



Vladimír Socha

Poslední den druhohor

Co stálo za vyhynutím
dinosaurů?

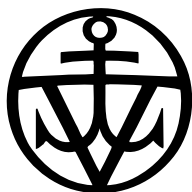
VYŠEHRAĐ



Poslední den druhohor

Vyšlo také v tištěné verzi

Objednat můžete na
www.ivysehrad.cz
www.albatrosmedia.cz



Vladimír Socha

Poslední den druhohor – e-kniha
Copyright © Albatros Media a. s., 2018

Všechna práva vyhrazena.
Žádná část této publikace nesmí být rozšiřována
bez písemného souhlasu majitelů práv.

ALBATROS  **MEDIA a.s.**



Vladimír Socha

Poslední den druhohor

Co stálo za vyhynutím
dinosaurů?

Vladimír Socha

Poslední den druhohor

Co stálo za vyhynutím
dinosaurů?

VYŠEHRAĐ

© Vladimír Socha 2018

ISBN tištěné verze 978-80-7429-908-7

ISBN e-knihy 978-80-7429-967-4 (1. zveřejnění, 2018)

*Autor by rád poděkoval za cenné rady a připomínky k textu
pánům Petru Scheirichovi a Janovi Veselému (astronomie),
Martinu Košťákovi (paleontologie bezobratlých a obratlovců),
Jakubu Sakalovi (paleobotanika) a Miloši Bočkovi
(geologie a astronomie).*

Obsah

Předmluva 17

Úvod 21

1. Kameny padající z nebe 30
2. Svět před 66 miliony let 49
3. Dějiny výzkumu vyhynutí dinosaurů 59
4. Tenká jílová vrstvička 82
5. Námitky a polemika 103
6. Pátrání po kráteru 115
7. Ďáblovy spáry 127
8. Když se zřítilo nebe 145
9. Jezdci z apokalypsy 158
10. Vítězové a poražení 183
11. Bylo více viníků? 208
12. Indické vulkány 228
13. Přežili dinosauri velké vymírání? 237
14. Periodické katastrofy 246
15. Nové výzkumy 255
16. Další hromadná vymírání 276
17. Vymírání z konce křídy v literatuře a filmu 288
18. Žijeme na bezpečné planetě? 298

Doporučená literatura 321

Poznámky 324

Jmenný rejstřík 362

Mrha se i přes časně ranní hodiny už pomalu zdvihala a v pralese začínalo být nepříjemné dusno a horko. Takové tu ale panovalo neustále. V tropickém světě končící křídý na území budoucí Montany v době před 66 miliony let obývalo zdejší ekosystémy obrovské množství různých rostlin i živočichů. Podnebí bylo horké a vlhká krajina měla podobu říčních sítí proplétajících se okolními pralesy. Na rozsáhlých plochách země se nacházely bažiny a močály. V dálce se v paprscích ranního slunce výhružně tyčil kužel osaměle stojící sopky. Už několik let nechrlila oheň a kamení, ale občas se nad jejím vrcholkem objevil oblak šedého kouře jako varovné poselství, že ještě neřekla své poslední slovo. Dole v pralese se s postupujícím ránem život pomalu probouzel, zbavoval se noční letargie. Po větvích stromů se proháněly malé ještěrky a poskakovaly žabky, občas z dutin v kmeni zapískal drobný savec. V řekách a jezerech brázdili hladinu různě velcí mloci, krokodýli i jim podobní champsosauri a vysoko nad pralesy se vznášeli obří ptakoještěři s mnohametrovým rozpětím křídel. Praskání větví a lámání kmenů ukazovalo, že už jsou aktivní i pánové těchto ekosystémů, velcí dinosauri. Stáda rohatých triceratopsů a kachnozobých edmontosaurů procházela tradičními místy, skýtajícími dostatek vhodné rostlinné potravy. Pásli se na níže rostoucích větvích některých stromů a na hustých keřících. V patách už jim přešlapovaly smečky srpodrápých dakotaraptorů i menších acheroraptorů, číhajících na kořist v podobě neopatrného mláděte nebo přestárlého dospělce. Ale král mohl být i v tomto světě jenom jeden.

