela někde mezi 5 a 10 kilometry pod povrchem ve většině oblastí zemské kůry. Celkový pórový prostor, který je k dispozici v pevninských oblastech Země do hloubky 5 kilometrů, lze odhadnout na  $2 \times 10^{22}$  cm<sup>3</sup> (bereme-li jako průměrnou hodnotu 3 % pórovitost). Pokud materiál s hustotou vody vyplňuje tyto pórové prostory, představovalo by to hmotnost  $2 \times 10^{16}$  tun. Jakou část z toho může tvořit hmotnost bakterií?

Zde se výpočet stává velmi spekulativním. Odhadněme spíše konzervativně, že bakteriální hmota zaujímá pouze 1 %, tedy  $2 \times 10^{14}$  tun, z celkového materiálu, který zabírá pórové prostory. V takovém případě by biomasa pocházející a obsažená v hluboké horké biosféře odpovídala vrstvě živého materiálu o tloušťce přibližně 1,5 metru, pokud by byla rozprostřena po celém povrchu země. To by skutečně bylo o něco více než stávající flóra a fauna povrchové biosféry a odpovídá to celosvětovému odhadu biologického odpadu – hopanoidů -, který Ourissonův tým vypočítal jako přítomný ve všech surových ropách.

V současné době samozřejmě nevíme, jak realisticky odhadnout množství podzemního materiálu, který v současnosti žije. Můj

hrubý odhad a odhad Ourissona a jeho kolegů však naznačuje, že by se mohla vyrovnat nebo dokonce převýšit veškerou živou hmotu povrchové biosféry.<sup>8</sup>

## Vzestupná teorie vzniku uhlí

Jak jsme si již ukázali, v západních zemích převládá názor, že ropa a zemní plyn pocházejí z biologických zbytků, které byly přepracovány geologickými procesy. Naproti tomu abiogenní názor, spojený s teorií hluboké horké biosféry, je takový, že kapalná ropa a její těkavé látky nejsou biologické látky, které byly přepracovány geologií, ale geologie, která byla přepracována biologií.

Důkazem biologické aktivity v ropě jsou pozůstatky buněk mikrobů, kteří se živili uhlovodíky, některé z nich v hloubce až deseti kilometrů, kde se dříve předpokládalo, že se žádná biologie nemůže vyskytovat. Tato mikrobiální aktivita není jen něčím, co se odehrálo v dávné minulosti, ale stále probíhá. Zásobníky ropy a zemního plynu se stále plní a stále se vypouštějí na povrch a obyvatelé hluboké horké biosféry stále rozkládají čerstvé zásoby ropy na oxid uhličitý a další produkty vylučování, protože žijí, rozmnožují se a umírají.

Abiogenní teorie dobře vysvětluje mnoho prostorových a chemických vlastností těchto zásob uhlovodíků, které biogenní teorie nebyla schopna vysvětlit. A biologické molekuly zjištěné v ropě vysvětluje hluboká horká biosféra. Ropa a zemní plyn tedy v žádném případě nejsou "fosilními palivy", jak jsou často označovány. Ale jistě musím udělat výjimku pro uhlí, řekl by si člověk.

Ne. Tvrdím, že rašelina a hnědé uhlí sice vznikají z nerozložených biologických zbytků, ale černé uhlí nikoli. Podle mého názoru černé uhlí vzniká ze stejných hlubinných uhlovodíků, které se hromadí jako ropa a zemní plyn. U černého uhlí však došlo k dalšímu vytěsnění vodíkové složky, takže zůstává uhlovodík značně obohacený o uhlík a ochuzený o vodík. Jak mohlo uhlí

vzniknout tímto způsobem? Jaké jsou empirické důkazy pro toto tvrzení na rozdíl od biogenní teorie?

Mnoho lidí si myslí, že původ uhlí je zcela objasněn. Není tomu tak. Stalo se to, co se ve vědě stává až příliš často: Neuspokojivé vysvětlení je přijato, protože se po dlouhou dobu neobjevilo žádné uspokojivější vysvětlení. Biogenní teorie vzniku uhlí vyžaduje předpoklad – podle mého názoru neopodstatněný –, že země po celé zeměkouli dříve obývaly rozsáhlé oblasti bažinatých lesů, v nichž generace za generací stromových kapradin (v prvohorách) a jehličnanů (v druhohorách) padaly do vod s nedostatkem kyslíku, čímž se zabránilo jejich rozkladu. Tyto "uhelné bažiny" navíc zabíraly oblasti s poklesem, v nichž tisíce metrů nadloží, někdy střídané bažinnými podmínkami, tlačily na pohřbené rostliny v průběhu věků. Tlaky a teploty panující v hloubce by pak za dostatečně dlouhou dobu nějakým způsobem přeměnily biologické molekuly na černé uhlí.

První výzkumníci černého uhlí (například od 50. let 19. století v Anglii) zjistili, že složení této látky se jim nedaří vysvětlit. Protože se v uhlí nacházely zkameněliny, a protože život na Zemi je založen na uhlíku, zdála se biogenní teorie docela věrohodná a zdála se být nejlepší cestou, kterou se při neexistenci alternativy vydat. Nicméně biogenní teorie nedokázala uspokojivě vysvětlit většinu nebo všechny situace, v nichž se uhlí vyskytuje.

Je sice pravda, že uhlí někdy – i když zdaleka ne vždy – obsahuje nějaké fosilie, ale tyto fosilie samy o sobě představují pro biogenní teorii problém. Zprvu, proč si podivná fosilie zachovala svou strukturu s dokonalostí někdy až na buněčnou úroveň, když jiná, pravděpodobně mnohem větší množství takových úlomků v jejím sousedství byla tak zcela zdemolována, že nelze identifikovat vůbec žádnou strukturu? Nebylo by divné, kdyby jeden list nebo větvička měly dokonale zachovaný tvar a všechny ostatní listy a větvičky v téže sestavě by se změnilly (působením vysokého tlaku) v jednolitou hmotu téměř čistého uhlíku? Zadržte, fosilie jsou někdy vyplněny téměř celistvým uhlíkem, aniž by byly deformovány. Zdá se, že každá buňka rostliny byla vyplněna

stejným uhlíkatým materiálem, který tvoří většinu uhlí mimo fosílii. Jak se uhlíkatý materiál dostal do struktury fosílie, aniž by ji zničil? Zdá se, že takové uhelné fosílie jsou vyplněny uhlíkem stejným způsobem, jako je zkamenělé dřevo vyplněno křemenem.

Všeobecně se předpokládá, že zkamenělé dřevo bohaté na křemík vzniklo průtokem vodních tekutin bohatých na rozpuštěný oxid křemičitý. Postupem času se oxid křemičitý – křemen – ukládá a krystalizuje způsobem, který zachovává buněčné struktury, aniž by se zachoval obsah buněk. Proč by stejný proces, zahrnující zcela jinou tekutinu, nemohl probíhat i při vzniku uhlí a jeho fosilních inkluzí? "Uhlí" se do buněk rostliny muselo dostat jako tekutina a pravděpodobně to byla tatáž tekutina, která uložila okolní matici uhlí.

Pokud je nejen ropa a zemní plyn darem hluboké zemské kůry nebo pláště, ale i uhlí, jak vlastně může uhlí vzniknout?

Nejprve je třeba říci, že podle jednoduchých chemických a fyzikálních zákonů dochází při cestě uhlovodíků zemskou kůrou ke ztrátě vodíku. Proč tomu tak je? Zaprvé, jakákoli příležitost k interakci zbloudilého (nebo mikrobiálně katalyzovaného) atomu kyslíku s uhlovodíkovou kapalinou jakéhokoli druhu vede k tomu, že tato kapalina ztratí dva atomy vodíku na každý atom kyslíku, který se v ní vyskytne, a vznikne tak voda. To nepředstavuje nic jiného než snahu o dosažení chemické rovnováhy. Poměr uhlíku na vodík v kapalině se pak zvýší, přičemž vodík v molekulární struktuře nahradí jiné vhodně nabitě atomy (např. dusík a síru), nebo, což je častější, dvojně vazby nahradí jednoduché vazby v uhlíkových řetězcích nebo kruzích, které se musí vyrovnat se ztrátou vodíku.

Jak dobře víme z poruch motorů našich automobilů, atomy kyslíku přednostně odbourávají téměř všechny atomy vodíku v uhlovodíkové kapalině, než aby se pustily do práce s atomy uhlíku, které se hůře oxidují. Výsledkem je méně než plně oxidovaný uhlík (oxid uhelnatý, CO). Známkou ještě nižší účinnosti je neoxidovaná černá hmota, která se objevuje na hlavičce zapalovací svíčky vytažené z motoru špatně seřazeného automobilu nebo se vylévá z výfukového potrubí těžce naloženého nákladního automobilu, který řadí rychlostní stupně. Jedná se o téměř čistý uhlík neboli saze.

Obecně platí, že čím je palivo "těžší" (bohatší na uhlík), tím větší je pravděpodobnost nedokonalého spalování. Aby se veškerý uhlík i vodík v uhlovodíkové kapalině přeměnil na molekuly nejvyššího oxidačního stavu, musí být k dispozici dostatečné množství kyslíku a dostatečně vysoká teplota. Například plamen parafinové svíčky je dostatečně horký na to, aby oxidoval vodík, ale není dostatečně horký na to, aby oxidoval veškerý uhlík. Saze jsou ve skutečnosti záměrným produktem uhlíkového průmyslu, který neúplně spaluje zemní plyn v prostředí s nízkým obsahem kyslíku a nízkou teplotou, aby vyrobil saze, které lze prodávat jako tiskařskou barvu.

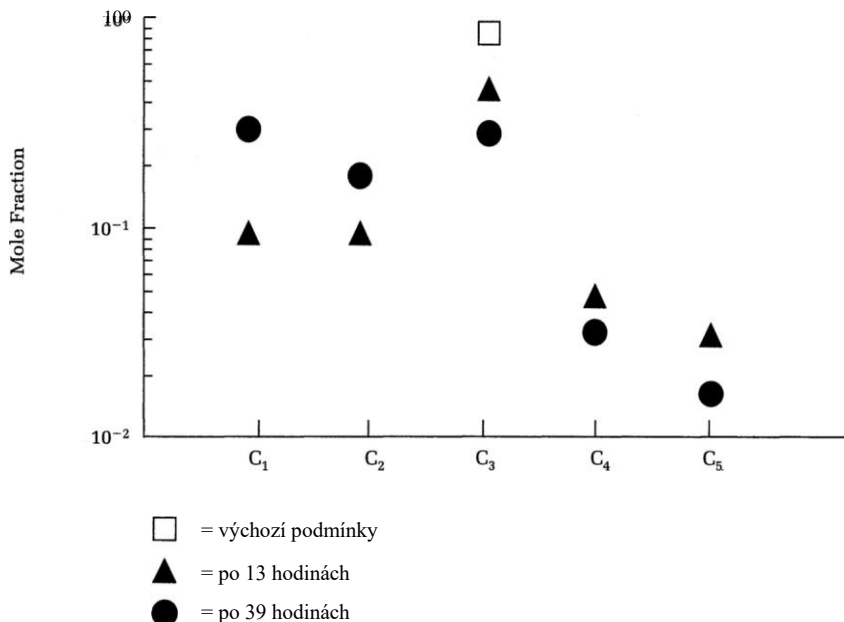
Oxidace není jedinou příčinou úbytku vodíku na cestě z hlubin Země. Složité uhlovodíky, které vznikly v hloubce, by byly při tlacích v blízkosti povrchu nestabilní, i kdyby byly stabilní při tlacích, které panují v místě jejich vzniku ve svrchním plášti, možná 200 nebo 300 kilometrů pod zemským povrchem. Ve svrchních horninách a mimo vulkanické vlivy jsou teploty příliš nízké na to, aby se molekuly násilně rozpadly, ale přesto bude docházet k postupné disociaci vodíku z uhlíku, protože uhlovodíková směs se postupně přizpůsobuje nižším tlakům v malých hloubkách.

Existence diamantů – krystalů čistého uhlíku – nám poskytuje několik velmi důležitých informací o okolnostech v hloubkách větších než 100 kilometrů. (Tomuto důležitému tématu se budeme podrobněji věnovat v kapitole 7.) Tlak potřebný k tomu, aby uhlík získal tuto krystalografickou formu, byl spolehlivě stanoven na 35 až 40 kilobarů (1 kilobar se rovná 1000násobku atmosférického tlaku). Protože tlak v žádné hloubce nemůže překročit hodnotu danou hmotností nadloží horniny, nemohlo by k tvorbě diamantů docházet v hloubkách menších než 100 až 150 kilometrů. Studium diamantů se tak můžeme dozvědět něco o podmínkách v tak velkých hloubkách.

Nejdříve musí fungovat proces, který koncentruje vysoce čistý uhlík. Toho lze dosáhnout pouze prouděním kapaliny, která nese uhlík. Dole musí existovat pórové prostory a musí jimi proudit kapaliny, které mohou vylučovat čistý uhlík. Za druhé, drobné

nečistoty, které se vyskytují v některých diamantech v podobě inkluzí kapalin při tlaku podobném tlaku potřebnému pro vznik diamantů, lze považovat za vzorky kapalin, které se vyskytují v takových hloubkách. Mezi ně patří metan, další lehké uhlovodíky a  $\text{CO}_2$ . To je odpověď na otázku, v jaké hloubce jsou některé nezoxidované sloučeniny uhlíku v zemi stabilní: Je to nejméně 100 kilometrů, ale může to být mnohem více. Předpokládám, že disociace některých uhlovodíků je původem čistého uhlíku diamantů. Dokonce i diamanty vyrobené v tlakově-teplotní oblasti, kde jsou stabilní, se při nízkých tlacích na povrchu stávají nestabilními. Diamanty nejsou věčné, ale existují dostatečně dlouho jen proto, že jsou přechlazené a nemají energii na změnu své krystalové konfigurace na nízkotlakou formu, kterou je grafit. Podobně se většina molekul uhlovodíků dostane do nestabilní oblasti, když stoupá k povrchu.

Abych získal představu o tom, jak uhlovodíky spontánně mění svou molekulární směs při výrazné změně tlaku a teploty, pověřil jsem postgraduálního studenta, aby studoval chemické změny ve vzorku propanu ( $\text{C}_3\text{H}_8$ ) vystaveném simulovanému prostředí v hloubce  $4750^\circ\text{C}$  a tlaku 4000 atmosfér, což odpovídá hloubce asi 10 kilometrů ve velké části zemské kůry. Již po šesti hodinách se vzorek přeskupil do směsi v rozmezí  $\text{C}_1$  až  $\text{C}_5$  při zachování vstupního poměru uhlíku a vodíku (obrázek 5.1). To ukazuje, že molekuly uhlovodíků mohou být sestaveny bez zásahu života; ukazuje to také, že poměr různých



Obrázek 5.1 Samovolná modifikace uhlovodíků při změně tepla a tlaku. V tomto experimentu bylo téměř čisté množství propanu (C<sub>3</sub>), uzavřené v nádobě se zlatou vložkou, vystaveno po dobu 6 hodin teplotě 475<sup>0</sup> C a tlaku 4000 atmosfér (ten simuluje hloubku přibližně 10 km). Za těchto podmínek se část propanu samovolně přetvořila na lehčí i těžší uhlovodíky, čímž se v tomto uzavřeném systému zachoval poměr vodíku a uhlíku. Konečná směs se pohybovala od metanu (C<sub>1</sub>) po pentan (C<sub>5</sub>). ZDROJ: Thomas S. Zemanian, William B. Streett a John A. Zollweg, 1987, "Thermodynamic calculations, experiments, and the origin of petroleum" (nepublikované výsledky). Podobný, ale složitější experiment je uveden v Thomas Gold a kol. 1986, "Experimental study of the reaction of methane with petroleum hydrocarbons in geological conditions", *Geochimica et Cosmochimica Acta* 50: 2411-18.

lehkých molekul uhlovodíků, které se vyskytují v ropných a plynových vrtech, je určován vztahem tlaku a teploty podél cesty výstupu.

Postupná ztráta vodíku je hlavním důvodem, proč je mnoho ropných polí konfigurováno jako vrstevnatý koláč: V největší hloubce jsou rozsáhlá ložiska metanu, výše lehké ropy a nahoře

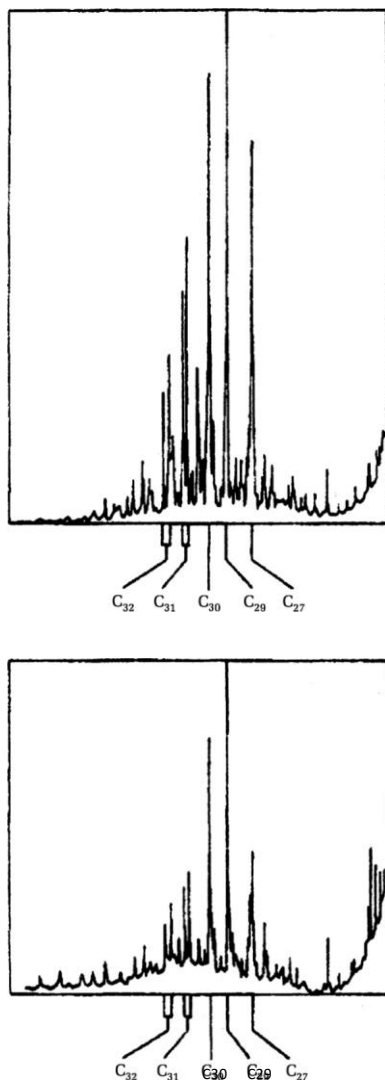


nejtěžší ropy (i když každá kapsa může být uzavřena určitým množstvím metanu). V některých ložiscích není nejbohatší na uhlík a nejsvrchnější uhlovodík ropa; ropa není vždy na konci posloupnosti. Nad vrstvami ropy může být spíše černé uhlí. Čím černější je uhlí (od černého po antracit), tím větší je ztráta vodíku a tím větší je výsledný poměr uhlíku k vodíku.

A co biologické molekuly zjištěné v uhlí? Přítomnost stejných druhů hopanoidů – molekul v uhlí, které lze připsat bakteriím, které se nacházejí v ropě, je pádným důkazem toho, že v uhelných vrstvách se pasou nebo se pásly na uhlovodících stejní mikrobi jako v ropných ložiscích (obrázek 5.2). Podle biogenní teorie je však těžké vysvětlit silnou podobnost druhů hopanoidů v uhlí a ropě.<sup>9</sup> Je tomu tak proto, že zastánci biogenní teorie považují uhlí za pozměněné zbytky suchozemských rostlin a ropu za pozměněné zbytky mořských biologických zbytků, přesto se zdá nepravděpodobné, že by se v obou případech vyskytoval téměř stejný mikrobiologický materiál. Pokud by uhlí bylo konečným produktem ropy, pak by se tato shoda vysvětlila.

Všude tam, kde mikrobiologie hrála katalyzující roli při přeměně uhlovodíku bohatého na vodík na uhlovodík chudý na vodík, lze tento produkt do jisté míry považovat za biologický výtvar – ovšem výtvar vytvořený podzemní ekologií živící se abiogenními ropnými kapalinami. Při genezi uhlí však není jasné, zda a do jaké míry se na něm podílejí mikrobi hlubinné biosféry. Proces ztráty vodíku může, ale nemusí být podporován působením mikrobů. V každém případě může po vzniku prvních atomů čistého uhlíku působit pozitivní zpětná vazba. Ložisko pevného uhlíku působí jako katalyzátor pro další ukládání uhlíku z metanu nebo jiných uhlovodíků. Tam, kde by jiné okolnosti, jako je teplota a tlak, téměř způsobily disociaci a následné ukládání uhlíku, přítomnost určitého množství uhlíku tento proces iniciuje. To znamená, že v oblasti s výskytem uhlovodíků bude tendence k nárůstu uhlíkatých ložisek do velkých koncentrací, protože právě jejich přítomnost napomáhá ukládání dalších stejných látek.

Dobře jsem se o tom přesvědčil při experimentu prováděném v mé laboratoři. Začali jsme s průhlednou trubicí z taveného křemene, která byla



Obrázek 5.2 Podobnost hopanoidních (biologických) molekul zjištěných ve vzorku uhlí a ve vzorku ropy. Horní chromatogram byl získán z lotrinského (Francie) uhlí, které se nachází ve vrstvách datovaných na přibližně 300 milionů let. Spodní chromatogram pochází z těžké ropy, která se nachází ve vrstvách Akvitánské pánve, rovněž ve Francii, datovaných na přibližně 150 milionů let. Srovnání těchto chromatogramů ukazuje, že uhlí a ropa měly podobný doplněk bakterií, které ukládaly neobvyklou formu biologického odpadu. Úsudky o stáří se týkají horniny, která je obsahuje, zatímco uhlík mohl být uložen později. ZDROJ: Guy Ourisson, Pierre Albrecht a

## ŘEŠENÍ ROPNÉHO PARADOXU

Michel Rohmer, 1984, "The microbial origin of fossil fuels",  
Scientific American 251(2): 44-51.

ovinuta výkonným elektrickým topením ponechávajícím prostor pro pozorování interiéru. Při zvyšování teploty byl do trubice vháněn metan. Při teplotě kolem 800°C se na vnitřní stěně náhle objevila černá skvrna a během zlomku sekundy se vytvořil černý pruh, který vycházel z počátečního bodu a rozšiřoval se jako trojúhelník směrem po proudu. Významné je, že se uhlík uvnitř trubice neobjevil v rozptýleném tvaru. Naopak, jakmile se vytvořila první skvrna, všechny následné depozice vytvořily jedinou expandující hmotu; uhlík se ukládal velmi rychle poté, co se objevila první zrnka.

Závěrem se domnívám, že uhlí může vznikat jak abiotickými, tak biotickými procesy. Od tradiční teorie se tato teorie liší tím, že uhlí pochází ze zdroje, který se vynořuje z hlubin, a nikoli z ložiska, které se propadá z povrchu. Můžeme ji proto označovat jako *teorii vzlínání*. Uhlík se dostal z hloubky jako tekutina obsahující uhlík, například metan, butan nebo propan, a mohl tak proniknout do buněk všech rostlinných fosilií, které byly přítomny na cestě proudění. Poté by se neustálým úbytkem vodíku postupně přibližovaly konzistenci, kterou nazýváme uhlí. Černé, tvrdé uhlí je produktem výhradně podpovrchových procesů, nemá nic společného s povrchovou biosférou. Nemá vůbec nic společného s fotosyntézou. Takové uhlí není nahromaděnou sluneční energií.

## Důkazy pro teorii vzestupného proudění

Důkazy ve prospěch této teorie vzniku uhlí jsou různé a podle mého názoru přesvědčivé. Snad nejsilnějším vyvrácením tradiční teorie vzniku uhlí je malá přítomnost minerálního popela ve většině černých uhlí. Některé uhelné sloje mají tloušťku více než 10 metrů, a přesto může být obsah minerálních látek pouhá 4 %. Převážnou část materiálu tvoří pouze uhlík s trochou vodíku, kyslíku a síry v různých sloučeninách. Aby bažina uložila dostatek uhlíku k vytvoření takové sloje, musela by vyrůst do hloubky více než 300 metrů, přičemž obsah minerálů v

tomto objemu by musel být menší než 1 procento. Žádné takové bažiny dnes neexistují, a i kdyby

95

kdysi existovaly, zdá se nepravděpodobné, že by rostliny rostly za takových podmínek.

Poměr minerálů a uhlíku v jakémkoli současném nahromadění rostlinných zbytků je mnohem vyšší a nahromadění množství uhlíku z biomasy, které je nezbytné pro vytvoření velkých uhelných slojí, se nikde nevyskytuje. Není žádný důvod odvolávat se na environmentální proces (tvorba suchozemského uhlí) a šíři vhodného povrchového prostředí (rozsáhlé zalesněné bažiny), které nemají v dnešním světě obdoby. Na místě je jistě úspornější teorie, zejména pokud chápeme, že v průběhu geologického času se na povrch muselo dostat velké množství uhlíku.

Naproti tomu vzestupná teorie dokáže vysvětlit nízký obsah minerálů v uhlí a vyhýbá se nutnosti předpokládat typ a rozsah prostředí, které se kdysi vyskytovalo, ale již neexistuje. Domnívám se, že podstatná tvorba uhlí není jen věcí minulosti. Děje se tak i dnes. Nepoznáváme ji jen proto, že uhlí vzniká převážně jako přírůstky, k již existujícím uhelným ložiskům. Doplňují se nejen ložiska ropy a zemního plynu, ale i ložiska uhlí, jenže příliš pomalu, než bychom to rozpoznali.

Teorie vzestupného proudění dobře odpovídá rozměrům masivních uhelných ložisek a vysvětluje malé množství minerálního popela v nich obsaženého. Možná by jako startér působila zcela "obyčejná" biologická ložiska v sedimentární vrstvě se vstřícnou pórovitostí, s běžnými příměsemi minerálů. Část výchozích uhlovodíků by se tam disociovala; fosilie v této hornině by se naplnily uhlíkem, a jak by se hromadilo více uhlíku, stimulovalo by to jeho další hromadění. Nakonec by množství uhlíku připadající na původní rostlinný materiál mohlo představovat zanedbatelnou část a poměr uhlíku k minerálům by mohl dosáhnout hodnot, které se v povrchové vegetaci nikdy nevyskytují. Běžně se vyskytující vertikální ukládání uhelných slojí pak pouze svědčí o tom, že se jedná o oblast, v níž se uhlovodíkové kapaliny po delší dobu odplyňovaly a v níž okolnosti mírně přály disociaci a ukládání uhlíku. To také vysvětluje další pozorování,

které bylo v nedávné době hojně zkoumáno: Zdá se, že uhlí často produkuje velké a komerčně cenné množství metanu, zejména když se sníží tlak podzemní vody v okolí uhelné sloje. Pak se říká, že tento metan musel v uhlí sídlit. Metan se však v uhlí pohybuje poměrně volně a nelze najít žádný důvod, proč by se v něm měl koncentrovat a zůstat po dobu tak dlouhou, jako je stáří konkrétní uhelné sloje. Pravděpodobnější je, že přítomnost uhlí je dobrým indikátorem pro vzlínající metan.

Zatímco obsah popela v uhlí je mnohem nižší, než by předpokládala biogenní teorie, koncentrace stopových minerálů může být mnohem vyšší, než by vysvětloval tradiční pohled. Zdaleka největší podíl na radioaktivním znečištění způsobeném člověkem nemají úniky z odpadů a chladicích vod jaderných elektráren, ale uranem bohaté zplodiny z komínů uhelných elektráren. Kromě uranu se v uhlí často vyskytují kovy jako rtuť, gallium a germanium, jejichž koncentrace značně přesahuje běžné sedimenty. Nejedná se o kovy, u kterých by se dalo očekávat, že byly koncentrovány v elektrárnách. Proto zastánci biogenní teorie vzniku uhlí předpokládají, že některé uhelné sloje musely působit stejně jako dřevěné uhlí v cigaretách a ve vodních filtrech: extrahovat procházející kovy. Ve většině případů extrémních koncentrací je však obtížné si představit, jak mohla podzemní voda přenést dostatečné množství látky skrze uhlí, i kdyby v něm byla zadržena veškerá prošlá látka. Naproti tomu teorie vzestupného proudění tvrdí, že uhlí, stejně jako ropa, vzniká z uhlovodíků, které se dostávají z hlubin a během své cesty vyluhují minerály.

Další anomálií, kterou geologové obtížně vysvětlují pomocí biogenní teorie, je přítomnost uhelných slojí v místech, kde by neměly být, a v úklonech, které by neměly mít. Většina komerčně těžených uhelných slojí je navrstvena mezi sedimentárními vrstvami, ale mnoho uhelných ložisek ve světě není. Uhlí, které je proloženo sopečnou lávou a bez jakýchkoli sedimentů, je známo v několika vulkanických oblastech, zejména v jihozápadním Grónsku.<sup>10</sup> Tam se uhlí nachází v těsné blízkosti velkých, lávou pokrytých kusů kovového železa, nedaleko bahenních sopek chrlicích metan a nedaleko od skalní stěny, z jejíž puklin často šlehají plameny.<sup>11</sup> Další nápadně nesedimentární ložisko se nachází v kanadském Novém Brunšviku. Tam se nachází uhlí nazývané

Albertit vyplňující téměř vertikální puklinu, která prochází mnoha horizontálně uloženými sedimentárními vrstvami. V minulém století se těžilo, ale obtížnost těžby v téměř svislé sloji způsobila, že provoz byl omezen.<sup>12</sup> Biogenní teorie nemůže nabídnout ani vzdáleně věrohodné kauzální vysvětlení těchto a dalších anomálních uhelných prostředí.

Nezřídka se také stává, že v uhelné sloji najdeme kusy karbonátové horniny, které po rozlomení obsahují zkameněliny dřeva – ne černé, ale světlé - a nevykazují žádné známky přeměny na uhlí. Podobně se uvádí, že v uhlí Doněcké pánve na Ukrajině lze nalézt zkamenělé kmeny stromů, které se táhnou uhelnou slojí od karbonátové horniny pod ní až k hornině nad ní. Tyto zkameněliny jsou zuhelnatělé tam, kde jsou uvnitř uhelné sloje, a nejsou zuhelnatělé tam, kde jsou v karbonátu.<sup>13</sup>

Mnozí badatelé upozorňovali na četné nesrovnalosti, které se objevují, pokud chceme interpretovat uhlí jako výsledek usazování v bažinách v místech, kde se uhlí nyní nachází. H. R. Wanlass se například pozastavil nad tím, že v některých uhelných oblastech se vyskytují proplástky jílovitých vrstev o tloušťce pouze jednoho nebo několika málo centimetrů, které se táhnou horizontálně skrz uhlí a jsou nepřerušené na vzdálenost několika set kilometrů. Proto usoudil, že "proti všem navrhovaným teoriím o původu těchto jílu existuje dostatek námitek, aby se každá z nich zdála směšná."<sup>14</sup>

Geografické rozložení uhelných ložisek představuje pro tradiční teorii další problém. Předpokládá se, že ropa a uhlí jsou výsledkem zcela odlišných typů biologických ložisek, která vznikla za zcela odlišných okolností a v mnoha oblastech, kde se obě ložiska vyskytují, ve zcela odlišné době. Pro vznik ropy se obvykle uvádějí biologické zbytky mořských řas, pro uhlí suchozemská vegetace. Nelze tedy očekávat úzkou souvislost mezi zeměpisným rozšířením obou látek. Ve skutečnosti se však stále podrobnějšími mapami ropy a uhlí ve světě úzký vztah stává nepřehlédnutelným. V tomto ohledu jsou nápadné mapy uhlí a ropy v jihovýchodní Brazílii (obrázek 5.3). Dalším takovým příkladem je Indonésie; místní pověst mezi těmi, kdo tam vrtali kvůli ropě, zněla: "Jakmile jsme narazili na uhlí, věděli jsme, že narazíme na ropu."



Obrázek 5.3 Překrývání distribuce uhlí a ropy ve východní Brazílii. Existuje mnoho dalších takových oblastí překryvu, což představuje problém pro biogenní teorie vzniku uhlí a ropy, ale snadno se vysvětluje abiogenní teorií. ZDROJ: Mapa ropy převzata z International Petroleum Encyclopedia, 1994, s. 85; mapa uhlí převzata z komerčního atlasu H. M. Goushu Company, SanJose, Kalifornie.

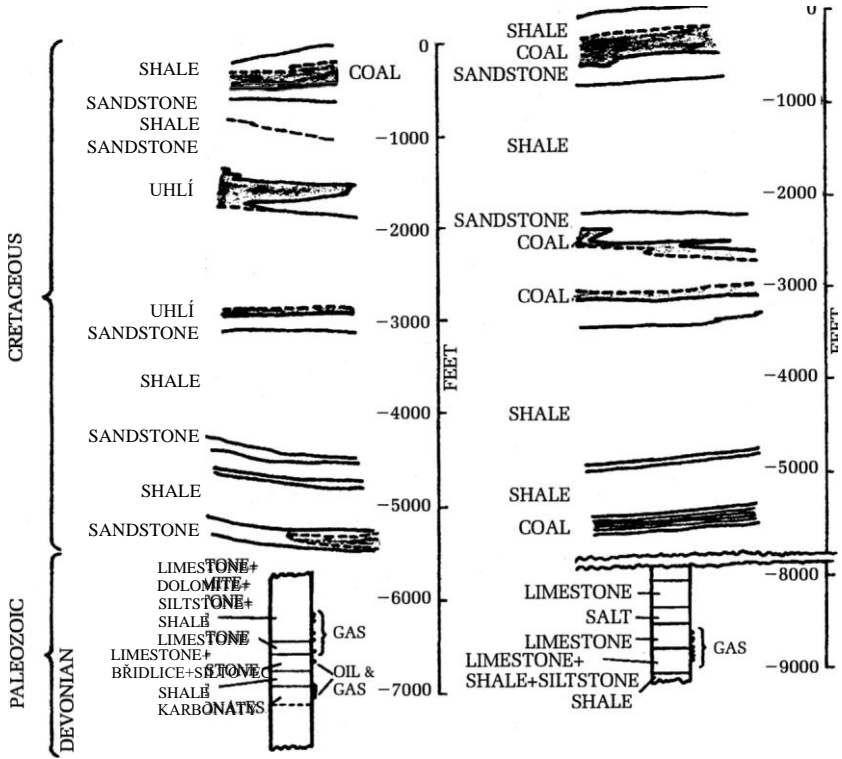
Uhlí nahoře a ropa dole je tak běžný rys, že ho nelze vysvětlit náhodou. Ve Wyomingu se některé uhlí skutečně nachází uvnitř ropných ložisek. V mnoha sedimentárních pánvích, včetně pánve San Juan v Novém Mexiku a pánve Anadarko v Oklahomě, uhlí přímo překrývá ropu a zemní plyn (obrázek 5.4). Aljaška, Írán, Saúdská Arábie, Ural – všechny známé svými ropnými ložisky - mají také velké množství uhlí. Totéž platí pro mnoho dalších oblastí s velkou produkcí ropy, jako je Venezuela, Kolumbie a pensylvánská část Appalačského pohoří.

Vezměme také v úvahu, že některá uhelná pole obsahují a vydávají více metanu, než by se dalo ze stávajícího uhlí získat. Uhlí, které nebylo

102KAPITOLA 5

HOGBACK FIELD BARKER

CREEK FIELD





Obrázek 5.4 Příklad vertikálního ukládání ložisek plynu, ropy a uhlí v okrese San Juan v Novém Mexiku. Vlevo je znázorněn příčný řez ložiskem Hogback, vpravo ložiskem Barker Creek.

ještě "zčernalé" na téměř čistý uhlík, by se podle biogenní teorie mělo pomalu vzdávat atomů vodíku, pravděpodobně ve formě metanu. Pokud však metan vzniká v samotném uhlí, a nikoliv v důsledku vyvěrání z ještě větší hloubky, měl by být přítomen ve velmi omezených zásobách. Ne vždy tomu tak je – ke zděšení majitelů uhelných dolů a těžařů. I při velmi rychlém a vynuceném proudění vzduchu je mnoho uhelných dolů sužováno výbuchy metanu. Těžba uhlí na severním japonském ostrově Hokkaidó se zastavila, protože ani tyto, nejlépe větrané uhelné doly na světě, se nedokázaly vyhnout velkým explozím. Vysvětlení nadbytku metanu podle mého názoru spočívá v tom, že metan ze samotného zdroje, který vytvořil uhelné ložisko, stále proudí nahoru. Uhlí se stále tvoří!

### Výjimka pro rašelinu

"A co rašelina a co hnědé uhlí?" Slyším, jak moji kritici opáčili.

"Jistě netvrdíte, že jsou abiogenní!"

Ne, to netvrdím. Rašelina a hnědé uhlí (hnědé uhlí je "hnědé uhlí", ve kterém je stále patrná struktura původních rostlin) představují zajímavé partnerství mezi biogenními a abiogenními zdroji uhlíku.

Mezi rašelinou a hnědým uhlím na jedné straně a ropou a uhlím na straně druhé existuje jemná souvislost. Rašelina a hnědé uhlí jsou jasným důkazem toho, že byly vytvořeny rostlinami na místech, kde nemohly fungovat obvyklé rozkladné procesy, a kde se tedy uhlík a další složky rostlin nevracely zpět do atmosféry. Jeden ze způsobů, jak k tomu může dojít, je běžně diskutován. Pokud se do vodní nádrže ponoří dostatečné množství rostlin a přemění ji tak na stojatou bažinu nebo močál, pak bude míra

absorpce atmosférického kyslíku nízká. Jakmile je i malé množství rostlinných zbytků rozloženo anaerobními mikrobi, mohou se chemické podmínky v tůni stát natolik nepříznivými, že dalšímu rozkladu zabrání. Uhlík obsažený v rostlinných vláknech se nepromění na oxid uhličitý, který by unikl, ale místo toho po sobě zanechá uhlíkatý kal nebo uhlíkatou a vláknitou houbu z materiálů, které přežijí po dlouhou dobu a zároveň zadrží proud vody.

Anoxická situace v bažině může být často způsobena rychlým růstem bakterií, které plení všechny dostupné atomy kyslíku, aby mohly pro své metabolické potřeby spalovat abiogenní metan proudící zdola. Protože metan je tak žádanou potravou, metanotrofní mikrobi přebíjejí ty, kteří by jinak využívali kyslík k napadání rostlinných zbytků, jejichž molekuly celulózy a ligninu mohou být mnohdy vůči napadení obzvláště odolné. Ze všeho nahromaděného a dosud nerozloženého rostlinného materiálu pak vznikne bažina.

Rašelinotvorné podmínky mohou vznikat i za zcela jiných okolností než v případě bažin. Rašelině nemusí být zasazeno do pánve, která nemá přirozený odtok vody. Rašelině může být také schopno dlouhodobě zadržovat vodu v silných vrstvách rostlinných zbytků bez pomoci topografie. Ve Švýcarsku byly nalezeny lokality, kde se na strmých svazích podél zlomových linií, které probíhají příčně ke svahu kopce, vyskytuje rašelině, tj. plocha velmi měkké půdy porostlá stejnou vegetací, která je charakteristická pro rašelině. Zdálo by se, že proudění vody nic nebránilo, ale podél zlomů lze zjistit měřitelný výstup metanu. Podle mého názoru je tedy pravděpodobné, že výstup metanu vytváří ložiska rašelině a hnědého uhlí v oblastech, které leží nad silným prouděním uhlovodíků. Předpokládám, že toto je skutečně vysvětlení nezářidka se vyskytujících ložisek rašelině a hnědého uhlí na povrchu nad produktivními ložisky ropy a zemního plynu.

Další pozorování potvrzuje tuto předpokládanou příčinnou souvislost mezi rašelinou a významným zdrojem metanu. Nechal jsem provést měření plynů vycházejících z velkého komerčního rašelinového pole v Kanadě. Výsledky byly ohromující. Na tomto rašelině byly plyny těsně pod povrchem značně obohaceny metanem, jak je v takových prostředích běžné – což zastánci biogenní teorie samozřejmě přisuzují přítomnosti bakterií

produkcujících metan, které se živí rostlinnými zbytky v prostředí chudém na kyslík. Plyny však byly obohaceny i o všechny ostatní uhlovodíkové plyny od  $C_2H_6$  po  $C_5H_{12}$ . Tuto směs rostliny běžně neprodukují v žádném ze svých stadií rozkladu. Jednoduše řečeno, mikrobi při rozkladu sacharidů pentan nevyučují.

Ze zvědavosti a s ohledem na svou teorii o vzlínání jsem požádal o vyvrtání vrtu mimo toto kanadské rašeliniště do místní půdy, která neobsahovala žádný rašelině podobný materiál. Ukázalo se, že plyny odebrané z tohoto místa jsou velmi podobné složení plynů v samotném rašeliništi. Celá oblast vykazovala stejné známky uhlovodíků. To mi naznačovalo, že většina plynů zjištěných v rašelině poli ve skutečnosti pronikla zespodu, a byla tedy podobná plynům podél stejné zlomové linie. Proč se v této oblasti výronů plynů nacházely některé výskyty rašeliny, zatímco jiné ne? Předpokládám, že na tom mohly mít vliv rozdíly v čistících účincích různých rychlostí proudění podzemní vody.

Osobní zkušenost s vlastními smysly – doplňující zkušenost poněkud vzdálenou prostřednictvím technologie nebo zcela odstraněnou v knihovně – poskytuje silný podnět ke zpochybnění přijatých názorů. Mám v živé paměti jednu takovou zkušenost ze Švýcarska. Procházel jsem se po poměrně strmém svahu těsně nad malým potůčkem. Půdu nepokrývala vegetace, ale slizké bahno. Kolega, který mě vedl, se sehnul a zcela svévolně zapíchl do bahna svých pět prstů. Pak vytáhl zapalovač a plamen šlehal kolem děr, které jeho prsty udělaly. Všechno se rozzářilo a připomínalo to plynové hořáky na kuchyňské desce! Podobnou zkušenost má zřejmě i mnoho dalších lidí, i když v jiné zemi. Vzpomínám si, že jsem slyšel, že v jednom hliništi nedaleko Oxfordu v Anglii využívali dělníci, kteří tam těžili hlínu, podobné situace k vaření obědů.

Rašelina a hnědé uhlí jsou jednoznačně biologické materiály, ale příčinou jejich hromadění mohou být i okolnosti, které vytvářejí nebiologické uhlovodíky, které se dostávají ze zdola a které mohou přidávat více uhlíku, než obsahují příslušné rostliny. Existuje mnoho míst, kde lze tušit takové spolčení mezi povrchovou biologií a hlubinami země. Velká ložiska rašeliny na Sumatře se nacházejí nad oblastmi bohatými na ropu a zemní plyn. Některá ložiska

hnědé uhlí (například na severním pobřeží Magellanova průlivu na straně Atlantiku) mají těsně pod sebou komerční ložiska ropy a plynu. Sousední Ohňová země (Tierra del Fuego) byla možná takto pojmenována Magellanem, když viděl plameny vycházející ze země. Tento jev se dostal do lidové pověsti, kde se vyprávějí děsivé příběhy o stále reálnějším výskytu "bažinného plynu", který se může samovolně vznítit.

Zásadní je, že černé uhlí nepřechází plynule v hnědé uhlí lignit a následně v rašelinu. Mezi černým a hnědým uhlím je spíše ostrá diskontinuita – a podle mého názoru také ostrá diskontinuita mezi okolnostmi jejich vzniku. Černé uhlí je potomkem hluboké země, formované a glazované hlubinnou biosférou, která se živí proudícím proudem poživatin. Naproti tomu hnědé uhlí a rašelina jsou potomky povrchové biosféry – sluneční energie, která byla zachycena a dočasně uložena, ale často stabilně udržována díky lázni uhlovodíkových plynů proudících zdola nahoru.

A co kerogen? Kerogen je materiál podobný dehtu nebo uhlí, který se nachází v podobě malých skvrn rozptýlených v různých vrstvách hornin. Stejně jako ropa nebyl nikdy vařen v kádince, počínaje biologickými složkami jakéhokoli druhu a vystaven teplotám a tlakům jakéhokoli stupně. Kdykoli je kerogen nalezen v blízkosti ložiska ropy, je prohlášen za "biologický výchozí materiál", který dal vzniknout ropě nalezené v blízkosti. Pokud se kerogen v blízkosti nenachází, předpokládá se, že ropa migrovala, třeba i na velkou vzdálenost, ze "zdrojové" horniny, která kdysi kerogen jistě obsahovala. Toto vysvětlení původu ropy je ve skutečnosti ústředním bodem biogenní teorie. Jak ale mohla koncentrovaná zásobárna ropy vzniknout z množství uhlovodíků, které byly předtím rozptýleny řídce v mnohem větším objemu horniny? Žádné vysvětlení této kuriozity nebylo nabídnuto. Protože mezi kerogenem a sousední ropou skutečně existují chemické a izotopové podobnosti, zastánci biogenní teorie tuto skutečnost uvádějí ve svůj prospěch. Proč by však kerogen a ropa v oblasti nemohly vzniknout ze stejného vzestupného proudu uhlovodíků?

Proto se zdá, že mnozí vědci, kteří se snaží porozumět uhlí, upadli do kolejí nejbližší pohodlné teorie. Velmi účinně zkoumají terén této vyježděné koleje až do nejmenších detailů uvnitř jejích stěn, ale nevylezou z ní, aby se na ni podívali znovu. "Se zkamenělinou se nedá polemizovat," zaznělo na mou adresu během

jedné mé přednášky na toto téma. Je pravda, že nemůžete zpochybnit biologickou povahu zkameněliny, ale jistě se můžete nově zamyslet nad tím, co její přítomnost znamená pro materiál, který ji obklopuje.