Samec tyranosaura už dlouho nejedl. Naposledy si pochutnal na nepříliš vydatném těle pachycefalosauru, dvounohého dinosaura s kupolovitou hlavou, několik metrů masa ho ale nemohlo nasytit nadlouho. Prodíral se pomalu pralesem a hledal další vhodnou kořist. Jeho třináct metrů dlouhé a osm tun těžké tělo bylo sice robustní, ale i tak dokázal dravý obr překvapivě rychle a obratně kormidlovat mezi kmeny v bahnitém terénu. Až na praskání větví pod jeho tlapami byl na svou velikost překvapivě tichý. Náhle jeho pozornost zaujala obří postava ohromného dinosaura, pasoucího se jen několik desítek metrů od něj na okraji malého jezírka. Byl to rohatý torosaurus, devět metrů dlouhý a stejně těžký jako tyranosaurus. Jen jeho hlava byla i s krčním límcem dlouhá přes tři metry. Tyranosaurus nasál do svých citlivých nozder torosauří pach a hlava mu zacukala touhou zabít. Přikrčil se a jeho gigantické šedozelené tělo začalo tiše klouzat křovinami. Když se přiblížil na útočnou vzdálenost, vyrazil. Na svou hmotnost překonal zbývajících třicet metrů až překvapivou rychlostí a teprve nyní zalarmovanému býložravci se okamžitě zakousl do boku. Strašlivé čelisti jeden a půl metrů velké hlavy se sevřely silou hydraulického lisu a způsobily torosauřovi těžké zranění v okolí pánve. Krvácející rohatý dinosaur se ale nemínil vzdát. Otočil svoji hroživou ozbrojenou hlavu směrem k útočníkovi a nastavil mu svoji špičatou okrasu. Bláto létalo do všech stran a dupající několikátunová monstra sváděla překvapivě ladně svůj boj na život a na smrt. A právě tehdy se to stalo.

Dinosauroi nemohli tušit, co přesně se v tu chvíli odehrálo o několik tisíc kilometrů jižněji. Nevěděli, že právě skončila celá jejich éra, a to jedinou strašlivou událostí. Nikým nezvaný posel smrti a zkázy z jiného světa dorazil. Daleko na jižním obzoru začala obloha krvavě rudnout. Vysoko po nebi stoupaly provazce podivného jasného světla. A na jižním horizontu začal pomalu narůstat děsivý temný mrak. Všichni tvorové zdejšího světa instinktivně poznali, že něco není v pořádku. Torosaurus odkulhal do pralesa a ani tyranosaurus už neměl k dalšímu boji žádnou chuť. Naposledy rozevřel své zakrvácené čelisti a pak

se odvrátil od stále hrozivěji vyhlížející scény. I když jeho inteligence sotva překonávala schopnosti současných krokodýlů, stačila na to, aby se obr s rozhodností vydal opačným směrem, tedy na sever. Neměl sebemenší ponětí o tom, že ať už teď udělá cokoli, svůj strašný osud nijak neodvrátí. Nebylo totiž úniku. K tomuto místu se ohromující rychlostí blížilo velmi silné zemětřesení, masivní tsunami, a především závoj bilionů kusů roztavených úlomků hornin, které již začaly vstupovat do nižších vrstev atmosféry a strašlivě ji tak zahřívaly. Už nyní se teplota povážlivě zvýšila a začínala být nebezpečná pro veškerý vyspělý život v okolí. Obloha konečně zcela potemněla, nikoliv však temnými mraky, ale hrůzným tmavě červeným baldachýnem, který ve výšce šedesáti kilometrů proměnil atmosféru v ohnivě peklo. Ve chvíli, kdy všichni velcí dinosauři a většina ostatních obratlovců umírala udušením nebo tepelným šokem, by při povrchu bylo možné naměřit několik stovek stupňů Celsia. A to přitom katastrofa teprve začala...

Extrémně silné zemětřesení bylo vůbec prvním projevem události, který sem dolehl. Převážná většina roztavených úlomků vzniklých při dopadu obřího tělesa z vesmíru se po návratu do atmosféry do nižších vrstev vůbec nedostala, ale vypařila se ve výškách několika desítek kilometrů nad zemí. Důvodem globálního zvýšení teploty povrchu bylo sálavé teplo, které tyto úlomky a jimi zahřáté vrchní vrstvy atmosféry generovaly. Dříve blankytně modrá obloha se intenzivně rozzářila. Pouhých několik hodin stačilo k tomu, aby se podobně děsivé události opakovaly i na jiných místech světa, od Evropy přes Austrálii až po Antarktidu. Stovky metrů vysoké tsunami, drastické horko a následně mnohaleté ochlazení na mrazivé teploty, obloha zcela zakrytá mračny prachu po celé měsíce či snad roky, stovky miliard tun toxických plynů v mořích i atmosféře, to vše byla realita konce doby dinosaurů. Nejstrašnější následky bychom ale zaznamenali v oblasti dnešního Mexického zálivu. Právě zde se hlavní část oné katastrofy odehrála. Právě sem dopadla asi patnáctikilometrová planetka, které budeme od této chvíle říkat Chicxulub

podle stejnojmenného dopadového kráteru, objeveného na území Mexika.

Ohromná srážka vytvořila podmínky, jaké nelze nasimulovat ani v nejlépe vybavených laboratořích dneška. Nepředstavitelný tlak desítek až stovek gigapascalů, teplota v řádu mnoha tisíc stupňů Celsia, zemětřesení o síle možná milionkrát větší, než jaké známe z naší písemně zaznamenané historie. To byla skutečná podoba katastrofy, která změnila náš svět jednou provždy. Žádný tvor větší než středně velký pes toto kataklyzma nejspíš nemohl přežít. Evoluce obratlovců byla během několika desítek hodin doslova restartována – po předchozích stovkách milionů let takřka nepřerušeno vývoje. Svět ovládaný dinosaury skončil během velmi krátké doby, neskomíral již dříve po celé věky, jak si mnozí vědci ještě donedávna mysleli. Vládci suchozemských ekosystémů po předchozích 140 milionů let doplatili na to, že se jejich mozky nevyvinuly do takového stadia vyspělosti, aby umožnily vznik vědecké astronomie a kosmonautiky. Nemohli tušit, že z dalekého vesmíru se blíží hrozba, kterou nebude možné odvrátit, ani se na ni připravit – a dokonce ji ani přežít.

Když se obloha po mnoha měsících konečně vyčistila, po několika letech mrazivé teploty stouply a ekosystémy se vzpamatovaly z nejhoršího, byl to už úplně jiný svět. Jedna éra vystřídala druhou a velcí dinosauři byli pryč. Svět se otevřel pro překotně rychlý vývoj savců a také potomků předchozích vládců světa – ptáků. Miliony let plynuly, obří kráter v Mexickém zálivu byl postupně pohřben pod mladšími horninami a tato dávná tragédie byla zapomenuta. Věky se potkávaly s věky a teprve věda poslední čtvrtiny 20. století dokázala vybledlou vzpomínku na ni oživit. I v paleontologickém záznamu zanechala stopu tak významnou, že geologové již před dvěma stoletími podle ní rozdělili „éru středního života“ – druhohory a „éru moderního života“ – kenozoikum. Teprve dnes si ale plně uvědomujeme, že šlo o událost náhodnou, zcela nečekanou a měnící svět jednou provždy. Je proto až s podivem, jak relativně málo místa jí zatím bylo v literatuře a filmu věnováno. Vždyť máme co do činění s naprosto

reálným a nanejvýš ohromujícím scénářem, který dalece překonává všechny fantastické koncepty i těch nejnákladnějších hollywoodských katastrofických filmů. Událost na konci křídý si zaslouží být zkoumána a připomínána mnohem častěji, protože ve světle poznatků z poslední doby šlo o jeden z nejvýznamnějších momentů v dějinách života na Zemi. Člověk by se bez ní na této planetě nespíš nikdy neobjevil, nebo alespoň zatím ne. Poslední velké vymírání je jedním z největších příběhů všech dob. Tato kniha popisuje samotnou pradávnou katastrofu i moderní historii takřka detektivního pátrání, které vedlo k odhalení její pravděpodobné hlavní příčiny.