## Kapitola 6 Siljanský pokus

---

Počátkem 80. let jsem byl přesvědčen, že abiogenní teorie vzniku ropy je v podstatě správná. Věděl jsem také, že k vyřešení ropného paradoxu je třeba abiogenní teorii doplnit teorií, kterou jsem nazval hluboká horká biosféra. Věděl jsem však, že takové názory týkající se rozsáhlé existence metanu a dalších uhlovodíků hluboko v zemské kůře nebudou na Západě brány vážně, pokud nebudu moci nabídnout jasný praktický důkaz jejich platnosti. Teoretické argumenty a nepřímé empirické důkazy uvedené v předchozích třech kapitolách by samy o sobě nestačily k převrácení vládnoucího paradigmatu. Spíše bych musel dokázat, že uhlovodíky skutečně existují v hloubce a v typu hornin, pro které biogenní teorie nemůže nabídnout žádné vysvětlení. Musel bych tedy vyvolat zájem o vrtání ropy na místě, které by podle převládajícího názoru bylo považováno za jednu z nejhorsích možných vyhlídek.

Objev ropy nebo plynu v takovém místě i v malém množství by mohl být přesvědčivý, ale komerční těžba v takových místech by byla lepší. Pravděpodobně nic menšího, než je tento rozsah, by neudělalo dojem. Úspěch v tomto ohledu by měl více než vědeckou hodnotu. Byl by to úspěch obrovského ekonomického významu – jednak proto, že prognóza budoucích dodávek energie by měla velký vliv na ekonomiku těžby ropy a zemního plynu, a jednak proto, že novým myšlením a novou technologií průzkumu by byly předvedeny metody, které by pak mohly být použity k novým objevům po celém světě. Musel bych však přesvědčit strany, které disponují penězi a odbornými znalostmi, že existuje

velká pravděpodobnost, že oblasti, o nichž se nyní ví, že jsou bohaté na ropu a zemní plyn, nejsou jediné. Musel bych předložit pádné argumenty, že se ukáže, že tato cenná surovina je po celém světě mnohem rozšířenější, než se dosud předpokládalo, a že závislost mnoha zemí na dovozu ropy se v důsledku toho výrazně sníží.

Jak bych mohl najít uhlovodíky, případně v komerčním množství, na nových místech – na místech, která by byla podle konvenční teorie zcela neočekávaná? Jak by se z akademika, jako jsem já, mohl najednou stát podnikatel v takovém měřítku, aby mohl vyhledávat a vrtat na místě, které jsem si vybral – nebo alespoň řídit relativně technickou operaci tohoto druhu?

Švédsko se mi zdálo být pro takový experiment obzvlášť příznivé. Před lety jsem v této zemi hodně cestoval a všiml jsem si, že na mnoha místech, kde bylo žulové podloží obnažené, byly pukliny ve skále vyplněné látkou, která vypadala jako dehet. Když jsem požádal švédské geology, aby mi vysvětlili, proč se skrz žulu dostává dehet, řekli mi následující příběh. Kdysi musela být nad většinou švédského skalního podloží silná vrstva sedimentů a z organických látek v nich se vyráběla ropa. Trhliny, které vznikly v podloží pod ní, nasály tuto ropu dolů a nyní, po milionech let, opět prosakuje nahoru.

Toto vysvětlení mi nedávalo smysl. Voda v biologických zbytcích v sedimentech by byla jistě mnohem hojnější než ropa a všichni jsme si všimli, že ropa plave na vodě. Jak by tedy mohly být oleje hlavní složkou, která by pronikala dolů do puklin skalního podloží? Tato úvaha mi ležela na srdci již řadu let a sama o sobě se zdála být dobrým argumentem pro abiogenní teorii. Podle mého názoru představovalo švédské skalní podloží neúplnou bariéru, která bránila uhlovodíkům proudícím zdola na povrch.

Výhodou pro testování by bylo také Švédsko, které je prosperující a technologicky vyspělou zemí, která však dováží téměř všechna potřebná paliva. Vrtání do švédského podloží a nalezení komerčního množství ropy, která je příčinou výronů dehtu na povrchu, by mohlo ukázat na ideální energetické řešení pro obyvatele této země. Pro mě zase vrtání do vyvřelých hornin znamenalo, že se lze zcela vyhnout sedimentárním materiálům, a tak nelze předpokládat biologický původ, pokud by se oleje

v hloubce skutečně našly. Abiogenní teorie vzniku ropy by se tak v terénu potvrdila.

## Vrtání ve švédské žule

Příležitost se naskytla nečekaně v roce 1983, kdy jsem dostal pozvání strávit jeden den ve Stockholmu a vysvětlit své myšlenky vysokým úředníkům švédské státní energetické rady (Vattenfall), což mi zprostředkoval můj přítel právník z Washingtonu, který měl známé ve Vattenfallu. Když si nyní pročítám text své prezentace, kterou jsem přednesl před patnácti lety, vidím, že mé argumenty pro předvrtávání byly tehdy formulovány podobně, jako bych je formuloval nyní. Zde jsou některé pasáže z této prezentace, které byly přetisknuty ve švédštině v jednom deníku.<sup>1</sup>

"Zemní plyn (hlavně metan), stejně jako veškerá přírodní ropa, byl považován na Zemi vždy za biologického původu. Na tomto základě nemohla švédská půda, která se skládá téměř výhradně z primárních hornin, a nikoliv ze sedimentů, přicházet vážně v úvahu jako zdrojový materiál uhlovodíků. Četné průsaky metanu, dehtů a olejů, které se vyskytují v horninovém podloží Švédska, jsou v této souvislosti již dlouho známy jako geologická hádanka a byly předloženy různé pokusy o vysvětlení. Nyní víme, že hluboký vrt na poloostrově Kola na dalekém severu evropského Ruska [provedený Sověty u města Nikel] v podobných krystalických horninách nachází v hloubce jedenácti kilometrů metan jako jeden z hlavních plynů v puklinách. Žádné vysvětlení ve smyslu prosakování povrchového biologického materiálu směrem dolů se zde nezdá být adekvátní.

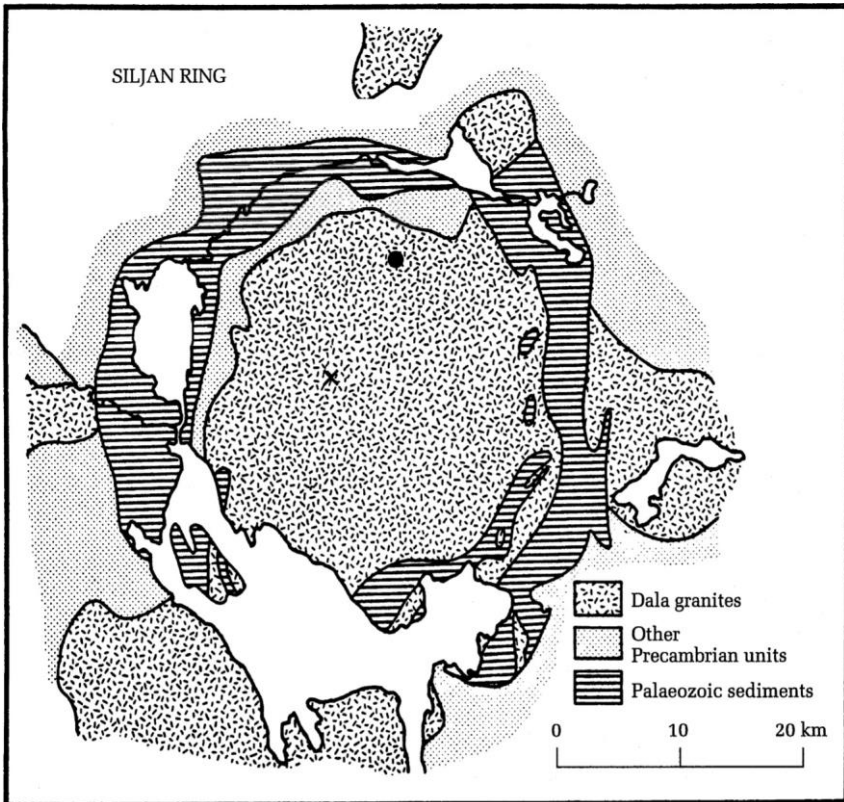
" Švédsko by se pak jevilo jako masa krystalické horniny [hornina vykrystalizovaná ze sopečné taveniny], která brání vzestupnému proudění plynů a kapaliny z hlubokých vrstev, které se v této oblasti zeměkoule zdají být obzvláště bohaté na uhlovodíky. Okolí Švédska vykazuje vysoký obsah uhlovodíků. Norský příkop, který se táhne od nizozemského pobřeží až k Severnímu mysu a dále, představuje na jedné straně únikovou cestu. Poloostrov Kola i pobaltské státy vykazují důkazy nebo dokonce produkci metanu.

Ve Švédsku jsou jedinými únikovými cestami zlomy v podložních horninách.

"Ve většině případů nemají krystalické horniny dostatečnou pórovitost, aby se v nich mohla udržet ložiska ropy nebo plynu v komerčním množství. Je proto třeba hledat lokality, kde je hornina důkladně rozbita a přeměněna na porézní suť. Ve Švédsku je několik oblastí, které mohou přicházet v úvahu, ale zdaleka nejvýznamnější je Siljanský prstenec [nacházející se poblíž města Rättvik ve středním Švédsku; obrázek 6.1]. Před třemi sty šedesáti miliony let zde dopadl velký meteorit a vytvořil kráter o průměru asi 44 kilometrů. Náraz takové velikosti by roztránil krystalickou horninu až do hloubky zemské kůry, a když se po této události znovu upraví úroveň terénu, celý vnitřek kráteru bude až do velké hloubky tvořit oblast porézní suti. Tato šťastná událost vytvořila nejen nádherná jezera Siljanského kruhu, ale zanechala v nitru kruhu také hluboce rozpukanou a porézní oblast, do které mohly stoupat a shromažďovat se tekutiny zdola [obrázek 6.2]. Švédská geologická služba již zjistila, že hornina je v oblasti skutečně roztráštěná, a gravitační průzkum odpovídá očekávané míře pórovitosti. Vnitřek Siljanského prstence tak představuje možný rezervoár skutečně obrovských rozměrů podle všech měřítek.

"Mělké vrstvy v pórovitých horninách neobsahují využitelné koncentrace plynu, pokud se v nich nenachází obzvláště těsná hornina, která by ho udržela. Ta může existovat, ale v Siljanu nemáme důvod ji očekávat. V hlubších vrstvách je situace jiná. Hornina se pod tíhou nadloží stlačuje a má tendenci zadržovat oblasti, v nichž plyn pod vysokým tlakem udržuje otevřené póry. Tento typ překážky vzestupného proudění plynů se v sedimentech obvykle objevuje v hloubce mezi třemi a pěti kilometry, ale je třeba očekávat, že se bude vyskytovat i v hlubších úrovních v tvrdších granitových horninách. V sovětském vrtu v Kole byla náhlá změna na rozšířenou puklinovou pórovitost pozorována v hloubce



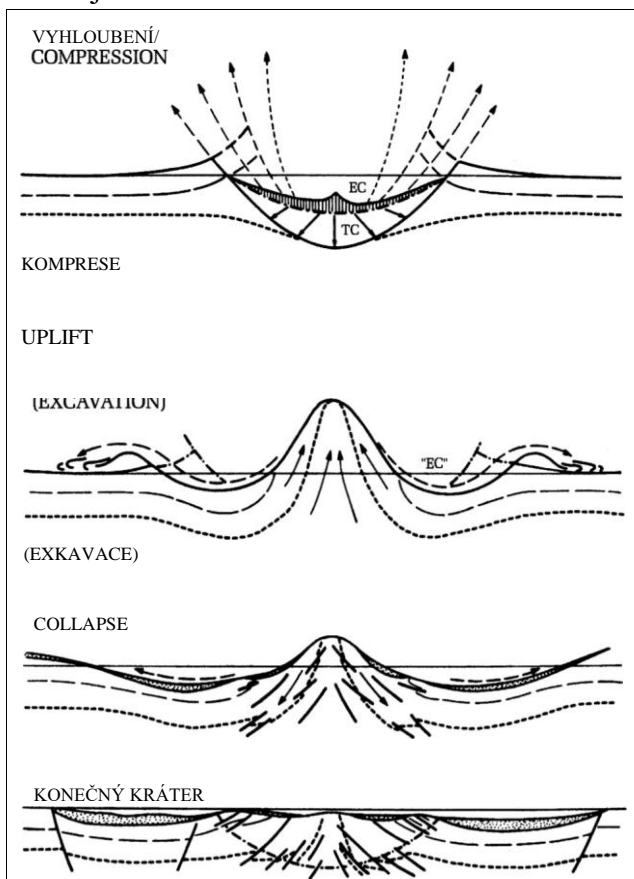


Obrázek 6.1 Povrchová geologická mapa impaktní struktury Siljan Ring. Bílé plochy jsou jezera. Sedimenty nejsou nikde hlubší než 300 metrů. Byly vyvrtány dva hluboké vrty: První v Gravbergu do hloubky 6,7 kilometru (vyznačeno černou tečkou), druhý ve Stenbergu do hloubky 6,5 kilometru (vyznačeno křížkem). ZDROJ". Švédský geologický úřad.

sedmi kilometrů, což pravděpodobně představuje hloubku, ve které se tento typ horniny drtí. Pod touto úrovní se pak budou nacházet pórovité oblasti udržované otevřenými tlakem plynu, pokud skutečně plyny přicházely z oblastí s ještě mnohem vyšším tlakem hluboko pod nimi.

"Někdo může mít štěstí a v mělčích vrstvách najít pasti s ropou nebo plynem. V opačném případě je třeba vrtat do hloubky sedmi nebo osmi kilometrů, což je stále v rámci možností moderní techniky. Pokud bylo zjištěno, že se skutečně jedná o oblast s výtokem metanu z hlubokých úrovní, pak lze očekávat, že

nalezneme zakryté vrstvy vyplněné plynem, výtok na vrcholu, který představuje



Obrázek 6.2 Vznik impaktního kráteru, jako je Siljanův prstenec. Všimněte si četných zlomů, které by usnadnily migraci hlubinných tekutin směrem vzhůru. Podle R. A. F. Grieve, 1998, "The formation of large impact structures and constraints on the nature of Siljan", in A. Boden and K. G. Eriksson, eds., *Deep Drilling in Crystalline Bedrock*, vol. 1 (New York: Springer-Verlag), 330.

ve skutečnosti přelévání. Vzhledem k rozloze oblasti se jedná o skutečně gigantické plynové pole.

"Hluboký vrt do hloubky osmi kilometrů může stát řádově 25 milionů dolarů (USA). V mnoha úspěšných oblastech bylo nutné provést několik vrtů, než se podařilo zajistit dobrou produkci. Podnikání v oblasti ropy a zemního plynu vyžaduje vysoké vstupní

poplatky, ale může přinést bohaté odměny. V prvním kole je možná nutné riskovat částku 25 milionů dolarů, a pokud jsou náznaky dobré, může být nutné investovat další částku ve výši dvojnásobku nebo trojnásobku. Očekávanou odměnou však může být energetická nezávislost Švédska na dlouhou dobu dopředu."

S upřímným nadšením jsem tak zakončil svou prezentaci z roku 1983 před švédskou státní energetickou radou. V prosinci 1985 švédský parlament schválil projekt vrtů do hloubky nejméně 5 kilometrů v kráteru po meteoritu Siljan. Projekt by řídila Švédská státní energetická rada (vládou kontrolovaný energetický úřad) a dalšími finančními prostředky by přispěli švédští investoři a americký Plynárenský výzkumný ústav. Gas Research Institute se sídlem v Chicagu se nezajímal ani tak o komerční úspěch podniku, jako spíše o vědecké poznatky, které by tento nekonvenční vrt přinesl.

Místo v oblasti uvnitř Siljanského prstence bylo vybráno proto, aby případný nález ropy nemohl být skeptiky vysvětlen jako průsak z tenké vrstvy vápenců a pískovců prvohorního stáří obklopujících kráter (tato vrstva každopádně nebyla nikde hlubší než 300 metrů). V kamenolomech v této sedimentární oblasti lze pozorovat značné aktivní úniky ropy, ale v celé impaktní struktuře jsou rozsáhlé úniky uhlovodíkových plynů, které vycházejí z čistě vyvěřelých hornin. Četné vrty na vodu dokonce vydávají plamen (obr. 6.3).

Vrtání bylo zahájeno v červnu 1986 a pokračovalo až do června 1990, kdy technické problémy na vrtu znemožnily další vrtání bez vynaložení dalších značných finančních prostředků na vyvrtání nové větve vrtu. I přesto výsledky ukázaly, že uhlovodíkové plyny od metanu po pentan – stejně jako lehké, převážně hydrogensaturované oleje - jsou skutečně přítomny hluboko v granitové hornině.<sup>2</sup>

Čtyři větve vrtu byly vyvrtány v hloubce pod 5 km (obrázek 6.4), přičemž nejhlubší z nich dosáhla vertikální hloubky přibližně 6,7 km. Vrtali jsme s vrtnou kapalinou na bázi vody, abychom vrt neznečistili vnesenými oleji, a získali jsme dobrá měření vodíku, helia, metanu a ostatních uhlovodíkových plynů až po pentan ( $C_5H_{12}$ ). Při změnách v závislosti na hloubce byla zjištěna jasná vzájemná korelace všech plynů, včetně helia, což je výsledek, který



Obrázek 6.3 Plamen podpořený emisemi plynu nad vodním vrtem v Siljanském prstenci. Emise metanu na některých místech Siljanského prstence ve Švédsku jsou dostatečně silné, aby vytvořily plamen. Pro tuto fotografii jsem na několik minut zakryl studnu igelitovou fólií, pak jsem fólii propíchl špendlíkem a nad otvor jsem přiložil zápalku. Plamen vystřelil do výšky 30 až 40 centimetrů a pak klesl na 10 centimetrů. Po deseti minutách jsem pokus přerušil, když se plast začal tavit. Video, které jsem dostal během pobytu v regionu, ukazovalo plamen dlouhý 40 až 50 centimetrů vycházející z tekoucího kohoutku v kuchyni domu místního farmáře.

vyloučil možnost, že by byly jakýmkoli způsobem důsledkem přísad do vrtů, které byly do nich vloženy shora. Obecně platí, že objemy vynesené ve vracené vrtné kapalině se zvyšovaly s rostoucí hloubkou – což je jasná známka toho, že zdroj uhlovodíků se nachází ve větší hloubce. Všechny tyto výsledky potvrdily abiogenní teorii vzniku ropy a podpořily můj názor, že obrovské množství uhlovodíků stále proudí z prvotního zdroje v hluboké kůře a svrchním plášti. Velmi vítaným překvapením, které následovalo po těchto výsledcích, bylo naše setkání s obrovským

množstvím velmi jemnozrné látky velkého významu



Obrázek 6.4 Místo vrtného projektu v Siljanském prstenci. objev, k němuž, jak se někdy ve vědě stává, došlo jen díky nešťastné náhodě.

## Magnetit a mikrobiální geologie

V červnu 1987, pouhý rok po zahájení operací, došlo k pozoruhodnému sledu událostí. V důsledku vrtné nehody uvízl vrták na deset dní v hloubce 6 kilometrů. Během odstávky nebyla udržována cirkulace vrtných kapalin, což umožnilo, aby se kapaliny z okolí dostaly zespodu na dno potrubí. Když byla vrtná trubka konečně uvolněna a vytažena na povrch, bylo nejspodnějších 10 metrů pevně zablokováno velmi tuhou pastou. Ani vysokotlaká čerpadla, která byla na povrchu k dispozici, ji nedokázala vyfouknout a trubka musela být vyčištěna mechanicky. Materiál byl černý, měl konzistenci tmelu a vydával silný a nepříjemný zápach.

Vzorek materiálu byl odeslán k analýze do norské petrochemické laboratoře Geolab Nor. Laboratorní analýza ukázala, že olej z černé pasty je převážně lehký olej s menším množstvím těžkých molekul, jejichž přesná identita nebyla stanovena. Společnost Geolab Nor uvedla, že tento olej nevykazuje žádnou podobnost s žádnou z vrtných přísad, které jim byly dodány pro srovnání.

Při návštěvě místa o tři měsíce později jsem si vzorek pořídil. Přestože bylo z trubek vyvrtáno asi 60 kilogramů této husté černé pasty, když byly konečně vytaženy na povrch, téměř všechny byly vyhozeny, pravděpodobně proto, že byly vyhodnoceny jako nezajímavá, zapáchající překážka bez komerční hodnoty. Přesto měla mimořádnou vědeckou hodnotu. Bohužel vše, co zůstalo v zachovalém vzorku, se nacházelo v jednom malém plastovém sáčku.

Chemik na místě mi řekl, že zápach ucpaného potrubí při jeho vytahování mu naznačil, že kal je nějaký bakteriální produkt, a že se tedy musí jednat o něco, co spadlo shora. Takto kontaminovaný kal by neměl žádnou vědeckou hodnotu. Nebylo vysvětleno, jak by se 60 kilogramů jednolitého černého kalu dostalo dovnitř shora, ani důvod, proč by měl mít jako pojivo olej, a nikoli vodu, která byla v té době vrtnou kapalinou. Všechno kromě malého vzorku v ruce bylo buldozerem odvezeno do nějakého příkopu a zasypáno hlínou, aby se zbavilo zápachu. Malý vzorek, který si ponechal, byl v obyčejném polyethylenovém sáčku. Protože polyethylen nasákne a

propustí oleje, lehčí uhlovodíky by z něj snadno unikly. Výsledkem této nedostatečné konzervace bylo, že materiál byl nyní poměrně tuhý, a ne tak poddajný, jak bylo původně popsáno.

Tak se stalo, že jsem měl jet přímo ze Švédska ke kamarádovi na krátkou dovolenou na španělský středomořský ostrov Mallorca. Přijel jsem tam o víkendu a den a půl jsem neměl přístup k ničemu, co by se dalo koupit v železářství nebo drogerii. Přesto mě černý materiál fascinoval a nemohl jsem tak dlouho čekat, než jsem ho začal analyzovat. Rozhodl jsem se tedy, že se pokusím o malý chemický experiment v kuchyňském dřezu (a kuchyňské skříňce).

Nejdřív jsem v bytě hledal něco, co by mohlo sloužit jako rozpouštědlo oleje, ale nebylo tam žádné rozpouštědlo na barvy, žádný odlakovač na nehty ani nic podobného. V domě však byly magnety – magnetické zámky na dveřích skříněk - což by mi mohlo napovědět o jedné z vlastností látky. Jeden jsem odšrouboval a zjistil, že kal je silně magnetický. Pak jsem malé množství látky vložil do horké vody s kuchyňským saponátem a skutečně se po určité námaze rozpustila. Takto vzniklá zředěná kapalina byla téměř průhledná; měla jen mírně šedý, mlhavý vzhled. Zřejmě obsahovala částice, ale byly velmi malé. Kapku této tekutiny jsem nanesl na kousek hliníkové fólie a ve velkém zředění vypadala naprosto průhledně. Pak jsem pod ní podržel magnet na dveřní kliku a okamžitě se na horní straně fólie objevily dvě linie magnetických pólů jako zřetelné černé čáry. Podobně, když jsem magnet přiložil ke straně sklenice naplněné touto tekutinou, okamžitě se na stěně sklenice vytvořila velká černá skvrna. Další pokusy ukázaly, že tento materiál se skládá převážně z velmi malých magnetických zrněk a oleje, který lze rozpustit ve vodě s kuchyňským saponátem.

Poté jsem dal vzorek původní pasty na noc do mrazáku a zjistil jsem, že je pak mnohem tužší, ale není úplně tvrdá a stále se dá mačkat a deformovat. To znamenalo, že obsahovala extrémně málo vody, která by samozřejmě zmrzla. Ačkoli byl tedy vrtný systém v době nálezů materiálu zcela naplněn vodou, musel se tento kal dostat do kapaliny na bázi ropy v dostatečné koncentraci, aby vodu nahradil a vůbec se s ní nesmísil.

Několik kapek této rozpuštěné látky jsem také nalil na kuchyňské papírové utěrky, abych zjistil, zda tyto utěrky poslouží jako hrubý chromatograf, kterým se třídí různé složky kapaliny v závislosti na hmotnosti, a tedy na rychlosti, s jakou difundují v porézním materiálu. Vznikla černá skvrna určité velikosti, obklopená mnohem větší, ale také jasně definovanou mokrou plochou. To znamenalo, že velikost částic byla dostatečně malá na to, aby se v papíru přenášely difuzí. Když jsem navíc kus materiálu nařízl nožem, byl povrch řezu lesklý. Z toho jsem mohl usoudit, že velikost částic nemůže být o mnoho větší než vlnová délka světla.

Co to všechno bylo? Jediný černý a magnetický materiál, o kterém jsem věděl, že se vyskytuje v přírodě, byl magnetit ( $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ). Zdálo se mi tedy, že jsem objevil neobvykle jemnozrnný magnetit, avšak v dostatečně velkém rozmezí velikostí, aby byl feromagnetický. Částice magnetitu menší než asi  $3 \times 10^{-6}$  centimetrů by nepodporovaly kooperativní jev feromagnetismu. Silný zápach vycházející z kalu mohl být zápachem těžkého oleje spolu s hnijícím biologickým materiálem. Mrtvá krysa na podlaze garáže by byl nejlepší popis, který bych mohl dát.

Jemnozrnný magnetit byl jistě hlavní složkou černého kalu, ale proč tam vůbec byl? Jak se mohl magnetit koncentrovat v uhlovodíkové kapalině, která se mohla pohybovat póry a puklinami žulové horniny natolik, že se dostala do neudržovaného vrtu? A co s tím může mít společného mrtvá krysa?

Nechal jsem provést mnoho laboratorních analýz kalu, které prokázaly jemnozrnnost magnetitu, jehož velikost se pohybovala od zlomků mikrometrů až po maximálně několik mikrometrů.<sup>3</sup> Mössbauerova spektroskopie provedená ve dvou laboratořích<sup>4</sup> prokázala přítomnost zinku na úrovni přibližně 2 %, což z něj činí druhý nejrozšířenější kov po železe. Protože zinek byl obsažen v krystalové mřížce magnetitu (a protože zinek nebyl součástí vrtného zařízení, kapaliny ani přísad), bylo zřejmé, že zinek musel být k dispozici při tvorbě těchto krystalů. Připomněl jsem si také, že v okolí Siljanského prstence skutečně existoval komerční důl na zinek a olovo. Tato zjištění potvrzovala, že kaly jsou původem z hlubokých hornin, nikoliv výmyslem vrtné kapaliny vstříkované z povrchu.



Neutronová aktivační analýza rovněž odhalila podobně vysoký obsah zinku a řadu dalších anomálií. Tento průzkum porovnával zrna magnetitu obsažená v kalu s hrubším magnetitem (spíše milimetrové než mikronové velikosti) obsaženým ve vrtných vývrtech ve stejné hloubce. Kromě rozdílu ve velikosti vykazovaly oba zdroje magnetitu řadu dalších velkých rozdílů v obsahu stopových prvků, mnohdy více než desetinásobných. Množství magnetitu obsaženého v kalu bylo také velmi výrazně vyšší než koncentrace magnetitu v okolní žule. Zrna magnetitu v kalu se co do množství, velikosti i chemického složení značně lišila od zrn v horninovém prostředí. To mi naznačovalo, že zdroj magnetitu nebo jeho prekurzoru molekuly železa se nachází ve větší hloubce a že vyluhované molekuly nebo zrna byly vynášeny vzhůru stoupající uhlovodíkovou tekutinou.

Dalším důležitým laboratorním zjištěním byl neobvykle vysoký obsah iridia v magnetitu v kalu, který se ukázal být 250krát vyšší než ve větších zrnech magnetitu, která byla obvyklou součástí žuly a která byla vybrána ze žulových odřezků pocházejících ze stejné hloubky. Vyšetřovatelé uvedli, že se jedná o nejvyšší hodnoty iridia, jaké kdy viděli v jiných než ropných vrtech. Nejen tento černý ropný materiál, ale i ropné břidlice v mělkých a starých sedimentárních horninách v okolí prstenců byly již dříve obohaceny iridiem. Kapaliny musely vystupovat z hlubin země a přinášet s sebou sloučeniny iridia, které pak bylo možné vystopovat v dalších minerálech nasáklých ropou.

Tento závěr vychází z běžných poznatků v geovědách. Iridium je velmi těžký kov. Během raných fází diferenciacie Země iridium a další těžké kovy (včetně hojně zastoupeného železa a niklu) migrovaly směrem do nitra a staly se kovovým jádrem Země. Neobvykle vysoké koncentrace iridia nalezené kdekoli v zemské kůře nebo na ní mohly pocházet pouze z jednoho ze dvou možných zdrojů. Iridium mohlo být přeneseno tekutinou stoupající z hlubin Země nebo mohlo být dodáno meteoritem. První možnost se zdá být pravděpodobnější, protože iridium je silně spojeno s ropnými vrty.

Další vyšetřování inicioval můj přítel Robert Hefner, podnikatel v oblasti hlubinného plynu. Vyšetřování provedl Paul

Philp z Oklahomské univerzity. Philp je specialistou na zkoumání biologických molekul v ropě a analyzoval ropu v černém kalu na přítomnost takových molekul. Nejprve dospěl k závěru, že se nejedná o žádnou formu kontaminantu, který by se do ropy dostal při vrtání nebo z některého z aditiv. Jednalo se o přírodní materiál. Zadruhé zjistil, že řada molekul ze třídy zvané sterany je stejnou množinou a v téměř stejném poměru, jaké předtím zjistil v ropných průsacích na povrchu Siljanského prstence a v ropných břidlicích, které se vyskytovaly v mělkých sedimentech obklopujících prsteneček. Názor, že ropné břidlice v sedimentech byly zdrojem kapalných ropných výronů, by se v ropné geologii stal běžným předpokladem. Přesto nyní našel stejné otisky v ropě vynesené z hloubky 5 kilometrů. "Nevím, jak se tam dostala," zněla jeho reakce na toto podivné zjištění. Moje odpověď samozřejmě zněla, že všechny tři typy ropy se dostaly nahoru z hlubokých vrstev.<sup>6</sup>

Philp také identifikoval jednu molekulu, která je charakteristická pro produkt mořského organismu, a považoval ji za další důkaz migrace ropy produkované v malé hloubce směrem dolů. Později jsem však zjistil, že stejná molekula je běžným produktem metan-oxidujících bakterií, které jsou v povrchové biosféře vzácné, ale domnívám se, že v hloubce hojně.

Nejpozoruhodnější nedávná analýza siljanského kalu odhalila pravděpodobný původ veškerého magnetitu, což by také vysvětlovalo jeho koncentraci a zápach kalu. Odpověď: Zodpovědnost nese život. Měl jsem podezření, že jemnozrný magnetit je produktem bakterií, přestože teploty v hloubce, kde byl magnetit nalezen, se pohybovaly od 60<sup>0</sup>C do 80<sup>0</sup>C. Magnetit je jednou z látek, které zůstávají po redukci silněji oxidovaného železa bakteriemi. (Magnetit, Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>, obsahuje 16 atomů kyslíku na každých 12 atomů železa, zatímco železo, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, obsahuje 18 atomů kyslíku na každých 12 atomů železa, takže magnetit je redukována forma). Mikrobi tedy odčerpávali atomy kyslíku z železitého železa, aby mohli spalovat uhlovodíky, které kolem nich proudily. Magnetit byl vedlejším produktem této metabolické činnosti.

Zdalo se tedy, že je nutné pokusit se o kultivaci mikrobů z těchto hlubin, a proto jsem požádal Švédskou národní bakteriologickou laboratoř ve Stockholmu, zda by se o to nepokusila. Dr. U. Szewzyk projevil velký zájem a on a jeho tým se rozhodli pokus uskutečnit. Navrhli zařízení pro odběr vzorků na drátěném vedení s mnoha kapslemi v různých hloubkách. Zařízení bylo zavedeno v době, kdy se vrtání zastavilo a voda z formace zaplňovala vrt. Výsledek byl nápadně pozitivní.<sup>7</sup> Podařilo se vykultivovat nejméně dva dosud neznámé kmeny bakterií, oba v teplotním rozmezí podobném teplotě v hloubce odběru vzorků a oba v anaerobních podmínkách rovněž podobných podmínkám v místech odběru vzorků. Přestože jako živiny pro podporu růstu bakterií byly použity octany a cukry (tyto látky se běžně používají pro bakteriální kultury), nikoli uhlovodíky a oxidy železa, skutečnost, že vůbec nějaký život byl přítomen a že magnetit byl přítomen ve velkém množství, byla významná. Vzhledem k charakteru živin byli kultivovaní mikrobi poněkud vzdáleni od toho, co bylo pravděpodobně prvním stupněm potravního řetězce; pravděpodobně se živili mikroby, kteří byli blíže primárnímu stupni. Přesto prokázali přítomnost alespoň jednoho uzlu ekologie v hlubinné biosféře Siljanského prstence.<sup>8</sup>

Termofilní mikroorganismy byly ve švédském vrtu v hloubce skutečně přítomny a lze předpokládat, že byly zodpovědné za produkci velkého množství magnetitu, který se dostal do vrtné trubky. Tomu odpovídá, že velké množství uhlovodíků muselo být spotřebováno při redukci železitého železa na magnetit, což je nejnižší oxidační stav železa, kterého lze redukcí uhlovodíky dosáhnout.

Koncentrovaný magnetit však nebyl jen ojedinělou kuriozitou. Stejný druh jemnozrného magnetitu byl nalezen v hojném množství ve velmi podobném oleji, na který se narazilo ve druhém vrtu, který náš švédský tým provedl krátce po prvním vrtu. Druhá lokalita se nacházela v centru Siljanského prstence, 11 kilometrů od prvního vrtu. Tento druhý nález poskytl přesvědčivé potvrzení toho, že předchozí objev nebyl lokální anomálií a nevznikl díky žádným přísadám do vrtu (jak tvrdili někteří kritici), protože u

tohoto vrtu byla hlavní vrtnou kapalinou voda a do jeho blízkosti se nedostaly žádné oleje vzdáleně podobné ropě.

Celý Siljanský prstenec o rozloze asi 1600 km<sup>2</sup> vykazuje silnou pozitivní magnetickou anomálii s centrem v kruhovém útvaru. Magnetit byl jediným magnetickým minerálem, na který jsme narazili, a bylo možné vypočítat množství, které by anomálii vysvětlovalo. Výsledky byly srovnatelné s množstvím v jiných švédských ložiscích magnetitu, která se dlouho těžila jako nejlepší zdroj železné rudy pro výrobu oceli. To naznačuje, že z podobných magnetitových kalů, které vznikly stejným druhem biologických a geologických procesů patrných v hloubce v našich siljanských vrtech, mohla vzniknout četná a komerčně cenná švédská ložiska magnetitové železné rudy, z nichž byl vybudován velmi úspěšný ocelářský průmysl této země. Pokud byl mikrobiálně vytvořený magnetit skutečně původem všech švédských ložisek magnetitu, představovalo by to případ mikrobiální geologie ve velkém měřítku.

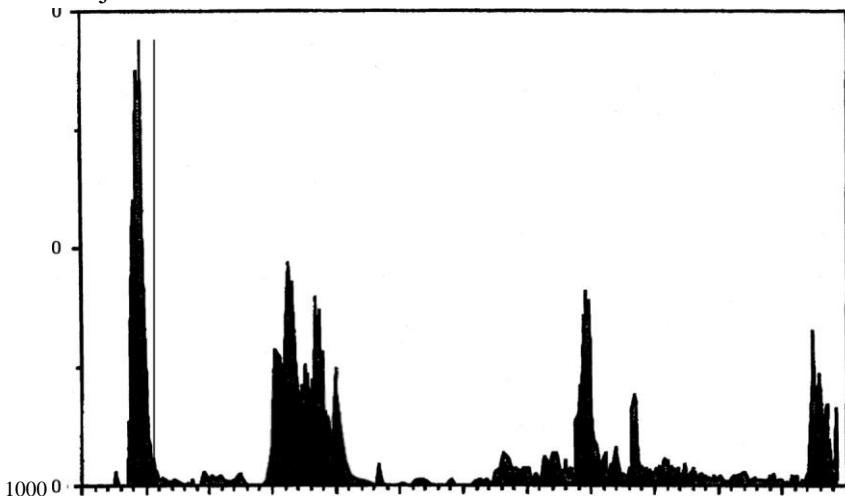
Ropné kaly odebrané z hloubky 6 kilometrů v čistě žulové a vyvřelé oblasti Švédska jsou přesvědčivým důkazem přítomnosti uhlovodíků v hloubce, kterou biogenní teorie nedokáže vysvětlit. Kal tak poskytl silné potvrzení teorie hlubinných plynů. Kultivační experimenty zase poskytly lákavé indicie o přítomnosti hlubinného mikrobiálního života. Prokázání, že neobvyklé koncentrace magnetitu korelují s uhlovodíky, se ukázalo být více než jen teoreticky užitečné také z praktického hlediska při průzkumu ložisek ropy. V současné době se má za to, že pozitivní magnetické anomálie, které lze snadno lokalizovat, skutečně ukazují na přítomnost uhlovodíků.<sup>9</sup>

Tento příběh o objevu ropy v siljanské oblasti má ještě jeden díl. V dubnu 1990 bylo do prvního vrtu instalováno hlubinné čerpadlo, aby se zjistilo, co se dá vyčerpát (běžný postup v ropném průmyslu). Všechny předtím odebrané vzorky pocházely z kapalin a kalů zachycených ve vrtném zařízení. Toto čerpání vytáhlo asi 12 tun ropy, kterou dánský geologický průzkum popsal jako "vypadající jako běžná ropa". Spolu s ropou se objevilo 15 tun jemnozrnného magnetitu. Koncentrace uhlovodíků byly

pozorovány v horninových výbrusech z druhého vrtu, z nichž byly odebrány vzorky každých 5 stop hloubky. Všechny extrémně vysoké hodnoty pocházely pokaždé ze vzorků v místech, kde vrt procházel vulkanickou intruzivní horninou doleritem, který je známým prvkem žuly v této oblasti. Intruzivní vulkanická hornina jistě vystupovala z hlubších vrstev, což naznačuje, že tyto intruze byly kanálem pro uhlovodíky. Nemohl jsem doufat ve výraznější potvrzení hlubinného původu uhlovodíkových kapalin (obrázek 6.5).

Díky výsledkům čerpání z roku 1990 již nebylo možné odmítnout množství ropy a magnetitové pasty nalezené v hloubce jako "stopové množství", jak bylo dříve popsáno v několika vědeckých časopisech. Přesto žádný významný časopis nechtěl tyto zářející výsledky publikovat a já jsem dostával odpovědi od recenzentů, kteří tato pozorování označovali za naprosto neuvěřitelná a tvrdili, že by je musel zopakovat jiný tým, než by mohly být přijaty k publikaci. Naše výzvy významným organizacím zabývajícím se výzkumem ropy, aby na místo vyslaly své delegáty a pozorovaly naši činnost, zůstaly nevyšlyšeny.

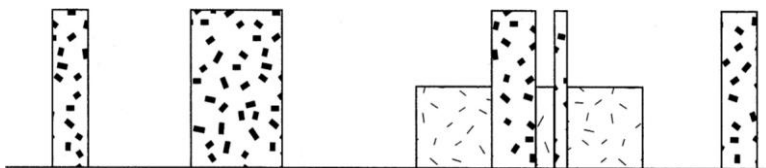
Čtyřiaosmdesát barelů ropy má svůj význam, zvláště když jsou nalezeny na místě, kde podle tradičního názoru ani jedna kapka ropy nemůže mít racionální vysvětlení. Teorie abiogenního původu ropy tak byla potvrzena. Dr. Peter N. Kropotkin, významný ropný geolog v bývalém Sovětském svazu, v jednom z čísel časopisu *The History of Science* napsal: "Objev ropy hluboko v Baltském štítu lze považovat za rozhodující faktor ve sto let



5,7 km6

hloubka, kilometry

,6 km



Obrázek 6.5 Koncentrace metanu v zrnech horninového řezu v hloubce 5,7 km až 6,6 km. Horní obrázek ukazuje metan získaný z vnitřku zrn. Byl použit konzistentní postup extrakce, takže relativní hodnoty jsou správné, i když absolutní hodnoty nelze přesně určit. Spodní obrázek ukazuje ve stejném hloubkovém měřítku jako výše výskyt vulkanické intruzivní horniny, doleritu. Vysoké sloupce představují čistá zrna doleritu, nízké představují směs zrn žuly a doleritu. Zbytek čáry představuje čistá granitová zrna. Je zřejmá shoda vysokých hodnot metanu s doleritovými intruzemi.

Staré debatě o biogenním nebo abiogenním původu ropy. Tento objev byl učiněn v hlubokých vrtech, které byly z iniciativy T. Golda vyvrtány v centrální části krystalického baltského štítu. "10

Nicméně ani v jednom z vrtů provedených v oblasti Siljan se nepodařilo zjistit komerční průtok. Nebylo to však proto, že by zásoby byly mizivé. Spíše vždy krátce po zahájení průtoku magnetitová pasta ucpala pukliny v hornině vstupující do vrtu. (Kdyby byly k dispozici technické prostředky, peníze a zájem o vyvrtání další, podstatně hlubší větve vrtu, mohl být konečný zdroj uhlovodíků k dispozici v komerčním množství. Další vrtání by však bylo pro investory hazardem, a tak se rozhodli v tomto bodě skončit. Jak už to, tak bývá, stejně jako mnoho jiných vrtných podniků v ropném průmyslu se projekt nikdy neukázal jako komerční, ale přesto byl vědeckým úspěchem).

Jak krutý a ironický obrat osudu! *Komerční* úspěch nebyl možný kvůli velkému množství látky, která tomuto projektu propůjčila *vědecký* úspěch. Magnetitové kaly sice znemožnily trvalou těžbu ropy, ale významně podpořily teorii hlubinné horké biosféry.

V rámci švédského vrtného projektu mi bylo umožněno nahlédnout do hluboké horké biosféry. Nyní jsem si myslel, že je docela dobře možné, že podpovrchová mikrobiologie je natolik rozšířená, že každá oblast s výskytem ropy prošla biologickými změnami, a to až do nejhlubších vrtů, z nichž se ropa těžila. Protože teplota Země s hloubkou roste, musí být příslušné mikrobiální formy života hypertermofilních, žijící při teplotách až 120<sup>0</sup>C· možná až 150<sup>0</sup>C. A jak je vysvětleno v kapitole 5, brzy jsem dospěl k podezření, že množství těchto forem života, pokud jde o hmotnost nebo objem, by mohlo být přinejmenším srovnatelné s množstvím veškerého nám známého povrchového života. Teorie hluboké horké biosféry by vyřešila paradox zdánlivě protichůdných faktů, který dlouho rozdělával ropnou geologii na dva tábory a na mnoho desetiletí zastavil přehodnocování původu ropy. Mohl by tento nový pohled na život uvnitř Země vyžadovat přehodnocení i většiny ostatních geologických poznatků?

## Kapitola 7 Rozšíření teorie

Jelikož jsme pochopili existenci a obrovské množství zdrojů uhlovodíků, které vyvěrají ze zemského pláště, můžeme se s výhodou vrátit k řadě témat geologie. Některá z těchto témat byla dlouho považována za geologické hádanky, jiná se zdála být vyřešená, ale domnívám se, že vyžadují nový pohled.

V této kapitole se budu zabývat dvěma rozšířeními teorie hlubinného zemského plynu. Prvním je výklad vzniku diamantů ve velkých hloubkách Země. Ve druhé představím nový pohled na to, jak vznikla ložiska některých kovů a jak se koncentrovala do ložisek ve vnější zemské kůře. Protože obě témata jsou v geologii přetrvávajícími problémy, mohly by zde nabízené spekulace vzbudit zvláštní zájem. Kapitola 8 se pak bude zabývat třetím a v geovědách velmi kontroverzním rozšířením teorie hlubinných zemních plynů: vysvětlením procesu zemětřesení.

Chemie ve velkých hloubkách se bude pravděpodobně značně lišit od chemie při nízkém tlaku, kterou známe. Například v hloubce 150 kilometrů by byl tlak 40 kilobarů, což odpovídá 40 000násobku

našeho atmosférického tlaku. Taková úroveň vnějšího tlaku bude držet pohromadě velmi mnoho různých molekul – molekul, které jsme na povrchu nikdy neviděli. Ve skutečnosti se samotný koncept molekul začíná rozpadat při tlaku srovnatelném s tlakem se

125

sílymi v molekule, které ji drží pohromadě nebo způsobují její rozpad. Možná jsme na povrchu viděli některé z rozpadlých produktů těchto neznámých molekul nebo krystalografických forem, ale nemůžeme je vyrobit nebo prozkoumat jejich předchůdce. Přesto mohou v hloubce hrát významnou roli.

Provádění experimentů při tlaku 40 kilobarů nebo vyšším a při zvýšených teplotách, které se vyskytují v hloubce, by vyžadovalo velmi nákladné přístroje. Navíc termodynamické výpočty pro pochopení tajů hlubinné chemie jsou složité a velmi obtížně proveditelné průzkumným způsobem. Pokud člověk ví, co hledá, může některé informace získat. Ale jako prostředek k určení neznámých molekul nejsou výpočty samy o sobě příliš vhodné. Okolnosti, za nichž se nacházejí atomy molekul odvozené z této z velké části neznámé chemie, mohou vrhnout určité světlo na chemické procesy, které se na nich podílely, zejména proto, že v ložiscích některých kovových minerálů existuje mnoho jasných regionálních korelací a v případě ložisek uhlíku asociace s prvky v zemské kůře.