Předmluva

Představte si svět plný života, vzkvétající biosféru s tisíci druhů velkých zvířat, bujnými pralesy a zdravými, odolnými ekosystémy. Je právě konec křídové periody, poslední ze tří velkých období druhohor. Již celých sto sedmdesát milionů let pobývají na Zemi dinosauři, z toho převážnou většinu doby jako dominantní skupina suchozemských obratlovců. Nic nenasvědčuje tomu, že by se tato situace měla v budoucnosti výrazně změnit. Dinosauři byli, jsou a nejspíš i budou vládci planety po další desítky milionů let. Objevili se mezi nimi i největší suchozemští tvorové všech dob, ohromní sauropodi s délkou kolem 40 metrů a hmotností dosahující desítek tun. Nacházíme mezi nimi rovněž rychlonohá opeřená stvoření s vysokým stupněm metabolické aktivity. Dále také největší dravce, kteří se kdy pohybovali po souších naší planety. Žijí na území všech dnešních kontinentů, dokonce i na území budoucí Antarktidy. Dinosauři udivují svojí ohromnou tvarovou i velikostní rozmanitostí, stejně jako četnými adaptacemi pro život v druhohorních ekosystémech. Jejich současníci z řad savců nikdy neměli dostat šanci vyvinout se ve vyspělou, snad dokonce inteligentní formu, která by dinosaurům mohla konkurovat. Svět dinosaurů byl silný, zdravý a stabilní po celé desítky milionů let.

To vše zcela platilo až do jediného osudného dne, kdy přišla nečekaná katastrofa. A během tohoto jediného dne, skutečně během několika desítek hodin, bylo zcela zvráceno vše, co sama

příroda vytvářela po nepředstavitelně dlouhé věky druhohorní éry. Jediný strašlivý den změnil chod dějin organického světa, který po celé předchozí věky směřoval přibližně stejným směrem. Z tohoto pohledu se jeví takřka neuvěřitelné, že o tak významné a zásadní události, která nejspíš umožnila naši vlastní existenci, až do nedávné doby prakticky nikdo nevěděl. Odehrála se sice před nepředstavitelně dávnou dobou přesahující 660 000 století, stopy po ní jsou ale stále dohledatelné v horninách pod našima nohama. A není to jen skromný a regionálně izolovaný důkaz – stopy po této události najdeme všude tam, kde k tomu jsou alespoň trochu vhodné podmínky a ty správné horniny s odpovídajícím geologickým stářím. I po desítkách milionů let se nám prozrazuje na tak vzdálených místech, jako jsou Colorado, Čína nebo Nový Zéland. Tak intenzivní a zuřivá ona kosmická katastrofa byla. Skutečný Armageddon, který se odehrál v onen *poslední den druhohor*.

Tato kniha podrobně vypráví jeden z nejfantastičtějších příběhů, které se v dějinách naší planety odehrály. Na své převyprávění čekal celé věky. Ačkoliv jde o příběh nesmírně dávné události, její dosah je tak velký, že ovlivnil úplně vše, co dnes v přírodním světě můžeme obdivovat. Všichni živí tvorové kolem nás, i my samotní jsme potomky oné čtvrtiny šťastných a odolných druhů, které katastrofu dokázaly přežít. Tito naši neznámí předkové byli naživu právě v onen kritický den, kdy druhohory skončily. Kdyby se toto kataklyzma neodehrálo, je téměř jisté, že bychom tu dnes nebyli a svět by vypadal do značné míry jinak. Je to poutavý příběh strašlivé zkázy nepředstavitelných rozměrů, z níž ale povstal nový svět, jehož jsme součástí. Vědci začali důkazy o této události shromažďovat po malých krůčcích teprve ve druhé polovině minulého století, dnes ale díky novým výzkumným technologiím a metodám vědecké práce získáváme o katastrofě na konci křídý víc přesných a detailních poznatků, než bylo dříve vůbec představitelné.

Také o těchto nejnovějších poznatcích pojednává tato kniha. A to není zdaleka vše, zásadních otázek je v této souvislosti totiž

mnohem víc. Přežili někteří dinosauři do nejstarších třetihor? Mohly se na katastrofě podílet i jiné faktory, jako byla exploze blízké supernovy, enormně silná sopečná činnost, dramatický pokles hladiny oceánů, nebo dokonce pandemie nám neznámých smrtících nemocí? Mohla katastrofu způsobit ještě nějaká jiná, zatím úplně neznámá a smrtící příčina? A co ostatní hromadná vymírání v dějinách planety, čím ta byla způsobena a co o nich dnes víme? Mohla by vymírání být dokonce periodická a pravidelně se tak opakovat? Čeká snad na lidstvo podobný osud, jako byl ten, který potkal dinosauři? A konečně: Mohla by se katastrofa z konce křídý v podobě dopadu obřího kosmického tělesa odehrát i v nám blízké budoucnosti? Jak bychom se před ní mohli ochránit? Na všechny tyto i mnohé další otázky budeme v knize hledat odpovědi.

Úvod

Kdybychom se vrátili v čase o celých 66 milionů let^a do západních oblastí severoamerického kontinentu, našli bychom společenstva organismů zdejších ekosystémů ve fázi takřka totálního zániku a rozkladu. Někdejší tropický ráj je nyní mrtvolně tichý a okázale zdevastovaný. Procházíme se pomyslnou krajinou počínajících třetihor a nohy se nám boří střídavě do toxicky znečištěného bahna a popela žárem spálené země. Vzduch je neobvykle těžký a prosycený kouřem a nedýchatelnými výpary. Na mnoha místech stále hoří nebo doutnají dosud nespálené shluky vegetace. Z nesnesitelného žáru, který tu nedávno zažehl požáry kontinentálního rozsahu, už teplota poklesla na přijatelnou hodnotu. Dosud živé odolné tvory ale čeká další drastické ochlazení o desítky stupňů Celsia. Přestože je právě poledne, nevidíme příliš dobře. Oblohu totiž zakrývají hustá oblaka prachu a rozptýlených částic popela v atmosféře. Sluneční paprsky nebudou na zem dopadat ještě celé měsíce a jediným zdrojem světla jsou dohořívající lesní požáry, zachvacující poslední dosud stojící metasekvoje a platany. Občas nám pod nohama proběhne malý savec nebo ještěř, pátrající po úkrytu či potravě. Prakticky nikde však nenarazíme na jedinou zelenou rostlinu, pouze na ohořelé a doutnající zuhelnatělé kmínky a větve. Od drtivého dopadu do budoucího Mexického

^a V případě vymírání na konci křídý je v médiích a populárních knihách stále hojně používán údaj 65 milionů let. Přesnější data z roku 2013 ale ukazují, že k dopadu planety došlo již před 66,0 milionu let.^{1a}

zálivu uplynulo zatím příliš málo času na to, aby stopy po celosvětové katastrofě již mohl zahladit milosrdný čas.

Po dlouhé době bez slunečního záření přestaly rostliny a zelené mikroorganismy vytvářet kyslík a organické látky v procesu fotosyntézy.^a Potravní řetězce na souši i v mořích se brzy zcela zhroutily a v této mrtvé zemi již dinosauři ani jiní velcí plazi přežívat nedokázali. Vidíme jich tu kolem sebe spoustu, ještě nikam nezmizeli. Ostatně neměli ani kam odejít a ukrýt se, protože stejné podmínky panují téměř na celém území Severní Ameriky i severní polokoule. Dinosaurů je tu opravdu hodně, avšak žádný z nich již dlouho nežije. Jen jejich mrtvá ohořelá těla, tlející a napůl zabořená v popelem otrávených močálech jsou připomínkou děsivé zkázy, která postihla planetu Zemi teprve před několika dny. V rámci geologického času šlo jen o zcela nepostřehnutelný okamžik, který však změnil celé další směřování evoluce obratlovců, a to na další desítky milionů let. Smutný osud dosavadních vládců pevnin se naplnil zcela nečekaně prostřednictvím poutníka, přicházejícího odkudsi z hlubin dalekého vesmíru... Dnes již zkamenělé ostatky pozdně křídových dinosaurů spočívají v usazených horninách pod kopyty dobytka chovaného v Montaně rančery a tiše čekají na své odkrytí erozí. Některé z nich budou paleontology objeveny a včas zachráněny před úplným rozpadem vlivem deště, větru a mrazu, aby mohly vydat své působivé svědectví o posledních stovkách tisíc let před záhubou, která kdysi postihla náš svět... Začneme tedy obecným pohledem na událost, kterou nazýváme hromadné vymírání na konci křídy.