Jaké procesy v zemi způsobily, že se určité materiály soustředily na přesně vymezených místech zemské kůry? Mohli bychom si myslet, že tendence budou opačné – že podpovrchové procesy v zemi budou věci libovolně promíchávat. Ale proč bychom pak vůbec mohli vyzvednout nuget zlata nebo diamant vyrobený z velmi čistého uhlíku? Nebo proč bychom mohli najít místa, kde jsou některé konkrétní kovy v hornině koncentrovány milionkrát nebo vícekrát ve srovnání s jinými horninami?

V zemi musí probíhat nějaký silný proces koncentrace, který je poháněn vnitřní energií, kterou země disponuje. Jedním z takových zdrojů energie je gravitační pole, které by mělo tendenci nutit těžké látky klesat a lehké látky stoupat. Takto můžeme chápat vznik železného jádra, protože železo je hojně a má přibližně dvakrát větší hustotu než horniny. Stejně snadno lze pochopit i příchod



vody a jiných tekutin, které mají menší hustotu než většina hornin, na povrch. Existuje však mnoho koncentračních procesů, které jsou definovány chemickými vlastnostmi látky, nejen její hustotou. Obecně se má za to, že ve všech těchto případech musí kapalina proudit póry v hornině a její chemické vlastnosti musí být takové, aby z horniny zachytila a při proudění unesla konkrétní atom nebo molekulu, která má být koncentrována. Pak musí nějaká změna okolností – například tlak, teplota nebo chemické činidlo - snížit množství látky, které může kapalina přenášet, a vést k usazování látky, která je nyní vysoce koncentrována ve srovnání s její původní přítomností v hornině. Všechny třídící procesy vyžadují energii a tato energie musí alespoň částečně pocházet z chemické energie, kterou Země disponuje od svého vzniku.

Ačkoli mnohé pozorované koncentrace chemických složek byly uspokojivě vysvětleny odkazem na tyto procesy, mnohé jiné dlouho představovaly pro geologii velkou záhadu. Ve vědě není nic zajímavějšího a důležitějšího než pozorování, která nedokážeme vysvětlit. Vznik diamantů a ukládání některých kovových rud patří do této kategorie. Věnujme se nyní těmto dvěma hádankám.

## Původ diamantů

Objev krystalů čistého uhlíku - diamantů - na zemském povrchu a v jeho blízkosti byl zcela nečekaný. Nejedná se o krystaly, které jsou stabilní a v rovnováze při nízkých tlacích, a proto se diamanty nemohly vytvořit v blízkosti místa, kde byly nalezeny. I kdyby proces v blízkosti povrchu mohl koncentrovat uhlík do vysoké čistoty, mělo by to vést k usazování grafitu, stabilní krystalografické formy uhlíku v zemské kůře. Diamant je vysokotlaká forma uhlíku, ale tlak potřebný k dosažení tohoto stabilního stavu je tak obrovský, že by se sotva dalo očekávat, že se vzorky najdou na povrchu. Nejenže zde nemohly vzniknout, ale ve skutečnosti se časem rozpadnou na grafit (ten černý materiál ve vaší tužce). Diamanty nejsou věčné, ale jak se ukazuje, jsou věčné dost dlouho.

Tlak potřebný k dosažení oblasti stability diamantu je přibližně 40 kilobarů, tedy 40 000krát vyšší než náš atmosférický tlak.

To je známo z teoretických výpočtů a bylo potvrzeno při vysokotlakých experimentech. V přírodě nenajdeme žádné tlakové nádoby, které by takovým tlakům odolaly. Jediná nám známá místa, kde bychom takové tlaky očekávali, by se nacházela v hloubce, v níž by hmotnost nadloží horniny tento tlak vyrovnala. Země není postavena jako parní kotel, kde pevnost oceli v tahu zvládne vysoký tlak; spíše je postavena jako hromada sutí, libovolně naházená dohromady a nemající žádnou pevnost v tahu. Tento nedostatek pevnosti v tahu nám umožňuje vypočítat minimální hloubku, v níž by mohl být dosažen tlak potřebný pro vznik diamantů, a to je přibližně 150 kilometrů – a tedy v plášti hluboko pod zemskou kůrou. Zbývá tedy vysvětlit dvě věci: jak se diamanty dostaly na povrch a proč si na povrchu zachovaly vysokotlakou formu a nedegradovaly na grafit.

Zásadní objev, který odpověděl na obě tyto otázky, byl učiněn v roce 1870 poblíž města Kimberley v Jihoafrické republice. Byly zde nalezeny diamanty, ale také neobvyklá zvláštnost: strmá nálevkovitá prohlubeň, která se táhla hluboko do horniny, zužovala se z asi 200 metrů nahoře na několik metrů v hloubce asi 1 km a pokračovala dolů jako roura až za hloubku pozorování. Do dnešního dne bylo nalezeno 10 takových trychtýřovitých útvarů nesoucích diamanty, rozmístěných po celém světě. Obsahují některé plášťové horniny spolu s místní výplní, která se do nich dostala. Tato výplň a zemina v okolí vykazují vysokou koncentraci nejen diamantů, ale také horniny zvané kimberlit, která zřejmě pochází z velké hloubky. (Bylo nalezeno několik dalších takovýchto útvarů, které obsahují kimberlit, ale neobsahují diamanty.) Ačkoli se tyto roury často označují za vulkanické, nebyly v nich nalezeny žádné stopy zmrzlé lávy.

Vzniká tak pozoruhodný obraz: Diamanty musí představovat obrovské erupce plynu, pravděpodobně z hloubky, kde se diamanty tvoří, například 150 kilometrů. Musel zde vzniknout dostatečný tlak kapaliny, aby prorazil díru do všech nadložních hornin v hloubce 150 kilometrů, a vyvržené plyny vynesly materiál z velké hloubky. Takto tedy vznikl přírodní diamant na povrchu. Proces erupce však také vysvětluje, proč diamant přetrval a nerozpadl se

na grafit. Při této rychlé erupci by hnací plyn rychle vychladl a s ním i diamanty. Při nízké teplotě povrchu by pak diamanty již neměly vnitřní energii na přeměnu své krystalové konfigurace, a tak by zůstaly nestabilní pevnou látkou v "přechlazeném" stavu. (Všichni známe přechlazené konfigurace, mezi něž patří ocelové nože, které byly zahřáty a poté prudce ochlazeny, čímž se změnilly v tvrdší a křehčí ocel).

Proč jsou diamanty na povrchu tak vzácné? Koncentrace čistého (nezoxidovaného) uhlíku v diamantotvorné hloubce a výskyt výronu odtud až na povrch jsou nepravděpodobné. Který z těchto faktorů omezuje dodané množství? Existuje mezi nimi souvislost, že místa, v nichž se uhlík koncentroval, zároveň poskytla velké bubliny vysokotlakého plynu v horninách? Nebo jsou oba jevy na sobě nezávislé, a v tom případě by se dal předpokládat velmi vysoký obsah diamantů v hlubinných horninách, takže každý hlubinný výbuch měl velkou šanci vynést drahé kameny? Odpověď na tuto dráždivou otázku zatím neznáme. A co hůř, nemůžeme ani navrhnout směr zkoumání, který by bylo možné v rámci našich současných možností a znalostí sledovat.

Co se však stane s diamantonosnou horninou, když ji geologické procesy vytlačí na povrch pomalou rychlostí? Deska horniny v severní Africe je složena z materiálů, o nichž je známo, že jsou velmi hlubokého původu. Tato hornina obsahuje mnoho inkluzí vyplněných grafitem, což je krystalická forma čistého uhlíku při nízkém tlaku. Tento grafit však odhaluje oktaedrické tvary charakteristické pro krystalografickou strukturu diamantu. Věrohodně se tvrdí, že tyto inkluze začínaly jako diamanty, ale v průběhu pomalého vzestupu a postupného ochlazování se atomy uhlíku znovu složily do nízkotlaké formy.<sup>1</sup> To je důležité pozorování, protože naznačuje, že přinejmenším v některých oblastech byly diamanty v hloubce svého vzniku velmi hojné. Africká deska grafitových inkluzí naznačuje původní hojnost diamantů více než 100 000krát větší než v kimberlitových trubicích. To zase naznačuje, že uhlíkaté tekutiny byly hojné i v těchto úrovních a že se v nich ukládal čistý uhlík. Možná, že diamanty jsou na zemském povrchu vzácné ne proto, že jsou vzácné

v hloubce, ale proto, že jsou vzácné erupce, které je mohou rychle transportovat.

Diamanty často obsahují inkluze vysokotlakých kapalin obsahujících uhlík, zejména metan a oxid uhličitý.<sup>2</sup> Jedna z těchto tekutin je pravděpodobně hlavním zdrojem uhlíku, z něhož v hloubce vznikly krystaly čistého uhlíku. Přikláním se k názoru, že hlavní podíl na tom měl metan nebo jiné lehké uhlovodíkové plyny, protože se snadněji disociují na složkové atomy než oxid uhličitý. Zcela dominantním množstvím plynů uzavřených v diamantu je dusík. Důvod tohoto spojení neznáme, ale mohlo by jít o to, že dusík povede ke vzniku amoniaku ( $\text{NH}_3$ ) a tím připraví metan o vodík, což způsobí usazování uhlíku. Zatím neznáme vysokotlakou chemickou rovnováhu mezi těmito dvěma látkami; víme jen, že se často vyskytují společně na planetárních tělesech a že ani jedna z nich není druhou při nízkém tlaku.

Poměry izotopů uhlíku v diamantech byly použity při studiu diamantů pocházejících ze dvou různých typů hornin. Autoři dospěli k závěru, že pro vznik velkého rozpětí C-13 není pravděpodobný ani vliv recyklovaného biogenního uhlíku, ani globální a primordiální heterogenita uhlíku v plášti; data naopak podporují proces frakcionace.<sup>3</sup>

Uhlovodíkové kapaliny představují podobný problém jako diamanty, ale jejich hojné zastoupení ve svrchní části zemské kůry nás zaslepuje před jejich anomální přítomností v naší říši. Při vysokých tlacích představují uhlovodíky stabilní konfiguraci vodíku a uhlíku. Uhlovodíky by proto měly ve svrchním plášti a hluboké kůře vznikat samovolně. Při nízkých tlacích na zemském povrchu nebo v jeho blízkosti jsou však kapalně uhlovodíky přechlazenými, nestabilními kapalinami. Jakmile se dostanou do oblasti nižších tlaků, začnou disociovat, a to znamená, že se začnou zbavovat vodíku. Přesně to vidíme ve vertikálně uspořádaných vzorcích uhlovodíkové oblasti, které přecházejí od metanu v nejhlubších vrstvách k ropám, a nakonec k černým uhlíkům v nejmělkých vrstvách. Každý krok v této vrstvě znamená další ztrátu vodíku.

Celkově lze říci, že abiogenní teorie vzniku ropy nabízí možnost důkladnějšího vysvětlení vzniku diamantů. V předchozích kapitolách jsem vznesl námitky proti několika obecně rozšířeným názorům v moderní geologii, jako například: "Existence pórových prostor v hloubkách větších, než několik kilometrů je vysoce nepravděpodobná"; "Neoxidovaný uhlík nemůže existovat v úrovních hlubších než sedimenty"; "Uhlovodíky nejsou stabilní v hloubkách pod přibližně 15 kilometrů" a "K emisi plynu z hlubokých úrovní (kde nejsou pórové prostory) nemůže dojít". Proces vzniku diamantů, který jsem popsal, je v příkrém rozporu s každým z těchto názorů. Existence diamantů nám tedy říká, že v hloubkách pláště existují pórové prostory a že mohou být vyplněny tekutinami obsahujícími uhlík; že tyto pórové prostory umožňují proudění tekutin; že v těchto hlubokých úrovních může existovat a existuje neoxidovaný uhlík (samotné diamanty a uhlovodíkové plyny); a že z těchto úrovní může docházet ke gigantickým výronům plynů. Nevím o žádném jiném procesu, který by mohl spojit čistý uhlík a vytvořit centimetrové kousky diamantu, ani o žádném jiném procesu vylučování než o tom, který jsem popsal. S poznatky, které nám diamanty poskytly, můžeme dále posoudit, zda abiogenní teorie poskytuje možnost lépe pochopit mechanismus, jakým vznikly další důležité zdroje – koncentrovaná ložiska různých kovů, včetně mědi, železa, zinku, olova a uranu.

### Nové vysvětlení rudních ložisek

Na některých místech světa, zejména v severní části Jižní Ameriky a v oblasti Wyomingu a Montany ve Spojených státech, se kovy vyskytují v koncentrovaných shlucích ložisek, která mohou obsahovat měď, olovo, zinek, stříbro a zlato v těsné blízkosti. Jak je možné, že se všechny tyto druhy kovů nacházejí ve stejném sousedství a každý z nich v koncentrovaných ložiscích? Jaké procesy mohou vyčlenit prvek a způsobit jeho uložení v koncentraci milionkrát nebo dokonce stamilionkrát vyšší než ve zdrojovém kompozitu, z něhož pochází? Vysoké koncentrace některých kovů nacházíme i v horninách, jako je žula,

kde tato ložiska zjevně představují intruze, k nimž došlo po utužení magmatu.

Pro vznik koncentrace kovů musí být splněno několik obecných podmínek. Zaprvé, jak již bylo uvedeno, musí existovat tekutina, která může proudit pórovými prostory a puklinami ve zdrojové hornině, kde je kov rozptýlen jen řídce. Tato kapalina musí být schopna shromažďovat - tj. vyluhovat – kov z horniny a unášet jej spolu s prouděním. Vyluhování je energeticky velmi náročný proces. Aby bylo možné tento proces provést, musí existovat zdroj fyzikální čerpací energie, který dokáže kapalinu protlačit horninou. Aby se pak z vyluhovaného a transportovaného materiálu vytvořilo rudné ložisko, musí se tekutina setkat s podmínkami, které způsobí, že její kovový náklad vypadne z roztoku. Tyto podmínky mohou zahrnovat pokles teploty, jak kapalina stoupá k povrchu. Nebo se může stát, že smícháním s jiným druhem tekutiny a jejím znečištěním dojde ke změně chemického složení a rozpustnosti do té míry, že kov z roztoku vypadne. Je možné, že disociaci může vyvolat i prahová ztráta tlaku během cesty vzhůru. A jak uvidíme, život v hluboké horké biosféře může hrát i podpůrnou roli.

Za tekutinu, která je zodpovědná za vznik koncentrovaných kovových ložisek, je obecně považována horká voda, ale hydrotermální teorie nemůže zohlednit reálné procesy, které by mohly některé kovy koncentrovat. Problém je skutečně tak velký, že odpovědi jsou prosazovány po částech – některé chemické reakce jsou navrženy pro roztok a usazování jednoho kovu a jiná sada je navržena pro jiný. Dílčí odpovědi jsou zvláště sporné, pokud se jedná o skupinu kovů a pro vznik každého z nich je navržena jiná cesta, přesto se často vyskytují v těsné blízkosti. Problém je obecnější, a proto by mělo být nalezeno jedno řešení, které dostatečně vysvětlí kolektivní jevy. Existují skupiny kovů, jejichž mělká ložiska se často nacházejí v těsném spojení, například zinek s olovem a zlato se stříbrem a dalšími těžkými kovy.

Hydrotermální teorie vzniku kovových rud má dvě velká úskalí. Zaprvé, mnoho kovů, zejména těžkých kovů nejsou dostatečně rozpustné ve vodě při žádné teplotě, a to ani ve slané vodě obsahující agresivní soli. Geochemik Konrad Krauskopf například

ve své učebnici poznamenal, že nerozpustnost mnoha kovů a jejich sloučenin ve vodě je "dlouhodobým problémem klasické hydrotermální hypotézy jejich ukládání" Uvedl příklady obrovského množství vody, obsahující pouhé stopy kovů, které by muselo protékat puklinami, aby bylo možné vysvětlit nahromadění známých ložisek kovů. Došel k závěru, že tato množství jsou zcela nereálná.<sup>4</sup>

Druhým problémem při předpokládaném použití kapaliny na bázi vody pro usazování kovů je pravděpodobně nedostatečný čerpací výkon pro vyluhování kovů. Voda cirkuluje ve vnější zemské kůře, ale jen zřídka (pokud vůbec) do hloubky 10 km. U vrtů, které jdou do takových hloubek, je mnohem větší pravděpodobnost, že se v nich objeví lehké uhlovodíkové kapaliny než voda. Předpokládáme-li tedy, že k vyluhování usnadněnému vodou dochází v hloubce nejvýše asi 10 kilometrů, pak by tlak pohánějící čerpací činnost v takové hloubce byl dán nanejvýš hmotností nadloží hornin, včetně hmotnosti v něm obsažené kapaliny (což je obvykle velmi malý zlomek celkové hmotnosti). Maximální výkon, který je k dispozici pro pohon proudění, a tedy i vyluhování, by za předpokladu, že voda a hornina jsou v hloubce zpočátku v tlakové rovnováze, byl objem, který je vytlačen za jednotku času, vynásobený tlakovým rozdílem mezi vstupním a výstupním bodem (vynecháme-li složku, která je odvozena právě od statického převýšení vody). V hloubce 10 km by hmotnost horninového nadloží vytvořila tlak přibližně 3000 barů (3000 atmosfér) a statický převis vody by byl přibližně 1000 barů. Pro pohon kapaliny skrz horniny by tedy bylo k dispozici 2000 barů (pouhé 2 kilobary). To není pro požadovaný úkol nijak účtyhodný tlak a kapalina by neměla silnou vyluhovací schopnost.

Vhodnějšími kapalinami pro loužení a transport kovů jsou uhlovodíky. Uhlovodíkové kapaliny překonávají vodu, jak ve schopnosti udržet kovy v roztoku, tak v čerpacím výkonu potřebném pro energeticky náročný proces loužení. Uvažujme například vyluhovací výkon uhlovodíkové kapaliny, která proudí vzhůru z hloubky zdroje, v níž se nepochybně vytvořily diamanty, a to disociací čistého uhlíku z kapaliny obsahující uhlík. V hloubce 150 kilometrů by tlaková lázeň činila 40 kilobarů, tedy asi 40

000násobek atmosférického tlaku na úrovni hladiny moře. Při použití stejných hustotních předpokladů jako v našem předchozím příkladu bychom očekávali hnací sílu pro vyluhování asi 35 kilobarů. To je mnohem více než síla vyluhování 2 kilobary, kterou jsme vypočítali v našem předchozím příkladu s vodou. Již tato skutečnost sama o sobě by nás měla upozornit na potřebu zkoumat, zda tyto tekutiny, které mají tak vysokou sílu pro vyluhování přes velké vzdálenosti hornin, mají něco společného s koncentracemi kovů, které byly uloženy z nějakého vyluhovacího roztoku.

Dalším argumentem ve prospěch uhlovodíků jako tekutého nosiče kovů je skutečnost, že víme, že mnoho kovů je skutečně obsaženo v ropě. Uhlovodíky mohou vstupovat do molekulárních uspořádání s kovy a vytvářet komplexy nazývané *organokovy*. Organokovové molekuly byly identifikovány v každé analyzované ropě; nejvýznamnější jsou vanadové a niklové porfyryny, ale existuje i několik dalších. Například organokovové molekuly zlata a stříbra jsou v některých ropách detekovatelné, i když pouze ve stopovém množství.

Porfyryny jsou skupinou organokovových sloučenin, které kromě uhlíku a vodíku obsahují i dusík. Porfyryny, jako je hemoglobin (s jedním atomem železa v jádře) a chlorofyl (s jedním atomem hořčíku v jádře), jsou cennými katalyzátory a jsou vyráběny mnoha známými formami povrchového života. Původ porfyrynů nalezených v ropě byl proto snadno přisouzen biologickým zbytkům. Toto vysvětlení by nás vedlo k tomu, že bychom v ropě očekávali především hořčíkové a železné porfyryny. Přesto není znám jediný případ jejich přítomnosti v ropě.<sup>5</sup> Namísto toho byly trvale nalezeny pouze porfyryny niklu a vanadu. Zdá se krajně nepravděpodobné, že by ve všech případech a ve všech ropách byly původní atomy kovů vyměněny pouze za nikl a vanad z hornin v jejich okolí. Navíc nebylo vysvětleno, jak by z rostlinných zbytků vznikly molekuly niklu a vanadu, kdyby byly vystaveny relativně nízkým tlakům a teplotám, které převládající názor považuje za nezbytné pro genezi a stabilitu biogenních uhlovodíků. V obrazu hlubin Země, který je uveden v této knize, však lze očekávat, že komplexy niklu a vanadu budou vznikat při



vysokých teplotách a tlacích v hloubce. Je možné, že tyto dvě sloučeniny jsou prostě organokovové sloučeniny, které přežívají nejdéle poté, co se mnohé jiné rozpadly v hlubších vrstvách mimo náš dosah.

Pokud je mi známo, nikdo dosud nevypracoval žádnou představu o organokovové chemii, která by převládala při tlaku řekněme 50 kilobarů. Zatím máme jen málo laboratorních simulací tohoto druhu. Mnoho molekul by jistě při tomto tlaku drželo pohromadě, i když by se při tlacích v blízkosti povrchu zemské kůry snadno rozpadly. Mezi nimi mohou být hojně zastoupeny organokovové sloučeniny v případech, kdy tvorba organokovových molekul zabírá menší objem než materiály, z nichž jsou odvozeny. Možná celá řada organokovů vzniká vyluhováním uhlovodíků v horninách ve velkých hloubkách a na obrovské vzdálenosti.

Organokovové sloučeniny se *nevytvářejí* pouze z uhlovodíků spolu s kovy, které mohou uhlovodíky na své dlouhé cestě vzhůru vyluhovat z hornin; mohou být také *přenášeny* uhlovodíky. Většina organokovů je rozpustná v uhlovodíkových olejích, a proto se přenáší spolu s prouděním. Když teplota, tlak nebo jiné podmínky rozpustnosti dosáhnou prahové hodnoty, při které již určitý druh organokovů nemůže být proudem unášen, vytvoří se v daném místě koncentrovaná kovová usazenina.

Uhlovodíkové proudění by na cestě vzhůru vytvářelo velké množství molekul, přičemž konkrétní molekuly by závisely například na poměru uhlíku a vodíku při vzniku, poměru k dalším prvkům, jako je dusík a kyslík, na katalytickém působení konkrétních minerálů v horninách a na tlakově-teplotním režimu, s nímž se na cestě setkáváme. Mezi těmito molekulami může být jedna třída, která je neobvykle příznivá pro tvorbu určité organokovové sloučeniny s jedním kovem, jiná třída s jiným. Velká rozmanitost molekul uhlovodíků (rozlišených podle počtu atomů uhlíku vázaných v řetězcích, v kruzích nebo v nějaké kombinaci obou) by tak mohla být důvodem selektivity v ložiscích kovů. Různé druhy nebo skupiny kovů by se vyskytovaly v těsně přilehlých lokalitách, což by naznačovalo obecný nárůst uhlovodíků v dané oblasti, přesto mohou být ložiska segregována kvůli rozdílům v afinitě kovů k různým molekulám uhlovodíků.

Uhlovodíky s větším či menším počtem uhlíků nebo jiným strukturním rysem by se také měly zbavovat svých kovových složek při různých prahových změnách teploty, tlaku, kyselosti a rozpuštěných látek. To by mohlo dobře vysvětlit pozorování, že olovo a zinek se obvykle vyskytují společně, zlato se stříbrem atd.

Empirickou podporu pro uhlovodíkovou teorii ukládání kovů představuje těsné spojení uhlíku se zlatem, které je dobře zaznamenáno ve vědeckých i populárních popisech hledání nerostů. Těžaři zlata v Coloradu, Kalifornii, Yukonu a Jižní Africe si byli této typické asociace dobře vědomi a hledali "černého vůdce" - stopu uhlíku. Podél zčernalých chodeb pak kopali s oprávněnou nadějí, že se dostanou k tělesu horniny, které obsahuje užitečnou příměs zlata. Konvenční geologická moudrost neposkytuje ani náznak vysvětlení této asociace, ale teorie hlubinného zemního plynu jistě ano. Zlato bylo vyluhováno z hlubinných hornin a transportováno jako organokovový prvek vzestupným proudem uhlovodíků. V důsledku změn tlaku a dalších podmínek na cestě se kov v určitém okamžiku oddělí od molekuly uhlovodíku. A podobně jako u uhelných ložisek se nakonec i vodík oddělí od molekuly nosiče a zanechá za sebou uhlík neboli saze, které pak mohou být na určitou vzdálenost přenášeny proudící vodou – odtud "černý vůdce". "

Je zajímavé, že další látkou, která se běžně spojuje se zlatem, je oxid křemičitý – křemen. Křemík je v Mendělejevově tabulce prvků (periodické tabulce) ve stejném sloupci a pod uhlíkem a obě látky mají velmi podobné vlastnosti. Křemík je však mnohem reaktivnější než uhlík. Vyskytuje se pouze v oxidované formě, zatímco uhlík se vyskytuje v oxidované i redukované formě. Křemík tvoří oleje, které jsou dosti podobné uhlovodíkovým olejům, ale někdy mají vyšší prahovou hodnotu tepelné stability. Křemíkové oleje a uhlovodíkové oleje jsou téměř jistě vzájemně rozpustné. Nevím (a pravděpodobně to neví nikdo), zda křemík-metalické sloučeniny, analogické organokovovým sloučeninám vznikají při vysokých teplotách a tlacích. Argumentem ve prospěch křemičitých olejů jako nosičů kovů je výskyt zlata spíše v křemenných žilách než v křemenných ložiscích, což naznačuje společnou migrační cestu oxidu křemičitého i zlata.

Někdy jsou s usazeninami kovů spojeny nejen zbytky sazí, ale i samotné uhlovodíky. Například ze starých cínových dolů v žulových horninách v anglickém Cornwallu, které zásobovaly cínem starověký Řím, kape při práci na horníky ropa. Mezi další místa těžby kovů, která jsou spojena s uhlovodíky, patří Wyoming, Aljaška a Ural. Výbuchy metanu v žule železného dolu v Newfoundlandu zastavily tamní důlní činnost. Navzdory podstatným důkazům o spojení kovů a uhlovodíků se vědecké práce, které o těchto nálezech informují, stále přiklánějí k hydrotermálnímu vysvětlení kovů a předpokládají, že uhlovodíky jsou pouhým kontaminantem, což připisují nedalekým biologickým zbytkům.<sup>6</sup>

Mnoho kovů snadno tvoří sulfidy kovů, pokud je k dispozici síra. Rtuť jako sulfid rumělka se často vyskytuje společně s ropou a dehtem. Rtuť se může objevit v proudu plynu jako rtuťové páry nebo jako rtuťnatý dimethyl, který má dostatek síry k přeměně na rumělku. Tento mechanismus by se uplatnil i u mnoha dalších kovů, které by neodolaly vazbě na síru, a tak by se přeměnily na sulfidy. U rtuti je obzvláště zřejmé, že tento kov pochází z velkých hloubek; je silně vázán na helium, zejména na helium s vysokým obsahem izotopu helia-3, který je markerem pro primordiální helium zachycené při vzniku Země a tvoří malý doplněk k heliu pocházejícímu z radioaktivity uranu a thoria.

Podílí se hluboká horká biosféra nějakým způsobem na ukládání kovů? Lze spekulovat, že mikrobiální činnost hraje v některých případech roli, zejména při tvorbě nugetů čistých kovů. Je docela dobře možné, že mikrobi zjistí, že uhlovodíková složka organokovů jim vyhovuje, a tak převezmou iniciativu a zbaví kov okolního uhlovodíku v hloubce pod prahem, kdy by došlo k disociaci abioticky. Lze se také domnívat, že různé kmeny mikrobiálního života dávají přednost různým organokovovým sloučeninám při jejich rozpadu. To by možná mohlo vysvětlit nebo přispět k efektu, který má v této hádance zjevně hlavní význam: shlukování několika různých ložisek kovů v těsně sousedících oblastech. Jednalo by se o oblasti, v nichž byl obecně silný příliv uhlovodíků a v nichž se některé mikroby staly dominantními v některých oblastech, jiné mikroby v jiných.

Je přece dobře zdokumentováno, že známé povrchové bakterie jsou pozoruhodnými geochemickými inženýry, kteří přetvářejí své okolí způsobem, který vede k tvorbě krystalů minerálů nebo dokonce velkých jednotných ložisek. Obecně se předpokládá, že mikroby mohou vytvářet koncentrovaná ložiska nejrůznějších minerálů.<sup>7</sup> Například bakterie *Desulfovibria* vytváří krystaly pyritu ( $\text{FeS}_2$ ), greigitu ( $\text{F}_3\text{S}_4$ ), sfaleritu ( $\text{ZnS}$ ) a galenitu ( $\text{PbS}$ ). Několik druhů bakterií produkuje magnetit – který, jak si možná vzpomínáte, byl nalezen na dně obou našich siljanských vrtů.

Obohacení sedimentárních vrstev kovy lze snadno vysvětlit pomocí scénářů mikrobiálního zprostředkování, které zůstávají v rámci paradigmatu povrchového života. Stačilo by předpokládat, jak to dělá většina geologů, že mikroby vykonaly svou práci jako součást povrchové biosféry, zatímco sedimenty se nejprve hromadily v říční deltě, na dně jezera atd. Koncentrace kovů v žilách prostupujících vyvěřelé horniny se však takovému vysvětlení vzpírá. Tyto okolnosti podporují mikrobiální vysvětlení pouze v případě, že přijmeme, že se mikrobi živí uhlovodíky v hloubce – tedy pouze v případě, že přijmeme teorii hlubinné horké biosféry.

Zkoumání těchto a dalších možných biogenních způsobů ukládání kovů bylo dosud značně omezeno pevným a rozšířeným přesvědčením, že oleje mohly vzniknout pouze z biologických materiálů, které vznikly na povrchu země a poté byly pohřbeny. Biomineralizace, které byly dosud studovány, se týkají téměř výhradně produktů povrchového života nebo těch bakteriálních členů povrchové biosféry, kteří se živí v sedimentech chudých na kyslík těsně pod povrchem.

Bez ohledu na to, zda je kořist, o kterou se zajímají těžební společnosti, dílem samotných hlubinných uhlovodíků, nebo ve spolupráci s mikrobiálními snahami v hluboké horké biosféře, věřím, že uhlovodíky jsou skutečně kapaliny zodpovědné za vyluhování, vázání a transport mnoha kovů. Vzhledem k hloubce svého původu nabízejí uhlovodíky hnací sílu potřebnou pro rozsáhlé vyluhování a mohou přenášet mnoho typů molekul takto vzniklých v roztoku. Největší nejistota se týká vzniku různých organokovových sloučenin pod vysokým tlakem a tuto otázku

nelze s nyní dostupnými informacemi vyřešit. Přesto se domnívám, že uhlovodíky jsou nejlepšími kapalinami pro čerpání, loužení a požadavky na rozpustnost pro pohyb kovů vzhůru zemskou kůrou.

Je to všechno jen fantazie? Jak reálné mohou být tyto spekulace, které se dotýkají důležitých otázek vysokotlaké chemie, jež dosud nebyly prozkoumány? Experimenty při tlaku 40 kilobarů nebo vyšším jsou velmi obtížné nebo velmi nákladné. Takové experimenty se nebudou provádět, dokud nenajdeme dobrý důvod, proč je provádět. Protože na Západě převládá názor, že uhlovodíky v hloubce prostě neexistují, zdálo se, že není důvod uvažovat o myšlence, že uhlovodíky vystupující z velkých hloubek jsou příčinou koncentrovaných ložisek kovů, natož ji testovat. A to navzdory silným náznakům regionální asociace shluků různých kovových rud s ropou. Doufám, že zde uvedené indicie a navrhovaná vysvětlení zažehnou jiskru zájmu o přehodnocení zakořeněných, ale možná neplatných předpokladů, které by jinak mohly zdržovat pokrok v pochopení geneze a lokalizace významných ložisek kovů.

## Kapitola 8 Přehodnocení zemětřesení

Zemětřesení vypovídají o násilí, které se odehrává v nitru Země. Je zřejmé, že dochází k velmi prudkým a rychlým událostem, ale příčiny těchto událostí nejsou dosud plně pochopeny a mnoho zjevných anomálií zůstává nevysvětleno. Domnívám se, že teorie hlubinného zemského plynu může být velkým přínosem pro vytvoření nové, komplexnější a užitečnější teorie těchto jevů.

Podle teorie hlubinných zemních plynů Země neustále vypuzuje tekutiny z velkých hloubek, včetně mladých těkavých látek, které se uvolňují z pláště. Některé z těchto tekutin vystupují na povrch jako součást proudu kapalné horniny – magmatu – který se při vulkanických událostech řítí na povrch. Jiné

pronikají na povrch souvisleji a klidněji – ale stále dobře viditelně – jako bahenní sopky, které místo lávy vyvrhují bahno. Bahenní sopky se mohou vyskytovat v místech probíhající sopečné činnosti (Island), v geotermálních oblastech bez současného aktivního vulkanismu (Yellowstone) a také v relativně chladných geologických provinciích, které podporují komerční těžbu ropy a zemního plynu (jižní Aljaška, na ropu bohatá oblast Blízkého východu a celý indonéský oblouk).

## Bahenní sopky

Různé typy geologických jevů na povrchu pevniny, na dně oceánů a na ledových polích naznačují, že došlo k emisi plynů z půdy. Tyto prvky se často vyskytují v oblastech, kde jsou častá zemětřesení. Největší z nich jsou lávové sopky, které nejenže dopravují tekutou horninu na povrch, ale také otevírají kanály z hlubokých vrstev, kterými mohou plyny stoupat. To známe z obrovských a ničivých explozí, které některé erupce doprovázejí.

Méně známým, ale přesto důležitým prvkem zemského povrchu, který je považován za indikátor plynových erupcí, jsou bahenní sopky. I zde plyny stoupají ze země do atmosféry, někdy tak explozivně, že unášejí měkké naplaveniny (bahno), které na své cestě potkají. Zpočátku se jedná o erupci plynu a bahna; plyn mizí v atmosféře, ale bahno se usazuje kolem původního ústí a vysychá, čímž vytváří horu, která vypadá podobně jako lávová sopka, ale postrádá žár lávy. V některých velkých bahenních sopečných polích se jednotlivé sopky zvedají do výšky několika set metrů a vytvářejí otvory o průměru 100 metrů i více. Základna takových hor může měřit v průměru několik kilometrů. Vznikající plyny jsou obvykle hořlavé, obsahují převážně metan a při velkých erupcích se samovolně vznítí, pravděpodobně díky elektrickým jiskrám způsobeným třením. Fotografie pořízená v Baku (Ázerbájdžán, hlavní oblast výskytu velkých bahenních sopek) ukazuje plamen vysoký 2 kilometry stojící nad otvorem o průměru 120 metrů.<sup>1</sup>

Množství plynu, které muselo vzniknout při vytváření těchto obřích struktur, bylo odhadnuto na základě přístrojových dat o poměru plynu a bahna pozorovaných při několika erupcích. Takto

získané hodnoty značně převyšují obsah plynu v největších komerčních plynových polích na světě.

Pokud jsou bahenní sopky místy emisí plynů na pevnině, musíme očekávat, že taková místa existují i na dně oceánů a ve velkých ledových polích polárních oblastí a ve vysokých horách. Jak se v těchto prostředích objevují?

Na dně oceánů byly tyto prvky identifikovány při sonarovém průzkumu jako kruhové značky v oceánském bahně. Tyto znaky dostaly název pockmarks (důlků po neštovicích) a byla identifikována velmi rozsáhlá pole hustě seskupených pockmarků.<sup>2</sup> Jednotlivé kruhy mohou mít průměr 1 metr nebo až 200 metrů. V několika případech (např. v Severním moři) překrývají poměrně přesně pole komerční těžby plynu a vykazují zvýšenou koncentraci metanu ve vodě nad nimi. Pockmarky také vykazují usazeniny karbonátových cementů vyplňujících trhliny, což je jev, o kterém jsem se již zmínil.<sup>3</sup> Předpokládá se, že tyto značky vznikají při náhlých výronech metanu, kdy se zvedne množství oceánského bahna, které se pak pravidelně usazuje zpět na dně, a zanechává tak kruhové obrazce. Sonar dokáže proniknout několika metry oceánského bahna a odhalit tak úrovně, na nichž se podobná pole pockmarks pohřbila pozdějšími nánosy bahna. Tato pole se zpravidla nacházejí v dobře vymezeném hloubkovém intervalu, což naznačuje, že proces emise probíhal epizodicky, přičemž jednotlivé události od sebe dělily stovky nebo tisíce let. Protože jsou naznačeny masivní emise plynu, pravděpodobně se časově shodovaly se zemětřeseními.

Ve věčně zmrzlých oblastech vysokých zeměpisných šířek mají tyto plynné emise podobu "ledových sopek" nebo pingů. Stejně jako v případě pockmarků i pingos ukazují, že epizodické emise plynů vynesly z hlubších vrstev kapalnou vodu, která pak při stékání po bocích sopky zmrzla. Protože led nemá stálou tuhost, ale teče pomalu, tyto rysy brzy zmizí a identifikovat lze jen velmi mladé pingy.

Existuje dobrý důvod zkoumat, zda emise plynů v bahenních soplech, oceánských pockmarkách a pingách mají nějaký vztah k zemětřesením obecně, ať už jako účinek iniciovaný zemětřesením, nebo jako jeho příčina.

## Výzva pro teorii zemětřesení

Většina tekutin z hlubin země pravděpodobně stoupá vzhůru pomalejším tempem než plyny, které zásobují bahenní sopky. Cestou vytvářejí trhliny především směrem vzhůru, protože horninové nadloží se zmenšuje a stává se méně odolným vůči trhlinám způsobeným tlakem plynu. (Plyn má menší hustotu než hornina, a proto je vůči ní vztlakový.) Tyto trhliny pak slouží jako průchody pevnou litosférou. V době, kdy tyto kapaliny dosáhnou tlaků v blízkosti povrchu, se většina z nich stane neviditelnými plyny: metan, oxid uhličitý, sirovodík a možná i vodík, stejně jako dusík, helium a různé stopové plyny, jako je radon. Prosakující ropa představuje viditelnou, kapalnou frakci vystupujících tekutin z hlubin.

Převládá názor, že zemětřesení je způsobeno katastrofickým uvolněním tektonických sil, které postupně vytvářejí napětí v horninách. Při určité prahové hodnotě je pevnost materiálu překročena a dojde k náhlému posunu hornin, který vyvolá zemětřesení. Některé kapaliny se mohou uvolňovat v důsledku mechanicky způsobených zlomů horniny, ale v této teorii hrají zcela pasivní roli.

Domnívám se, že vzestup tekutin z hlubin země, z oblastí s vyšším tlakem, než je ten, který působí tíha horninového nadloží, bude mít několik účinků souvisejících se zemětřesením. Konkrétně budou vytvářet zlomy, a tím měnit předchozí strukturu napětí, která někdy vzniká působením sil neznámého původu, jež jsou považovány za příčinu tektonických pohybů desek. Náhlý příliv plynu zdola oslabí horninu vytvořením nových zlomů a přivede ji k bodu zlomu i při dříve působícím napětí. Přísun plynu by se také rozšířil do zlomových linií a tím, že by držel stěny od sebe, by značně snížil vnitřní tření, což by usnadnilo zemětřesení i tímto způsobem.

Poté, co proud tekutiny přejde do atmosféry, mohou se pórové prostory, které vznikly při přechodu, zhroutit; takové zhroucení nabízí rozumné vysvětlení pro vertikální posun kusů zemské kůry během zemětřesení a pro objemové změny mořského dna nebo kontinentálního šelfu, které by byly potřebné k vyvolání tsunami. Například při velkém zemětřesení na Aljašce 28. března 1964 se některé úseky pevniny během několika sekund propadly až o 30



stop. To pravděpodobně znamená, že půda pod nimi se náhle stala hustší. Horniny však nejsou stlačitelné v takové míře a ani by k takovému stlačení nedošlo náhle. Muselo se jednat o pórové prostory, které horninu rozšířily o plyn pod vysokým tlakem, a když plyn náhle našel únikovou cestu, póry se zhroutily. Žádná jiná kapalina, než plyn nemohla horninu podepřít a pak se během několika sekund dostat z cesty. Podobné události byly zaznamenány při mnoha historických zemětřeseních.

Podle současného názoru, který je populární v západních zemích, jsou zemětřesení čistě tektonického původu a jsou způsobena zvýšením napětí v hornině. Tento názor však vznikl teprve na počátku dvacátého století. Přibližně v té době byl vynalezen a uveden do provozu seismograf.<sup>4</sup> Jeho dostupnost znamenala, že zemětřesení bylo možné podrobně zkoumat na základě získaných seismických záznamů. Údaje nyní mohly být shromažďovány seismografy instalovanými v místech vzdálených od zemětřesení a tyto údaje byly zcela kvantitativní a nezátížené subjektivní interpretací. Vynález seismografu znamenal, že pro shromáždění údajů o zemětřesení již nebylo nutné zemětřesení přímo zažít nebo vést rozhovory s někým, kdo je zažil. Možnosti, které tato nová technologie nabízela, byly jen zřídka doplněny zprávami očitých svědků. Takové zprávy, které byly nevyhnutelně kvalitativní a poznamenané subjektivitou, bohužel již neměly pro vědecký výzkum žádnou hodnotu. Stále se z nich však lze mnohému naučit.

### Výpovědi očitých svědků

Když se dnes objevují svědectví očitých svědků, jsou velmi podobná těm, která byla shromažďována a zaznamenávána po mnoho staletí. Podobnost zpráv vzdálených zeměpisně i časově potvrzuje jejich pravdivost. Erupce, plameny, hluk, zápach, dušení, fontány vody a bahna – to vše jsou dnes opakující se témata, stejně jako tomu bylo ve starověku. Zemětřesení jejich charakter jistě nezměnila. Pouze vyšetřovatelé přesunuli svou pozornost.

Můj kolega Dr. Steven Soter shromáždil historické písemné záznamy publikované v různých zemích, které obsahují svědectví

očitých svědků jevů spojených s velkými zemětřeseními od starověku až po moderní dobu.<sup>5</sup> Zde uvedu zlomek některých zajímavějších, nicméně zcela reprezentativních příkladů. Ty pomohou osvětlit, proč lze zemětřesení v rámci teorie hlubinných zemských plynů nejlépe chápat jako zplyňovací jevy.

Zemětřesení v Řecku a Itálii jsou poměrně častá a v klasické řecké a římské literatuře se o nich objevuje mnoho zmínek. V té době byly sopky a zemětřesení jediným zdrojem informací o hlubších vrstvách země. To, co se nacházelo tam dole, si lidé představovali jako dosti děsivé, a už jen z tohoto důvodu tyto jevy přitahovaly velkou pozornost.

Aristoteles, jehož klasické spisy a autorita dominovaly výkladům přírodních jevů na Západě po 1800 let – někdy se správnými, jindy s nesprávnými teoriemi - poskytl první podrobnou diskusi o procesu zemětřesení. Podle něj teorii, že za zemětřesení jsou zodpovědné plyny ("vzduch"), poprvé navrhl Anaxagoras, který řekl, že "vzduch, jehož přirozený pohyb je vzhůru, způsobuje zemětřesení, když je uvězněn v prohlubních pod zemí". V roce 63 n. l. napsal Seneca přehled tehdejší literatury o zemětřeseních a zdůraznil, že "oblíbenou teorií většiny největších autorit je, že příčinou zemětřesení je pohybující se vzduch."

Proč starověcí lidé považovali za aktivní prvek zemětřesení vzduch (nebo plyn, jak bychom ho nazvali dnes)? Za prvé, předpokládali úzkou souvislost mezi seismickými a vulkanickými jevy. Domnívali se, že sopečné erupce, při nichž se zjevně vyskytuje plyn, poskytují odtok silám, které by jinak vyvolávaly zemětřesení. Přítomnost podzemního vzduchu byla ve starověku obecně přijímána. Například Seneca "nepochyboval o tom, že v podzemí se nachází velké množství vzduchu."

Navzdory mnoha nejasnostem ohledně působení podzemních plynů se zdá, že tato teorie má silný základ v pozorování. Staří lidé samozřejmě nemohli vědět, že "vzduch" vycházející z podzemí zahrnuje některé inertní plyny, které dnes nazýváme oxidem uhličitým, dusíkem a heliem, ale byli si dobře vědomi fyzikálních projevů výronů neviditelných par, jako jsou sedimenty vyvržené ze země vzhůru. Dávni lidé nemohli rozlišovat několik hořlavých

plynů, které dnes klasifikujeme jako metan, sirovočidík a vodík – některé z nich by při úniku rychlostí a za podmínek, které nejsou náchylné k hoření, způsobovaly také viditelné mlhy v atmosféře nebo mlhy podél země a také udušení zvířat. Staří lidé si však byli těchto fyzikálních projevů erupcí neviditelných par dobře vědomi a s hrůzou přihlíželi, jak se hořlavé plyny zapalují (jak dnes víme, zapalují se elektrostatickými jiskrami způsobenými třením rychle se pohybujících zrn o horninu).