Dinosaury dnes máme v mysli pevně spojené s představou děsivého zániku na konci druhohorní éry. Tak tomu ale nebylo

^a Fotosyntéza je, jak známo, složitý a pro rozvinutý život na Zemi zcela nezbytný biochemický proces, kterým zelené rostliny a některé mikroorganismy mění přijatou energii slunečního záření na energii chemických vazeb. Z jednoduchých anorganických látek si fotosyntetizující organismy vyrábějí živiny v podobě cukrů a zároveň jako odpadní produkt vyrábějí kyslík, který je nezbytný pro dýchání mnoha organismů. Podle výpočtů by stačil dopad mnohem menšího kosmického tělesa (o hmotnosti asi 10 miliard tun), aby produkce fotosyntézou poklesla na pouhou stotisícinu.

vždy. Již od počátku vědeckého objevování pravěkých společností se badatelé zamýšleli nad tím, co vlastně bylo příčinou jejich vyhynutí. Trvalo ale poměrně dlouho, než tyto představy získaly poněkud vědecktější, exaktnější rámec. Tyto myšlenky byly logickým výsledkem znepokojujícího zjištění, že dnešní tvorové zde nebyli od samého počátku, a naopak v dávné minulosti existovaly mnohé formy, dnes již nikde na světě nežijící. Snad nejvíce fascinující pak byla otázka vyhynutí dinosaurů, tedy tvorů, kteří byli vnímáni zpočátku jen jako fantasticky vyhlížející monstra, před jejichž kostrami stáli návštěvníci muzeí v tichém ohromení. Osud někdejších vládců planety jako by nám nepřímou připomínal některé převratné události z lidských dějin, například úpadek, a nakonec i rozpad dříve mocné Západořímské říše koncem 5. století. Velké vymírání na hranici křídly a následujícího „věku savců“ bylo dosud často pokládáno za jednu z největších záhad vývoje života na Zemi. Jak ale uvidíme dále, ona domnělá velká záhada již byla nejspíš do značné míry vyřešena.

Není překvapující, že první teorie o vyhynutí dinosaurů byly velmi nepřesné a zcela odpovídaly nepřilži pokročilému stavu tehdejších znalostí. Po dlouhou dobu například nebylo známo, že k vymírání na konci druhohor došlo velmi náhle, v geologicky krátkém časovém měřítku. Představa byla taková, že dinosauri jednoduše pozvolna vymírali, a to bez jakéhokoliv ostrého předělu.¹ Dinosauri byli navíc v souladu s dobovým přesvědčením o neustálém pokroku a směřovaném vývoji považováni za pouhé evoluční omyly přírody. Dlouho tak panoval názor, že šlo o pomalu se pohybující tupé netvory, kteří se jen s velkými obtížemi plazili druhohorní krajinou, stále více osídlovanou a dobývanou ve všech směrech „dokonalejšími“ savci. Dinosauri byli vnímáni jako cosi nepatřičného, pouhý evoluční omyl, který se neměl nikdy objevit a byl také po zásluze zlikvidován. Završením odedávného podmaňování planety pak měl být sám člověk, jakožto vrcholný a dokonalý článek vývoje života na Zemi. Ve vyhynutí velké skupiny pravěkých plazů nebylo při takových názorech dlouho spatřováno nic výrazně překvapivého – šlo

vlastně o logický důsledek Darwinovy teorie o přírodním výběru, zvýhodňujícím jen ty lépe přizpůsobené a disponované.

Mnozí vědci se skutečně domnívali, že dinosauri vlastně vymírali již dlouho před koncem druhohor a jejich druhová rozmanitost v posledních milionech let povážlivě klesala. Přesné součty posledních žijících dinosaurů se v průběhu doby doplňovaly a zpřesňovaly. Dle starších názorů mělo koncem křídý (byť ne na jejím úplném konci) existovat již jen několik rodů a zhruba 12–14 druhů dinosaurů; katastrofa tedy představovala pouze poslední „ránu z milosti“ již beztak vymírajícím populacím. Toto tvrzení bylo do značné míry legitimizováno dřívějším stavem znalostí a menším množstvím dostupného paleontologického materiálu ze samotného konce křídý. Objevil se dokonce názor, že dinosauri na samotném konci křídý žili už pouze na západě Severní Ameriky a jakási regionální pohroma je tu právě při katastrofě K-Pg^a definitivně zahubila, zatímco savci, žijící i v jiných oblastech světa, byli před celkovým vyhlazením ušetřeni. Teprve v roce 2000 však původní závěry o počtu dinosaurůch druhů přehodnotil francouzský paleontolog Jean Le Loeuff a dospěl k podstatně vyššímu číslu 67. Le Loeuff navíc odhadl, že skutečný počet rodů dinosaurů na konci křídý mohl dosahovat řádu až několika stovek, což odpovídá ještě podstatně vyššímu množství druhů. V současnosti známe dinosaury z konce křídý i z mnoha jiných oblastí světa (například Indie, Čína, Madagaskar, Maroko) a lze tedy s velkou mírou pravděpodobnosti konstatovat, že velmi výrazný pokles počtu jejich druhové rozmanitosti se před koncem druhohor nejspíš nekonal.^b Těsně před dopadem planety do budoucího Mexického zálivu žily ještě na naší planetě desítky nebo možná stovky milionů dinosaurů. Některé vědecké studie