Díky nahromaděným pozorováním, která se udržovala v lidové tradici a o nichž uvažovala tehdejší inteligence, staří lidé rozpoznali řadu jevů, které se zdály být dobrým varováním před blížícím se zemětřesením. V některých ohledech má folklór pro obyvatele oblastí ohrožených zemětřesením větší praktickou hodnotu než naše moderní věda. Pausaniás ve svém popisu Acháje poznamenal, že "v zimě teplota v oblasti, kde dojde k zemětřesení, náhle stoupne. V létě má tendenci tvořit se opar a slunce představuje neobvyklou barvu. Prameny vody zpravidla vysychají; po obloze šlehají velké plameny. . . . Kromě toho se pod zemí objevuje silné dunění větrů."

Vzestup teploty v zimě jako předzvěst zemětřesení byl zaznamenán v mnoha historických zprávách. Teorie úniku plynů vysvětluje tento nárůst tímto způsobem: Všechny plyny z pórového prostoru v mělkých vrstvách země jsou jako první vyloučeny na povrch; mají-li teplotu blízkou ročnímu průměru, jako v zemi v mělkých vrstvách, budou v zimě zpravidla teplejší než povrchová teplota. V létě je zemní plyn stále zjištělný, protože vynáší některé mikroskopické částice a také obohacený podíl oxidu uhličitého. Oxid uhličitý a další těžké plyny budou mít tendenci pokrývat půdu a prosakovat do údolí, čímž vznikne neobvyklá mlha. (V zimní mlze by převládala kondenzace vodních kapek, protože stoupající plyny jsou nasyceny vodní párou v době, kdy se dostanou do chladnějšího přízemního vzduchu.) Tyto jevy byly zaznamenány v průběhu historických dob a, jak uvidíme, přispěly k úspěšné evakuaci čínskému městu těsně před katastrofálním zemětřesením.

"Tohle je zemětřesné počasí," řekl místní průvodce ve východním Turecku vyděšenému americkému seismologovi, který navštívil tuto oblast ohroženou zemětřesením. Silné zemětřesení následovalo během několika hodin. Místní průvodce zjevně takovou zemětřesnou mlhu viděl už dříve a jeho schopnost

předpovědět blížící se zemětřesení byla lepší než schopnost sofistických přístrojů, které byly právě za tímto účelem nasazeny.

V římských dobách se mnoho spisovatelů zajímalo o zemětřesení a shromažďovalo zprávy o průvodních jevech. Plinius se ve svých Přírodních dějinách zabývá předzvěstí zemětřesení a uvádí, že jedním ze znaků blížícího se zemětřesení je, že "voda ve studních je kalnější a poněkud zapáchá". Dále spekuluje o tom, že jeskyně poskytovaly "odtok stísněného dechu" a že tam, kde jeskyně nebyly přirozenou výbavou krajiny, pomáhaly rozptýlit stoupající vzduch vybudované tunely. "Budovy prošpikované častými odvodňovacími kanály se méně otřásají," došel k závěru, stejně jako budovy "postavené nad klenbami".

Seneca si všiml, že před zemětřesením "je obvykle slyšet hukot větrů, které způsobují poruchy v podzemí". Dále poznamenal, že "často při zemětřesení, pokud se prolomí jen některá část země, vane odtud vítr po několik dní, jak se to stalo – podle zpráv - při zemětřesení, které postihlo Chalkidu". Senecu k napsání díla o zemětřeseních přiměl seismický otřes, který zničil Pompeje šestnáct let před ještě větší katastrofou, kterou byl výbuch Vesuvu. Uvádím zde jeden zvláštní detail, který Seneca nabídl a který bychom dnes vysvětlili tak, že byl způsoben stoupajícím proudem par bohatých na oxid uhličitý.

Řekl jsem, že v pompejské oblasti bylo zabito stádo stovek ovcí. ... Už samotné tamní ovzduší, které je stagnující, ... je škodlivé pro ty, kdo ho dýchají. Nebo když je zkažena jedem vnitřních ohňů a je poslána z dlouhého pobytu ven, poskvrní a znečistí toto čisté, průzračné ovzduší a nabídne nové druhy nemocí těm, kdo dýchají neznámý vzduch. ... Nedivím se, že ovce byly nakaženy – ovce, které mají choulostivou konstituci – tím víc, čím blíží nesly hlavu k zemi, protože vdechnutí zkaženého vzduchu přijímaly v blízkosti samotné země. Kdyby se vzduch dostal ven ve větším množství, mohl by ublížit i lidem, ale hojnost čistého vzduchu ho uhasila dřív, než se vznesl dostatečně vysoko na to, aby ho lidé mohli dýchat.

Seneca hledal vysvětlení pro sérii otřesů, které se objevily po zemětřesení v Pompejích a které byly cítit několik dní po celé Kampánii. Dospěl k závěru, že při první erupci nebyl vyvržen

všechn vzduch, ale že část se stále potuluje v podzemí, přestože větší část byla vyvržena.

Isaac Newton také zastával názor, že zemětřesení souvisí s plyny. Napsal, že "sirné proudy se hojně vyskytují v útrokách země a kvasí s minerály, někdy se vznítí s náhlým vzplanutím a explozí, a pokud jsou nahromaděny v podzemních jeskyních, roztrhnou jeskyně s velkým otřesem země, jako když vyvěrá důl". Za zmínku také stojí, že první vydání Encyclopaedia Britannica z roku 1771 obsahovalo toto heslo: "Zemětřesení: v přírodovědě prudké rozrušení nebo chvění nějaké značné části země, obvykle doprovázené strašlivým hlukem podobným hromu a někdy i výbuchem ohně, vody, větru. "

John Michell, vynikající vědec 18. století, významně přispěl k pochopení zemětřesení. Identifikoval typ zemětřesných poruch, které se skládají z pomalých vln podobných oceánským, které lze skutečně pozorovat při pohybu po povrchu země. Tyto "viditelné vlny" nelze vysvětlit v termínech elastického vlnového pohybu, který by byl mnohem rychlejší, a v moderních seismologických textech se o nich příliš nehovoří. Michell se pokusil vysvětlit vlny v termínech výronu páry, a to může být skutečně nejlepší vysvětlení. Co by se stalo, kdyby se výbuch vysokotlakého plynu z hloubky mnoha kilometrů, a tedy o tlaku tisíců atmosfér, náhle uvolnil trhlinami v podloží do oblasti pod relativně nepropustnou vrstvou půdy, která není dostatečně křehká na to, aby se v ní vytvořily trhliny? Michell to zdůvodnil následovně:

Předpokládejme, že velká látka nebo koberec (rozprostřený na podlaze) se na jednom okraji zvedne a pak se náhle spustí zpět na podlahu; vzduch pod ní se tímto způsobem pohybuje, dokud neunikne na opačné straně, přičemž se látka po celé cestě vlní. Podobně si lze představit, že velké množství páry zvedá zemi ve vlně, když prochází mezi vrstvami, které může snadno oddělit v horizontálním směru, protože mezi jednou vrstvou a druhou je... malá nebo žádná soudržnost. <sup>7</sup>

Důkazy o viditelných vlnách při četných zemětřeseních ve starověku i novověku jsou nezpochybnitelné. Tam, kde je zemětřesení cítit jak na obnažené základní hornině, tak na náplavové výplni, jsou viditelné vlny zaznamenány pouze na

náplavové výplni. Aluvium jsou tříděné a místy velmi jemné sedimenty usazené v záplavové oblasti velké řeky nebo v přílivových bahnitých náplavech. Jemnozrnny charakter vlhkých sedimentů snadno po určitou dobu zachycuje vztlínající plyny a pružnost bahnitého materiálu umožňuje značný posun, aniž by docházelo ke zlomům. V mnoha případech se zdá, že velké posuny těchto vln přes úseky naplavenin způsobily větší zkázu než prudké otřesy při zemětřesení. Je pravděpodobné, že pokrývka z aluviálních sedimentů je skutečně zvedána od základní horniny stoupajícími plyny, takže podléhá ohybovým gravitačním vlnám, stejně jako koberec v Michellově příkladu.

Michellova pozornost se zaměřila na zemětřesení v důsledku katastrofálního zemětřesení, které zasáhlo Lisabon v roce 1755, a čerpal z mnoha svědectví očitých svědků, která se zdají spojovat tato zemětřesení s plynem. Píše o plamenech ze země a zvláštní mlze, která lisabonské zemětřesení doprovázela. Michell také popisuje průvodní jevy na Jamajce a v Nové Anglii, k nimž došlo dva nebo tři dny před zemětřesením; voda ve studnách se zakalila a získala sirný zápach.

Přesuneme-li se do devatenáctého století, zmíním se o silném zemětřesení, které zasáhlo část Spojených států a pro které konvenční teorie nenabízí žádné dobré vysvětlení. Toto zemětřesení bylo ve skutečnosti jedním ze série velkých a mnoha menších zemětřesení, k nimž došlo během několika měsíců v zimě 1811-1812. Místem bylo město New Madrid na západním břehu řeky Mississippi v jihovýchodním cípu státu Missouri. Z hlediska teorie vzestupné tvorby uhlí (a bažin) představené v kapitole 5 je významné, že velká část tamních poruch se projevila v oblasti známé jako bažiny svatého Františka. Povrchové jevy, které toto zemětřesení doprovázely, byly podrobně popsány ve výroční zprávě Smithsonianova institutu z roku 1858.

16. prosince 1811 ve dvě hodiny ráno probudil obyvatele Nového Madridu ze spánku hluboký hukot, který se podobal mnoha hromům v dálce, doprovázený prudkým vibračním nebo kmitavým pohybem země od jihozápadu k severovýchodu, který byl chvílemi tak silný, že se muži, ženy a děti chytali nejbližších předmětů, aby nespádli na zem.

Bylo nebezpečné zůstat v jejich příbytcích, protože se báli, že by se mohly zřítit a pohřbít je ve svých troskách; bylo nebezpečné pobývat pod širým nebem, protože velké stromy se pod náporem otřesů lámaly a neustále padaly k zemi, nebo se země sama otevírala v temných, zejících propastech či trhlinách a chrtila bahnitou vodu, velké kusy modré hlíny, uhlí a písku, a když nápor otřesů skončil, sténala a spala a znovu nabírala sílu k prudšímu rozruchu.

V tento den bylo napočítáno dvacet osm výrazných otřesů, které přicházely od jihozápadu a přecházely na severovýchod, zatímco trhliny probíhaly v opačném směru nebo od severozápadu k jihovýchodu.

[Řeka Pemiseo] tekla jihovýchodním směrem a pravděpodobně byla buď přítokem svatého Františka, nebo se ztrácela v těchto bažinách. Tato řeka vybuchla na vzdálenost téměř padesáti mil, její koryto bylo zcela zničeno. . . . Země se při těchto explozích otevírala v trhlinách o délce čtyřiceti až osmdesáti prutů [660 až 1320 stop] a šířce tří až pěti stop; jejich hloubku nikdo neznal, protože nikdo neměl dost pevné nervy, aby je prohlédl, a písek a zemina se sesouvaly nebo do nich vtékala voda a brzy je částečně zasypaly.

Velké lesní stromy, které stály v trase těchto propastí, se rozpadaly od kořenů k větvím, měnila se koryta potoků, dna jezer se vytlačovala zesponu a vytvářela souš, souš se zvedala, usazovala a vytvářela jezera s tmavou, kalnou vodou.

Tam, kde jeden den vedla vyšlapaná cesta, se druhý den mohla nacházet nějaká velká puklina, která ji protínala a byla zcela naplněná bahnitou, mdlou vodou.

Cestovat po setmění bylo nebezpečné, protože nikdo nevěděl, jak se může za hodinu změnit tvář krajiny, a přesto panovala taková hrůza, že muži, ženy i děti prchali na vysočinu, aby je nepohltil jeden společný hrob. Jedna rodina, která se snažila dostat na vysočinu po cestě, kterou všichni dobře znali, se nečekaně dostala na hranice rozsáhlého jezera; země se propadla a voda se přes ni přelila nebo vytryskla ze země a vytvořila nové jezero. Byli přesvědčeni, že protější břeh nemůže být daleko, a tak cestovali dál ve vlažné vodě o hloubce od dvanácti do čtyřiceti palců, teplotě 100 stupňů nebo více než teplota krve, místy tak teplé, že to bylo nepříjemné, na vzdálenost čtyř nebo pěti mil a bezpečně dorazili na vysočinu.

Dne 8. února 1812, kdy došlo k nejsilnějším otřesům, se zdálo, že se otřesy šíří ve vlnách jako mořské vlny, a v Novém Madridu shodily cihlové komíny v úrovni země a dvě cihlová obydlí, a přesto se předpokládalo, že při všech ničivých účincích přišel při těchto otřesech o život pouze jeden člověk. Rodina jménem Curran se stěhovala z Nového Madridu do starého francouzského města na řece Arkansas, zvaného Port; projížděla bažinami svatého Františka a zjistila, že se jim ztratilo několik kusů dobytka; Le Roy, nejmladší syn, si vzal indiánského poníka, jel zpátky, aby je ulovil, a když

došlo k prvnímu otřesu, byl v bažinách, pak už ho nikdo neviděl a předpokládalo se, že se ztratil v některé z těch strašlivých propastí.

Zpráva Smithsonian o zemětřesení v Novém Madridu také popisuje některé zajímavé jevy (včetně prekurzorů), které nepochybně souvisejí s emanací plynu.

Ráno po prvním šoku, když někteří muži přecházeli přes Mississippi, spatřili na řece plavat černou hmotu v pruzích o šířce čtyř nebo pěti prutů [66-82 stop] a délce dvanácti nebo čtrnácti prutů [198-231 stop], která připomínala saze z nějakého obrovského komína nebo škváru z obrovských kamen. Byla tak hustá, že pod ní nebylo vidět vodu. Na kentucké straně řeky se do Mississippi vlévají dva malé potoky, jeden se jmenuje Obine a druhý Rozvětvený jelen. Poručík Robinson, náborový důstojník armády Spojených států, navštívil v roce 1812 část Kentucky ležící mezi těmito dvěma řekami a uvádí, že našel nespočet malých mohyl vyvržených do země, a kde přes tyto mohyly ležel klacek nebo zlomená větev stromu, byly všechny spálené na dva kusy, což lidem dokazovalo, že tyto nepokoje byly způsobeny nějakým vnitřním působením ohně.

Asi čtyři míle nad Paducou, na řece Ohio, na illinoiské straně, na dubové pláni, se propadnutím země vytvořila velká kruhová kotlina o průměru více než sto stop, jejíž hloubku nikdo nedokáže určit, protože vzrostlé duby klesly pod vrcholky nejvyšších stromů. Propadlina se naplnila vodou a trvá tak dodnes.

Ještě dnes, téměř o dvě století později, jsou některé z těchto kopců a propadlin stále patrné. Nejnápadnější je prvek zvaný "písečné výduchy", což jsou trychtýřovité prohlubně v naplaveninách, kam byl vyfoukán a vyvržen písek pod zeminami a hlínami (obrázek 8.1). Znepokojující je, že v oblasti se nacházejí další písečné jizvy, jejichž současná vegetace naznačuje, že tyto jizvy vznikly asi o tři sta let dříve. Novomadridské zemětřesení zaznamenané v historii tedy nebylo první. Co může přinést budoucnost?

Když se přesuneme do dvacátého století, zjistíme, že o velkém zemětřesení v San Francisku v roce 1906 a o mnoha dalších zemětřeseních bylo podáno mnoho fascinujících (a nepochybně věrohodných) zpráv očitých svědků, zejména v populárním tisku, a že tyto zprávy obsahují popis stejných jevů souvisejících s plynem. Mezi nejzajímavější patří zpráva o zemětřesení, které v roce 1975



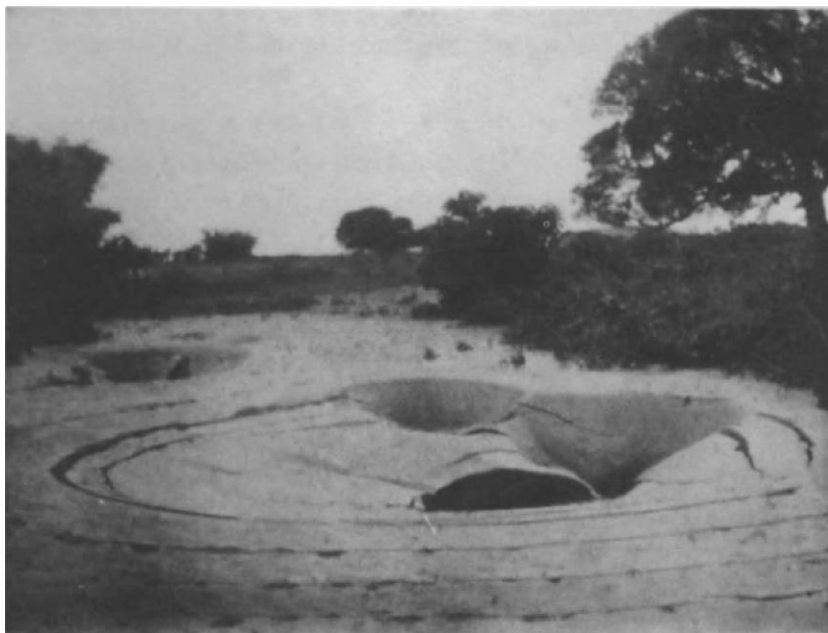
zpusťošilo oblast Chaj-čcheng v severovýchodní Číně. Tento příběh je obzvláště fascinující, protože Chaj-čcheng byl úspěšně evakuován dvě hodiny předtím, než zemětřesení o síle 7,3 stupně udeřilo. Jak se to dalo předpovědět?

Meteorologická stanice provincie Liao-ling oznámila, že v týdnech předcházejících tomuto zemětřesení byla teplota vzduchu v okolí zlomu Chaj-čcheng vyšší než v okolní oblasti. Tento rozdíl se zvyšoval stále rychleji až do dne před zemětřesením, kdy rozdíl dosáhl plného 10<sup>0</sup>C. Podle zprávy podané meteorologickou stanicí,

Měsíc před zemětřesením se v oblastech Tantung a Liao-jang objevil plyn s neobvyklým zápachem. Lidé ho označovali jako "zemní plyn". . . jeden člověk kvůli němu omdlel. . . Mnoho oblastí bylo těsně před zemětřesením zahaleno zvláštní mlhou (lidé ji označovali jako "mlhu zemního plynu"). Výška mlhy byla pouhé dva až tři metry. Byla velmi hustá, bílé a černé barvy, nestejněměrná, vrstevnatá a měla také zvláštní zápach. Začala se objevovat jednu až dvě hodiny před zemětřesením a byla tak hustá, že zakrývala hvězdy. Po zemětřesení se rychle rozptýlila. Oblast, kde se tato "mlha zemního plynu" objevila, souvisela s oblastí zlomu, který byl za zemětřesení zodpovědný.<sup>8</sup>

Tyto kvalitativní jevy spolu s údaji o teplotě zaznamenanými na meteorologickém stanovišti byly zřejmě brány natolik vážně, že ještě před zemětřesením byla vyhlášena evakuace.

"Mlha zemního plynu", která proudí dostatečně rychle a za podmínek nepříznivých pro míchání, může zabíjet. V roce 1986 se oblak plynu



Obrázek 8.1 Písečné vývěry (výduchy) podobné těm v New Madridu byly pozorovány v místech několika dalších silných zemětřesení. Na tomto snímku je takový výduch v místě silného zemětřesení v Indii 12. června 1897. Autor fotografie: R. D. Oldham.

(předpokládá se, že se jedná převážně o oxid uhličitý) vynořil z jezera Nyos, sopečného jezera v Kamerunu v západní Africe. Na následky udušení zemřelo přibližně 1700 lidí a 3000 kusů dobytka. Údaje o izotopech helia prokázaly, že plyn vyvěral z hloubky pláště.<sup>9</sup> O tři roky později testy ukázaly, že jezero obnovuje zásoby oxidu uhličitého. Je pravděpodobné, že někdy v budoucnu dojde k další katastrofě.

Výrony plynů ze země, k nimž dochází těsně před zemětřesením, mohou být příliš slabé na to, aby je člověk vnímal, ale zvířata si jich mohou všimnout buď čichem, nebo když dusivé plyny zaplní podzemní nory. Podivné chování zvířat je součástí mnoha zpráv o prekurzorových událostech. Snad nejstarší popis se týká zemětřesení, které zničilo řecká města Helika a Bura na jižním pobřeží Korintského zálivu v zimě v letech 374-73 př. n. l. Římský spisovatel Aelian (asi 200 n. l.) ve své knize O vlastnostech zvířat vypráví následující pozoruhodný příběh:

Pět dní předtím, než Helike zmizela, odešly všechny myši, kuny, hadi, stonožky a brouci a všichni ostatní tvorové tohoto druhu z města v jednom kuse k silnici vedoucí do Karynea. A lidé z Helike, když to viděli, byli plni úžasu, ale nedokázali uhodnout důvod. Ale poté, co výše zmíněné bytosti odešly, nastalo v noci zemětřesení, město se zhroutilo, zalila ho obrovská vlna a Helike zmizela.

Aelianův poněkud svérázný popis organizovaného exodu městské havěti je nepochybně nadsázkou. Koneckonců psal téměř šest století po popisovaných událostech, což bylo více než dost času na to, aby příběh získal příkrasy lidové pověsti. Přesto se domnívám, že tento příběh nebyl jen tak vymyšlený. Spíše se zdá pravděpodobné, že na obyvatele Heliky zapůsobilo nějaké velmi neobvyklé vyrušení pozemských tvorů ještě předtím, než zemětřesení a tsunami zničily jejich město. Dnes známe stovky svědectví o tom, že se zvířata před zemětřesením chovala podobným způsobem. Tyto zprávy pocházejí z časově i prostorově tak vzdálených zdrojů, jako je starověké Řecko a moderní Čína.

Nedávným příkladem je vyprávění očitého svědka katastrofálního zemětřesení v Tchang-šanu (Čína) v červenci 1976. Autor vyprávění a jeho společníci byli všichni intelektuálové v rámci "převýchovného programu" na státní farmě u Tchang-šanu. Podivné chování zvířat se odehrálo kolem půlnoci, tedy asi čtyři hodiny před zemětřesením.

Vyprávěli jsme si na ubytovně, když se z velké koleje naproti naší vyřítily stovky krys. Hnaly se sem a tam, mnohé se vyškrábaly pět nebo šest metrů po stěnách, dokud neztratily kontrolu. Mohli jsme se jen dívat, dokud nakonec nezmizely ve tmě. Zatímco jsme nad tím v úžasu přemýšleli, k našim uším dolehl zvuk tisíců vzrušených slepic a kohoutů. Nedaleko byla drůbežárna, ale nikdo si nevzpomínal, že by někdy v noci slyšel kokrhat kohouty. Nikdo z nás netušil, že toto podivné chování zvířat předpovídá příchod zemětřesení.<sup>10</sup>

Ačkoli byli plni úžasu, stejně jako lidé v Helike před třidvaceti stoletími, tchangšanský svědek a jeho společníci se zřejmě ve folklóru příliš nevyznali. Šli spát a o několik hodin později někteří

z nich zahynuli, když se jejich ložnice zřítily. V regionu zahynulo více než 200 000 lidí.

## Místa zemětřesení a zemní valy

Některá místa se v historii nevyznačují silnými zemětřeseními, ale stále nízkou úrovní zemětřesné aktivity. Tato zemětřesná místa vykazují povrchové rysy a předzvěsti, které silně podporují teorii zemětřesení v podobě stoupajícího plynu.

Na severu Norska se nachází zemětřesné místo o průměru asi 12 kilometrů, kde by návštěvníci mohli mít po dlouhou dobu téměř jistotu, že zažijí alespoň jeden otřes denně. Tyto otřesy byly slabé, lidskými smysly sotva postřehnutelné. Nebylo je však možné vysvětlit obvyklým způsobem. Nebyla zde žádná zlomová linie, které by se dalo přičíst sesouvání půdy. Země se prostě stále třásla. Velmi podobný příběh pochází ze dvou míst ve Spojených státech. Jedno zemětřesné místo aktivní v posledních letech se nachází na západním cípu jezera Flathead v Montaně. Druhé, které je aktivní již nejméně osmdesát let, se nachází ve městě Enola v Arkansasu.

Zemětřesné ostrůvky nelze vysvětlit obvyklým způsobem; je zřejmé, že nevznikají v důsledku vzájemného posouvání desek. Zemětřesné skvrny jsou vzdálené od aktivních tektonických struktur. V jejich blízkosti se nenacházejí žádné propadající se desky oceánského dna ani klouzající kontinentální bloky. Zemětřesná aktivita je navíc omezena na malé oblasti. Jedná se o izolovaná místa, nikoli o rozsáhlé oblasti zemětřesení.

Domnívám se, že zemětřesné skvrny lze nejlépe vysvětlit – vlastně jediné - pomocí teorie vzlínajícího plynu. Vzestupné proudy lehkých uhlovodíků, zejména metanu, spolu s přidruženými plyny, jako je oxid uhličitý, si razí cestu vzhůru z velkých hloubek a způsobují opakované otevírání a zavírání trhlin v hornině, které značí průchod těchto tekutin pod tlakem. K tomuto závěru mě přiměly empirické i teoretické úvahy.

Další severoamerické zemětřesné místo se nachází na severním břehu řeky svatého Vavřince, v oblasti dopadu meteoritů zvané Charlevoix. Asi před 350 miliony let zde dopadl velký meteorit a vytvořil kruh přibližně stejné velikosti (a stáří) jako Siljanský

prstenec ve Švédsku. Stejně jako v případě Siljanu dopadl meteorit do oblasti starobylých žulových hornin; Charlevoix se nachází v geologické provincii známé jako Kanadský štít. V Charlevoix dochází každých několik dní k otřesům, které lze cítit, a velmi často jsou registrována mikrootřesy. Blízkost zlomových linií, včetně hlavní zlomové linie řeky svatého Vavřince, v tomto případě poněkud komplikuje diskusi, protože zemětřesení lze přičítat spíše sklouzávání horniny podél zlomu (než, jak naznačuji, emanaci plynu, který si razí cestu vzhůru skrze zlom). Nicméně koncentrace seismické aktivity v rámci impaktní struktury je zcela zřejmá.

Charlevoix jsem navštívil několikrát počínaje rokem 1988 - ne kvůli častým a anomálním zemětřesením v Charlevoix, ale proto, že toto impaktní místo bylo prakticky dvojnásobkem švédského Siljanského prstence, který byl středem mé pozornosti po dobu předchozích pěti let.



Obrázek 8.2 Zemní valy na golfovém hřišti v Charlevoix v Kanadě.

let (viz kapitola 6). Při své první návštěvě jsem zjistil, že obě lokality mají společný zajímavý rys: zemní valy. V Charlevoix se z náplavové roviny prudce zvedají shluky zaoblených kopců se strmými svahy. Tyto mohyly mají výšku od 2 do 15 metrů a

horizontální rozměry až kolem 70 metrů. Jsou tvořeny z vnitřní strany pouze hlínou a pískem z místních náplavů a jejich vznik nebyl dosud uspokojivě vysvětlen.<sup>11</sup>

Dva roky před mou návštěvou Charlevoix byl svědkem stejného zemského útvaru Marshall Held, výzkumný pracovník mého oddělení na Cornellu. V roce 1986 navštívil místo zemětřesení poblíž města Enola v Arkansasu a pronajal si letadlo, aby oblast prozkoumal shora. Ke svému úžasu spatřil (a vyfotografoval) hustý shluk valů na jinak hladké náplavové rovině. Byla by to podivná shoda okolností, kdyby zemětřesení a mohyly byly nesouvisejícími jevy, a přesto se vyskytovaly společně na ploše pouhých několika kilometrů v Enole, Charlevoixu a dalších místech zemětřesení.

Metan vycházející z těchto kopců podporuje teorii, že přinejmenším v těchto případech jsou příčinou přetrvávajících otřesů výrony stoupajících plynů. Mohyly v Charlevoix musely vzniknout v období mezi koncem poslední doby ledové (ledovce by seškrábaly všechny mohyly) a vznikem golfového hřiště. Ve skutečnosti mohou být představiteli větších útvarů – bahenních sopek (o nichž jsme hovořili dříve) - které rovněž silně souvisejí se zemětřesnou aktivitou.

Kopce v místech zemětřesení v Charlevoix a Enole mohly vzniknout podobným způsobem jako bahenní sopky, jen v menším měřítku. Některé z nich mají na vrcholu viditelné díry a v některých případech jsou důkazy, že se půda v nedávné době deformovala: Stromy rostoucí po stranách mohyl se všechny naklánějí směrem ven od svislé osy. Na rozdíl od bahenních sopek tvar těchto zemních valů naznačuje, že sedimenty mohly být na místo vybouleny zesponu, nikoliv vyvrženy nahoře. V obou případech by nejpravděpodobnější příčinou byly vztlínající plyny, zejména s ohledem na současné průsaky plynů.

## Vztlínající hlubinný plyn jako příčina zemětřesení

Podle západního vědeckého názoru jsou zemětřesení způsobena stejným druhem tektonického napětí, které v průběhu času pravděpodobně promíchalo obrovské bloky

kontinentálních a oceánských desek. Tento předpoklad spolu s upřednostňováním údajů shromážděných přesnými a neosobními seismografy znamená, že výpovědi očitých svědků, jako jsou ty, které jsme citovali výše, jsou pro západní vědce obvykle málo zajímavé a o jejich existenci mnoho seismologů ani neví. V Číně, Japonsku a Sovětském svazu je však plynovým jevům věnována mnohem větší pozornost. V Japonsku dokonce existuje tzv. laboratoř zemětřesné chemie. "Spojené státy jsou v této oblasti daleko pozadu, ne proto, že by jim chyběla technologie, ale proto, že před časem špatně odbočily a nejsou otevřeny změně kurzu.

Obyvatelé oblastí ohrožených zemětřesením však jistě budou mít větší zájem na včasném varování než na tom, aby se postavili na stranu vědeckého sporu. Pozorování aktivity podpovrchových plynů – jako jsou změny hladiny podzemní vody ve studních a změny složení nebo tlaku plynu nad hladinou podzemní vody – jsou jednoduchá a poměrně levná a lze je získat objektivně. Podle mého názoru je nejvyšší čas, aby Kalifornie a oblast střední Mississippi získaly v této oblasti znalosti a zkušenosti, které umožní smysluplné předpovědi. Přístroje obsluhované vědci by měly být jedním aspektem systému včasného varování; dalším aspektem by mělo být vzdělávání veřejnosti v oblasti zemětřesení a síť hlášení. Obě tyto složky by společně zajistily co nejširší pokrytí pro pozorování mnoha jevů – kvantitativních i kvantitativních -, které mohou být relevantní pro předpovědi.

Otázky veřejné bezpečnosti jsou příliš důležité na to, aby se výzkum omezil pouze na jedno ze dvou rozumných vysvětlujících paradigmat. Domnívám se, že se časem ukáže, že *oba pohledy jsou relevantní*. Stará teorie (kterou chci vzkřísit), že zemětřesení jsou způsobena pohybem a výrony plynů, se může spojit s moderní teorií pohybů bloků zemské kůry. Společně by poskytly mnohem lepší vysvětlení všech jevů než každá z těchto teorií samostatně.

Zemětřesení lze tedy nejlépe chápat jako kombinaci napětí v horninách a proudění tekutin.<sup>12</sup> K nárůstu napětí v různých horninách by docházelo nerovnoměrně na různých místech a v různých hloubkách. Samotná teorie deformace však nemůže vysvětlit všechna zemětřesení, zejména ta, která se vyskytují ve velkých hloubkách. Horniny v hloubkách větších než asi 60

kilometrů tečou plasticly, místo aby se při překročení kritického napětí náhle zlomily. Vnitřní tření odporující smykovému proudění je větší než jakákoli mechanická pevnost. Přesto je známo, že k zemětřesením dochází v hloubkách až 700 kilometrů, hluboko v plášti. Nedávno bylo zaznamenáno zemětřesení (8. června 1994) o síle 8,2 stupně Richterovy stupnice, které vycházelo z hloubky 600 kilometrů pod Bolívií. Je zřejmé, že tam dole musí probíhat jiný proces než pouhé stříhání desek. Nalezení příčiny tohoto procesu může být klíčem k pochopení všech zemětřesení.

Podle mého názoru může být za zrušení vnitřního tření v hloubce zodpovědná pouze přítomnost a rychlé proudění velkého množství plynu.

V mělkých vrstvách dochází k invazi plynů zesponu, které podporují a otevírají trhliny, čímž prudce oslabují křehkou horninu. S klesající pevností dosáhne hornina bodu selhání a dojde k zemětřesení. Stejná masa tekutiny může při svém pohybu vzhůru nadále vyvolávat zemětřesení, protože vrstva za vrstvou naráží na méně propustnou horninu, kterou ovlivňuje a následně porušuje. Zemětřesení tedy nevyvolává zvýšení napětí v oblasti, ale spíše náhlý pokles pevnosti horniny.

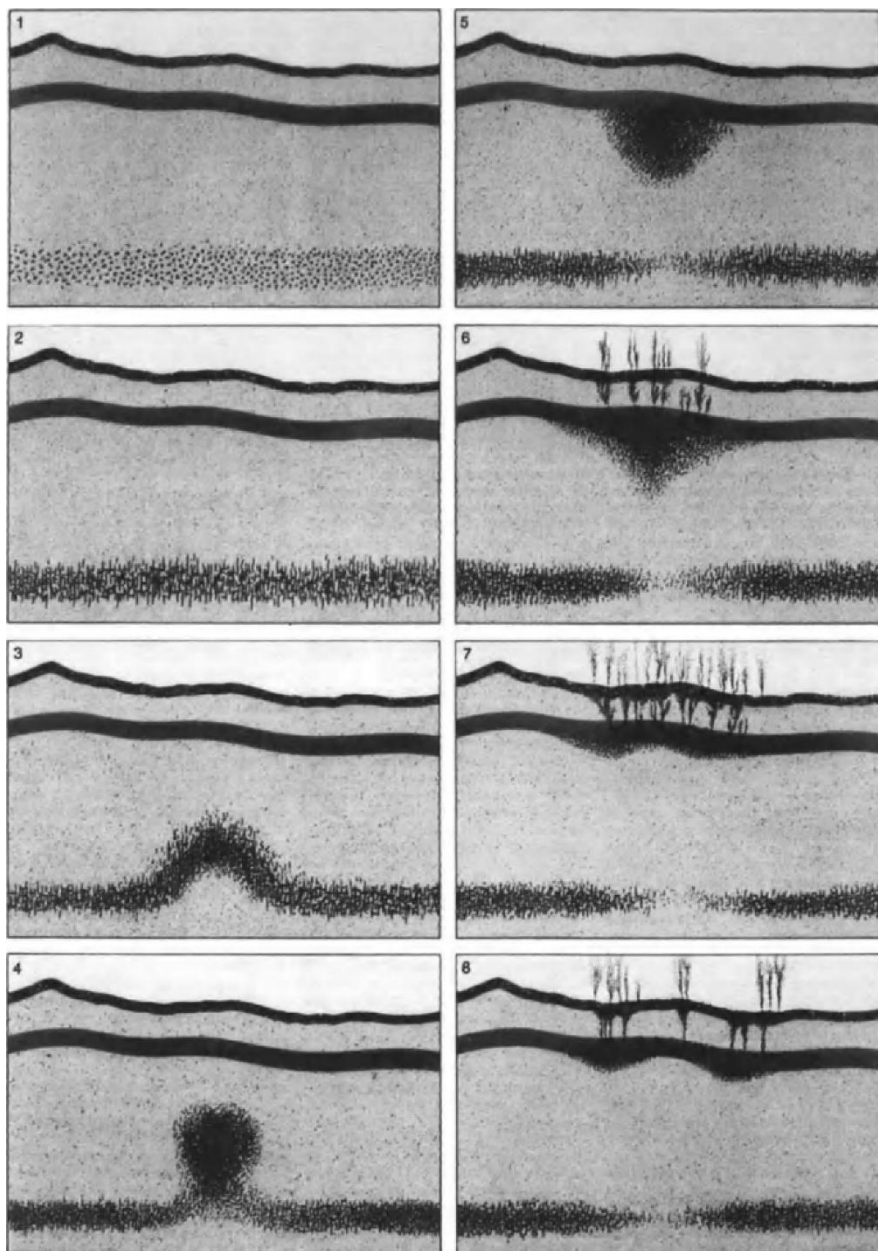
Není tedy překvapivé, že měřením deformace před velkým zemětřesením lze nalézt jen málo důkazů. V té době se v napěťovém poli nestalo nic pozoruhodného kromě nafouknutí pórových prostor. Vydutí povrchu směrem vzhůru by mohlo být měřitelné, ale vydutí je obtížné pozorovat s výjimkou mořského pobřeží (kde bylo skutečně někdy zaznamenáno jako předzvěst) nebo v nedávné době pomocí globálního polohového systému. Takové nafouknutí může způsobit velmi malou horizontální deformaci na povrchu nebo v jeho blízkosti, kterou by bylo možné zjistit na tenzometrech. Pokud jsou nafouknuté oblasti velké, ani pozorování náklonu mnoho nenabídnou. Na druhé straně mohou být jevy přímo související s plynem jasně patrné v celé oblasti, pod kterou se plyn rozprostřel.

Co přesně bychom měli hledat? Prvním důkazem, který lze pozorovat, je únik plynu, který je hnán malými póry z většího množství plynu v podloží. V mělkých vrstvách by to mohly



signalizovat poruchy podzemní vody a následné změny elektrických proudů, které tato podzemní voda přenáší, a také změny ve složení plynu, protože se do něj dostávají složky z hlubších vrstev. Mohou vznikat neobvyklé zvuky. Může dojít i k měřitelným změnám seismických rychlostí, protože se zvětšuje počet a velikost pórů, a hornina se tak stává stlačitelnější. A ano, měli bychom dávat pozor na nevyzpytatelné chování našich společenských zvířat, jejichž nosy jsou citlivější než naše, a zvířat, která žijí v norách a tunelech pod povrchem, kde se složení plynů

může náhle změnit a stát se nevhodným pro život zvířat (obrázek 8.3).



Obrázek 8.3 Vzestupné proudění tekutin jako příčina zemětřesení. Fluidy uvolněné z původních zásob zemských plynů, včetně uhlovodíků v hloubce možná až 150 km, vytvářejí v okolní matici horkých hornin pórové prostory (1). Protože hornina v takových

hloubkách je dostatečně horká na to, aby se plasticky deformovala, pórové prostory se rozšiřují, často postupně a bez toho, aby vyvolaly otřesy zemětřesení, (2). ale nestabilita lehkých kapalin v hustších horninách se neuvolní (3, 4) a kapaliny jsou hnány dále vzhůru. V mělkých úrovních, kde je hornina tvrdší a již není plastická (tmavý pruh na obrázku 5), způsobují kapaliny křehké porušení horniny. Malé trhliny vyvolané tlakem tekutin se vyvíjejí a rostou, čímž horninu oslabují. S klesající pevností hornina nakonec dosáhne bodu selhání, což způsobí zemětřesení. Bezprostřední příčinou zemětřesení nebyl žádný kritický nárůst napětí v hornině, ale rychlé oslabení pevnosti horniny, které zemětřesení iniciovalo (7). Plyn, který je přítomen v širší oblasti kolem epicentra a který v době události neunikl, pokračuje v oslabování dalších hornin, dokud i ony nepovolí. To vysvětluje obvyklé rozšiřování oblasti následných otřesů. ZDROJ: Podle Thomase Golda a Stevena Sotera, 1980. "The deep-earth gas hypothesis", Scientific American 242: 154-61.

Zlepšení metod předpovídání zemětřesení je tedy jedním z přínosů, které nám může přinést teorie vzniku zemětřesení založená na vztlínání plynu. Nemůžeme však očekávat, že tato teorie vzbudí mezi odborníky na zemětřesení velkou pozornost, dokud se teorie hlubinného zemního plynu nezačne širěji používat.

Jak bylo uvedeno v kapitole 7, teorie hlubinného zemského plynu a možná i její průvodní teorie hlubinné horké biosféry mohou otevřít nové cesty k pochopení toho, jak vznikají ložiska cenných nerostů. V předchozích kapitolách byly představeny hluboké změny v ropné geologii, které by si takové nové paradigma vyžádalo, spolu s hlubokými změnami, které by si vyžádalo naše chápání života v Zemi. Závěrečné dvě kapitoly se budou zabývat spekulativnějšími důsledky těchto dvou teorií. Jak by mohly perspektivy hlubinného zemního plynu a hlubinné horké biosféry změnit náš vědecký pohled na vznik pozemského života? A co tyto dvě propojené teorie znamenají pro naši šanci setkat se s životem jinde ve sluneční soustavě?

## Kapitola 9 Vznik života

Na Zemi existuje ne jedna, ale dvě velké sféry života: povrchový život živený fotosyntézou, který všichni dobře známe, a hlubinný život živený chemickou energií, která pronikla zdola nahoru. Obyvatele a dosah hlubinné říše jsme teprve začali zkoumat. Mám podezření, že dokud nebudou mikrobi vytaženi z hlubin vnímáni jako zástupci zcela svébytné biosféry, a ne jako izolované a důmyslné adaptace povrchového života posouvající hranice obyvatelnosti, zůstane výzkum hlubinného života řídký a do značné míry nepovšimnutý. Pokud však dojde ke změně pohledu na věc, skutečná exploze nových myšlenek jistě pronikne do dvou nejspekulativnějších a zároveň filozoficky nejzajímavějších otázek vědy: vzniku života a vyhlídek na mimozemský život.

Podrobná chemická analýza ukazuje, že projevy života v povrchové a hlubinné říši mají téměř jistě společný původ, protože oba mají stejný genetický systém. Zda je společný genetický systém způsoben společnou panspermií – přenosem biologického materiálu z jiných astronomických těles na Zemi – nebo zda život vznikl v jedné z obou říší na této planetě a poté se vyvinuly adaptace, které mu umožnily osídlit druhou, zatím s jistotou nevíme.

Pokud byl původ pozemského života skutečně pozemský, pak bychom chtěli určit, ve které z těchto dvou říší vznikl. Jednou z možností, jak začít

toto šetření je hledání závislostí mezi oběma sférami. Kontakt mezi povrchem a hlubinami jistě existoval, ale kontakt je něco zcela jiného než závislost. Pokud najdeme důkazy o takové závislosti jedné sféry na druhé, ale ne o jejich spoluzávislosti, budeme mít silné argumenty pro tvrzení, že život vznikl v nezávislé sféře a později se rozšířil do závislé sféry. Pokud však žádnou výraznou závislost nenajdeme, pak musíme hledat nějaké jiné úvahy, které by mohly naznačit, jakým směrem se evoluce ubírala.

O povaze této poslušnosti ani o vzájemném vztahu těchto dvou sfér v průběhu času (zatím) neexistují žádné důkazy. V současné době mohou být na sobě v podstatě nezávislé. Pokud by například zmizel veškerý fotosyntetický povrchový život, hluboký podpovrchový život by mohl pokračovat v podstatě jako dříve. Podobně, pokud by z nějakého důvodu zanikl hlubinný život, neznáme důvod, proč by to mělo mít velký vliv na fotosyntetický povrchový život – alespoň v krátkodobém horizontu. (Z dlouhodobého hlediska by to mohlo mít význam, protože mezi mikrobiálním životem v hloubce a životem na povrchu může občas docházet k prospěšné výměně genetického materiálu.)

## Obyvatelnost povrchových a podpovrchových oblastí

Plodným způsobem, jak přistoupit k otázce vzniku života, je porovnat obyvatelnost obou oblastí. Život na povrchu, který známe, je nesmírně bohatý díky velkému množství energie, kterou Slunce poskytlo fotosyntetizujícím mikrobům a o eony později fotosyntetizujícím řasám a suchozemským rostlinám. Tyto organismy vyvinuly důmyslný aparát pro přeměnu sluneční energie na chemické formy, na nichž jsou pak závislé ony samy i zbytek potravního řetězce povrchové biosféry. Fotosyntetizující organismy se přizpůsobily nedostatku energie během noci a během sezónně se prodlužujících nocí ve vysokých zeměpisných šířkách. Čas od času se povrchový život musí vypořádat s mnohem závažnějším problémem: blokadou slunečního světla po dobu několika měsíců i déle v důsledku silných

sopečných erupcí a občasných dopadů velkých asteroidů. Mikrobi mohou tyto katastrofy přečkat v klidovém stavu, ale globální populace makroflóry a fauny mohou být těmito událostmi vážně ohroženy, což může vést k rozsáhlému vymírání.

Hrozí stejné riziko změny a zablokování i u zdrojů energie, které podporují hlubokou horkou biosféru? Nevíme, jak stálé a dlouhodobé jsou vzestupné proudy uhlovodíků v nějakém konkrétním místě, ale předpokládám, že po miliony let budou mít velkou stálost. Je nepravděpodobné, že by jakékoli narušení ovlivnilo celou podpovrchovou sféru planety najednou. Navíc vzhledem k tomu, že hlubinná biosféra (s výjimkou života v hraničních oblastech, jako jsou oceánské průduchy) je výhradně mikrobiální, nemusí být dlouhá vynucená období klidu žádnou velkou výzvou. Pak také dopady velkých asteroidů mohly zdevastovat povrch, zejména před 3,8 miliardami let. Takové dopady však mohly ve skutečnosti prospět podpovrchové biosféře tím, že otevřely nové pukliny, jimiž se dostávaly na povrch uhlovodíky, a umožnily tak rozkvet mikrobiálního života.

Jaké je srovnání teplotních podmínek pro život v obou říších? Jak bylo vysvětleno v kapitole 2, mikroby v hloubce snadno snášejí teploty, při kterých by se voda na povrchu Země uvařila, protože vysoký tlak výrazně zvyšuje bod varu vody. Kapalná voda je tedy v hloubce dostupná v širším rozsahu teplot než na povrchu Země. S výjimkou oblastí aktivního vulkanismu se teplotní gradient v podpovrchových vrstvách Země v dané hloubce drží na stejné úrovni; pod povrchem neexistuje žádné "počasí", ani ledovcové epizody či vroucí voda. To je v ostrém kontrastu s podmínkami na povrchu – zejména na pevnině – kde může docházet k obrovským teplotním změnám, a to sezónně i denně. Aby povrch zůstal obyvatelný po dlouhou dobu geologického vývoje, musely se teploty pohybovat v úzkém pásmu, které umožňuje, aby voda zůstala tekutá při tlaku, který nabízí zemská atmosféra.

Velkou výhodou pro život v hloubce je ochrana hornin před ostrým ionizujícím zářením ze Slunce i z vesmíru. My, povrchoví tvorové, máme tendenci zapomínat, že povrchový život si vyvinul ochranné povlaky a pigmenty, které chrání před škodlivým slunečním zářením, a také jako opravné mechanismy DNA, které napravují škody způsobené slunečním a kosmickým zářením, jimž se nelze zcela vyhnout.

Žádná z těchto adaptací však nebyla k dispozici prvním formám života – prvním pokusům o buněčný život. Naproti tomu podpovrchové podmínky nabízejí mnohem přívětivější situaci. V hloubce není třeba, aby se složité molekuly bránily proti záření, které bombarduje povrch. Je pravda, že tvrdé ionizující záření by existovalo i pod povrchem v důsledku radioaktivního rozpadu draslíku, uranu a thoria. Toto záření by však horniny dusilo v mnohem menší míře, než je tomu na povrchu, a záření by se udržovalo po dlouhou dobu.

A konečně nejdůležitějším rozdílem mezi hlubokou horkou biosférou a povrchovou biosférou jako sférami pro vznik života je množství prvotní energie proudící zdola – a stejně tak důležité je, že z tak velké hloubky, že samotný zdroj je pro život nedostupný. Nezapomeňte, že první živá buňka nemohla provést fotosyntézu. Na povrchu by tedy velký přísun chemické energie začal až poté, co by některé organismy vyvinuly složité děje fotosyntézy. Předtím by spontánní sestavení molekul, které mohou podstupovat reakce poskytující energii, bylo vzácnou událostí a koncentrace takových molekul do "prvotní polévky", která se možná plouží v přílivové tůni, by byla ještě vzácnější. Pokud by za takových okolností vznikl samo udržující se a samoreprodukující se systém složitých molekul, co by se s touto průkopnickou formou "života" stalo, až by se veškerá potrava spotřebovala exponenciální rychlostí, jakou se živé systémy rozmnožují? Není jasné, jak by se této situaci "hostiny a hladu" dalo před příchodem fotosyntézy zabránit nebo jak by se mohl udržet dlouhý a podrobný evoluční proces.

Už jen z tohoto důvodu je podpovrchové prostředí pravděpodobnějším místem raných fází života, pokud platí teorie hlubokého zemského plynu. Uhlovodíkové kapaliny proudící zdola a pocházející z hloubek příliš horkých na to, aby jich život na bázi uhlíku dosáhl a mohl je využívat, by mohly poskytovat obživu ve stálé, odměřené míře po dlouhá období. Tento scénář by poskytoval ideální podmínky pro vznik a rozkvet života. Později by stejné podmínky umožnily mikrobiálnímu životu rozvinout řadu chemických schopností. Pohybliví dobrodruzi na vnějším okraji podpovrchové říše – možná v blízkosti prúdů na dně hlubokého

oceánu – si mohli vyvinout pigmenty vnímající teplo, pomocí kterých se orientovali směrem k energeticky bohatému průduchu, a zabránili tak svému odnesení do pustého, studeného oceánu. Předpokládá se, že prvním důležitým krokem k fotosyntéze byla orientace a navigace pomocí vnímání tepelného záření.<sup>1</sup> Fotosyntéza by následovala, kdyby některé mikroby zjistily, že je výhodné žít na povrchu nebo v jeho blízkosti a obohatit své zdroje energie využitím slunečního světla.

V opačném směru, tedy od povrchového k hlubinnému životu, nevidím podobně příznivou situaci. Fotosyntéza by se musela vyvinout jako velmi raný krok evoluce závislé na nějaké nespécifikované formě chemické energie, která by byla na povrchu k dispozici nepřetržitě. Vývoj by pak musel mít podobu invaze do podpovrchových oblastí, rozvoje schopnosti využívat tam dostupné chemické zdroje energie a přizpůsobení se zvýšeným teplotám a extrémním tlakům v této oblasti.

Podpovrchová sféra se proto z řady teoretických důvodů jeví jako pravděpodobnější místo pro počáteční vývoj tohoto zvláštního a nesmírně složitého chemického zpracování, které nazýváme životem. Tlakové a teplotní podmínky v podpovrchové oblasti jsou stabilnější a obecně příznivější pro život než podmínky na povrchu. Podpovrchový život by nejen snesl dopady velkých asteroidů, ale pravděpodobně by z tohoto narušení i těžil. Záření škodlivé pro život by se v hloubce výrazně snížilo. A konečně, podle teorie hlubinných plynů by byla chemická energie hojná a dodávaná jako dávkovaný tok.

Empirická podpora podpovrchové oblasti jako místa vzniku života má podobu mnoha nedávných taxonomických analýz, které označují hypertermofilní archea a bakterie za nejhluběji zakořeněné – nejstarší formy života. Je samozřejmě možné (i když podle mého názoru velmi nepravděpodobné), že zemský povrch před zhruba třemi miliardami let byl vhodný pouze pro nejteplomilnější formy života. Hluboké zakořenění extrémních termofytů by se dalo brát i tak, že by se jako místo vzniku života daly označit horké oceánské průduchy. Co by však bylo zdrojem chemické energie, když ne tekutiny vyvěrající z hlubin, které mohly získávat energii v reakcích s materiály dostupnými na jejich cestách? Empirické důkazy tedy sice nevylučují hypotézy, které



předpokládají povrchový původ života, nicméně silně podporují tvrzení o podpovrchovém původu.

### Zvýšená pravděpodobnost vzniku života

Teorie hlubokých zemských plynů je nezbytným předpokladem pro názor, že život na Zemi vznikl v hloubce. Podpovrchová oblast nejenže poskytuje příznivější prostředí pro raný život, ale také výrazně zvětšuje oblast, ve které mohly probíhat chemické "experimenty". Toto zvětšení objemu a hmotnosti – zejména molekul nesoucích uhlík – výrazně zvyšuje pravděpodobnost, že by k příznivým souběžným chemickým reakcím a střetům složitých molekul – předchůdců života - došlo náhodou.

Možná by bylo zcela nesprávné domnívat se, že život má svůj definitivní počátek. Je možné, že existuje postupná cesta ke složitosti velmi jednoduchých forem života, kdy žádný jednotlivý krok nelze považovat za krok, který by odlišoval živou hmotu od neživé. Život nemusí představovat nic víc než procesy, které jsou popsány v učebnicích fyziky a chemie, aplikované za okolností, které jsou daleko za hranicemi naší představivosti. Pravděpodobnost či nepravděpodobnost vzniku určité molekuly nebo struktury proto musíme posuzovat podle počtu experimentů, které by se mohly odehrát v chemickém prostředí charakteristickém pro rané období Země – a to v časovém rozpětí stovek milionů let. Proces, který by byl právem hodnocen jako vysoce nepravděpodobný pro výskyt jakéhokoli jednotlivého kroku, by nicméně měl vysokou pravděpodobnost, že se uskuteční, pokud by se experiment, který by jej mohl vyvolat, opakoval velmi mnohokrát.

Předpokládejme, že začneme s různými atomy (nebo z nich odvozenými molekulami), které vidíme v kapalinách v hlubších horninách: uhlík, vodík, kyslík, dusík, síra, fosfor, sodík, draslík, vápník a některé další kovy pocházející z hornin. (Tento sortiment budu označovat jako "polévku".) Kolik reakcí by mohlo probíhat, aby vznikly nové molekuly? Podpovrchová sféra nabízí v tomto ohledu dvě zásadní výhody oproti povrchové sféře. Za prvé, tlak by stabilizoval mnoho molekul, které by na povrchu nemohly

existovat. V hloubce by tak bylo možné vytvořit více novinek při stejném výchozím stavu. Za druhé, zvýšená teplota spojená s hloubkou by urychlila všechny reakce, a nabídla by tak více možných kombinací, než kolik by jich za stejnou dobu vzniklo v podobném objemu polévky na povrchu.

Jak se může lišit objem polévky v povrchové a podpovrchové oblasti? Zastánci povrchového pohledu na vznik života netvrdí, že celý povrch Země byl před 3,5 nebo 4 miliardami let zaplaven polévkou, ze které vznikl život. Podle jejich názoru mohly být molekuly, které mohly sloužit jako prekurzory živých metabolismů a replikačních systémů, spíše náhodně vyrobeny a poté soustředěny v přílivových jezírkách nebo podél průduchů na dně hlubokých oceánů, kde horké tekutiny vyvěrají do chladného a chemicky odlišného prostředí. Podle teorie hlubinných zemních plynů by však uhlovodíky vyvěrající z horních vrstev dusily pórové prostory v zemské kůře hotovou polévkou už od doby, kdy planeta akretovala a začalo gravitační třídění. Objem polévky, který by byl k dispozici pro prebiologické experimenty, by tak představoval prakticky celý objem pórových prostorů, které jsou v zemské kůře otevřeny vzestupně proudícími tekutinami.

Pro výpočet možného objemu začněme s rozumným hloubkovým intervalem, řekněme od hloubky těsně pod povrchem až po 10 km, v němž by chemická polévka mohla vyplnit pórové prostory, které zabírají 1 % objemu horniny. Objem horniny by činil  $5,1 \times 10^{18}$  metrů krychlových; 1 procento by tedy představovalo  $5,1 \times 10^{16}$  metrů krychlových nebo hmotnost polévky v řádu  $5,1 \times 10^{16}$  tun. Tato hmotnost polévky by představovala asi 4 procenta celkové hmotnosti dnešních pozemských oceánů.

Předpokládejme, že průměrná molekulová hmotnost polévky je 50 atomových hmotnostních jednotek. To by znamenalo, že například dva atomy uhlíku (24), jeden atom kyslíku (16) a deset atomů vodíku (10). Padesát atomových hmotnostních jednotek se příliš neliší od molekulové hmotnosti kapalin, které se dnes vytahují z takových hloubek. Pak by  $5,1 \times 10^{16}$  tun znamenalo počet takových molekul v řádu  $6 \times 10^{44}$ .

Kolik chemických reakcí proběhne v polévce? Zde se výpočet stává velmi spekulativním. Můžeme odvodit (jak je vysvětleno v kapitole 3), že protože polévka pochází ze základního zdroje v plášti, který nebyl zahřát a promíchán do bodu chemické rovnováhy, bude mít energii, která může přirozeně pohánět mnoho chemických procesů, které ji přiblíží chemické rovnováze. Předpokládejme, že každá jedna molekula má šanci utrpět změnu jednou za den. Taková modifikace může být právě tepelně vyvolaná, nebo může být výsledkem náhodných setkání molekul, které spolu budou reagovat. Za miliardu let pak dojde k  $3,6 \times 10^{11}$  modifikacím pro každou molekulu předka přítomnou na počátku, v celkové hmotnosti  $6 \times 10^{44}$  takových molekul, celkem tedy asi  $2 \times 10^{56}$  takových modifikací.

Tento velký počet by nabyl na významu pouze tehdy, kdyby se mezi množstvím ostatních molekul vytvořila nějaká zvláštní molekula, která je pro život klíčová. Jak můžeme vyhodnotit možnost, že by k tomu mohlo dojít? Pravděpodobnost tak malá, že by se daná molekula vyskytla pouze jednou z  $10^{56}$  pokusů, nepatří do oblasti, v níž bychom měli kompetentní intuitivní úsudek. Možná však pomůže analogie. Představte si, že házíte mincí v sadách po 100 hodech. Poté, co hodíte první stovku, se rozhodnete hodit další stovku a pak další, až nakonec hodíte sadu, v níž všech sto hodů dopadne hlavou. Pokud máte průměrné štěstí, museli byste tuto sadu hodů provést 10 30krát, abyste dosáhli jediné sady se všemi hlavami. Kdybyste nyní měli 1056 příležitostí provést stejný experiment při házení mincí, mohli byste očekávat, že vytvoříte v průměru  $8 \times 10^{22}$  dokonalých sad se samými hlavami.

Lze to také formulovat jako tradiční diskusi o vysoké nepravděpodobnosti – tedy o tom, kolik opic s psacím strojem by bylo potřeba k duplikaci jednoho Shakespearova díla. Jak se ukázalo, naše číslo  $10^{56}$  je zhruba tolik opic, kolik je potřeba k vytvoření pouhého prvního řádku konkrétního Shakespearova sonetu.<sup>2</sup> Kdybychom však místo toho použili  $10^{57}$  opic, mohli bychom očekávat několik případů úspěchu. Absurdně nepravděpodobná událost by se stala vysoce pravděpodobnou.

Zda jsou čísla, která jsem použil při výpočtu molekulární pravděpodobnosti, skutečně správná, nevím. Ať už by však byla správná volba čísel jakákoli, je jisté, že by nás přesto zavedla do této nevyzpytatelné oblasti velkých čísel – a tím do situace, kdy dojde k událostem, které by jednotlivě byly vyhodnoceny jako tak extrémně nepravděpodobné, že by se jejich pravděpodobnost výskytu vůbec nebrala v úvahu. Na pozadí neustálých změn v masách molekul po velmi dlouhý časový úsek však k nim skutečně může dojít. Ve skutečnosti mohou mít vysokou pravděpodobnost výskytu.

Přesto si můžeme klást otázku, k čemu by bylo dobré, kdyby se magická molekula objevila jen jednou za miliardu let uprostřed takového množství neužitečných společníků. Odpověď zní, že jediná molekula může skutečně v krátké době ovládnout populaci celé polévky – pokud je tato zvláštní molekula autokatalyzátorem. Autokatalyzátor je molekula, která je nejen zodpovědná za katalyzování určité reakce, ale která způsobuje, že ze složek polévky vzniká další molekula, která je jí podobná. Obyčejná katalytická molekula usnadňuje vznik nějaké jiné molekuly. Autokatalyzátor stimuluje vznik své kopie.

Předpokládejme pro zjednodušení, že ve všech případech je průměrná doba generace jedné molekuly pro vytvoření nové molekuly jeden den. Po jednom dni běžná katalytická molekula syntetizuje jednu molekulu jiného druhu. Po dvou dnech syntetizuje další, celkem tedy dvě syntetizované molekuly. Na konci třetího dne budou tři takto syntetizované molekuly, čtvrtý den čtyři atd. Naproti tomu populace auto katalyzátorů poroste exponenciálně, ze dvou na konci prvního dne na čtyři na konci druhého, pak na 16, 32 atd. Tento rychlý růst počtu, který je autokatalytickému procesu vlastní, činí jeho další průběh nezranitelným vůči náhodám. Ztráta jediné autokatalytické molekuly z velkého souboru takových molekul není žádnou velkou překážkou. Naopak, pokud osamělý katalyzátor pátý den předčasně skončí, celý proces se zastaví.

Počet potomků autokatalytické molekuly bude dán vztahem, kde  $n$  je počet generací, které proběhly. Vezměme 50 generací – v našem modelu 50 dní – za tuto dobu by běžný katalyzátor vytvořil

50 molekul. Za stejnou dobu by autokatalyzátor vyprodukoval  $2^{50}$ , neboli  $10^{15}$ , potomků. Za 188 generací (v našem příkladu stále jen 188 dní) by jejich počet dosáhl  $4 \times 10^{56}$  - což, nezapomeňte, jsme vypočítali jako celkový počet molekul v celé polévce. V praxi dojde k nedostatku některých složek atomů autokatalytické molekuly mnohem dříve, než se celá polévka přetvoří na klony této obsazené molekuly, takže proces se zastaví daleko před celkovou spotřebou polévky. Přesto tento autokatalytický proces snadno ovládne všechny ostatní chemické procesy, protože začal s jedinou molekulou, jejíž pravděpodobnost vzniku by mohla být považována za extrémně nízkou.

Čím rozsáhlejší je objem polévky, tím vyšší je šance na vytvoření molekuly, která splňuje komplexní požadavky autokatalýzy, a tím vyšší je šance na další vývoj od tohoto stadia. Vrstvy zemské kůry v kombinaci s prouděním tekutin, které mohou dodávat energii tím, že podstupují reakce s pevnými látkami na svých drahách, jsou největší takovou oblastí, kterou Země disponuje. Této doméně bychom tedy měli věnovat první pozornost z hlediska vzniku života.

Autokatalytické procesy můžeme snadno identifikovat, pokud molekula v další generaci produkuje sobě podobnou molekulu. Proces však stále patří do matematického režimu autokatalýzy, pokud reprodukuje první typ až od pozdější generace, přičemž mezitím vytvořil jeden nebo několik mezistupňů. Tyto mezistupně proces zpomalují, ale základní exponenciála nakonec stejně překoná všechny konkurenční procesy. Můžeme hovořit o autokatalyzátorech různých řádů: První řád se prostě reprodukuje sám. Druhý řád se opět produkuje sám, ale až po zásahu jiné formy. Třetí řád má mezi sebou dvě formy a tak dále.

Ale nepopisuje tento popis to podstatné ze života? Každá forma opět vytvoří autokatalyzátor, který budeme nazývat genotyp, jednotku, která obsahuje instrukce pro konstrukci další generace. Mezi nimi je další stadium – fenotyp -, který pak vytvoří genotyp podobný tomu, z něhož vzešel. Další genotyp pak v tomto procesu pokračuje. Rostliny a živočichové (jako jsme my sami) jsou mezistupněm fenotypů. Matematika rozmnožování se však stále bude řídit exponenciálním zákonem. S mocí tohoto exponenciálního zákona v zádech by se jakýkoli biologický režim

snadno stal dominantním nad jakýmkoli konkurenčním, který by tuto matematickou výhodu neměl. Veškeré rozmnožování v biologii podléhá exponenciálnímu zákonu, i když je pro druh nepříznivé, jako je tomu v případě, kdy vede ke katastrofě "hody a hladomory".

Autokatalyzátor druhého nebo vyššího řádu představuje pro stádium "fenotypu" příležitost podpořit změny, které by nezničily autokatalytickou schopnost dalšího genotypu, ale přesto by přenesly provedené změny. V tomto okamžiku vstupuje do systému darwinistická logika a změny, které jsou "výhodné" tím, že zvyšují šanci na přežití genotypu nebo fenotypu nebo zvyšují jeho míru reprodukce, přebijí ostatní změny.

Vyřešila tato diskuse problém vzniku života? Myslím, že ne. Řekla nám však, že základní systémy mnohonásobně se opakující sebereprodukce mohou být přítomny již v molekulách, které se vyskytují v tom, co bychom nazvali neživou přírodou; možná se dokonce vyskytují často. Tím jsme připravili půdu pro evoluci, která nyní bude podléhat řídicí síle darwinovského přírodního výběru a takto posílená se může rozšířit do mnohem větší složitosti struktury i chemie.

Samoreplikující se molekuly jsou krokem k evoluci života, ale naše definice života obecně zahrnuje přítomnost buněk. Možná je to chyba na naší straně. Viry jsou jednotkami života, ale pouze ty, které využívají buněčné organismy jako hostitele, a tím na nich způsobují změny nebo poškození. Může existovat velké množství podobných nebuněčných organismů, které čerpají chemické zdroje energie ze svého okolí, jež mohou být biologického i nebiologického původu. Pokud nezpůsobují žádné zjevné změny, nedaly by nám žádný náznak své existence. Přesto mohly představovat rané formy života a mohou být stále jeho významnou součástí.

Zdá se, že buňky jsou nutností pro složitější a komplikovanější formy života. Jak mohly buňky vůbec vzniknout? Mnozí badatelé považují krok ke vzniku buněk za kritický krok, nezbytný pro vstup do evoluce složitých forem života. Z tohoto důvodu nabídnu možnou cestu ke vzniku buněčných stěn obklopujících genetickou (autokatalytickou) molekulu. Je

známo mnoho mikrobů, kteří kolem sebe získávají vodu, kterou kolem nich uzavírá a drží rosolovité činidlo. Nebuněčný život si již možná takovou schopnost vyvinul a dalším krokem může být odpařování vody z vnějších povrchů tohoto slizu, čímž se ve slizu koncentruje materiál, který způsobí, že se jim vytvoří slupka. Pokud se to organismu osvědčí, může se pak vyvíjet a přidávat do okolního slizu materiály, které jsou nejvhodnější k vytvoření trvalé kůže. Jakmile jsou zapojeny molekuly velké složitosti, není pro ně velkým krokem obalit se buněčnou stěnou.

## Darwinovo dilema

V životě Charlese Darwina a od té doby jeho krásnou teorii trápí jeden problém. Postupná evoluce předpokládaná občasnými náhodnými chybami v genetických plánech by měla zanechat důkazy o mnoha přechodných formách ve vývoji druhu, z nichž některé jsou v linii evoluce, která nastala, a některé se dostaly do slepé uličky. To však fosilní záznam neukazuje. Spíše ukazuje dlouhá období s malými nebo žádnými změnami a pak téměř okamžitý přechod k jiné formě. Tvrdí se, že tento vzorec biologické evoluce může být způsoben vzácnými, ale rychlými změnami prostředí (možná vynucenými velkými změnami klimatu nebo složení atmosféry nebo sopečnými erupcemi), které si v takových obdobích vynutily rychlou adaptaci života. V období mezi těmito změnami bylo málo příležitostí k náhodným změnám a darwinovský výběr by je spíše brzdil. Tento pohled na biologickou evoluci se obecně nazývá "přerušovaná rovnováha".

Darwinovo dilema je možná ve skutečnosti vyřešeno střídáním stagnace a změny prostředí. Já osobně si to nemyslím, i když se domnívám, že prostředí mohlo takovýmto přerušovaným podmínkám podléhat. Ale i kdyby existovala období, kdy bylo třeba rychlé adaptace, mohly náhodné změny a potřebné četné selekční procesy trvat tak krátce a zanechat tak málo příkladů mezistupňů? Stalo by se tak u mnoha různých druhů v různých obdobích? Taková je každopádně podstata otázky, která zůstává.

Darwin si nebyl příliš jistý příčinou variací, které jeho teorie vyžadovala. Většina badatelů, kteří ho následovali, předpokládala,

že se musí jednat o náhodné variace, nepřesnosti v plánech dodaných k vytvoření další generace. Takové chyby jistě dokázali v mnoha případech identifikovat a nejčastěji tyto chyby zjistili tak, že si všimli jejich škodlivého následku. Mohla by však existovat nějaká jiná příčina genetické modifikace než náhodné chyby, příčina, která by mohla provést zásadní změny najednou? Pokud ano, pak by se snad problém nedostatku přechodných forem dal vysvětlit.

Náhodná mutace se zdá být vhodným mechanismem pro vysvětlení evolučních změn ve dvou ze tří taxonomických oblastí života – archea a bakterie. Tyto organismy se vyznačují vysokou mírou rozmnožování a jejich počet v každé generaci je enormně vysoký. Pravděpodobnost, že v určitém časovém úseku náhodnými chybami narazíme na příznivou mutaci, je dána počtem žijících zástupců daného druhu vyděleným délkou doby potřebné k reprodukčnímu cyklu. V tom je rozdíl mezi slony a bakteriemi obrovský.

Podívejme se na evoluční schopnosti nejstudovanější bakterie na světě, *E. coli*. V trávicím traktu každého člověka je asi  $10^{12}$  bakterií *E. coli*. Tyto mikroby jsou nezbytné pro chemické zpracování naší potravy. Lidskou populaci, zaokrouhlenou na nejbližší řád, tvoří  $10^{10}$  dnes žijících osob, takže počet bakterií *E. coli* přenášených samotným lidstvem je asi  $10^{22}$ . Vhodně živená bakterie se rozmnožuje přibližně každých 20 minut. Nyní porovnejte reprodukční potenciál *E. coli* s reprodukčním potenciálem slonů. Dnes žije možná 100 000 slonů a jejich reprodukční doba je 10 let. Bakterie se množí 262 800krát rychleji a jen v jednom prostředí (lidském střevě), které jsme zmínili, jich je  $10^{17}$ krát více. Šance, že v daném časovém úseku narazí na příznivou mutaci, je tedy u těchto bakterií  $2,6 \times 10^{22}$ krát větší než u slonů.

Náhodné mutace a jejich selekce by tedy mohly být cestou k významným evolučním inovacím v různých liniích mikroorganismů, ale u velkých tvorů by mohly být beznadějně pomalé. Jak se ukazuje, velcí tvorové se značně liší formou, ale ne tolik funkcí. Myš, nemluvě o žábě, může vypadat velmi odlišně od slona, ale všichni obratlovci mají stejné typy buněk, stejné druhy



molekul. Inovace mezi makrofaunou se nevyskytují v konstrukci standardní živočišné sady buněčných typů, ale v uspořádání buněk a v rychlosti a počtu udržovaných reprodukčních cyklů. Mikroby vynikají metabolickou rozmanitostí, zatímco eukaryota jsou průkopníky formy.

Metabolické inovace bylo možná obtížnější dosáhnout. Mikrob, který se živí metanem a miluje teplo, může vypadat velmi podobně jako fotosyntetický mikrob, ale evoluční rozdíly jsou mnohem větší než ty, které dělí medúzu a člověka. Lynn Margulisová a další předložili přesvědčivé empirické důkazy a teoretické argumenty, že zásadní inovace v metabolismu byly téměř výhradně výdobytkem mikrobiální domény. Eukaryotická doména, z níž se nakonec vydělila veškerá makrofauna, jednoduše získala to, co potřebovala, od mikrobů prostřednictvím endosymbiózy – tedy pohlcením mikrobů, kteří se pak stali nedílnou součástí eukaryotické buňky. Ve skutečnosti se předpokládá, že celá eukaryotická doména začala symbiotickým spojením nejméně dvou metabolicky odlišných linií mikrobů.

Endosymbióza je nyní považována za zásadně důležitý a radikální způsob, jakým se evoluční inovace přenášejí *napříč* generacemi. Taková výměna může být příčinou náhlých skoků v přijímající linii, i když mikrobiální linii, která byla původně průkopníkem metabolického talentu, mohlo trvat hodně dlouho, než jej uskutečnila. Další cesta sdílení dovedností je nyní významným předmětem výzkumu v našich biomedicínských a zemědělských laboratořích. Jedná se o umění spojování genů. Mohly být přirozeně se vyskytující metody sestřihu genů hlavní hnací silou evoluce a mohly vést k mnohem rychlejším přechodům a menšímu počtu mezikroků, než by vyžadovaly jednotlivé náhodné mutace? Tato možnost je v poslední době vážně zkoumána odborníky v této oblasti.<sup>3</sup> Nicméně trocha planých spekulací od neodborníka může být zajímavá.

Darwinovská logika by se vztahovala nejen na evoluci metabolismu a tělesných forem, ale také na evoluci genetických systémů, které jsou jejich základem. Pokud by tedy jakýkoli přenos genů z jednoho organismu do druhého byl obecně spíše pomocí než

překážkou, genetický systém – jehož průkopníkem jsou početní a plodní mikrobi – by se jistě přizpůsobil tak, aby to umožnil. I nepatrná pravděpodobnost přenosu určitého genetického materiálu z *mikrobiologických* linií do *makrobiologických* by mohla být hlavním – dokonce dominantním – mechanismem makrobiologické evoluce.

Pro ilustraci se vraťme k našemu srovnání slonů a bakterií. Enzym, možná velmi složitá molekula schopná vykonávat užitečnou funkci v určitých metabolických procesech, může být "vynalezen" linií mikrobů jako výsledek dlouhé sekvence náhodných mutací. Pokud by tyto postupné náhodné kroky někde ve velké populaci mikrobů trvaly třeba sto let, znamenalo by to  $10^{18}$  let – jednu miliardu miliard let – pro stejnou chemickou evoluci u slonů (a podobnou dobu pro jakoukoli makrobiologickou formu). Jinými slovy, nikdy by k tomu nedošlo. Nyní se budeme muset zamyslet nad tím, zda v přírodě existují mechanismy pro spojování genů, které se mohou zdát nehorázně nepravděpodobné, ale které by přesto mohly přivést molekulu z mikrobů do genetického materiálu makroorganismů v časovém rámci přijatelném pro evoluci.

Mohlo by se tedy zdát, že veškerý promyšlený "design", který vznikl na základě sledu náhodných mutací, patří do dvou taxonomických oblastí mikrobiologie. Mutace v makrobiologii mohou být stále významným faktorem pro jednoduché změny designu (včetně změn formy), ačkoli škodlivé náhodné mutace se vyskytují častěji. Chemické změny mohou vyžadovat přenášení několika meziproductů, které neslouží žádnému účelu, než se sestaví užitečná forma, což by výrazně snížilo pravděpodobnost, a tudíž výrazně prodloužilo potřebný čas. Podle mého názoru může pouze mikrobiální svět nabídnout takové množství experimentů, které si takové významné druhy inovací vyžadují. Spojování genů by pak nabízelo nejlepší cestu k tomu, aby z něj mohl těžit i makrobiologický svět.

V moderní biotechnologii se setkáváme s oběma metodami. Záměrná selekce, která například z vlka udělala pekinéze nebo německou dogu, nebo kukuřici s dvojnásobným či trojnásobným

výnosem oproti svým předkům, je metoda, která se v zemědělství stále velmi využívá. Tímto způsobem byly vyšlechtěny kmeny rostlin, které jsou odolné vůči určitému hmyzu nebo chorobám; psi, koně, krávy, prasata a další zvířata byla úspěšně vyšlechtěna pro vlastnosti žádoucí pro jejich majitele. Nyní však již můžeme pozorovat, že vzniká konkurence s druhou metodou modifikace: metodou založenou na spojování genů. Můžeme si například koupit rajčata s genovým spojením, která vykazují zvýšenou odolnost vůči hnílobě. Spojování genů umožňuje farmaceutickým společnostem získávat lidský inzulin z prasat. Očekává se, že na základě probíhajících experimentů se objeví mnoho dalších podobných výhod. Zemědělství bude moci zůstat efektivní bez chemické pomoci, kterou nyní potřebuje k odvrácení útoku hmyzu a nemocí, protože plodiny a hospodářská zvířata budou sama vybavena geny, které jim propůjčí schopnost odolávat těmto ničivým vlivům. Jak dlouho bude trvat, než geny odolné vůči nemocem začleníme do člověka a snížíme tak naši závislost na lécích a léčbě?

Pokud věříme, že genetický materiál může být přirozeně přenášen z jednoho druhu na druhý, pak celé téma symbiózy – vztah souboru různých tvorů žijících společně ke vzájemnému prospěchu – nabývá nového významu. Mohly takové kolonie spojit svůj genetický materiál? Pokud ano, pak by se tímto jediným aktem staly novým, komplexním, diferencovaným, mnohobuněčným organismem. Nevím, jak daleko bychom měli zajít v tomto směru úvah. Je složitý živočich potomkem symbiotického uspořádání předků jednotlivých orgánů?<sup>4</sup>

Symbióza, endosymbióza a spojování genů jsou způsoby, jak horizontálně šířit evoluční inovace napříč velkými větvemi celé rozmanitosti života. Aby však k těmto výměnám mohlo docházet, musí být přítomna základní kompatibilita v genetické struktuře. To mě přivádí k poslednímu tématu kapitoly: molekulární chiralitě.

Mnoho molekul v biologickém materiálu může existovat ve dvou konfiguracích, které jsou navzájem přesnými zrcadlovými obrazy. O těchto molekulách se říká, že mají chiralitu. Chirální molekula se může vyskytovat buď v pravotočivé, nebo levotočivé podobě. Například dvojité šroubovice DNA připomíná spirálové

schodiště se zábradlím na každé straně. Teoreticky by se schodiště mohlo točit buď doprava, nebo doleva a tato směrovost by platila bez ohledu na to, z jakého úhlu pohledu se na schodiště díváme. V praxi vykazují všechny molekuly DNA pravotočivou chiralitu. Proč tato jednotnost ve všech oblastech pozemského života?

Pravolevý symetrický vztah nelze definovat ve dvou rozměrech, takže chiralita může existovat pouze v molekulách tří rozměrů. Pro libovolné tři body můžeme vždy zvolit rovinu, která jimi prochází, takže molekula složená právě ze tří atomů bude mít pouze dva rozměry. Molekula o třech atomech bude vždy totožná se svým zrcadlovým obrazem při pohledu z jedné nebo druhé strany. Nemůže mít chiralitu. Molekuly, které mají čtyři nebo více atomů, mohou, ale nemusí být trojrozměrné, a proto mohou, ale nemusí být chirální. U chirálních molekul v kapalině lze pozorovat, že rovina rovině polarizovaného světla, které jimi prochází, rotuje v jednom nebo druhém směru. Molekuly tedy mohou otáčet rovinou v pravotočivém nebo levotočivém smyslu. Ty, které se otáčejí v prvním případě, mají předponu R; ty, které se otáčejí v druhém případě, mají předponu L.

V přírodě se vyskytuje mnoho chirálních molekul nebo krystalových struktur nebiologického původu. V nebiologických materiálech se však obě formy vyskytují ve statisticky stejném počtu. V biologických materiálech tomu tak není. Jak již bylo uvedeno, veškerá DNA se spirálovitě stáčí doprava. Některé aminokyseliny, které tvoří základní složky bílkovin, jsou také chirální, a ty vykazují levotočivou chiralitu u veškerého známého pozemského života – od bakterií až po slony a nás. Teoreticky by pravotočivá forma určitého proteinu prováděla přesně stejné chemické reakce ve všech případech, kdy by všechny interagující molekuly byly nahrazeny svými zrcadlovými obrazy. Jinými slovy, chemické reakce neupřednostňují jednu chiralitu před druhou. Proč tedy některé větve života neposunuly své bílkoviny do R struktury?

Zřejmou odpovědí je, že veškerá biologie musí mít stejný původ. Ta první buňka – nebo co to bylo – stanovila pravidla hry pro všechny časy. Volba chirálního směru byla libovolná, ať už se tento prapůvodce náhodou trefil do jakékoliv formy, s

pravděpodobností 50 na 50. Vše, co z ní vzešlo, ať už se evoluce dostala jakkoli daleko, pak bylo nadále omezeno tímto prvním výběrem.

Linus Pauling, jeden z největších chemiků dvacátého století, vyjádřil o této odpovědi své pochybnosti:

Bylo zjištěno, že všechny zkoumané bílkoviny získané z živočichů a rostlin, z vyšších organismů i z velmi jednoduchých organismů – bakterií, plísní, a dokonce i virů – jsou tvořeny L-aminokyselinami. Byla vyslovena domněnka, že první živý organismus náhodou využil několik molekul konfigurace L, které byly přítomny s ostatními statisticky ve stejném počtu, a že všechny následující formy života, které se vyvinuly, pokračovaly v používání L-aminokyselin díky dědičnosti tohoto znaku po původní formě života. Možná lze najít lepší vysvětlení – ale nevím, jaké.<sup>5</sup>

Nikdo nemůže odhadnout Paulingovy myšlenky v době, kdy tuto knihu psal, ale myslím si, že nemohl věřit, že dědičnost bude v průběhu evoluce tak přesná, že se v obrovské rozmanitosti života nikdy nevyvinou nezávislé systémy větví, které by se odchylovaly od tohoto definovaného vzorce chiralit. V každém případě by to byla moje výhrada, která by vedla i k naději, že se najde lepší vysvětlení. Možná, že výhoda genového sestřihu poskytuje lepší odpověď.

Pokud bylo spojování genů hlavním zdrojem odchylek vnesených do evolučního procesu, pak by se každá linie, která by zmužovala na opačnou chiralitu, vzdala všech budoucích příležitostí získat výhody inovací dosažených jakoukoli jinou větví života. Zbloudilá linie by byla odříznuta od pomoci a dříve či později by zaostala za ostatními do té míry, že by ji selekce dohnala k vyhynutí.

Pokud genové sestřihy a různé formy symbiotických fúzí mezi široce oddělenými liniemi skutečně hrály hlavní roli v evoluci pozemského života, pak bychom neměli popisovat obrovskou rozmanitost života v průběhu času jako evoluční "strom", kde každá větev postupuje sama za sebe a vyvíjí se v jednotlivé druhy. Spíše bychom měli uvažovat o kombinované evoluci pozemské biologie, která je nadále úzce propojena mezi sebou navzájem a s nejpłodnějším genofondem ze všech – s genofondem

mikroorganismů.<sup>6</sup> Protože hluboká horká biosféra je podle mého názoru tak rozsáhlá a protože tato sféra velmi pravděpodobně živila první živé systémy, mnoho inovací a událostí spojených s výměnou a slučováním genů, které podporují dnešní projevy života, se pravděpodobně odehrálo mnohem dříve, než se na zemském povrchu objevil jakýkoli život. Možná, že takové úspěchy stále probíhají.

## Kapitola 10 Co dál?

Primordiální původ pozemských uhlovodíků a jejich zdroj ve velkých hloubkách, který poskytuje potravu pro živou mikrobiologii v menších hloubkách - to je názor, pro který zde bylo předloženo mnoho důkazů. Je však zřejmé, že než se teorie hlubinného zemského plynu a teorie hlubinné horké biosféry stanou obecně přijímanými, bude zapotřebí dalšího potvrzení. K získání těchto potvrzujících důkazů lze provést několik typů výzkumů.

Teorie hlubinného zemního plynu již byla potvrzena při vrtném experimentu popsáném v kapitole 6. Jako místo pro tento experiment byla vybrána geologická struktura Siljan Ring ve Švédsku, protože se jedná o čistě granitovou provincii, takže případný plyn objevený v hloubce zde nelze vysvětlit biogenní teorií vzniku uhlovodíků. Metan a těžší uhlovodíky byly skutečně objeveny – a to v hloubce více než 6 km. Teorie hlubinných zemních plynů tak byla podle mého názoru potvrzena. Nicméně takových anomálních nálezů bude muset přibýt více, než stávající biogenní teorii opustí ti, kteří ji nyní bezvýhradně přijímají.

Dalším způsobem, jak vyvrátit biogenní teorii, by byla měření, která lze provést na stávajících plynových polích. Mnoho pozorování

uhlovodíků bylo provedeno na zemském povrchu. V kapitole 2 byly popsány "studené ropné skvrny" na kontinentálních šelfech a bloky

metanhydrátového ledu, které pronikají oceánským dnem a jsou podkladem rozsáhlých oblastí arktické tundry. Dalším příkladem jsou dehtové jámy La Brea v jižní Kalifornii, proslulé hnědě zbarvenými kostmi šavlozubých tygrů a dalších velkých savců pleistocénu. V místech, kde uhlovodíky prosakují z kůry do atmosféry v plynné formě a velkou rychlostí, není emanace vidět a nemusí nést zápach, ale mohou se objevovat a mizet plameny.

Přesná měření rychlosti úniků plynu, zejména v oblastech, kde se zemní plyn těží komerčně, by mohla přinést údaje, které by bylo obtížné vysvětlit biogenní teorií vzniku uhlovodíků. Pokud by se ukázalo, že objem a rychlost průsaků uhlovodíkových plynů vstupujících do atmosféry v takových oblastech jsou tak velké, že by například zásobníky plynu pod nimi byly přirozeně vyčerpány již za několik tisíc let, bylo by nutné opustit konvenční teorii o mnohamilionových ložiscích plynu. Muselo by se připustit, že řekněme molekuly metanu, které jsou nyní obsaženy v rezervoáru snad pozdně křídového stáří, tam ve skutečnosti neleží jen tak už nějakých sedmdesát nebo osmdesát milionů let. Obsah uhlovodíků v tomto rezervoáru by musel být přisuzován dočasnému nahromadění probíhajícího vzestupného toku z velmi vzdáleného a mnohem hlubšího zdroje. Mohli bychom tedy dojít k závěru, že tento zdroj by byl v průběhu času nesmírně produktivnější, než se dosud předpokládalo. Byl by odstraněn další kámen ze základů podporujících teorii, že uhlovodíky jsou přepracované pozůstatky organismů, které žily a zemřely na zemském povrchu, pak byly pohřbeny spolu se sedimenty daného stáří, a nakonec byly záhadnými geologickými procesy převařeny na uhlovodíky a koncentrovány do mnohem menších objemů.

Výpočty provedené na základě naměřených hodnot propustnosti hornin pro proudění plynů zřejmě ukazují, že každé plynové pole se skutečně vyčerpá za malý zlomek stáří, které se mu přisuzuje na základě stáří hornin, které ho obsahují. Například Jon S. Nelson a E. C. Simmons a další vypočítali, že objem a rychlost proudění úniků plynu, které by se objevily z plynového pole pod horninami s nejnižší zaznamenanou propustností, by toto pole vyčerpaly ještě za několik desítek tisíc let.<sup>1</sup> Než však budou tyto

zdánlivě anomální výsledky brány jako vážná výzva biogenní teorii, bude třeba získat přímé pozorovací důkazy o rychlosti úniku.

Existuje jeden velmi levný způsob, jak na mnoha místech měřit míru odplyňování. Na malé ploše postavte stan naplněný propustnou látkou, například pískem, a vyrobený z nepropustného materiálu, například z plastové fólie. Zaříd'te, aby byl vnější okraj po celém obvodu zahloben do země do dostatečné hloubky, aby jím neprofoukl vítr. Pak vnitřek tohoto stanu zadržujte přístroji, které průběžně měří složení vzduchu a dalších plynů. Hlavními plyny stoupajícími do stanu, které by bylo možné měřit, by téměř jistě byly metan a oxid uhličitý, ale užitečné by bylo také zaznamenávat toky dusíku, argonu a helia. Se statisticky využitelným souborem stanů postavených v oblasti by bylo možné stanovit přibližný objem odtoku plynů zdola.

Výhodou tohoto typu sběru dat jsou malé náklady na vybavení. Jiné, dražší techniky by však poskytly výsledky většího významu. Jedna taková technika by zahrnovala vstříknutí výtrysku značkovacího plynu do země v určité hloubce. (Vhodný stopovací plyn by byl takový, který se v zemi přirozeně nevyskytuje a který je chemicky inertní vůči materiálu hornin.) Po vstříknutí bychom sledovali dobu, která uplyne, než je tento plyn detekován na povrchu v okolí místa vstříknutí. Vzhledem k tomu, že tento stopovací plyn musí být nesen jako malá příměs plynů, které normálně proudí zemí, poskytlo by navrhované měření (spolu se znalostí pórovitosti v oblasti až do hloubky vtláčení) rychlost proudění a množství plynů, které přirozeně proudí.

Abychom mohli provést tento experiment se stopovacím plynem, mohli bychom vyvrtat vrt o malém průměru do hloubky přibližně jednoho kilometru a těsně u dna do něj zacementovat plášť a uzavřít nejspodnější segment. Malá trubka procházející uzavřeným segmentem pažnice by se použila ke vstříkování stopovacího plynu v jednotlivých dávkách. Jediná úniková cesta pro stopovací plyn by vedla ze dna do přirozené pórovitosti horniny. Měřicí přístroje pro stopovací plyn by pak byly rozmístěny na povrchu v okolí vrtu a čas, který by uplynul mezi vstříknutím a prvním výskytem stopovacího plynu na povrchu, by tak mohl být



použit k výpočtu rychlosti vzestupného proudění přírodních proudů.

Tento postup sledování plynu by poskytl dobré údaje pro projekci průtoku na relativně širokém území, pokud by půda byla homogenní. Použití několika vrtů by nám umožnilo odhalit případné větší nehomogenity. Tento postup by také přinesl další výsledek, který by mohl být velmi zajímavý pro chemickou povrchovou prospekci: Ukázalo by se, zda plyny procházejí horninami ve svislém směru, nebo zda boční tlakové rozdíly způsobují, že se ubírají cestou, která je nakloněna pod určitým úhlem ke svislici. Jednoduše bychom si všimli, zda se většina stopovacího plynu objevuje v bodě posunutém od místa vpichu, místo aby plynule obtékala vrt.

Tuto techniku měření objemu a rychlosti proudění uhlovodíků z hloubky do atmosféry lze spolu s metodou hrubšího stanu použít na libovolném počtu plynových polí, kde jsou dobře definovány zásoby uhlovodíků. Domnívám se, že výsledky by dále podpořily teorii hlubinného zemního a dále zpochybnily teorii biogenního plynu.

## Mikrobiologická šetření

Když se primordiální povaha uhlovodíků a jejich vyvěrání z velkých hloubek považuje za pravděpodobnou, je to další krok k tomu, abychom začali brát vážně možnou existenci obrovské a nezávislé říše života pod naší povrchovou biosférou. Domorodí mikrobi však byli ve skutečnosti nasáni uhlovodíkovými kapalinami, na které narazili ve velkých hloubkách v ropných vrtech, jak je popsáno v kapitolách 2 a 6. A všechny kapalné uhlovodíky nesou znaky organických molekul takového druhu a výskytu, které nejlépe vysvětluje předpokládaná existence celoplanetárního horizontu podpovrchových mikrobů, kteří se živí tímto bohatým zdrojem chemické energie (kapitola 5). Jak začít poznávat obyvatele hluboké horké biosféry?

Je dost obtížné studovat mikroby, kterým vyhovují povrchové podmínky, a zjišťovat vztahy v potravní síti mezi živými organismy a jejich metabolickými produkty. Velmi obtížné je tyto věci provádět u mikrobiálních ekosystémů, které člověk nikdy nebude

moci přímo navštívit a jejichž obyvatelé jsou zvyklí na teploty a tlaky, které se značně liší od okolních podmínek v našich povrchových laboratořích (a jejichž duplikace by byla nesmírně nákladná). Jak si tedy můžeme být jisti, která metabolická aktivita je primární – tedy která je základem potravní sítě? Jak můžeme určit, co je původním zdrojem energie, který pohání celý systém?

Je snadné určit základ potravního řetězce a původní zdroj energie pro jakýkoli ekosystém povrchové biosféry. Je to proto, že všechny takové potravní sítě jsou v konečném důsledku závislé na fotosyntéze. Najděte fotosyntetizátory (nebo pohřbené zbytky fotosyntetizátorů) a najdete základnu potravní sítě. Najít základ chemicky založeného ekosystému však může být krajně obtížné. Jak lze určit, zda je určitá chemická složka původním zdrojem, nebo biologickým produktem?

Z našich poznatků o životě v povrchové biosféře víme, že kolonie mikroorganismů se budou vyvíjet na jakémkoli místě, kde mohou být uspokojeny energetické, materiální, vodní, tepelné a chemické požadavky života. Fotosyntetizující organismy na bázi povrchové potravní sítě přeměňují energii slunečního světla na chemickou energii, z níž pohánějí svůj metabolismus a staví svá těla. Postupujeme-li po stupnici spotřeby směrem vzhůru, veškerá energie, která v tělech nebo produktech metabolismu jedné skupiny zbývá, je zpracovávána další skupinou v pořadí.

Také u hlubokomořských prúduchů můžeme očekávat, že se v jedné vodní ploše smísí řada různých chemických procesů. Je to proto, že odpad každého z nás je pravděpodobně potravou někoho jiného. Obtížné je rozhodnout, který z těchto kroků je primárním zdrojem energie pro všechny tyto biologické aktivity a odkud pocházejí základní živné chemické látky. energii budou dodávat redukované molekuly, které lze oxidovat. Stejně molekuly, doplněné o další druhy, budou dodávat uhlík, vodík, vodu, kyslík, dusík a (v menším množství) různé další chemické látky, které jsou potřebné k zahájení složitých biochemických reakcí. Empiricky určit, která látka je primárním zdrojem energie a která oxidantem pro chemicky založený systém, vyžaduje více informací než lze získat studiem metabolismu jednoho druhu obyvatele.

Pro studium mikrobiálního života v hloubce vnější zemské kůry nebo na hraničních místech, jako jsou hlubokomořské průduchy, je obvyklé odebrat z místa vzorek biologicky aktivní tekutiny (inokulantu) a poté se pokusit tento vzorek kultivovat v nádobě, která byla sterilizována a vybavena materiálními podmínkami, o nichž se předpokládá, že jsou nezbytné pro růst původních mikrobů. Pokud je například v kultivovaném vzorku obsažen sirovodík a je do něj zaveden molekulární kyslík, lze předpokládat, že jakýkoli následný růst využívá sirovodík jako zdroj paliva a molekulární kyslík jako oxidační činidlo. Pokud je zdrojem uhlíku oxid uhličitý, pak růst bakterií za těchto podmínek naznačuje přítomnost mikrobů vázajících uhlík.

Je důležité si uvědomit, že pokud při kultivaci mikrobů nezajistíte růstovou komoru s metanem, který bude sloužit jako palivo, nezjistíte přítomnost metanotrofů. Pokud se nepokusíte vyživovat kousek inokulantu zdrojem uhlíku, jako je metan, a nikoli oxid uhličitý, pak samozřejmě neobjevíte organismus, který využívá metan, a nikoli oxid uhličitý. Protože metabolické studie mikrobů hlubokomořských průduchů zjistily biologickou aktivitu na laboratorním kultivačním médiu ze sirovodíku, kyslíku a oxidu uhličitého, obecně se předpokládá, že organismy, které tyto materiály využívají, představují základ potravní sítě. Jeden z klíčových účastníků tohoto výzkumu, David Karl, však své kolegy nabádá, aby "měli otevřenou mysl."<sup>2</sup> Samotný fakt, že byl ověřen jeden živý systém, neznamená, že je primární a že žádné další neexistují.

Proto doufám, že bude věnována větší pozornost zdroji a úloze metanu v tomto ekosystému. Jak bylo uvedeno v kapitole 2, v hlubokomořských průduších byly v symbióze s mlži objeveny mikroby, které získávají energii a uhlík z metanu (metanotrofové).<sup>3</sup> Předpokládám, že pokračující výzkum nakonec odhalí, že metan je důležitým chemickým základem ekosystému hlubokomořských průduchů. Stejně tak je možné, že sirovodík se ukáže být odpadním produktem metanotrofů, kteří získávají kyslík ze síranů, a v takovém případě bude metanu přiznána základní pozice.

Vložení správného zdroje paliva, oxidačního činidla a živin do laboratorní kultivační nádoby je pouze prvním krokem. Stejně důležité je zajistit inokulujícím mikrobům teplotní a tlakovou lázeň,

kteřá jim vyhovuje. Pokud je vzorek odebírán z ropného vrtu při teplotě 110°C a tlaku 600 atmosfér, měly by být stejné podmínky k dispozici mikrobům v jejich novém domově. V komunitě mikrobiologů je všeobecně známo, že nelze očekávat, že hypertermofilové porostou při teplotách, které jsou pro člověka příjemné, a vysoké teploty není obtížné zajistit v laboratoři. Něco úplně jiného je však nabídnout mikrobům tlak 600 atmosfér. Málókteřá mikrobiologická laboratoř, pokud vůbec nějaká, je takto vybavena. Nedostatek dostatečného tlaku při kultivačních pokusech může být obzvláště škodlivý pro inokulanty, které obsahují metanotrofy vytažené z velkých hloubek. Metanotrofové nemusí mít přístup k difúzním parám methanu při atmosférickém tlaku. Hloubka (nebo simulovaná hloubka) pro ně může být nejen žádoucí, ale i nezbytná.

Dokud nebudeme mít v laboratořích kultivační nádoby, které napodobují podmínky intenzivního tepla a tlaku charakteristické pro velké hloubky, neměli bychom absenci mikrobiální aktivity při kultivačních pokusech interpretovat jako důkaz neexistence života v těchto hloubkách. Navíc, pokud jsou ve vzorku identifikovány biologické molekuly, které nelze přimět k metabolické aktivitě, neměli bychom tyto molekuly automaticky považovat za kontaminaci, která byla do vrtu zanesena z povrchu. Je možné, že jsme mikroby neúmyslně usmrtili při přepravě do laboratoře.

I když jsou k dispozici ideální laboratorní podmínky, úspěšnou kultivaci hlubinných mikrobů mohou znemožnit metody používané k přepravě biologických vzorků do laboratoře. Vysoké teploty a vysoké tlaky mohou být nezbytné nejen pro růst, ale i pro přežití. Vystavení atmosférickému tlaku i na krátkou dobu může být smrtelné, stejně jako nelze očekávat, že některé ryby vytažené z hloubky budou žít a vrátí se do svého domova, když se háček vyndá na břehu lodi. John Postgate ve své knize *The Outer Reaches of Life* vypráví příběh výzkumníků, kteří se pokoušeli kultivovat vzorek odebraný z lokality v Antarktidě.<sup>4</sup> První kultivační pokusy přinesly mikroby, které mohly fungovat a rozmnožovat se při velmi nízkých teplotách. Tyto mikroby však nebyly na nízkých teplotách absolutně závislé; mohly se rozmnožovat i při vyšších teplotách.

Teprve když byly vzorky uchovávány v mrazivých podmínkách po celou dobu cesty z terénu do laboratoře, byly objeveny nové mikroby, které dokázaly přežít pouze při nízkých teplotách.

Tento příběh je varovným příběhem pro výzkumníky, kteří se pokoušejí kultivovat vzorky z hlubokých vrtů. Pokud nejsou vzorkům z hlubokých vrtů zajištěny vhodné podmínky po celou dobu cesty do trubky a na cestě do laboratoře, nemůžeme očekávat, že se k nám formy života dostanou ve stavu, který nám umožní probudit je z klidu. Jak obtížné může být zajistit vhodné podmínky? Pokud by byl vzorek odebrán v hloubce 5 kilometrů, byl by tam tlak někde mezi 500 a 1500 atmosférami. Bylo by zapotřebí opravdu velmi silných nádob a mimořádně dobrého těsnění, aby se podařilo získat vzorky s biologickou integritou reprezentativní pro takové hloubky. Jakékoli kultivační experimenty by zase musely probíhat při tlacích a teplotách podobných těm, které jsou v místě původu vzorků. Pokud by se tlak tam dole blížil 1500 atmosférám a teplota 120<sup>0</sup>C bylo by sestavení a provoz kultivačního zařízení nákladné. Žádné zprávy o takových zařízeních se mi nedostaly do rukou.

Existuje však i jiný a možná mnohem jednodušší způsob. Můžeme do vrtu poslat nádobu s dostatečnou mechanickou pevností, aby odolala rozdrčení tlakem kapaliny. Nádoba by měla mít dvě komory, které lze otevřít a zavřít příkazem z povrchu. Jedna komora by mohla být vybavena běžným médiem pro kultivaci bakterií, například octanem nebo cukrem. Druhá komora by byla vybavena materiálem, o němž se předpokládá, že je dárce kyslíku pro mikrobiální život tam dole. Ve zvolené hloubce bychom obě komory otevřeli, nechali je naplnit vrtnou vodou a pak je opět uzavřeli. Uvnitř by se tak udržoval tlak a teplota, při kterých byl odebrán vzorek. Nádoba by mohla být ponechána v této hloubce po dobu, která by byla potřebná pro vývoj kultur. Po vytažení experimentálních komor zpět do nízkotlakého a nízkoteplotního režimu povrchové biosféry by mohla být velká část mikrobiálního materiálu zničena. Konečné produkty jejich metabolismu by však mohly být objeveny. Pokud by tedy byla jedna komora zásobena oxidantem železitým železem ve formě malých částic, ale po návratu na povrch by se zjistilo, že obsahuje železo v méně

oxidovaném stavu, například magnetit, dospěli bychom k závěru, že inokulant zavedený v hloubce nesl infektant, jehož metabolismus vyžadoval redukci trojmocného železa, možná s využitím redukováných plynů nebo kapalin, které se nahromadily ve vrtu.

Díky těmto a dalším inovativním kultivačním technikám bude možná jednoho dne možné odhalit celou ekologii hlubinného života. Krok za krokem budou odebírány vzorky různých hlubinných mikrobů, budou kultivovány a pochopeny. Někteří interpreti výsledků nepochybně ještě dojdou k závěru, že naše vlastní povrchová biosféra si osvojila strategie přežití v extrémním prostředí a hoduje na geologicky zpracovaných pozůstatcích povrchového života, který dávno odumřel a je dávno pohřben v sedimentech. Jiní možná spolu se mnou dojdou k závěru, že jsme narazili na zcela nový svět.

### Vyhlídky na mimozemský povrchový život

Jak bylo uvedeno v kapitole 1, je život, jak ho známe, zcela závislý na přítomnosti kapalné vody. Led nebo vodní pára nestačí. Voda ve své pevné formě ztrácí jakoukoli schopnost sloužit jako matrice pro míchání a párování molekul. Pokud se nic nemůže pohybovat, nemůže docházet k rekombinacím atomů. Pokud je teplota vyšší než několik stupňů nad místním bodem varu vody, uniká voda z jakéhokoli biologického materiálu jako pára. Vodní pára smíchaná v atmosféře jiných plynů však může dodávat vodu biologickým systémům a může se dokonce chemickým působením přeměnit na vodu kapalnou. K tomu však může dojít pouze v teplotním rozmezí mezi bodem mrazu a bodem varu.

Pokud je voda – a to voda v kapalném skupenství – skutečně podmínkou pro život na povrchu planety, pak musí existovat kombinace několika podmínek nezbytných pro přítomnost vody, zejména povaha centrální hvězdy, vzdálenost oběžné dráhy planety od této hvězdy, velikost a hmotnost planety a povaha její atmosféry. Pokud je pro hlavní zdroj energie nutná fotosyntéza, pak je také nutný značný teplotní rozdíl mezi povrchem hvězdy a povrchem

planety. Světlo vhodné vlnové délky a přítomnost kapalně vody tak společně určují, jak se ukazuje, velmi úzký prostor pro život na povrchu.

Voda je ve vesmíru běžnou molekulou, ale na povrchu planet a satelitů sluneční soustavy je voda v kapalně fázi vzácná. Takto obdařené je pouze jedno těleso: naše vlastní modrá perla planety. Nemusíme se dívat dál než k našim dvěma nejbližším planetárním sousedům, Venuši a Marsu, abychom si uvědomili, jaké štěstí pro povrchový život bylo, že se Země objevila na správném místě, měla správnou velikost a správné složení a správný druh hvězdy, která ji osvětlovala.

Začněme Venuší. Venuše přijímá téměř dvakrát více slunečního záření než Země. Výpočty klimatických modelů<sup>5</sup> ukazují, že kdyby Země musela snášet takový příliv slunečního záření, došlo by ke "skleníkovému úniku", který by zničil veškeré vyhlídky na život na povrchu. Protože se Slunce pomalu zahřívá, je "skleník na útěku" v budoucnosti i na Zemi – ale ne dříve než za miliardy let.<sup>6</sup> Skleník funguje tímto způsobem: Za prvé, vyšší intenzita záření znamená zpočátku teplejší klima, které odpařuje více kapalně vody na povrchu planety. Horké klima také umožňuje, aby se více vodní páry udrželo v atmosféře, než vypadne jako déšť. Vodní pára je skleníkový plyn – ve skutečnosti je to nejúčinnější skleníkový plyn v zemské atmosféře. Je průhledná pro většinu přicházející sluneční energie, ale když se část viditelného světla na zemském povrchu přemění na infračervené, je vyzařování části tohoto tepla zpět do vesmíru blokováno. Molekuly vody přítomné v atmosféře ve formě vodní páry odrážejí tyto delší vlnové délky zpět k zemskému povrchu, čímž dále ohřívají zemský povrch a umožňují atmosféře zadržovat ještě více vody ve formě páry, což se zpětně projevuje na množství tepla zadržovaného Zemí atd. Nakonec by se veškerá povrchová voda vypařila.

A co hůř, intenzivní skleníkové klima by vytlačilo velké množství vodní páry do vyšších vrstev atmosféry, kde by její molekulární vazby byly zranitelné vůči nejenergičtějším vlnovým délkám slunečního záření. Při rozpadu molekul vody na vodík a kyslík uniká lehká vodíková složka ( $H_2$ ) z horních vrstev atmosféry

přímo do vesmíru. Zbývající atomy kyslíku se pak mohou buď připojit k zásobám atmosférického kyslíku, nebo zvýšit stupeň oxidace povrchových materiálů planety. Veškerý uhlík bude pravděpodobně oxidován na oxid uhličitý, který je předurčen k tomu, aby zůstal v atmosféře planety bez vody.  $\text{CO}_2$  je silným skleníkovým plynem a bude stabilně zadržován gravitačním polem stejně silným jako gravitační pole Země nebo Venuše. Dokud bude planeta ze svého nitra vytlačovat plyny obsahující uhlík, bude se  $\text{CO}_2$  v atmosféře hromadit.

Rozbíhající se skleník na Venuši dospěl do bezvodého konce. Přestože Venuše vznikla ze stejných úlomků sluneční soustavy jako Země a pravděpodobně také začínala s určitým obsahem vody, v její atmosféře dnes nelze detekovat žádnou vodní páru. V atmosféře Venuše převládá  $\text{CO}_2$ .

V našem světě bohatém na vodu se atomy uhlíku z atmosféry odstraňují přibližně stejnou rychlostí, jakou byly dodávány zplodinami z hlubin Země. Metan a oxid uhličitý jsou hlavními zdroji uhlíku vstupujícího do dnešní atmosféry, jak bylo uvedeno v předchozích kapitolách, a metan se v naší oxidující atmosféře také rychle mění na oxid uhličitý a vodu. Statistika vrtů a zkoumání meteoritických materiálů (pozůstatků po stavbě planet) jasně naznačují, že se jedná především o metan. Oxid uhličitý je z atmosféry opět odebrán, trvale nebo dlouhodobě, především tím, že je odejmut v karbonátových horninách usazených na dně oceánů. Zajímavé je, že kdyby tato cesta odstraňování oxidu uhličitého prostřednictvím vody na Zemi nefungovala, naše vlastní atmosféra by nyní obsahovala právě tolik oxidu uhličitého jako atmosféra naší sesterské planety Venuše, kde je atmosférický tlak při povrchu asi osmdesátkrát vyšší než u nás. Neexistovaly by oceány, déšť ani povrchová biosféra.

Na Marsu se setkáváme s opačným problémem, pokud jde o povrchový život závislý na vodě. Zatímco intenzita slunečního záření na Venuši je dvakrát vyšší než na Zemi, na Marsu je méně než poloviční. Není divu, že povrch Marsu je všude pod teplotou bodu mrazu vody a v některých oblastech a ročních obdobích je velmi hluboko pod touto teplotou. Zdá se, že zatímco Venuše je příliš blízko Slunci, Mars je příliš daleko. Mars má však ještě větší nevýhodu než svou odlehlost. Mars je příliš malý.



Povrchová teplota závisí jak na vzdálenosti od Slunce, tak na skleníkových schopnostech a hustotě atmosféry. Čím menší je hmotnost planety, tím méně masivní je proces odplyňování, který vytváří atmosféru, a tím slabší je gravitační síla, která působí na její stlačení. Taková atmosféra bude také obzvláště zranitelná vůči slunečním erupcím o intenzitě, jaká se objevuje několikrát za jedenáctiletý sluneční cyklus. Tyto erupce mohou z planety nebo měsíce s nízkou gravitací smést část atmosféry, zejména pokud těleso nemá magnetické pole, které by ho chránilo před vysokoenergetickými ionizovanými částicemi emitovanými Sluncem. Protože Mars má pouze desetinu hmotnosti Země (třetinu naší gravitace) a žádné obecné magnetické pole, snadno by takové ztráty utrpěl.

Dnešní marťanská atmosféra má jen sedmitisícinu atmosférického tlaku té naší. Téměř celá je tvořena skleníkovým plynem oxidem uhličitým, ale je ho příliš málo na to, aby zvýšil povrchovou teplotu natolik, aby led roztál a začalo pršet. Póly jsou skutečně tak chladné, že ledové čepičky jsou zčásti tvořeny ledem z oxidu uhličitého.

Malá hmotnost atmosféry Marsu zužuje možnosti pro výskyt kapalné vody významnějším způsobem. Každý, kdo se někdy pokoušel vařit ve vysokých nadmořských výškách, tento problém dobře zná. Ve velkých výškách je méně atmosféry, která tlačí na povrch hrnce s vodou. Kapalná voda se proto snadněji odpařuje a bod varu klesá. To znamená, že atmosférický tlak na planetě určuje teplotní rozsah, ve kterém může kapalná voda na povrchu existovat.

Na úrovni hladiny moře na Zemi tlačí atmosféra dolů váhou přibližně 1 kilogram na čtvereční centimetr plochy. Tento tlak poskytuje kapalné vodě prostor mezi varem a mrznutím o teplotě  $100^{\circ}\text{C}$  což znamená prostor o teplotě  $100^{\circ}\text{C}$  pro jakékoli formy života na povrchu, které mohou zahájit metabolické aktivity. (Toto rozmezí lze o několik stupňů zvýšit pomocí chemických látek rozpuštěných ve vodě). Rozsah  $100^{\circ}\text{C}$  pro kapalnou vodu není o mnoho větší, než je potřeba pro život, aby se vyrovnal s rozsahem slunečního tepla dodávaného do různých částí naší planety. Na Marsu je toto okno pro kapalnou vodu mnohem užší, protože ačkoli je bod varu vody kriticky závislý na atmosférickém tlaku, tento tlak

téměř neovlivňuje její bod tuhnutí. Atmosférický tlak, který působí na současnou malou hmotu marťanské atmosféry, by neumožnil existenci kapalně vody; místo toho by voda zmrzla a sublimovala (přešla by přímo z pevného skupenství do skupenství par, aniž by nejprve prošla kapalným stavem). Aby byl atmosférický tlak tak velký jako na Zemi, a tedy aby se voda v kapalném stavu dostala do podobného teplotního rozmezí, bylo by ve slabém gravitačním poli Marsu zapotřebí třikrát více atmosférické hmoty nad každým čtverečním centimetrem povrchu. Muselo by zde být více než 140krát více hmoty, než je v současné marťanské atmosféře.

Lze však předpokládat, že taková atmosféra na Marsu někdy existovala? Kde by se vzala a jak by zmizela?  $\text{CO}_2$  je těžká molekula (44 atomových hmotnostních jednotek) a na Marsu by se pevně udržela, zatímco lehká molekula vodní páry (pouze 18 hmotnostních jednotek) by mohla uniknout nebo utrpět disociaci vysokoenergetickými složkami slunečního záření, což by umožnilo vodíku uniknout do vesmíru a kyslíku zůstat na planetě, buď v atmosféře, nebo fixované v povrchových materiálech. Stejný proces probíhá i na Zemi; zde však při větším gravitačním tlaku a s ochranou magnetického pole uniká přímo do vesmíru jen málo vodní páry. Část disociovaného vodíku však uniká, jak již bylo uvedeno, a disociovaný kyslík se připojuje k velkému množství atmosférického kyslíku.

Byla někdy na Marsu kapalná voda? Mohl na povrchu Marsu kdysi existovat život? Všeobecně se předpokládá, že v dávné minulosti na Marsu skutečně tekly řeky. Snímky, které v roce 1976 přenesla sonda Viking, se zdály být důkazem toho, že kdysi byl svět dobře zavlažován. Podle tohoto názoru jsou vyschlá koryta kdysi obrovských řek výraznými rysy marťanské krajiny. Některá koryta jsou tak velká, že se předpokládá, že byla vyhloubena náhlým protržením přírodních přehrad, čímž se uvolnily mnohem větší proudy vody, než jaké se kdy proháněly po Zemi.

Já (a jiní přede mnou<sup>7</sup>) se domnívám, že povrchové proudění na Marsu lze mnohem uspokojivěji vysvětlit zaledněním. Podle mého názoru mají velmi široká a hladce zakřivená údolí přezdívaná "superdálnice" tvary zcela charakteristické pro ledovcové proudění

a vůbec ne pro proudění kapaliny. Například tam, kde v korytě leží významná překážka, se vzor proudění kolem ní rozděluje a za ní se znovu spojuje, čímž vzniká ostrůvek ve tvaru slzy. Všechny změny směru těchto kanálů jsou mírné; křivky nezahrnují více než 30 stupňů změny směru na 100 kilometrech. Okraje kanálů jsou hladké bez ostrých zářezů a břehy si zachovávají stejný sklon po stovky kilometrů. Takové vlastnosti nelze vysvětlit vodou, ať už by tekla jakkoli rychle. Rychle tekoucí voda je turbulentní; směr toku se udržuje jen na krátké vzdálenosti než turbulence, a dokonce i malé terénní nerovnosti, řeku podstatně přesměrují. Naproti tomu led je pevná látka, přesněji řečeno kapalina s nesmírně vysokou viskozitou. Právě tato viskozita způsobuje, že proudění je plynulé, pomalé a bez turbulencí. Tuhost materiálu brání jakýmkoli vzorcům proudění, které by si vynutily prudké změny směru.

Ačkoli "superdálniční" kanály lze nejlépe vysvětlit jako záznam pohybu dřívějšího rozsáhlého zalednění na povrchu Marsu, existují i jiné kanály, které vykazují všechny křivky a nerovnosti pozemských řek a které se vyznačují náhlými změnami směru. Některé z nich dokonce vykazují druhy smyček, které vidíme v deltách velkých pozemských řek. Takové rysy jistě naznačují, že zde kdysi tekla tekutá voda, ale nyní jsou to suché rýhy na povrchu Marsu. Znamenalo by to, že kdysi chránila kapalnou vodu na povrchu obrovská atmosféra a že teplota atmosféry byla nad bodem mrazu?

To si nemyslím. Existence silného zalednění v dřívějších dobách by tyto rysy opět vysvětlovala. Tekoucí voda je koneckonců pod pevninskými ledovci běžná a tato voda vyhloubí v zemi pod nimi zákonitosti toku řek. Na zemi vidíme říční rysy v mnoha případech tam, kde ledovec ustoupil. Lze očekávat, že stejný proces proběhl i na Marsu. Pokud by ledovcová pokrývka měla tloušťku 2 km, působila by v gravitačním poli Marsu tlakem odpovídajícím 67 zemským atmosférám. Silná ledová pokrývka by také poskytovala tepelnou izolaci, takže voda ohřívána z hlubších vrstev (stejnými procesy gravitačního třídění, stlačování a radioaktivního rozpadu, které ohřívají zemské nitro) by mohla pronikat a proudit pod ledem. Takové podledovcové řeky by vyhloubily kanály a přenášely materiál stejně jako na naší planetě.

Časem by mart'anské ledovce sublimovaly v páru. Vzhledem ke slabému atmosférickému tlaku by ledovcový led nemusel projít kapalným stadiem. Sublimace, nikoli tání, by tak ukončila dobu

ledovou na Marsu. Kanály vyhloubené ledovcovým prouděním a usazeniny vytvořené subglaciálními řekami tekuté vody by byly obnaženy relativně neporušené. Množství hornin různých velikostí a typů, které byly rozptýleny velkými nárazy na různé úrovně ledovců během jejich pomalého vypařování, by se nakonec všechny jemně usadily na suchém povrchu, což by vysvětlovalo vznik četných polí hustě osídlených rozmanitými horninami.

Na jedné z prvních fotografií Vikingu z roku 1976 je vidět na povrchu ležící kámen, který je mnohem větší než všechny ostatní v hustém poli. Kolem něj jsou shromážděny mnohem menší kameny, které jasně definují dobré přiblížení ke kruhovým vzorům. Právě tento typ rysů byl často pozorován (mnou i mnoha dalšími) na pozemských ledovcích. Čím je tento vzor vysvětlitelný? Velká skála se během dne zahřívá a zadržuje velké množství tepla, které se nakonec vyzáří ven. Okolní led, který v první řadě zachytil méně tepla, bude touto skálou trochu zahříván, a proto se bude vypařovat o něco rychleji než ostatní led. Kolem kamene se v ledu vytvoří trychtýř. Všechny kamínky, které jsou v ledu uvězněny, se při jeho tvorbě propadnou na dno trychtýře. Pokud se teplota a rychlost odpařování v čase mění (což se na Zemi jistě stalo), vzniknou kolem velké skály prstence z úlomků.



Obrázek 10.1 Malý ledovcový útvar na Marsu. Prstence hornin obklopující velkou skálu uprostřed jsou jasným důkazem zalednění a následného vypařování ledu. Mnoho podobných rysů bylo pozorováno na pozemských ledovcích. Se svolením NASA.

Fotografie Marsu pořízené misí NASA Pathfinder v roce 1997 a dálkově řízeným vozítkem, které se pohybovalo po povrchu planety, potvrdily poznatky z misí Viking o dvě desetiletí dříve. Běžným rysem jsou hustě roztroušené horniny zcela odlišného složení a v prostorech mezi horninami se vyskytuje prachový materiál. Podle mého názoru je hustota hornin v těchto polích taková, že by bylo obtížné vysvětlit je jako objekty vyvržené vysokou rychlostí z impaktních kráterů. V těchto horninách je patrná jen velmi malá destrukce. Naproti tomu rozsypané pole z impaktů by generovalo destrukci, protože mnoho trajektorií by bylo pod malým úhlem k povrchu, a tak by rozbilo mnoho dalších hornin, než by se zastavily. Ledovcové vysvětlení lépe vysvětluje mikro i makro rysy zjištěné na Marsu.

Dalším rozsáhlým rysem na Marsu, který by mohl vysvětlit zalednění, je výrazný sráz obklopující úpatí největší hory Olympus Mons, která je pravděpodobně největším vulkánem<sup>8</sup> ve sluneční soustavě. Tento velmi strmý sráz je vysoký 1 až 2 kilometry, a to po celém obvodu hory. Je velmi obtížné vysvětlit, jak mohla láva přestat stékat po hoře právě k tomuto okraji nebo jak mohlo být takové množství zmrzlé lávy následně erodováno. Pokud však byla sopka v době posledních velkých erupcí obklopena ledovcem a pokud byl led silný 2 kilometry, pak jakákoli kapalina, která se dostala dolů z hory, musela být zadržena na úrovni ledovce nebo v jeho blízkosti. Následná sublimace by zanechala strmý sráz. Podobné rysy byly zaznamenány u pozemských sopek, které hraničí s ledovci.

Tyto a mnohé další rysy Marsu ukazují spíše na silné zalednění než na rozsáhlé řeky tekoucí po povrchu. Interpretace těchto rysů jako ledovcových také řeší hlavní problém, na který planetární vědci narážejí, když se snaží vytvořit modely historie klimatu Marsu. Je velmi obtížné navrhnout věrohodné scénáře, podle kterých by si Mars mohl v určité době udržet dostatečně silnou atmosféru, aby udržel tekutou vodu, která by pak musela zmizet a

zanechat po sobě méně než setinu své původní hmotnosti – to vše při vytváření "říční" krajiny pomocí záplav mnohem větších než ty, které se proháněly po povrchu Země.

Pokud je Venuše příliš horká na to, aby se na jejím povrchu mohl vyskytovat život založený na vodě, pak je Mars příliš chladný. Skalnaté měsíce velkých vnějších planet jsou ještě chladnější než Mars, ale na rozdíl od Marsu jsou tyto měsíce tak chladné, že zmrzlá voda na jejich povrchu přežívá po dlouhá geologická období. Povrchový život na jiných planetárních tělesech naší sluneční soustavy se tedy zdá být vyloučen. Podpovrchový život je však jiná věc. Mars, satelity hlavních planet, mnohé asteroidy, a dokonce i náš vlastní Měsíc by měly být považovány za reálné vyhlídky na ukrývání mimozemského života tohoto druhu.

## Prohloubení pátrání po mimozemském životě

Nejzajímavějším oborem, v němž se v budoucnu dozvíme mnohé o vzniku a vývoji života, bude výzkum podpovrchového života na jiných planetárních tělesech naší sluneční soustavy. Při těchto nutně nákladných a zdoluhavých průzkumných misích by nám velmi pomohlo, kdybychom již nyní získali jasnou představu o prvním takovém příkladu: hluboké horké biosféře Země. Úzká spolupráce mezi vesmírným programem a hlubinným geochemickým výzkumem naší vlastní planety by mohla být oboustranně prospěšná a umožnila by učinit objevy důležité pro obě úsilí.

Ačkoli se povrchové podmínky na ostatních pevných planetárních tělesech od těch pozemských značně liší, podpovrchové podmínky v mnoha větších planetárních tělesech budou podobné těm našim. Vztah tlaku a teploty s hloubkou bude samozřejmě odlišný, ale šance, že se v určité hloubce vyvinul život, se nemusí příliš lišit od těch zdejších. Na povrchu a v atmosférách mnoha těchto těles byly spektroskopicky zjištěny uhlovodíky (metan a další) a ve většině z nich lze očekávat podpovrchovou kapalnou vodu (zdá se, že voda byla hojně zastoupena v cirkumsolárním oblaku, z něhož se planety zformovaly, a na několika dalších planetárních tělesech a kometách, které jsou chladnější než Země, byl identifikován led). Horniny by stejně jako ty pozemské měly obsahovat některé oxidované složky, které budou sloužit jako donory kyslíku. Tím by byla připravena půda pro existenci tamní mikrobiologie.

Mars by byl nejméně nákladným planetárním tělesem pro zkoumání důkazů o podpovrchovém mimozemském životě, protože k zahájení takového úsilí možná nebudeme muset vypouštět žádné kosmické sondy. Meteority, které občas dopadají na Zemi, nesou chemickou stopu Marsu. Několik meteoritů získaných z ledových polí v Antarktidě zřejmě pochází z Marsu. Poměry stopových prvků, jako je posloupnost vzácných plynů od neonu po xenon, stejně jako poměr izotopů dusíku, který je v marťanské atmosféře poněkud neobvyklý, byly měřeny dřívějšími výsadkovými loděmi Viking a velmi podobné hodnoty těchto veličin se objevují i v těchto meteoritech. Zdá se velmi nepravděpodobné, že by úlomky z jakéhokoli jiného tělesa odpovídaly těmto veličinám tak přesně. Miliony let po dopadu na Mars, který způsobil vyvržení marsovského materiálu, vedly dráhy některých z těchto vyvržených těles ke srážkám se Zemí.

V roce 1996 jeden takový meteorit (označený ALH84001) poskytl přesvědčivé důkazy o tom, že hornina byla pozměněna mikrobiálním životem ještě v době, kdy byla součástí Marsu.<sup>9</sup> Při podrobném zkoumání se zdálo velmi nepravděpodobné, že by tyto důkazy byly způsobeny kontaminací životem na Zemi. Biologický otisk byl spíše přítomen v nitru kamene ještě předtím, než byl vyvržen z Marsu. Stejně jako mnoho jiných meteoritů byl i ALH84001 nalezen na povrchových plochách ledovcového ledu v Antarktidě bez jakýchkoli pozemských úlomků.

Meteorit ALH84001 dává důraz na naše pátrání po mimozemském životě, protože hornina téměř jistě nepochází z povrchu Marsu, ale z nějaké hloubky. Aby byl objekt vystřelen z Marsu na oběžnou dráhu, která by nakonec mohla skončit na Zemi, musel by za to být zodpovědný velmi velký dopad na Mars. Na Marsu se nachází mnoho velkých impaktních kráterů, takže se to nezdá nepravděpodobné. Při velkém nárazu by většina vyhloubeného materiálu, případně poháněného vysokou rychlostí, pocházela ze značné hloubky. V takovém případě jsou důkazy biologických procesů v meteoritu důkazem života v hloubce – nikoliv života na povrchu, který byl později pohřben v nových povrchových marťanských sedimentech.

V malém meteoritu na dlouhém letu vesmírem by měly kapalné nebo plynné produkty hlubinné mikrobiologie zpravidla uniknout v krátké době. Právě pevné látky vytvořené životem jsou vodítkem. Jaké pevné látky bychom měli hledat? Pokud se život na bázi uhlíku uvnitř Marsu

živí (nebo se kdysi živil) prvotními uhlovodíky vyvěrajícími z větší hloubky a pokud marťanský život potřeboval kyslík, aby měl přístup k energii, kterou nabízí chemická reakce kyslíku s molekulami uhlovodíků, pak by jedním z důkazů mohl být změněný stav dárce kyslíku. Pokud by jako donor kyslíku sloužily oxidy železa, pak by konečným produktem bylo železo v méně oxidovaném stavu, který je shodou okolností magnetický. Magnetit je nejběžnější formou, a jak bylo uvedeno v kapitole 6, hojnost mimořádně malých částic magnetitu objevených v hloubce v našem vrtu ve Švédsku byla důležitým důkazem působení života. Alternativně, pokud by donory kyslíku byly oxidy síry, očekávali bychom jako trvalé zbytky sulfidy kovů. Produktem oxidace uhlovodíků by byl oxid uhličitý a voda, které by v mnoha horninách reagovaly s oxidy vápníku nebo hořčíku za vzniku pevných uhličitánů. V naší hlubinné biosféře vedlejší produkty života mají formu karbonátů, které vyplňují malé póry. Víme, že na Marsu se hojně vyskytuje vysoce oxidované železo, a v marsovském meteoritu, který byl zkoumán z hlediska známek biologické alterace, byl skutečně zjištěn velmi drobnozrnný magnetit. Tento meteorit také obsahuje sulfid železa a karbonátové tmely. Kromě toho obsahuje polycyklické aromatické uhlovodíky, což by mohly být velké molekuly, které zůstaly z prvotní ropy, jež byla kdysi obsažena v hornině a jejíž lehčí molekuly po mnoha tisíciletích vystavení vesmírnému vakuu zanikly. Kromě toho meteorit obsahuje drobné objekty, zjistitelné skenovacím elektronovým mikroskopem, které mohou být zkamenělinami mikrobů. Ačkoli by údajné fosilie samy o sobě nebyly přesvědčivým důkazem, spojení magnetitu, sulfidu železa, uhličitánů a těžkých uhlovodíků podle mého názoru silně svědčí pro mikrobiální vysvětlení. Je pravda, že každá z těchto položek může vzniknout bez biologického zásahu, ale pravděpodobnost, že bychom je náhodně našli pohromadě v malém objemu, by byla velmi malá. Mnoho pozemských ropných a plynových vrtů vykazuje právě takové spojení (ale spojení také s heliem, které meteorit nemohl vesmírem dopravit).

Důkazy o podpovrchovém životě na Marsu jsou nyní natolik lákavé, že návštěva Marsu může být v této otázce vědecky velmi přínosná. Pro budoucí meziplanetární mise, které by mohly vrátit vzorek na Zemi, by bylo nejlepší vydat se do míst, kde je nyní odkryt materiál, který se kdysi musel nacházet v určité hloubce<sup>10</sup> Takovým místem je dno hlubokého "Valles Marineris". Mohutné sesuvy půdy tam obnažily materiál, který se kdysi musel nacházet



hluboko v oblasti kapalné vody. Velké impakty se také zaryly hluboko do oblastí vody, takže vzorky, které byly při takových událostech vyvrženy, mohou také vykazovat účinky související s vodou.

Ve svém článku z roku 1992, v němž jsem představil myšlenku hluboké horké biosféry, jsem navrhl, že možná deset planetárních těles v naší sluneční soustavě by mohlo poskytnout vhodný podpovrchový domov pro v podstatě stejný druh života, jaký máme na Zemi.<sup>11</sup> Tuto předpověď jsem učinil pomocí poměrně jednoduchého a obecného vzorce: Lze očekávat, že každé kamenné planetární těleso, které je alespoň tak velké jako pozemský Měsíc, by mohlo nabídnout potřebné podpovrchové podmínky tepla a vyvěrajících uhlovodíků.

K volbě našeho Měsíce jako spodní hranice velikosti podpovrchové biosféry mě vedly dvě úvahy. Za první, tělesa menší, než náš Měsíc pravděpodobně nebudou schopna udržet kapalnou vodu ani v hloubce. Za druhé, empirické důkazy naznačovaly přítomnost měsíčních uhlovodíků. Jedinou myslitelnou příčinou hlubokých, vnitřních otřesů, které byly pozorovány na tektonicky zmrzlém Měsíci, je otevírání a zavírání pórů při vzestupu tekutin. Stejně jako na Zemi by tyto tekutiny měly obsahovat prvotní uhlovodíky. Přístroj umístěný na Měsíci misí Apollo zjistil v době takových zemětřesení částice plynu o hmotnosti 16 (v jednotkách atomové hmotnosti). Nevím o žádném atomu nebo molekule této hmotnosti, která by byla dostatečně stabilní a nereaktivní, aby se dostala do měsíčních hornin, kromě metanu.

V roce 1992 jsem tak dospěl k závěru, že podpovrchový život je skutečně možný na řadě planetárních těles. Tehdy jsem však nemohl posoudit, zda je mimozemský život nejen možný, ale i pravděpodobný – možná dokonce běžný. Od té doby jsem se přesvědčil, že život na těchto tělesech je vysoce pravděpodobný. Nyní nemám o nic více podstatných empirických důkazů než tehdy. Argumentace je založena spíše na logice. Na začátku předpokládám nejen to, že hlubinná biosféra uvnitř Země je nezávislá na životě na povrchu, ale také to, že byla prapůvodcem života na povrchu. Pokud správně usuzuji, že 10 planetárních těles nabízí podpovrchové podmínky vhodné pro život a že pouze naše planeta je vhodná pro povrchový život, pak by bylo velmi nepravděpodobné, že by

se hlubinná biosféra náhodou vyvinula pouze na jediné planetě, která by mohla podporovat i povrchový život.

### Nezávislý počátek nebo panspermie?

Pokud by podpovrchový život existoval i jinde ve sluneční soustavě, vznikl by na každém planetárním tělese nezávisle? Nebo mohou existovat přirozené mechanismy, kterými se život přenáší z jedné planety nebo měsíce na druhou? Tento druhý způsob meziplanetární biologické infekce se nazývá panspermie.

Abychom mohli odpovědět na tyto otázky, museli bychom zvážit, zda se mikrobiální život může spontánně vyvinout na všech příznivých místech. Jaká je pravděpodobnost, že by si život nezávislého původu osvojil podobný základní chemismus? A pokud by meziplanetární infekce byla mechanismem, jak by fungovala?

Pokud bychom na jiném planetárním tělese našli typ biologie, který by používal zcela odlišné základní chemické kroky, mimo rozsah variant, které jsme pozorovali u pozemského života, dospěli bychom k závěru (i když ne s úplnou jistotou), že se jedná o nezávislý původ. Tento objev by zase naznačoval, že některé varianty života by měly s vysokou pravděpodobností vzniknout na mnoha dalších příznivých místech. Pokud bychom však pozorovali formy života s podobným základním chemickým složením, mohli bychom pak rozlišovat mezi panspermií a velmi úzce paralelní evolucí? Možná je naše vlastní biochemie jediná, která by mohla vytvořit funkční organismy, a v takovém případě by se žádné jiné nenašly. Nebo je možná ta naše jednou z malého počtu možných biochemií a z tohoto důvodu by byla pravděpodobně objevena jinde.

Co kdyby se ukázalo, že biochemie mimozemské ekologie je téměř stejná jako ta pozemská, ale opačné chiralidy? Stejně jako v kapitole 9 je molekula chirální, pokud může existovat jiná molekula, která je identická se zrcadlovým obrazem té první, ale neliší se v ničem jiném. Například DNA je spirálovitá molekula, která se stáčí doprava. Jejím chirálním opakem by byla stejná molekula spirálovitě se stáčející doleva.

Pokud bychom v biologických molekulách jiného planetárního tělesa našli stejnou základní chemii jako u nás, ale chiralita by byla opačná než u nás, měli bychom pádné důkazy pro závěr, že život, využívající stejnou základní chemii, mohl s velkou pravděpodobností vzniknout nezávisle na jiných tělesech, která mají podobné podpovrchové podmínky. Kdybychom tam však našli stejnou chiralitu, mohli bychom říci jen to, že mohly vzniknout společným vývojem s naším (panspermie), nebo že nezávislý vznik upřednostňující stejnou základní chemii mohl narazit (s pravděpodobností 50 na 50) na stejnou chiralitu jako náš.

Kdybychom taková pozorování zopakovali u dalšího planetárního tělesa a získali tak druhý mimozemský příklad se stejnou chiralitou podobnou Zemi, dospěli bychom k závěru, že důkazy začínají ukazovat na společný původ, protože nezávislý původ by měl pravděpodobnost pouze 1:4, že ve třech nezávislých případech bude mít stejnou chiralitu. Pro vyřešení této otázky by pak bylo nezbytné prozkoumat ještě další planetární tělesa.

Jakým mechanismem se může život, který vznikl na jednom planetárním tělese, rozšířit na jiné? Odpověď nabízí meteorit z Marsu, který byl nalezen v Antarktidě: masivní náraz, který odštěpí kusy planety nebo měsíce a vymrští je do vesmíru. Kromě traumatu při opuštění domovské planety a vstupu na novou planetu by byla hornina nesoucí život během cesty vystavena kosmickému záření. Pokud by cesta byla dlouhá, byly by další výzvou pro úspěšnou infekci nového planetárního tělesa úskalí delšího klidu. Poškozující záření a plynutí času by se staly obzvláště závažnými překážkami přirozeného přenosu života mezi hvězdnými systémy – galaktické panspermie. Šance by se zvýšily, kdyby v prostoru mezi hvězdami existovala tělesa planetární velikosti, která by mohla podporovat podpovrchovou biosféru. Největší sofistikované teleskopy by měly velké potíže s detekcí takových těles.

Molekulární mračna mohou takové tmavé objekty vytvářet neustále a jen zlomek z nich bude spojen s hvězdou. Mohly by obsahovat a po miliardy let udržovat aktivní vnitřní mikrobiální život, stejně jako je tomu zřejmě v případě Země. V souladu s tím by mohly nést aktivní život v hloubce vesmírem na mezihvězdné

vzdálenosti. Když by se takové těleso dostalo do blízkosti planetárního systému, srážky s planetami by umožnily distribuci aktivního živého materiálu. Stejného výsledku by mohly dosáhnout i srážky s menšími objekty, z nichž se odštěpují kusy, jako je mart'anský meteorit. V tomto případě by neexistovala závislost na dlouhodobě spícím životě ani na dlouhodobé odolnosti vůči poškození kosmickým zářením, což jsou dva problémy, kvůli nimž se jiné návrhy panspermie v galaktickém měřítku zdály nepravděpodobné. I když jsou šance na zde popsanou galaktickou panspermii velmi vysoké, není nemožná. Panspermie mezi planetami jedné planetární soustavy by byla zjevně možná, jak ukázal mart'anský meteorit.

Jsou to všechno jen plané spekulace? Neměli bychom si názorů uvedených v těchto kapitolách všímat? Měli bychom já i ostatní přestat zkoumat hlubokou horkou biosféru a sondovat mikrobiální život pod zemským povrchem? Měla by vědecká komunita také zanechat systematického výzkumu původu ropy, důvodu silné asociace helia s ropou, příčiny zemětřesení a toho, proč se různé kovové minerály vyskytují tak často společně na stejném místě? To všechno jsou vlastnosti, které dosud nebyly vysvětleny vládnoucími teoriemi, a proto je jim třeba věnovat zvláštní pozornost (namísto přehlížení, kterému se nevysvětlitelným jevům v moderní vědecké literatuře obvykle dostává). Dějiny vědy nabízejí jeden příklad za druhým, kdy byly zdánlivě nevysvětlitelné jevy nakonec vysvětleny zcela racionálně. Téměř ve všech takových případech předpoklady, kterým se všeobecně věřilo, zastíraly pravdu tak účinně, že se zdálo, že žádný pokrok směrem k řešení není možný. Přesto právě u takových zdánlivě nevysvětlitelných rysů musíme doufat, že najdeme vodítka, která nám ukáží, jak se zbavit falešných přesvědčení.

Spekulace jsou v tomto procesu důležitým krokem. Kdysi se spekulovalo, že Země obíhá kolem Slunce. Nemyslím si, že bez těchto spekulací by jakákoli systematická cesta výzkumu přinesla důkazy, které tuto teorii potvrdily. V době, kdy jsou navrhovaná řešení stále ještě spekulativní, jsou hnací silou pro výzkumy, které

prokáží jejich správnost či nesprávnost, a tím nasměrují naše myšlení na novou a lepší cestu.

## Doslov k brožovanému vydání

od prvního vydání této knihy v prosinci 1998 jsem se jen utvrdil v tom, že ropa a černé uhlí nejsou fosilní zbytky, které se z povrchu Země dostaly do podzemí. Tento všeobecně přijímaný názor o jejich *biogenním* původu je podle mého názoru mylný a tato kniha navrhuje alternativu – totiž že obrovské zásoby uhlovodíků na Zemi jsou abiogenní, že byly součástí prapůvodní "polévky", z níž naše planeta vznikla, a že dodnes existují v hojném množství v hloubi naší planety a stále stoupají k povrchu.

Důvodů, proč zastávám tento jistě kontroverzní názor, je celá řada. Zaprvé je mi zcela zřejmé, že množství černého uhlí a ropy (a zejména její složky zemního plynu, metanu) je mnohem větší, než by bylo možné vysvětlit jakoukoli teorií, která závisí na pohřbených biologických zbytcích. Za druhé, ropa a metan byly nalezeny a stále se nacházejí na místech na Zemi, kam povrchové biologické pozůstatky nikdy neměly přístup; přítomnost ropy a plynu na těchto místech prostě nelze vysvětlit biogenní teorií. Za třetí, na těchto místech nenajdeme žádné jiné zbytky, které bychom očekávali v přítomnosti biogenních uhlovodíků. A za čtvrté, což je možná nejvýmluvnější, se dnes všeobecně uznává, že se nachází hojně zásoby

209

uhlovodíků na mnoha jiných tělesech naší sluneční soustavy, kde nelze předpokládat jejich původ v povrchové biologii. Přesto je používání názvu "fosilní paliva" pro zásoby uhlovodíků na Zemi velmi rozšířené, což vyvolává dojem, že jejich původ v povrchové biologii je nade vše pochybnost prokázán. Každý objev, který je v rozporu s tímto starým výkladem, je stále často označován za "nanejvýš překvapivý" nebo "nevysvětlitelný", přestože důkazy samy o sobě nejsou zpochybnovány. Tento nedostatek souvislosti mezi nezpochybnitelnými důkazy a obecně přijímanou teorií je obzvláště zvláštní, když vezmeme v úvahu široce rozšířené přesvědčení, že existuje zásadní nedostatek těchto tzv. fosilních paliv. Po mnoho desetiletí, kdy jsme nacházeli další a další zásoby ropy a jiných uhlovodíků, jsme museli neustále revidovat své odhady směrem nahoru. Podle mého názoru je alternativní závěr nevyhnutelný: Po více

než sto letech intenzivního využívání zemního plynu, ropy a uhlí víme o větších zásobách než se, kdy v minulosti předpokládalo.

Každý pozemský uhlovodík obsahuje molekuly, jejichž biologický původ je nepochybný, ale to nedokazuje, že uhlovodík je biologického *původu*. Alternativní řešení, které je uvedeno v této knize, spočívá v tom, že veškerá ropa, kterou získáváme ze země, utrpěla velké množství biologické kontaminace v úrovních hlubších, než kam se dostanou naše vrty. Živý materiál hluboko pod povrchem naší planety zanechal své stopy na ropě, plynu a černém uhlí, které se nakonec dostanou na povrch.

"Ale množství biologických kontaminantů je velmi vysoké," mohl by znít přiměřeně skeptický protiargument: "Kde by bylo místo pro všechny živý materiál, který je ve vašem výkladu požadován? A jaký by byl jeho zdroj výživy, zdroj uhlíku a mnoha dalších prvků nezbytných pro podporu života? A je vůbec myslitelné, že bychom se o existenci tak rozsáhlé podzemní domény života nedozvěděli?"

Pokud jsou důkazy o hlubinném původu ropy silné, jak se zdá, pak *musí* existovat rozsáhlá podzemní biologie. V minulosti se o této možnosti neuvažovalo, přestože chemici, kteří studovali složení ropy, ji silně naznačovali. Sir Robert Robinson, nositel Nobelovy ceny za chemii v roce 1947, popsal ropu takto: "Prvotní látka, do které byly přidány bioprodukty."

Dnes však existují jasné důkazy o existenci rozsáhlé hlubinné biosféry. Nepředstavuje jen malou poruchu ve schématu geochemie, pokud má odpovídat všem biologickým látkám, které uhlovodíky vynášejí a vynášely po dlouhá geologická období. Je naopak obrovská. Prostor pro všechny tento živý materiál není problém, pokud se jedná o mikrobiální život, kterému se daří v pórech hornin. V zemské kůře, kde je běžná pórovitost několika procent a která se rozprostírá ve vertikálním rozměru možná 10 kilometrů, by tato obrovská oddělená oblast života mohla dosahovat mnohem většího objemu, než jaký zaujímá veškerý povrchový život.

A co výživa? Uhlovodíky prosakující vzhůru dodají uhlík a mohou dodat energii pro život, pokud je k jejich spalování k dispozici kyslík. Velká zásoba kyslíku v povrchové atmosféře samozřejmě nedosahuje do hlubin. A kyslík, který se nachází v podzemních horninách, je příliš pevně vázán, než aby byl užitečný pro podporu života, protože k jeho uvolnění by bylo zapotřebí více energie než lze získat jeho využitím pro spalování

uhlovodíků. Existuje však několik běžných podzemních látek, které mohou dodávat kyslík dostatečně levně. Hlavními z nich jsou oxidovaná síra ve formě síranů a vysoce oxidované železo, jehož zbytky jsou v tomto pořadí sulfidy a nízkooxidační stavy železa, jako je magnetit. A skutečně, obrovské množství sulfidů a magnetitu se nachází právě v oblastech bohatých na ropu. Stejně tak se na dně oceánů nachází velké množství trhlin, které vypouštějí uhlovodíkové plyny, a tyto plyny poskytují výživu hojnému mikrobiálnímu životu v okolí prúdů. Tato místa jsou také obklopena velkými ložisky sulfidů kovů, protože v tomto případě se zdá, že donorem kyslíku jsou síranové ionty, které jsou významnou složkou mořské vody.

Další důkazy o stálé nabídce ropy a plynu z hlubinných zdrojů pocházejí z pozorování v ropném průmyslu. Jsme svědky toho, jak se ložiska ropy a zemního plynu sama doplňují, někdy stejně rychle, jako se vyčerpávají, a mnohá ložiska již vytěžila několikanásobně více, než předpokládaly dřívější odhady. Naftoví vědci také zjistili, že ropa často obsahuje stopové prvky zcela odlišné od toho, co by se dalo očekávat od horniny, která je podkladem konkrétního ložiska. Nikl a vanad jsou v této kategorii uznávány již dlouho, ale k tomuto seznamu musíme přidat i inertní plyn helium, jehož koncentrace nemá jiné vysvětlení než hluboký původ, a také řadu kovů, o nichž se předpokládá, že pocházejí z mnohem hlubších vrstev – včetně iridia, zlata, stříbra a platiny.

Při pohledu na ropný průmysl je třeba vzít v úvahu také rozsáhlé a nečekané lokality, ve kterých se nyní těží. V Rusku probíhá rozsáhlý projekt, jehož cílem je zjistit, do jaké míry jsou uhlovodíky obsaženy v horninovém podloží, a nikoli v sedimentech. V Tatarstánu (ve středním Rusku) bylo provedeno více než 300 hlubokých vrtů, všechny do rozpadlých podložních hornin do hloubky 5 km a více. Většina z nich prokázala přítomnost vysokého množství uhlovodíků. V jiných částech světa existuje asi stovka vrtů, které byly rovněž vyvrtány v bazických horninách, a z mnoha z nich se těží ropa. Mezi nimi je zvláště zajímavý nedávný objev velkého pobřežního naleziště ve Vietnamu, pole White Tiger, kde probíhá velmi dobrá těžba ropy, převážně z podložních hornin.

Pak jsou tu důkazy z moře. Hydrát metanu, led tvořený kombinací vody a metanu, pokrývá velmi rozsáhlé oblasti oceánského dna a odhaduje se, že celkové množství prvku uhlíku obsaženého v této látce je větší než množství uhlíku obsaženého ve veškerém uhlí a ropě, které byly

identifikovány na celém světě. Taková koncentrace uhlíku nemohla vzniknout potopením povrchového rostlinného materiálu, protože taková zásoba je příliš malá a musela by s sebou strhnout mnoho dalšího materiálu, který tam není. Ale kromě toho, jak mohly vzniknout mnoho metrů silné vrstvy složené z tohoto pevného ledu ze zásob shora, když ani rostlinný materiál, ani holý metan nemohly proniknout dolů skrz led? Přesto byly zjištěny velké bubliny plynu, které se drží dole mezi horninou oceánského dna a vrstvou ledu nad ní. Tento plyn se do těchto míst nemohl dostat jinak než z puklin v horninách pod nimi. Na rozsáhlé vypouštění metanu poukazuje také suchozemský permafrost, který má podobně uzavřené metanové hydráty i kapsy metanu. To by znamenalo, že vypouštění metanu ze země je rozšířený nebo obecný proces, což je zcela v souladu s informacemi, které máme z oceánských průduchů a jejich rychle rostoucích kolonií života.

K tomu se přidávají náhlé výrony plynu ze dna oceánu. V některých případech byly tyto prudké jevy přímo pozorovány, jako například při erupci, která v červenci 1998 způsobila ničivé tsunami na pobřeží Papuy na Nové Guineji. V současné době je již všeobecně známo, že některé rysy oceánského dna lze interpretovat pouze jako důsledek explozivních výronů plynu. Některé z nich vytvořily kruhové prohlubně o průměru až 200 metrů a byly nalezeny v mnoha oblastech, včetně východního pobřeží Spojených států, ale také konkrétně v oblastech, o nichž je známo, že produkují komerční množství zemního plynu, jako je Severní moře a východní pobřeží Nového Zélandu. Měření postupného úniku plynu v klidných obdobích ukázala, že hlavní složkou těchto výronů je metan.

Z tohoto obrázku pak můžeme pochopit, že ropa pochází z hlubokých vrstev Země, z obrovských zásobáren daleko pod naším dosahem, stejně jako tomu muselo být na mnoha jiných tělesech Sluneční soustavy, která vykazují velké množství ropy, ale nemají žádný povrchový život. Cestou vzhůru, v úrovních, které by hledač ropy označil za hluboké, ale stále mnohem mělké, než je původ ropy, klesá teplota na úroveň, kde je možný určitý mikrobiální život a kde tento život nachází v těchto uhlovodících bohaté zásoby potravy a stává se plodným. Tato zásoba potravy pochází z chemických zdrojů, které poskytuje sama Země; nesouvisí s fotosyntézou na povrchu. Díváme se na nezávislou oblast života, nikoli na rozšíření života na povrchu, který známe. Množství mikrobiálního



materiálu v této biosféře lze odhadnout dvěma způsoby: jeden je z mikrobiálních zbytků, které zůstaly v ložiscích uhlovodíků, druhý je z pevných minerálních zbytků, které po sobě mikrobiální činnost zanechala. Po provedení těchto odhadů dojdeme k množství, které je tak velké, že je nyní sporné, zda je naše povrchová biosféra podle hmotnosti hlavní doménou života na Zemi: je možné, že toto rozlišení patří spíše mikrobiální hmotě v pórech zemských hornin.

Jediné spojení mezi oběma biosférami, které vidíme, je genetické. Hlubinná biosféra využívá stejné genetické procesy a molekuly jako povrchová biosféra, takže pravděpodobně jedna z nich je odvozena od druhé. Která z nich však vznikla dříve?

Fotosyntéza, která je primárním zdrojem energie pro život na povrchu, je velmi složitý – dalo by se říci "křehký" - proces. Nemůže stát na počátku života. Nejprve muselo být vynalezeno složité chemické zpracování a dřívější život, který toto zpracování vyvolal, musel mít k dispozici jednodušší chemické zdroje energie. To samo o sobě by pro počátek života hovořilo ve prospěch hlubinné biosféry, ale existuje několik dalších úvah, které ukazují stejným směrem.

Nejprimitivnější formy mikrobů, a proto se posuzují jako nejstarší, patří do zvláštní větve. Fyzik a mikrobiolog Carl Woese ukázal, že tato větev je natolik odlišná od bakterií, že by měla mít vlastní klasifikaci, a navrhl pro ni název "archea". Nyní se ukázalo, že většina termofilů (mikrobů milujících teplo) patří do této třídy, což vyvolalo domněnku, že život vznikl v teplém nebo horkém prostředí. To opět svědčí ve prospěch hlubinné biosféry, která poskytuje dlouhá období téměř konstantních podmínek prostředí. V takovém prostředí by vznikající život nebyl přerušován rychlými změnami, například teploty, vlhkosti, záření nebo větrů, jako by tomu bylo na povrchu.

Mikrobiální život nebo dokonce jeho menší formy by byly nejpravděpodobnějším kandidátem na první kroky směrem k samoreplikujícímu se složitějšímu životu, i kdyby jen na základě pravděpodobnosti. Mikrobiální život vykazuje zdaleka nejrychlejší adaptace, nejrychlejší vývoj nových vlastností darwinovským výběrem, a to díky krátkým cyklům rozmnožování a velkému počtu jednotlivých organismů v jedné generaci. Ze stejného důvodu bychom počátky vyspělého života hledali také v nejrozsáhlejší

oblasti mikrobiálního života, kterou nyní známe – a opět to splňuje hluboká biosféra.

Mnoho diskusí o vzniku života se soustředilo na představu teplé louže obsahující sortiment prvků nebo chemických sloučenin příznivých pro vznik chemie života. V tom by však byl problém. Podstatným aspektem života je rozmnožování, znovuvytváření existující formy. Takový proces musí nutně vést k exponenciálnímu nárůstu počtu s časem. Pokud první organismus rozmnoží jeden sobě podobný za čas  $T$ , pak po čase  $2T$  jich bude 4, po  $10T$  1024 a po  $100T$  bude výsledek  $10^{30}$ :

1,000,000,000,000,000,000,000,000,000,000

Ať už byl rybník jakkoli velký a obsahoval jakékoliv množství "potravy", brzy by byl vyčerpán. Nevyhnutelným důsledkem je krátká hostina, po níž následuje konečný hladomor. Jak se tomu existující život vyhne a pokračuje dlouho? Pouze tehdy, pokud existuje stabilizující účinek zásoby potravy, která je sice v každém okamžiku omezená, ale neustále se obnovuje. V našem povrchním životě jsme s tím tak obeznámeni, že zapomínáme, jak je to zásadní. Zde, na povrchu, je omezeným a obnovovaným zdrojem energie sluneční světlo; jeho energie se vydává každý den a každé ráno vychází (ne navždy, ale na velmi dlouhou dobu). Hluboká horká biosféra uniká situaci hodování a hladu tím, že podporuje život neustálým a dlouhodobým prosakováním chemických látek ze zdrojů, které jsou příliš hluboko, a tudíž příliš horké, než aby byly dostupné pro naše formy života. Zásoby potravy v "odměřené" míře tam tedy existují stejně jako na povrchu.

Veškerý život je v podstatě rozšířením procesu autokatalýzy, replikace entity, jako je molekula. Pokud bychom hledali náhodné chemické procesy k sestavení autokatalytické molekuly jako první krok, pak by byly příznivé okolnosti vysokého tlaku a vysoké teploty v hloubce. Tam bude probíhat více a rychleji chemických interakcí než v chladnějších podmínkách s nižším tlakem, a tudíž pravděpodobnost sestavení výjimečné molekuly tam bude největší. Kromě toho je počet různých typů molekul, které jsou stabilní,

výrazně zvýšen tlakem. Hluboká, horká a vysokotlaká biosféra je nejlepším místem pro vznik tak obrovského množství různých molekul, že se šance na vznik autokatalyzátoru náhodou, snad jen za dlouhou geologickou dobu a v obrovském množství reaktivních materiálů, stává rozumnou možností. A jediná autokatalytická molekula bude dominovat nad všemi ostatními v malém počtu reprodukčních období (třeba 100), jak jsme již viděli výše.

Život se mohl vyvinout jako mimořádně nepravděpodobná událost běžné chemie, ale za okolností, kdy počet chemických procesů byl tak velký, že se nepravděpodobné stalo pravděpodobným. Můžeme tedy uvažovat o biosférách na jiných planetárních tělesech, kde existují podobné okolnosti, jaké vidíme zde. V takové představě by k adaptaci na povrchový život a následně na velké a složité formy života došlo pouze na planetě, jejíž povrchové podmínky spadají do úzkého rozmezí podmínek podporujících složitý život. Ale život v hloubce. ... to je jiný příběh.

Thomas Gold  
Ithaca, New York  
únor 2001

# Poznámky

## KAPITOLA 1

1. Myšlenku, že uhlovodíky nejsou biologického původu, jsem poprvé publikoval v článku "Rethinking the origins of oil and gas" (Přehodnocení původu ropy a plynu), Wall Street Journal, 8. června 1977. Tuto myšlenku jsem podrobněji rozvinul v roce 1979 v článku "Terrestrial sources of carbon and earthquake outgassing", Journal of Petroleum Geology 1(3): 3-19. Viz také Thomas Gold a Steven Soter, 1980. "The deep-earth gas hypothesis", Scientific American 242: 154-61. Tato myšlenka je také jádrem mé knihy Power from the Earth z roku 1987: (London: J.M. Dent & Sons).

2. Existence a pojmenování "hluboké horké biosféry" byly poprvé navrženy v článku Thomase Golda, 1992, "The deep, hot biosphere", Proceedings of the National Academy of Sciences 89: 6045-49.

3. P. N. Kropotkin ve své knize "On the history of science" z roku 1997 podává přehled o historii abiogenní teorie vzniku uhlovodíků: Koudryavtsev and the development of the theory of origin of oil and gas," Earth Sciences History 16: 17-20.

4. Moje předpověď deseti hlubokých horkých biosfér ve sluneční soustavě se objevila v článku Thomase Golda, 1992, "The deep, hot biosphere", Proceedings of the National Academy of Sciences 89: 6045-49.

## KAPITOLA 2

1. Nedávný přehledový článek o objevu a následných studiích ekosystému hlubokomořských prúdůchů je Daniel L. Distel, 1998, "Evolution of chemoautotrophy

totrofní endosymbióza u mlžů," BioScience 48(4): 277-86. Viz také kapitoly s příspěvky obsažené v knize David M. Karl, ed., 1995, The Microbiology of Deep-Sea Hydrothermal Vents (Boca Raton: CRC Press).

2. Přehled publikací, které uvádějí výskyt metanotrofů ve společenstvech hlubokomořských prúdůchů a jako symbiontů makrofauny, viz Distell 1998, jak je uvedeno v poznámce 1.

3. Thomas D. Brock, 1978, Thermophilic Microorganisms and Life at High Temperatures (New York: Springer-Verlag).

4. C.K. Paull et al., 1984, "Biological communities at the Florida Escarpment resemble hydrothermal vent taxa", Science 226: 965-67. Také M.C.

Kennicutt et al., 1985, "Vent-type taxa in a hydrocarbon seep region on the Louisiana Slope," *Nature* 317: 351-52.

5. O objevu jeskyně v Rumunsku informovali Serban M. Sarbu, Thomas C. Kane a Brian K. Kinkle, 1996, "A chemoautotrophically based cave ecosystem", *Science* 272: 1953-55. Viz také zprávy v médiích v červnovém čísle časopisu *Science News* z roku 1996 (svazek 149, str. 405) a v lednovém čísle časopisu *Discover* z roku 1997 (str. 59). q. O bakteriálních závojích v mexické jeskyni informuje Charles Petit, 1998, "The walls are alive," *U.S. News and World Report*, 9. února, str. 59-60.

7. J. Cynan Ellis-Evans a David Wynn-Williams, 1996, "A great lake under the ice", *Nature* 381: 644-46.

8. O zájmu NASA o jezero Vostok informuje Richard Stone, 1998, "Russian outpost readies for otherworldly quest", *Science* 279: 658-61.

9. Podmínky pro vznik hydrátů metanu jsou uvedeny v článku Ian R. MacDonald, 1997, "Bottom line for hydrocarbons", *Nature* 385: 389-90.

10. K.A. Kvenvolden a L.A. Barnard, 1982, "Hydrates of natural gas in continental margins", in J.S. Watkins and C.L. Drake, eds., *Studies in Continental Margin Geology*, AAPG Memoir 34, pp. 631-40.

11. Srovnání neoxidovaného uhlíku v metanhydrátech a jiných uhlovodících je uvedeno v článku Carl Zimmer, 1997, "Their game is mud", *Discover*, May, str. 28-30.

12. W. Steven Holbrook a kol., 1996, "Methane hydrate and free gas on the Blake Ridge from vertical seismic profiling", *Science* 273: 1840—43.

13. O akumulacích hydrátů metanu v permafrostu i jinde pojednává kniha Yuri F. Makogan, 1981, *Hydrates of Natural Gas* (Tulsa: Penn Well Books).

14. O růžových červech živících se metanhydráty informoval (anonym), 1997, "Ice worms in the Gulf", *Science* 277: 769.

15. Prahová teplota pro hypertermofily je definována v článku Johna A. Barosse a Jamese F. Holdena, 1996, "Overview of hyperthermophiles and their heat-shock proteins", *Advances in Protein Chemistry* 48: 1-34.

16. John Postage, 1994, *The Outer Reaches of Life* (Cambridge, Anglie: Cambridge University Press) s. 15.

17. To, že tlak může pomáhat udržovat "funkční konfiguraci makromolekul", naznačují Baross a Holden (pozn. 15).

18. Úvahy o horní teplotní hranici života jsou uvedeny v Baross a Holden 1996 (pozn. 15).

19. Thomas Gold, 1992, "The deep, hot biosphere", *Proceedings of the National Academy of Sciences, USA* 89: 6045-49.

20. Přehled debat o tom, zda je mikrobiální život v hlubinách původní, nebo je výsledkem povrchové kontaminace, viz John Parkes a James Maxwell, 1993, "Some like it hot (and oily)", *Nature* 365: 694—95.

21. S. L'Harldon a kol., 1995, "Hot subterranean biosphere in a continental oil reservoir", *Nature* 377: 223-24. Autoři tvrdí, že vzhledem k tomu, že "termofilní izoláty byly opakovaně získávány z různých vrtů a dařilo se jim v médiích podobných podmínkám ve vrtech", že "tyto izoláty jsou členy hlubinného autochtonního termofilního společenstva. "

22. W.S. Fyfe, 1996, "The biosphere is going deep," *Science* 273:448. Raná a často citovaná práce, která informuje o hypertermofilním životě v hloubce 3 km v aljašských ropných rezervoárech, je K.O. Stetter a kol., 1993, "Hyperthermophilic archaea are thriving in deep North Sea and Alaskan oil reservoirs", *Nature* 365: 743—45.

23. Richard Monastersky, 1997, "Signs of ancient life in deep, dark rock", *Science News* 152: 181.

24. U. Ševtzyk a kol., 1994, "Thermophilic, anaerobic bacteria isolated from a deep borehole in granite in Sweden", *Proceedings of the National Academy of Sciences, USA* 91: 1810-13.

25. Teorie hluboké horké biosféry (viz poznámka 19) je citována například v článku Johna Parkese a Jamese Maxwella, 1993, "Some like it hot (and oily)", *Nature* 365: 694-95; v William J. Broad, 1993, "Strange new microbes hint at a vast subterranean world", *New York Times*, 28. prosince, str. C1, C14; Richard Monastersky, 1997, "Deep dwellers", *Science News* 151: 192-93; a v J. R. Delaney et al., 1998, "The quantum event of oceanic crustal accretion: Impacts of diking at mid-ocean ridges," *Science* 281: 222-30.

26. I když jsou uhlovodíky (obvykle metan) objeveny v krystalických horninách daleko od sedimentárního zdroje, předpokládá se, že jsou biologického původu. Mikrobi, kteří se jimi živí, jsou proto považováni za závislé na pohřbených organických produktech fotosyntetické, povrchové biosféry. Viz například Karsten Pedersen, 1996, "Investigations of subterranean bacteria in deep crystalline bedrock", *Canadian Journal of Microbiology* 42: 382-91. Viz také Delaney et al., pozn. 25.

27. Todd O. Stevens a James P. McKinley, 1995, "Lithoautotrophic microbial ecosystems in deep basalt aquifers", *Nature* 270: 450-54. Viz také doprovodnou zprávu Jocelyn Kaiserové, str. 377. A dále viz James K. Fredrickson a Tullis C. Onstott, 1996, "Microbes deep inside the earth," *Scientific American*, říjen, s. 68-73.

28. Stevens a McKinley (pozn. 27) napsali, že "v čedičové skupině řeky Columbia byly lokálně pozorovány vysoké koncentrace

rozpuštěného metanu a zemní plyn byl na počátku tohoto století komerčně využíván, ale jeho původ je nejistý".

29. Petra Rueter et al., 1994, "Anaerobic oxidation of hydrocarbons in crude oil by new types of sulphate-reducing bacteria", *Nature* 372: 455-58.

30. Příběh úspěšné snahy Carla Woeseho o zásadní revizi taxonomické klasifikace života je popsán v článku Virginie Morell, 1997, "Microbiology's scarred revolutionary", *Science* 276: 699-702.

31. C.J. Bult et al., 1996, "Complete genome sequence of the methanogenic archaeon *Methanococcus jannaschii*", *Science* 273: 1058—73.

### KAPITOLA 3

1. Zde jsem upravil části pozvaného projevu, který jsem přednesl v roce 1988 na konferenci IBM "Science and the Unexpected". Projev byl později přepsán a publikován pod názvem "Nové myšlenky ve vědě" ve vydání časopisu *Journal of Scientific Exploration* 3(2):103-12 z roku 1989. V téže roce byl také publikován pod názvem "The inertia of scientific thought", *Speculations in Science and Technology* 12:245-53.

2. Mým prvním článkem o teorii hlubinného plynu je můj článek "Rethinking the origins of oil and gas" z roku 1977, *Wall Street Journal*, 8. června. Pozdější texty zahrnují Thomas Gold a Steven Soter, 1980, "The deep-earth gas hypothesis", *Scientific American* 242: 154-61; a Thomas Gold, 1985, "The origin of natural gas and petroleum and the prognosis for future supplies", *Annual Review of Energy* 10: 53-77.

3. Ropný geolog a podnikatel v oblasti hlubinného plynu Robert A. Hefner, III, se o teorii hlubinného plynu od počátku velmi zajímal a podporoval ji. Viz jeho článek z roku 1993 "New thinking about natural gas" (Nové myšlení o zemním plynu), in David G. Howell, ed., *The Future of Energy Gases*, USGS Professional Paper 1570.

4. Brzy poté, co jsem rozvinul svou myšlenku hluboké horké biosféry (tehdy nazvanou "Horká, hluboká biosféra"), jsem předložil článek s tímto názvem časopisu *Nature*. Bylo to v červnu 1983. Článek byl odmítnut. V květnu 1988 jsem to zkusil znovu, tentokrát s názvem "Objevili jsme na Zemi druhou doménu života?". Měl jsem samozřejmě na mysli druhou a nezávislou biosféru v hlubinách Země. Bylo jasné, že i u tohoto článku je odmítnutí nevyhnutelné, a tak jsem jej stáhl a poslal do časopisu, který má sice velmi dobrou pověst, ale v němž nepřevládá recenzní řízení. Každý člen Národní akademie věd, jímž jsem byl, mohl článek publikovat za předpokladu, že se podařilo získat souhlas dvou

dalších členů, které si pisatel vybral. Tak v roce 1992 vyšel ve Sborníku Národní akademie věd USA (89: 6045-49) můj článek "Hluboká, horká biosféra", a to se souhlasem Dr. Carla Woeseho a Dr. Gordona MacDonalda.

5. E.M. Galimov, 1975, Carbon Isotopes in Oil-Gas geology, překlad NTIS, str. 335-36.

6. Vznikem Země a prapůvodem uhlovodíků se podrobněji zabývám v kapitole Uhlík - prvek života: Jaký je jeho původ na Zemi?" Hermann Bondi a Miranda Weston-Smith, eds. , 1993, The Universe Unfolding (Oxford, Anglie: Clarendon Press).

7. Podrobněji se touto představou chladné rané Země zabývám v článku "The origin of natural gas and petroleum, and the prognosis for future supplies" z roku 1985, Annual Review of Energy 10: 53-77.

8. E. B. Čekaljuk, 1976, "Tepelná stabilita uhlovodíkových systémů v geotermodynamických podmínkách", in P. N. Kropotkin, ed., 1980, Degasatsiia Zemli i Geotektonica (Moskva: Nauka), s. 267-72.

9. Tato diskuse o termodynamické stabilitě uhlovodíků v hloubce je převzata z mého článku z roku 1985 citovaného v poznámce 6.

#### KAPITOLA 4

1. Tato řada podpůrných tvrzení pro abiogenní teorii je podrobněji rozvedena v mém článku "The origin of methane in the crust of the earth" z roku 1993, in David G. Howell, ed., The Future of Energy Gases, USGS Professional Paper 1570.

2. O Koudrjavcevově pravidle pojednává P. N. Kropotkin, 1997, "On the history of science: Koudrjavcev a vývoj teorie původu ropy a plynu," Dějiny věd o Zemi 16: 13-20.

3. Odhady možného objemu hydrátů metanu těsně pod povrchem v chladných oblastech (a pod hlubokým oceánem) provedl Keith A. Kvenvolden, 1988, "Methane hydrate: A major reservoir of carbon in shallow geosphere?" (Hydratovaný hydrát - hlavní zásobárna uhlíku v mělké geosféře?). Chemical Geology 71: 41-51; a také G. J. MacDonald, 1990, "Role of methane clathrates in past and future climates", Climatic Change 16: 247-81. Viz také Keith A. Kvenvolden, 1993, "A primer on gas hydrates," in David G. Howell, ed., The Future of Energy Gases, USGS Professional Paper 1570.

4. Doplnění zásobníků uhlovodíků je zdokumentováno v článku Roberta F. Mahfouda a Jamese N. Becka, 1995, "Why the Middle East fields



may produce oil forever", Offshore, April, str. 56-62. Dokumentace doplňování zásobníků podél pobřeží Mexického zálivu v USA je uvedena v článku Jean K. Whelan, 1997, "The dynamic migration hypothesis", Sea Technology, září, s. 10-18. Viz také Jean K. Whelan et al. 1993, "Organic geochemical indicators of dynamic fluid flow processes in petroleum basins", Advances in Organic Chemistry 22: 587-615.

5. Podrobněji se karbonáty zabývám v článku USGS z roku 1993, který je uveden v poznámce 1.

6. Mezi ropnými geology je rozšířen názor, že nedostatek těžkého izotopu v metanu o více než 2 ‰ (20 promile v konvenčních jednotkách) charakterizuje tento plyn jako "nepochybně" biogenního původu. Tento názor je zastáván navzdory mnoha pozorováním, která jsou s ním v příkrém rozporu, a navzdory očekávání, že k takové frakcionaci bude při migraci metanu těsnými horninami docházet snadno. Jak silně tento názor někteří zastávají a jak je vlivný, ukazuje například článek P. J. McCabe, D. L. Gautiera, M. D. Lewana a C. Turnera (členů U. S. Geological Survey) v "The future of energy gases", USGS Circular 1115, 1993. Docházejí k závěru: "Dosud nebyly nalezeny žádné ekonomické akumulace plynu, které by nebylo možné vysvětlit pomocí organické teorie. Například geochemická analýza z těžebních polí ve Spojených státech jasně ukazuje, že více než 99 ‰ plynu je organického původu".

Na otázku o povaze geochemické analýzy, která to jasně prokázala, nebylo přes opakované žádosti nikdy odpovězeno. Jediné typy analýz, o které by se mohlo jednat, by bylo spojení s jinými plyny a poměr izotopů uhlíku v metanu. Poměr izotopů uhlíku je téměř jistě důsledkem, na který tito autoři pověsili toto nepodložené tvrzení, protože je docela pravděpodobné, že více než 99 ‰ komerčního metanu vykazuje nedostatek uhlíku-13, větší než nějaká libovolná hodnota, která podle nich rozlišuje mezi biogenními a abiogenními plyny. Navíc některé komerční metany vykazují mnohem větší nedostatek, než jaký lze vysvětlit fotosyntézou rostlin jakékoliv známé vegetace (-75 promile), takže je třeba se v každém případě odvolávat na frakcionaci podél migrační cesty.

Spojení s héliem není v jejich článku zmíněno, ale ve skutečnosti by vylučovalo jakýkoli biogenní původ. Například texaské Hugotonovo pole je významnou oblastí, kde se těží zemní plyn, a plynová pole obsahují více helia, než kolik ho mohlo vzniknout radioaktivitou v sedimentech za celé jejich stáří, i kdyby žádné neuniklo. To lze vysvětlit pouze trvalým přísunem plynné směsi z velmi hlubokých vrstev.

Autoři ve stejném článku píší: "Je zřejmé, že metan může být čistě anorganické povahy a většina vědců se shoduje na tom, že přinejmenším

část metanu na Zemi není organického původu. Například metan, který vychází ze středooceánských hřbetů, obsahuje něco, o čem se obecně soudí, že je to metan pocházející z pláště. Ale i když je známo, že existuje určité množství anorganického metanu, většina vědců pochybuje o tom, že by se někdy ze zemského pláště dostalo komerční množství tohoto plynu, protože hlavními tekutinami v plášti jsou oxid uhličitý a voda." (Kurzíva je moje.)

Stojí za zmínku, že metan z oceánských prúdů, který je podle nich abiogenní, má také značný nedostatek uhlíku-13, a to v rozmezí -15,0 až -17,6 (v obvyklém zápisu), což dokazuje, že i zde došlo k izotopové frakcionaci. Proč v takovém případě nacházíme diamanty a grafit pocházející z pláště? Ty přece nevznikají z oxidu uhličitého a vody. A proč ve všech hlubokých vrtech, které byly vyvrtány, nacházíme mnohem větší množství metanu než  $\text{CO}_2$ ?

7. O jednotnosti izotopových poměrů karbonátů značně rozdílného stáří pojednává článek M. Schidlowski, R. Eichmann a C.E. Jung, 1975, "Precambrian sedimentary carbonates: Carbon and oxygen isotope geochemistry and implications for the terrestrial oxygen budget," *Precambrian Research* 2: 1-69.

8. Další bod ve prospěch abiogenní teorie se týká množství volného kyslíku v atmosféře. Pokud by všechny uhlovodíky v zemské kůře byly způsobeny pohřbením povrchového života, pak by v atmosféře zůstal velmi velký přebytek volného kyslíku (vedlejší produkt fotosyntézy) - více než 10 atmosfér samotného kyslíku. Současná atmosféra obsahuje jen asi pětinu jedné atmosféry kyslíku a zdá se být pochybné, že by 50krát větší přebytek mohl zmizet, aniž by zanechal jasné stopy. Na druhou stranu, pokud by se největší část ložisek nezoxidovaného uhlíku v zemi ukládala z nezoxidovaných, uhlík obsahujících tekutin, které přicházejí zdola, a nikoli z materiálů sejmutých z povrchu, pak by tento rozpor zmizel. Silná vazba helia na metan je popsána v mnoha pracích, z nichž zde uvedu jen výběr:

9. T. Gold a M. Held, 1987, "Helium-nitrogen-methane systemics in natural gases of Texas and Kansas", *Journal of Petroleum Geology* 10: 415-24.

10. J.A. Welhan a H. Craig, 1983, "Methane, hydrogen and helium in hydrothermal fluids at 21N on the East Pacific Rise", in P.A. Rona, ed., *Hydrothermal Processes at Seafloor Spreading Centers*, (Plenum Press), 391-409.

11. H. Craig podává dobrý přehled o procesu separace izotopů v různých podpovrchových podmínkách a v různých směsích plynů ve svém článku "Isotope separation by carrier diffusion" z roku 1968, *Science* 159: 93-96 (5.

ledna 1968). Ve vědecké literatuře je diskutováno několik dalších procesů frakcionace izotopů uhlíku, které přesahují rámec této knihy, ale procesy založené na rychlosti difúze se zdají být dominantní.

12. V.F. Nikonov, 1969, "Relation of helium to petroleum hydrocarbons", Dokl. Akad. Nauk SSSR. Earth Sci. Sect. 188: 199-201.

13. V.F. Nikonov, 1973, "Formation of helium-bearing gases and trends in prospecting for them", Internat. Geol. Rev. 15: 534-41. Nikonov ukazuje nejen vysoký stupeň asociace mezi přírodními uhlovodíkovými plyny a ropou, ale také to, že určité směsi ropných uhlovodíků jsou obohaceny heliem více než jiné typy na celém světě.

14. L.A. Pogorski a G.S. Quirt, 1978, "Helium emanometry in exploring for hydrocarbons: Proceedings of Symposium 1 on Unconventional Methods in Exploration for Petroleum and Natural Gas, s. 124-29.

15. A.A. Roberts, 1978, "Helium emanometry in exploring for hydrocarbons: Část II." Sborník symposia II o nekonvenčních metodách při průzkumu ropy a zemního plynu, s. 136-49. Spojitost helia s uhlovodíky dokládají i výsledky, podle nichž je prosakování helia nad ložisky ropy a zemního plynu tak zřetelné, že měření helia na povrchu představuje dobrou metodu lokalizace ložisek uhlovodíků pod nimi. To dokazuje, že helium se v dané oblasti nevyskytuje jen obecně a jen náhodou se občas drží v pasti, v níž se rovněž nacházejí uhlovodíky (jak se někdy předpokládalo), ale že přítomnost helia na povrchu určuje konkrétní polohu uhlovodíkového a heliového pole pod ním.

16. W. Dyck a C.E. Dunn, 1986, "Helium and methane anomalies in domestic well waters in southwestern Saskatchewan, Canada, and their relationship to other dissolved constituents, oil and gas fields, and tectonic patterns," Journal of Geophysical Research 91: 12343-53.

Poměr zastoupení dvou stabilních izotopů helia, běžného helia-4 a vzácného helia-3, byl změřen na mnoha místech (i když měření vyžaduje velmi přesné techniky). Výsledky mají velký význam pro diskusi o původu uhlovodíků, protože existuje jasná tendence k mírně vyššímu podílu he-3 v heliu, které nese známky toho, že pochází z velmi hlubokých vrstev. Tento jev byl vysvětlen (téměř jistě správně) tak, že malé množství tohoto plynu pochází ze směsi, která byla vložena do formující se země a zachycena v infiltrujících se pevných látkách. Plyny sluneční a sluneční soustavy obsahují původní izotopickou směs dodanou jadernými pecemi ve hvězdách a ta má mnohem vyšší koncentraci He-3 než jakékoliv helium na povrchu Země, které vzniklo radioaktivním rozpadem uranu a thoria, čímž vzniklo téměř výhradně He-4. V tomto případě se jedná o helium, které se na povrchu Země vyskytuje. Odplyněním helia se původní směs

z vnějších vrstev odstraní, a proto vidíme zvýšené hodnoty helia-3 pouze z hloubek, z nichž toto odplynění ještě nebylo dokončeno.

To nám sice umožňuje identifikovat zdroje plynu, které obsahují nadbytek He-3, jako zdroje pocházející z určité hloubky, ale nemožňuje nám to vyvodit závěr, že zdroje, které nevykazují nadbytek He-3, pocházejí z mělkých vrstev. Plášť není homogenní a v různých oblastech se choval zcela odlišně. Vyplavování helia je závislé na tom, zda se cestami vyplaví jiné plyny. Dráha, která byla dlouho vyplavována, ztratí své primordiální helium a bude dodávat pouze v současnosti vytvořené He-4, zatímco dráha, která byla otevřena teprve v nedávné geologické době, bude stále vykazovat své primordiální složky. Heterogenita pláště, hloubka původu plynu a stáří cesty k vrcholu budou společně určovat izotopový poměr, který bude pozorován. Oblasti bohaté na uhlovodíky vykazují obzvláště často zvýšené hodnoty He-3, což svědčí o tom, že mají hluboký původ. Oblasti, které takový nadbytek nevykazují, mohou mít mělký původ, ale mohou mít také hluboký původ, z něhož stoupaly po starších, lépe vymetených cestách.

Uvádím zde několik prací z rozsáhlé literatury o vztahu He-3 k ropě:

17. I.N. Tolstikhin, B.A. Mamyrin, E.A. Baskov, I.L. Kamenskii, G.A. Anufriev, and S.N. Surikov, 1975, "Helium isotopes, in gases from hot springs of the Kurile-Kamchatka volcanic region," in A.I. Tugarinov, ed., *Recent Contributions to Geochemistry and Analytical Chemistry*, (New York: John Wiley & sons), 456-65.

18. I.N. Tolstikhin, 1975, "Helium isotopes in the Earth's interior and in the atmosphere: A degassing model of the Earth." *Planeta Země. Sci. Lett.* 26: 88-96.

19. H. Wakita a Y. Sano, 1983, " $^3\text{He}/^4\text{He}$  ratios in CFL-rich natural gases suggest magmatic origin", *Nature* 305: 792-94.

20. J.A. Welhan, W. Rison, R. Poreda a H. Craig, 1983, "Geothermal gases of the Mud Volcano Area, Yellowstone National Park", *EOS* 64: 882.

21. H. Craig a J. E. Lupton, 1981, "Helium-3 and mantle volatiles in the ocean and the oceanic crust", *The Oceanic Lithosphere*, vol. 7. *The Sea* (New York: John Wiley & Sons), 391-428.

22. H. Craig, W.B. Clarke a M.A. Beg, 1975, "Excess  $^3\text{He}$  in deep water on the East Pacific Rise", *Earth Planet. Sci. Lett.* 26: 125-32.

23. H. Craig, J.E. Lupton, J.A. Welhan a R. Poreda, 1978, "Helium isotope ratios in Yellowstone and Lassen Park volcanic gases", *Geophys. Res. Lett.* 5: 897-900.

24. W. J. Jenkins, J. M. Edmond a J. B. Corliss, 1978, "Excess  $^3\text{He}$  and  $^4\text{He}$  in Galapagos submarine hydrothermal waters", *Nature* 272: 156-58.

25. J.E. Lupton a H. Craig, 1975, "Excess  $^3\text{He}$  in oceanic basalts: Evidence for terrestrial primordial helium," *Earth Planet. Sci. Lett.* 26: 133-39.

26. J.E. Lupton a H. Craig, 1981, "A major helium-3 source at 15S on the East Pacific Rise", *Science* 214: 13-18.

27. J.E. Lupton, G.P. Klinkhammer, W.R. Normark, R. Haymon, K.C. MacDonald, R.F. Weiss a H. Craig, 1980, "Helium-3 and manganese at the 21N East Pacific Rise hydrothermal site," *Earth Planet. Sci.* 50: 115-27.

## KAPITOLA 5

1. Tato série čtyř podpůrných tvrzení pro biogenní teorii se objevuje v mé práci z roku 1993 "The origin of methane in the crust of the earth" (Původ metanu v zemské kůře), in David G. Howell, ed., *The Future of Energy Gases*, USGS Professional Paper 1570.

2. Řešení ropného paradoxu pomocí hluboké horké biosféry jsem vyvíjel delší dobu, od doby před téměř dvaceti lety. Při přípravě těchto poznámek jsme s asistentkou (Connie Barlowovou) procházeli mé složky ve snaze najít písemné vyjádření mé proměny myšlení, kdy jsem začal doplňovat teorii hlubinného zemního plynu teorií hlubinné horké biosféry, ale ještě jsem nedospěl k plnému pochopení tohoto vztahu. Pozornost upoutaly DVĚ položky. V prepisu rozhovoru, který vedl John Maddox pro BBC a který byl odvysílán v červnu 1978 v rámci rozhlasového pořadu "Scientifically Speaking", je zřejmé, že jsem se ještě nezačal zabývat myšlenkou, že by mikrobi mohli žít v hloubce – nebo jsem alespoň nebyl ochoten tuto hypotézu vyslovit. Řekl jsem: "V posledních letech se našlo mnohem více plynu, hlouběji než jakákoli ropa a velmi čistého metanu bez dalších uhlovodíků. Přikláním se k názoru, že jde většinou o prapůvodní materiál, ale samozřejmě skutečnost, že v zemi se nepochybně nachází biogenní uhlovodíky, velmi ztěžuje jejich rozlišení." O pět let později jsem byl připraven posunout diskusi mnohem dál. V rozhovoru zveřejněném v březnovém čísle časopisu *Montana Oil Journal* z roku 1983 jsem řekl toto: "Skutečně biologický obsah většiny olejů tvoří jen malou část a [není] v žádném případě obtížné jej vysvětlit. Když je ropa ve fosilních sedimentech, určitě se z ní vyluhuje veškerý biologický materiál rozpustný v ropě. Rovněž ropa je velmi žádoucí látkou pro různé formy mikrobiologie a jasně vidíme, že tam, kde je teplota ropy dostatečně nízká, aby se jí dařilo, jsou přítomny biologické markery."  
"

O několik měsíců později, v červnu 1983, jsem do časopisu Nature poslal článek "Horká, hluboká biosféra". Historii mého pokusu o zveřejnění této myšlenky najdete v poznámce 4 v kapitole 3.

3. Guy Ourisson, Pierre Albrecht a Michel Rohmer, srpen 1984, "The microbial origin of fossil fuels", *Scientific American* 251(2): 44-51.

4. Moje odpověď na článek Ourissona a spol. byla publikována v listopadu 1984 v *Scientific American* 251(5): 6.

5. V roce 1984, v době vydání Ourissonova článku, se ještě nerozlišovalo mezi bakteriemi a archei.

6. Robert Robinson, 1963, "Duplex origin of petroleum", *Nature* 199: 113-14.

7. Můj odhad mikrobiální biomasy v hloubce byl publikován v článku Thomase Golda, 1992, "The deep, hot biosphere", *Proceedings of the National Academy of Sciences* 89: 6045-49.

8. Zatímco tato kniha byla ve fázi korektury stránek, byl publikován důležitý článek, který kvalitativně potvrzuje mé prognózy o velmi rozsáhlé biomase obsažené v hluboké horké biosféře: Delaney a kol., 1998, "The quantum event of oceanic crustal accretion: Impacts of diking at mid-ocean ridges," *Science* 281: 222-30. Autoři popisují dosud neznámý jev náhlého a masivního uvolňování hydrotermálních tekutin na oceánském dně. Vzhledem k tomu, že tyto tekutiny obsahovaly "masivní výrony mikrobiálních produktů", autoři usuzují, že biologická aktivita musela probíhat před vyvržením tekutin, a to v "teplejších podpovrchových biotopech". Jejich závěr: "Zóna v zemské kůře obsazená termofily může být rozsáhlá." Rovněž uvedli: "Masivní a trvalá produkce mikrobiálních produktů spojená s vývěry podporuje nedávné postuláty o významné hluboké horké biosféře uvnitř Země." Můj článek z roku 1992 je mezi odkazy citovanými u tohoto tvrzení.

Vzhledem k mému tvrzení (v kapitole 8), že vztlínající metanové plummy jsou příčinou mnoha zemětřesení, je pro mě velmi zajímavé pozorování Delaneyho a spol., že uvolňování hydrotermálních tekutin zřejmě doprovázejí "zemětřesné roje".

9. Ourisson a kol. napsali: "Vzhledem k rozdílnému stáří a k tomu, že se předpokládalo, že organické sloučeniny v uhlí a ropě pocházejí z různých zdrojů, byla shoda píků v oblasti C27 až C32 neočekávaná." Guy Ourisson, Pierre Albrecht a Michel Rohmer, 1984, "The microbial origin of fossil fuels" (Mikrobiální původ fosilních paliv), *Scientific American* 251 (2): 44-51.

10. K.R. Pedersen a J. Lam, 1970, "Precambrian organic compounds from the Ketilidian of south-west Greenland", *Gronlands Geologiske Unders. Bull.*, č. 82.

11. G. Henderson, 1964, "Oil and gas prospects in the Cretaceous-Tertiary basin of west Greenland", *Geol. Survey Greenland Rept.*, No. 22.

12. C.H. Hitchcock, 1865, "The Albert Coal, or Albertite, of New Brunswick", *Amer. J. Sci*, 2nd Ser. 39: 267-73.

13. Tyto a mnoho dalších příkladů anomálií v uhelných ložiscích jsou popsány v kapitole 9 mé knihy *Power from the Earth* z roku 1987 (London: J.M. Dent).

14. H.R. Wanless, 1952, "Studies of field relations of coal beds", in *Second Conference on the Origin and Constitution of Coal*, Nova Scotia Department of Mines, str. 148-80).

## KAPITOLA 6

1. Moje prezentace byla publikována ve Švédsku v deníku *Svenska Dagbladet* (17. října 1983) pod názvem "Hlubinný zemní plyn ve Švédsku?". (soubor č. 235)

2. Podrobnější zprávu o výsledcích studie Siljan jsem publikoval v časopise *Oil and Gas Journal* ze 14. ledna 1991, str. 76-78. Viz také můj článek z roku 1988 "The deep earth gas theory with respect to the results from the Gravberg-1 well", in A.

Bodén a K.G. Eriksson, *Deep Drilling in Crystalline Bedrock* (New York: Springer-Verlag) str. 18-27.

3. Shrnutí nálezů magnetitových kalů jsem napsal v roce 1991, "Accumulations of fine-grained magnetite in a deep borehole in Sweden", nepublikováno. (spis č. 275)

4. Dvě laboratorní analýzy provedli J. M. Knudsen a kol. v laboratoři Orsted na Kodaňské univerzitě a R. Reynolds a kol. v USGS v Denveru. Obě jsou obsaženy v mém spisu č. 652.

5. Zpráva o třetí laboratorní analýze, včetně neutronové aktivační analýzy, kterou provedl C. Orth v Národní laboratoři v Los Alamos, mi byla sdělena v soukromé zprávě; spis č. 652.

6. Shrnutí nálezů společnosti Philp je obsaženo v mém zeleném spisu č. 652. 7. U. Szewzyk a kol. 1994, "Thermophilic, anaerobic bacteria isolated from a deep borehole in granite in Sweden", *Proceedings of the National Academy of Sciences (USA)* 91: 1810-13.

7. V době siljanských vrtů byla oznámena biologická produkce ultrajemnozrného magnetitu anaerobními mikrobi v Derek R. Lovley, John F. Stolz, Gordon L. Nord a Elizabeth J.P. Phillips, 1987, "Anaerobic production of magnetite by a dissimilatory iron-reducing microorganism", *Nature* 330: 252-54.

Viz také N.H.C. Sparks et al., 1990, "Structure and morphology of magnetite anaerobically produced by a marine magnetotactic bacterium and a dissimilatory iron-reducing bacterium," *Earth and Planetary Science Letters* 98: 14-22.

8. W.E. Henry, 1989, "Magnetic detection of hydrocarbon microseepage in a frontier exploration region", *Bulletin of the Association of Petroleum Geochemical Explorationists* 5: 18-29.

8. P.N. Kropotkin, 1997, "On the history of science: Koudryavtsev (1893-1971) and the development of the theory of origin of oil and gas," *Earth Sciences History* 16(1):17-20.

## KAPITOLA 7

1. D.G. Pearson, G.R. Davies, P.H. Nixon a H.J. Milledge, 1998, "Graphitized diamond from a peridotite massif in Morocco and implications for anomalous diamond occurrences," *Nature* 338: 60-62.

2. C.E. Melton a A.A. Giardini, 1974, "The composition and significance of gas released from natural diamonds from Africa and Brazil," *American Mineralogist* 59: 775-82.

3. Pierre Cartigny, Jeffrey W. Harris a Marc Javoy, 1998, "Eclogitic diamond formation at Jwaneng: No room for a recycled component." (Eklogitická tvorba diamantů v Jwanengu: žádný prostor pro recyklovanou složku). *Science* 280: 1421—23.

4. Konrad B. Krauskopf, 1982, *Introduction to Geochemistry* (London: McGraw-Hill) s. 395.

5. P.N. Kropotkin, 1997, "On the history of science: Koudryavcev a vývoj teorie o původu ropy a plynu," *Dějiny věd o Zemi* 16: 13-20.

6. Důležitým příkladem vědecké práce, která uvádí souvislost mezi zlatem a uhlovodíky (a přitom předpokládá hydrotermální příčinu vzniku ložiska kovu), je A.C. Barnicoat a kol., 1997, "Hydrothermal gold mineralization in the Witwatersrand Basin", *Nature* 386: 820-24.

7. Tabulky biomineralizace lze nalézt v publikaci Barry S.C. Leadbeater a Robert Riding, eds., 1986, *Biomineralization in Lower Plants and Animals* (Oxford, England: Clarendon) s. 4; a také v Lynn Margulis a Dorion Sagan, 1995, *What Is Life?* (New York: Simon & Schuster).

## KAPITOLA 8

1. O bahenních sopkách se píše v mnoha ruských publikacích. V anglicky psané odborné literatuře je zajímavý ilustrovaný článek Martina Hovlanda,



Andrewa Hilla a Davida Stokesa z roku 1997 "The structure and geomorphology of the Dashgill mud volcano, Azerbaijan", *Geomorphology* 21:1-15. O bahenních sopkách pojednává také moje kniha *Power from the Earth* z roku 1987.

2. Nejobsáhlejší popis pockmarků a dalších útvarů oceánského dna, které interpretuji jako způsobené uvolňováním plynů, většinou metanu, je obsažen v M. Hovland a A. G. Judd, 1988, *Seabed Pockmarks and Seepages: Impact on Geology, Biology, and the Marine Environment* (London: Graham and Trotman). O největším známém pockmarkovém poli a důsledcích jeho uvolňování metanu pojednává článek S. Lammers, E. Suess a M. Hovland, 1995, "A large methane plume east of Bear Island (Barents Sea): Implications for the marine cycle," *Geol. Rundsch* 84:59-66.

3. Martin Hovland et al., 1994, "Fault-associated seabed mounds (carbonate knolls?) off western Ireland and northwest Australia", *Marine and Petroleum Geology* 11(2):232-46.

4. Děkuji Stevenu Soterovi za upozornění na časovou souvislost mezi úpadkem plynové teorie zemětřesení a vynálezem seismografů.

5. V průběhu mnoha let Steven Soter zkoumal údaje o zemětřeseních a spolupracoval na článcích o hlubinném plynu jako příčině zemětřesení. zemětřesení. Mezi tyto práce patří Thomas Gold a Steven Soter, 1980, "The deep-earth gas hypothesis", *Scientific American* 242: 154-61; a Thomas Gold a Steven Soter, 1984/85, "Fluid ascent through the solid lithosphere and its relations to earthquakes", *Pageoph* 122: 492-530. Viz také kapitolu o zemětřeseních v mé knize *Power from the Earth* z roku 1987 (London: J. M. Dent). 6. Isaac Newton, 1730, *Optics*, 4. vydání, q. 31, s. 354-55.

7. John Michell, 1761, "Conjectures concerning the cause, and observations upon the phenomena, of earthquakes", *Philosophical Transactions of the Royal Society* 51: 566-634.

8. Meteorologická stanice Liao-ling, 1977, "The extraordinary phenomena in weather observed before the February 1975 Hai-cheng earthquake", *Acta Geophys. Sinica* 20: 270-75.

9. Yuji Sano a Hiroshi Wakita, 1987, "Helium isotope evidence for magmatic gases in Lake Nyos, Cameroon," *Geophysical Research Letters* 14: 1039-41.

10. Bohužel mám k dispozici pouze neúplnou citaci zemětřesení v Tchang-šanu a nepodařilo se mi získat celou citaci. Citace byla převzata ze zprávy J. Liho s názvem "Zemětřesení: A harvest of agony", která vyšla v říjnovém vydání *Los Angeles Times* v roce 1980.

11. Chápu, že hliněné mohyly se vyskytují i v jiných oblastech Severní Ameriky. Příčinu jejich vzniku interpretace označují za záhadnou, i když možná jde o zemní práce záměrně budované paleoindiány.

12. Přehled mechanismů deformace předpokládaných u zemětřesení a problémy s jejich použitím k vysvětlení hlubokých zemětřesení viz Harry W. Green II a Heidi Houston, 1995, "The mechanics of deep earthquakes", *Annual Reviews of Earth and Planetary Sciences* 23: 169-213. Autoři sdílejí můj názor, že zemětřesení v hloubkách, v nichž nemůže hrát roli deformace, mohou vysvětlit tlakové kapaliny v pórových prostorech, ale za prostupující kapalinu považují spíše vodu než uhlovodíky. Jak je vysvětleno v kapitole 3, nesouhlasím také s tvrzením autorů, že "je krajně nepravděpodobné, že by se pórovitost vyplněná tekutinou... mohla udržet do velké hloubky".

## KAPITOLA 9

1. Infračervená fototaxe (určování směru pomocí záření) u horkých oceánských prúdůchů je navrhována jako předchůdce fotosyntézy v Euan G. Nisbet, 1995, "Archaean ecology: A review of evidence for the early development of bacterial biomes, and speculations on the development of a global-scale biosphere," in M.P.

Coward a A.C. Ries, eds., *Early Precambrian Processes*, Geological Society of London Special Publication No. 95, s. 27-51. Viz také E. G. Nisbet a C. M. R. Fowler, 1996, "Some liked it hot", *Nature* 382: 404-5.

2. Výpočet předpokládá, že každá opice má pouze jednu šanci stisknout náhodně potřebný počet kláves (39) odpovídající prvnímu řádku Shakespearova sonetu.

3. Robert V. Miller, 1998, "Bacterial gene swapping in nature," *Scientific American*, leden, s. 67-71.

4. Vilmos Csányi ve své knize *Evolutionary Systems and Society* z roku 1989 (Durham, NC: Duke University Press) navrhl, že symbiotické fúze společenství mikroorganismů by mohly nejlépe vysvětlit základní rozdíly v typech buněk živočišného těla.

5. Linus Pauling, 1959, *Obecná chemie*, 2. vydání. (San Francisco: W.H. Freeman), str. 599.

6. Podporu pro názor o výměně genů na počátku života uvádí Elizabeth Pernise, 1998, "Genome data shake tree of life", *Science* 280: 672—74.

## KAPITOLA 10

1. Jon S. Nelson a E.C. Simmons, 1995, "Diffusion of methane and ethane through the reservoir cap rock: Implications for the timing and duration of catagenesis", *Bulletin Americké asociace ropných geologů*, červenec 1995, 79(7):11

2. David M. Karl, 1995, "Ecology of free-living, hydrothermal vent microbial communities", in David M. Karl, ed., *The Microbiology of Deep-Sea Hydrothermal Vents* (Boca Raton, FL: CRC Press), p. 109.

3. Přehled publikací, které uvádějí metanotrofy ve společenstvech hlubokomořských prúdů a jako symbionty makrofauny, viz Daniel L. Distel, 1998, "Evolution of chemoautotrophic endosymbiosis in bivalves", *BioScience* 48(4): 277-86.

4. John Postgate, 1994, *The Outer Reaches of Life* (Cambridge, England: Cambridge University Press), s. 29.

5. Výpočty klimatického modelu pro Venuši jsou uvedeny v článku Jamese F. Kastinga, 1988, "Runaway and moist greenhouse atmospheres and the evolution of Earth and Venus", *Icarus* 74: 472-94. Viz také jeho 1997 "Habitable zones around low mass stars and the search for extraterrestrial life", *Origins of Life and Evolution of the Biosphere* 27: 291-307.

6. Dobu, za kterou na Zemi vznikne skleníkový efekt, odhadli James Lovelock a Michael Whitfield ve svém článku "Life span of the biosphere" (Životnost biosféry) z roku 1982, *Nature* 296: 561-63. Novější odhad je uveden v článku Kena Caldeiry a Jamese F. Kastinga, 1992, "The lifespan of biosphere revisited", *Nature* 360: 721-23.

7. Baerbel K. Lucchitta, Duwayne M. Anderson a Hitoshi Shoji předložili v roce 1981 ve své studii "Did ice streams carve Martian outflow channels?" silné argumenty pro zalednění Marsu. *Nature* 290: 759-63. Viz také Hugh H. Kieffer et al., eds, *Mars* (Tucson: University of Arizona Press) str. 498-51. Ledovcová teorie je aplikována na nejnovější snímky Marsu v článku Jeffrey Winters, 1998, "A survey of ancient Mars", *Discover*, červenec, str. 113-17.

8. Gigantické rozměry Olympus Mons na Marsu způsobují potíže při jeho považování za lávovou sopku. Vzhledem k tomu, že láva má téměř stejnou hustotu jako pevná hornina, je obtížné si představit, jak by mohl být k dispozici dostatečný tlak, který by lávu v pozdějších fázích vytlačil do výšky. Možná by se o ní mělo uvažovat jako o obřím pingvu nebo obří bahenní sopce.

9. D.S. McKay a kol., 1996, "Search for Past Life on Mars: Vědci: možné reliktní jevy na planetě Mars: možné reliktní jevy Biogenní aktivita v marťanském meteoritu," ALH 84001. *Science* 273(5277):1 924-30, 16. srpna 1996.

10. Thomas Gold, 1992, "The deep, hot biosphere", Proceedings of the National Academy of Sciences, USA 89: 6045-49.

## Poděkování

Pomoci, kterou mi při psaní o tomto rozmanitém a mnohostranném tématu poskytla Connie Barlowová, si velmi vážím. Díky jejím návrhům se podařilo uspořádat mé názory a myšlenky do snáže pochopitelných sekvencí, přidala několik významných vysvětlení a našla zásadní odkazy v mých rozsáhlých souborech.

Jsem velmi zavázán panu Williamu Fruchtovi, bývalému redaktorovi časopisu Copernicus, který projevil velký zájem o téma masivního podpovrchového života a četné důsledky, které by to mělo v různých odvětvích věd o Zemi. Přesvědčil mě, abych napsal tuto knihu.

Naštěstí se současný šéfredaktor časopisu Copernicus, pan Jonathan Cobb, o toto téma zajímal stejně silně a jeho redakční pero mělo zásadní vliv na stručnost a jasnost výkladů. Chtěl bych také poděkovat Connie Dayové za její četné jemné návrhy týkající se kopírování.

Ralph E. Gomory, prezident Nadace Alfreda P. Sloana, byl také nadšený z tohoto tématu, stejně jako Dr. Jesse Ausubel, člen jejího personálu, a já si velmi vážím toho, že četné výdaje spojené se shromažďováním důkazů byly hrazeny touto nadací.

Před časem jsem zjistil, že nejsem původcem teorie o hlubinném původu ropy; ruští vědci nebo vědci z bývalého Sovětského svazu.

### 235 PODĚKOVÁNÍ

se těmito tématy zabývali více než sto let a získali pro ně skutečně rozsáhlé množství informací. Mým hlavním zdrojem informací byl zejména Petr Kropotkin (dnes již zesnulý), významný geolog Geologického ústavu Akademie věd SSSR. Byl jsem potěšen, že jsem byl Akademií SSSR požádán, abych přispěl kapitolou do knihy na památku Mendělejeva, který jako jeden z prvních na takovou teorii poukázal.

Dřívější pomoc mého přítele a kolegy Dr. Stevena Sotera byla významným přínosem v mnoha oblastech, zejména v souvislosti se zemětřeseními, o nichž shromáždil svědectví očitých svědků z mnoha zemí a ukázal mi širší pohledů, což mě velmi povzbudilo k novému promýšlení problémů a k nalezení nedostatků mnoha obecně přijímaných vysvětlení.

Při úvahách o přítomnosti obrovského množství podpovrchové mikrobiologie, která je nezbytná pro vysvětlení biologických molekul ve všech ropných látkách, jsem byl ovlivněn pozoruhodnou prací profesora Ourissona a jeho spolupracovníků ve francouzském Štrasburku, kteří prokázali, že v horninách se spolu s ropou a plynem vyskytuje velmi velké množství bakteriálních zbytků, i když tyto nálezy vysvětlovali jinak.

Chtěl bych také poděkovat své ženě za velkou trpělivost, kterou projevovala, když jsem se na celé dny uzavřel do své pracovny a když můj časový rozvrh někdy narušoval řádný chod domácnosti.

## Index

abiogenní teorie vzniku uhlovodíků. Viz teorie hlubinných zemních plynů  
 Aelian, 155 Africký rift, 42  
 zemědělství a biotechnologie, 180  
 Aljaška: zemětřesení 28. března 1964, 144; ložiska uhlovodíků a kovů v, 137  
 Albrecht, Pierre, 83-84 řasy a izotopy uhlíku, 66 ALH84001 (meteorit), 202-203 naplaveniny a zemětřesení, 150  
 Alvin (ponorka), 11-12 aminokyseliny: a běžné složky života na povrchu, 1-2; a molekulární chiralita, 181-82  
 Anaxagoras, 146 chování zvířat a zemětřesení, 155-56, 162  
 Antarktida: kultivace mikrobů z, 192; a jezero Vostok, 25  
 archea: a společenstva hlubinných vrtů, 19, 23; a reklasifikace prokaryot, 33-34  
 Arktida a metan hydráty v permafrostové vrstvě, 26

Aristoteles, 146 Arkansas, 157, 158  
 asteroidy: uhlovodíky na povrchu, 45; a vznik života, 167

Astronomie a množství uhlovodíků ve vesmíru, 44-46. Viz také mimozemský život; planety; hvězdy; vesmír.

Atmosféra: oxid uhličitý v raném období Země, 62-63; stálost poměru izotopů uhlíku v atmosféře, 71-72; obsah volného kyslíku a abiogenní teorie vzniku uhlovodíků, 215-16n8; na Marsu, 196-98; na Venuši, 195-96 Autokatalyzátory a vznik života, 173-75 Ázerbájdžán, 142  
 Azory, 42

bakterie: a koncentrovaná ložiska minerálů, 138; a společenstva hlubokomořských průduchů, 19, 23; a magnetit jako vedlejší produkt metabolické činnosti, 119.

Viz také mikrobi biochemie, mimozemské ekologie, 206 teorie biogenního původu, pro vznik uhlovodíků: a asociace helia s uhlovodíky, 73; a vznik uhlí, 87-88, 92, 96; porovnání s teorií hlubinných plynů,

38-43; a důkazy pro hlubokou horkou biosféru, 31, 35; a izotopový poměr karbonátového záznamu, 67, 68, 214-15n6; a ukládání kovů, 138  
biotechnologie a genové splicing, 179-83 mlži, 20 rašelinistiště, 101  
Bolívie, 160

ekologie pohraničí a  
povrchový/podpovrchový život, 23-27.

Viz také hlubokomořské průduchy

237

Brazílie, 97, 98 objemový proud a přeprava plynu horninou, 70

Kalifornie, 136

Kamerun, 155

Kanada. Viz Canadian Shield; New

Brunswick; Quebec; Yukon Kanadský štít, 157

a abiogenní teorie vzniku ropy, 60  
uhlík: karbonátový záznam jako důkaz pro teorii hlubinných zemních plynů, 61-72; uhlíkový cyklus a fotosyntéza, 14-15; a uhlovodíková teorie ukládání kovů, 136; izotopové poměry v diamantech,

130; podpovrchový život a zdroje, 16  
uhlíkaté chondrity, 45 uhlíčanové cementy: a metan, 69, 71; a pockmarks bahenních sopek, 143

oxid uhličitý: v atmosféře Venuše, 195-96; a koloběh uhlíku, 15; a vznik diamantů, 130; v rané atmosféře Země, 62-63; emise ze sopek, 42, 43, 49; a hydráty na dně oceánů, 27. Viz také

plynové jeskyně a ekosystémy založené na chemické energii, 24 buňky a definice života, 175-76 Střední Amerika a sopky, 42

Charlevoix (Quebec), 157-58, 159

Chekaliuk, E. B. , 50 chemická energie: a hlubokomořské průduchy, 21-22; a fotosyntéza, 13-14; pro podpovrchový život, 4-7, 169. Viz též energie

Čína: zemětřesení v Chaj-čchengu v roce 1975, 153-54; zemětřesení v Tchangšanu dne

1976, 156

cinabar, 137 škeble, 20 klima: Marsu, 201; Venuše, 194-95.

Viz také mlha; teplotní uhlí, teorie vzniku upwelling, 86-103

oblasti "studených průsaků" v oceánech, 23-24

Colorado, 136 Cornwall, Anglie, 137

náklady na experimenty s hloubkovými vrty, 110-11

krabi, 20  
kultivační metody pro podpovrchové mikrobi, 190, 191-93

Dánský geologický průzkum, 121

Darwinismus a rychlost mutací, 176-83  
Teorie hlubokého zemského plynu: spojení helia s uhlovodíky jako důkaz, 72-77; předpoklady, z nichž vychází, 43-55; v. teorie biogenního původu, 38-43; karbonátový záznam jako důkaz, 61-72; a koncentrovaná ložiska kovů, 131-39; a hluboká horká biosféra, 80-82; popis, 5; a vznik diamantů, 127-31; a teorie zemětřesení, 143-63; a bahenní sopky, 142-43; a vznik života, 170-76; doplňování ropných zásobníků jako důkaz, 59-61; a Švédsko jako testovací místo pro vrty, 106-123; typy empirických důkazů, 57-59; a teorie upwellingové tvorby uhlí, 86-103 teorie hluboké horké biosféry: a biologické molekuly v nebiologické ropě, 82-86; a koncentrovaná ložiska kovů, 137-39; popis, 5-7; a ekologie života v hlubokomořských průduších, 19-23; a mimozemský život,

193-207; historie studia, 30-36,

219n2; a mikrobiální výzkum, 188-93; přehled, 7-10; a vznik ropy, 80-82; jako řešení ropného paradoxu, 83-86; teplota a tlak, 28 hlubokomořské průduchy: a ekologie mořského života, 11-13, 19-23; a izotopová frakcionace metanu, 215n6; a

zdroje uhlíku, 16-17; a zdroje kyslíku, 17-18; a studium mikrobiálního života, 189-91 *Desulfovibria*, 138

diamanty: teorie hlubinných plynů a jejich vznik, 127-31; tlak a vznik, 89-90 difúze a transport plynu skrz

rock, 71-72

DNA, evoluce a dvojité šroubovice, 181 dolerit, 121

Doněcká pánev, Ukrajina, 97

Země: oxid uhličitý v atmosféře na počátku, 62-63; vznik a částečné tání, 46-49; teorie o vzniku

40 a tepelný gradient 29. Viz také planety zemské valy, 156-59, 222n12 zemětřesení: a teorie hlubinného zemského plynu, 143-45, 222n13; zemětřesné skvrny a zemské valy, 156-59; svědectví očitých svědků, 145-56; zlepšující se předpovědi, 159-63; prekursorové jevy, 145-46, 159-63 zemětřesné skvrny, 156-59 East Pacific Rise, II ecology: a hranice mezi povrchovým a podpovrchovým životem, 23-27; života v hlubokomořských průduších, 19-23 *Encyclopedia Britannica* (1771), 149 endosymbióza a evoluce, 178-79, 181 energie: krize 70. let 20. století, 39; život a měřený tok, 7; původ života a povrchová versus podpovrchová stanoviště, 168. Viz též chemická energie *Escherichia coli*, 177-78 eukaryota: klasifikace archeí a, 33; evoluce, 178 evoluce, Darwinova teorie a vznik života, 176-83 mimozemský život: vyhlídky na povrchové formy, 193-201; hledání podpovrchových forem, 201-205; teorie o vzniku, 205-207 očitá svědectví, o zemětřeseních, 145-56

feromagnetismus a magnetit, 116 mlha jako předzvěst zemětřesení, 147-48

folklór a zemětřesení, 147

fosilie: v uhlí, 87-88, 97; mikrobiální v žulová hornina, 30

*Frontiers in Astronomy* (Hoyle, 1955),

53-54 rysy nálevky a forma

diamantu 128

Galimov, E. M., 45-46 mrak plynu (jezero Nyos, Kamerun), 154-55 plyny: mračna v mezihvězdném prostoru, 3; výboje ze Země před zemětřesením, 155; plynové vrty a komerční produkce helia, 75; objem a rychlost úniku uhlovodíků, 186-87. Viz též oxid uhličitý; teorie hlubinných zemských plynů; plynový oblak; helium; metan; zemní plyn; kyslík; vyvěrání plynu.

spojování genů a biotechnologie,

179-83 genetika: a společné odvození povrchového a podpovrchového života, 165; evoluce a vznik života, 174-75, 179 genotyp a vznik života, 174-75 geografie a rozložení uhelných ložisek, 97-98 geologie: a teorie hlubinného zemského plynu, 37; magnetit a mikrobiální, 114-23; částečné tání a vznik Země, 48; a pravidlo superpozice, 85. Viz také zemětřesení; vyvěřelé horniny; póry, v horninách; sedimentární horniny; sopky a vulkanismus zalednění, na Marsu, 198-201 zlato, asociace s uhlíkem, 136 žula: mikrobiální fosilie v, 30; vrty ve Švédsku jako test teorie hlubinného zemního plynu, 107-23. Viz také vyvěřelé horniny Řecko, 146

skleníkové plyny a Venuše, 194-95

Grónsko, 96

Halleyova kometa, 45

Hanfordské zařízení na zpracování jaderných materiálů (Washington), 32 Hefner, Robert A. , III, 118, 212-13n3 Held, Marshall, 74, 158

helium, asociace s uhlovodíky, 72-77, 215n6, 216n15, 217n16 Hokkaido (Japonsko), 99-100 hopanoidy: a biologické zbytky v ropě, 83-84, 86, 93; v uhlí, 92, 93 horké prameny: jako hraniční ekosystém, 23; a teplota, 28 Hoyle, Fred, 53-54 uhlovodíky: jako hlavní složky sopečných plynů, 42; jako primordiální materiály, 43-46; spontánní rekonfigurace molekulární směsi při termodynamických změnách, 90-91; a podpovrchový život, 5-7. Viz též teorie biogenního původu;

teorie hlubinných zemských plynů; teorie hlubinné horké biosféry.

sirovodík: a jeskynní ekosystémy, 24; a hlubokomořské vývěry, 22  
hydrotermální teorie a koncentrovaná ložiska kovů, 132-33 hydrotermální vývěry. Viz hlubokomořské průduchy hypertermofilové: a archea, 34; kultura, 191; a teplota, 27-28, 29

ledové sopky (pingos), 143

vyvřelé horniny: a uhlovodíky, 41, 212n29; a koncentrace kovů, 138; zprávy o mikrobiálním životě v, 31—32, 211—12n27. Viz také iridium a magnetit z experimentu Siljan, 117-18 oxidy železa: a Mars, 203-204; jako zdroje kyslíku pro podpovrchový život, 6, 17 izotopy a molekulární struktura uhlíku, 64-72

Itálie, 146-49

Japonsko: ložiska uhlí na ostrově Hokkaidó,

99-100; a studium zemětřesení, 159

Jupiter, 44 let

Karl, David, 190

kerogen, 80, 103

kimberlit, 128

poloostrov Kola (Rusko), 107, 108-109

Koudryavtsev, N. A., 58

Koudrjavcevovo pravidlo, 57-58

Krakatoa (sopka), 42

Krauskopf, Konrad, 133

Kropotkin, Petr N., 121-22

Dehtové jámy La Brea (Kalifornie), 186

Jezero Nyos (Kamerun), 155 loužení a koncentrovaná ložiska kovů, 132, 133, 139

Meteorologická stanice provincie Liaoning

(Čína), 153 život, vznik: a teorie hlubinného zemského plynu, 170-76; a Darwinova evoluční teorie, 176-83; a

obyvatelnost povrchových a podpovrchových oblastí, 166-70; uhlovodíky a konvenční teorie, 5-6; a fotosyntéza, 14. Viz také mimozemský život; podpovrchový život; povrchový život.

hnědé uhlí, vznik, 100-103

magnetické anomálie jako ukazatele přítomnosti uhlovodíků, 121 magnetit: a Mars, 204; a mikrobiální geologie, 114-23

Margulis, Lynn, 178

Mars: a mimozemský život, 196-201, 202-204; a sopky, 200-201, 224n8

Mendělejev, Dmitrij 1., 41, 57 rtuť, 137 kovů, teorie hlubinného zemského plynu jako vysvětlení koncentrovaných ložisek, 131-39 sulfidy kovů, 137

meteority: a sloučeniny uhlíku, 45, 46, 64; v Charlevoix (Quebec), 157; a galaktická panspermie, 207; a Mars, 202-204; a Siljanský prstenec

Švédsko, 108 metanu: a koloběhu uhlíku, 15; v uhelných ložiscích, 96, 98-100; a hlubokomořských průduších, 16, 17, 22, 190-91; a vzniku diamantů, 130; emise ze zemních valů, 159; emise ze sopek, 42, 43, 49; ve vyvřelých horninách, 32, 212n29; a izotopové poměry uhlíku, 65, 69-70, 214-15n6; tvorba rašeliny a hnědého uhlí, 101-102; tepelný gradient a tlak, 29-30; upwelling a izotopová frakcionace, 66. Viz též plyny; uhlovodíky methanotrofové: kultura, 190, 191; a hlubokomořské průduchy, 22-23; úloha v hluboké biosféře, 30 mikrobi: teorie a výzkum hluboké horké biosféry, 188-93; a ekologie života v hlubokomořských průduších, 19-23; ropné vrty a původní, 30-31, 82, 211n22. Viz též archea; bakterie; hypertermofilové; metanotrofové; termofilové.

Michell, John, 149-50 Missouri.

Viz New Madrid molekulární

chiralita: a evoluce,

181-83; a mimozemský život, 206

molekuly a vznik života, 3



- Montana, 157  
bahenní sopky, 142-43  
mušle, 20
- NASA: a průzkum jezera Vostok, 25;  
mise Pathfinder v roce 1997, 200  
zemní plyn. Viz metan; uhlovodíky  
Nelson, Jon S., 186-87  
Neptun, uhlovodíky v atmosféře  
Z, 44  
New Brunswick, Kanada, 96-97  
Newfoundland, Kanada, 137  
Zemětřesení v Novém Madridu v letech  
1811-1812,  
150-53  
Nové Mexiko, 98, 99 Newton, Isaac,  
149  
nikl, 134-35 Nikonov, V. F., 216n13  
dusík: a tvorba diamantů, 130;  
upwelling, 73-75  
Severní Afrika, 129  
Norsko, 156  
Norská petrochemická laboratoř  
(Geolab Nor), 114  
Norský příkop, 108
- oceán: oxid uhličitý a dno, 27;  
společenstva mořských živočichů v  
hlubinách, 11-13; a místa emisí  
plynů,  
142-43; a horké prameny na dně, 23;  
metan a dno, 25-26. Viz také  
hlubokomořské průduchy ropné vrty: a  
komerční produkce helia, 75; původní  
mikrobi jako důkaz hluboké horké  
biosféry,  
30-31, 82, 211n22  
Oklahoma, 98  
Olympus Mons (Mars), 200-201, 224n8  
organokovové látky, 134-35 Ourisson,  
Guy, 83-84, 86 kyslík: složení atmosféry  
a abiogenní teorie původu uhlovodíků,  
215-16n8; hlubokomořské průduchy a  
zdroje, 17-18, 20-21; uhlovodíky a  
podpovrchový život, 6; a fotosyntéza, 14.  
Viz také plyny
- hypotéza panspermie: a vznik života na  
Zemi, 1; a vznik mimozemského života,  
205-207 pasivní difúze izotopů uhlíku,  
66 Pauling, Linus, 182  
Pausanias, 147 rašelina, vznik, 100-103  
permafrost: a ledové sopky, 143; a metan  
hydráty, 26 zkamenělé dřevo, jako model  
pro upwellingovou teorii vzniku uhlí, 88  
ropa: biologické molekuly v  
nebiologických, 82-86; a teorie hluboké  
horké biosféry, 80-82; molekulární  
struktura, 37; původ, 38-43; doplňování  
zásobníků, 59-61. Viz také teorie  
hlubinného zemského plynu; fenotyp  
uhlovodíků a vznik života, 175  
Philp, Paul, 118  
fotosyntéza a koloběh uhlíku, 14-15;  
a izotopů uhlíku, 66; chemické  
energie a proces, 4-5, 13-14;  
a vznik života, 168, 169  
pingos (ledové sopky), 143 planety: a  
podmínky pro život, 3-4; a uhlovodíky,  
44-45. Viz také Země; mimozemský život  
rostliny: a izotopy uhlíku, 66; a  
mimozemský život, 194; a tvorba  
rašeliny, 100 desková tektonika a teorie  
zemětřesení,  
144, 145 Plinius, 148 pockmarks, na  
dně oceánu, 143 póry, v horninách: a  
tvorba diamantů,  
131; zemětřesení a kolaps, 144-45;  
jako požadavek pro teorii hlubinných  
zemních plynů, 52-54 porfyryny, 134-35  
Portugalsko, lisabonské zemětřesení v  
roce 1755, 150 Postgate, John, 192
- tlak: a kultivace podpovrchových  
mikrobů, 191, 192; a vznik diamantů, 89-  
90, 127-28; molekulární chemie ve  
velkých hloubkách, 125-26; a póry v  
horninách, 52-54; a podpovrchový život,  
28-30; termodynamická stabilita  
uhlovodíků, 49-52 primordiální polévka a  
vznik života, 168 prokaryota, archea a  
reklasifikace, 33-34 přerušovaná  
rovnováha a biologická evoluce, 176-77
- křemen, 136-37  
Quebec, Kanada, 157-58, 159
- náhodné mutace a evoluční změny, 177-  
78, 179-80

- Robinson, Robert, 84 let  
"Mikrobi živící se horninami, 31
- Rock. Viz geologie; zemětřesení; vyvřelé horniny; póry v horninách; sedimentární horniny; sopky a vulkanismus.
- Rohmer, Michel, 83-84
- Rueter, Petra, 32 let
- Rusko, 107, 108-109. Viz také Sovětský svaz  
Union
- Řeka svatého Vavřince (Kanada), 157  
písek fouká, 153  
Zemětřesení v San Franciscu v roce 1906, 153
- Santorini (sopka), 42 Saturn, 44  
sedimentární horniny: a biogenní teorie vzniku ropy, 40, 41; uhlovodíky a obohacení héliem v, 74; kerogen a ropná ložiska v, 80; a obohacení kovy, 138; vzor ukládání karbonátových hornin v geologickém čase, 63; zprávy o mikrobiálním životě v,  
31-32 seismografy, 145  
Seneca, 146, 148-49  
krevety, 20 oxid křemičitý a zkamenělé dřevo, 88 oxid křemičitý, 136-37 Siljan Ring (Švédsko), 108-23 Simmons, E. C., 187  
závrty, 153
- Smithsonian Institution, 151-53  
hlemýždi, 20 sluneční záření: na Marsu a Venuši, 196; a povrchový život, 167-68
- Soter, Steven, 145, 221n1-2
- Jižní Afrika: těžba uhlíku a zlata, 136; nálevkovité prvky a ložiska diamantů, 128 Sovětský svaz, 41. Viz také Rusko  
hvězdy jako zdroj složek pro život,  
2-3. Viz také astronomie; sluneční sterany, 118 teorie napětí a zemětřesení, 160  
Magellanova úžina, 102  
podpovrchový život: a ekologie pohraničí, 23-27; chemická energie pro, 4-7; mimozemský život a, 201-207; a mikrobiální výzkum, 188-93; a vznik života, 166-70; zdroje uhlíku pro, 16; povrchový život ve srovnání s,  
18-19; teplota a tlak,  
27-30 sulfáty jako zdroje kyslíku pro podpovrchový život, 6, 17 sulfidy a odstraňování kyslíku ze sulfátů v hlubokomořských průduších, 18 Sumatra, 102  
Slunce: tok energie a proces fotosyntézy, 4-5; a měřený tok energie, 7. Viz také astronomie; hvězdy povrchový život: a hraniční ekologie, 23-27; společné složky, 1-2; podmínky nutné pro, 2; rozmanitost forem, 1; a mimozemský život, 193-201; úzké okno pro, 2-4; a vznik života, 166-70; podpovrchový život ve srovnání s, 18-19 bažiny: a teorie vzniku uhlí,  
87, 94-95; a tvorba rašeliny,  
100-101
- Švédsko jako testovací místo pro teorii hluboké horké biosféry, 106-123  
Švédský geologický průzkum, 108  
Švédská národní bakteriologická laboratoř, 119  
Švédská státní energetická rada (Vattenfall),  
107, 111  
Švýcarsko, 1(0)1, 102 Szewzyk, U., 119
- teplota: zvýšení jako předchůdce zemětřesení, 147; a podpovrchový život, 27-28, 29, 191, 192; a vhodnost povrchu a podpovrchových vrstev pro vznik života, 167; a termodynamická stabilita uhlovodíků, 49-52 terpenoidy, 84 termodynamická stabilita uhlovodíků ve velkých hloubkách, 49-52 termofily: a vznik života, 169-70; a teplota, 27 Thermus aquaticus, 23 thorium, 75, 217n16 Ohňová země, 102 Titan (měsíc Saturnu), 44-45  
stopové minerály v uhlí, 96  
stopovací plyn, 187-88  
tsunami, 144  
trubicoví červi, 11, 20  
Ukrajina, 97  
Výzkumný ústav plynárenský USA, 111

vesmír: hojnost uhlovodíků v, 44-46; a úzké okno pro povrchový život, 2-4. Viz také mimozemský život; planety; hvězdy upwelling, plynu: a místa zemětřesení, 157; a teorie zemětřesení, 159-63; a uhlovodíky, 54-55, 60; jako teorie vzniku uhlí, 86-103. Viz také plyny Ural, 137

uran, 75, 217n16

Uran, 44

Valles Marineris (Mars), 204 vanad, 134-35

Venus, 194-96

sonda Viking (1976), 198, 199

viry, 175 sopky a vulkanismus: a ložiska uhlí, 96; a teorie hlubinných zemních plynů, 42-43; a hlubokomořské průduchy, 21; emise metanu a oxidu uhličitého z, 27, 49; a Mars, 200-201, 224n8; bahenní sopky,

142-43

Vostok, jezero (Antarktida), 25

Wanlass, H. R., 97 voda: a atmosféra Marsu, 196-98; a podmínky pro život, 3; a mimozemský život, 193-94; a fotosyntéza, 14; tlak a bod varu, 28

Woese, Carl, 33-34

Wyoming, 98, 137

Yellowstonský národní park, 23 Yukon,

Kanada, 136 zinek a magnetit ze Siljan

Ring, 117