^a K-Pg (nebo také K/Pg, K-T či K/T) je označení události, spojené s hromadným vymíráním na přelomu křídý a paleogénu před 66 miliony let. „K“ označuje zkratku německého slova „Kreidezeit“ (křída), „Pg“ potom paleogén. Běžně se také používá starší označení K-T, kde „T“ vychází z německého slova „Tertiär“ (třetihory).

^b Podle názoru mnoha paleontologů je ale pokles druhové rozmanitosti neptačích dinosaurů přesto zcela jistý a navzdory zmíněným výzkumům neoddiskutovatelný.

však přesto dodnes podporují domněnku, že dinosauři vymírali postupně, a to již dlouho před koncem křídy. Ať již však vyhynutí dinosaurů způsobilo cokoliv, muselo se jednat o událost z hlediska geologického času velmi náhlou (v řádu maximálně desítek století až tisíciletí), šlo tedy nepochybně o událost ve své podstatě katastrofickou.

Prakticky žádná ze starších teorií také nevysvětlovala vymírání v jeho celistvosti a komplexitě. Většina hypotéz směřovala výhradně k vysvětlení zániku dinosaurů, kteří však byli pouze jednou skupinou obětí z mnoha. Vždyť na konci křídy vyhyнули také všichni létající ptakoještěři, zcela zmizeli velcí mořští plazi (mosasaury a elasmosauridní plesiosaury) a z bezobratlých do značné míry mizejí například do té doby extrémně hojní hlavonožci amoniti, a naopak velmi vzácní belemniti, z nichž se rozhraní K-Pg dožívá jediný druh. Dnes sice již víme, že amoniti zcela nevymírají, přežívá ale maximálně jen asi 25–30 % jejich známých druhů (konkrétně 5–7 z 20–24), a to po dobu asi 200 000–300 000 let po události K-Pg.² Kromě toho bylo mnoho jiných vývojových skupin značně zdecimováno a velký úbytek druhové rozmanitosti se rozhodně nevyhnul ani budoucím „evolučním vítězům“ pevninských ekosystémů – drobným teplokrevným ptákům a savcům. Výčet obětí tohoto vymírání bude v knize dále podrobně rozebrán.

Překvapivě byl zpočátku přisuzován hlavní podíl na konečném vyhynutí druhohorních plazů obvykle malinkým a nenápadným druhohorním savcům.^a Aktivní a oportunističtí savci podle těchto představ například vyjídali vejce z dinosauřích hnízd, a to v takovém rozsahu, že populace mnohem větších vládců pevnin nakonec zcela zdecimovali. Je samozřejmě možné, že někteří savci podobných potravních možností využívali, rozhodně se to

^a Největším dnes známým druhohorním savcem byl čínský *Repenomamus gianticus*, žijící před 125 miliony let v období spodní křídy. Ten měřil na délku asi 1 metr a vážil zhruba 12–14 kilogramů. Tito dravci dokonce pojídali mláďata některých menších dinosaurů.^{2a} Obvykle však byli savci v době dinosaurů mnohem menší, zhruba o velikosti dnešní myši.

však nedělo v takto katastrofální a intenzivní rovině (v roce 2010 bylo pozoruhodným objevem z Indie prokázáno, že vejce a mláďata dlouhokrkých obrů sauropodů pojídali koncem křídý také někteří hadi).³ Dnes však již dobře víme, že skutečnost byla zcela odlišná – první savci vznikli téměř ve stejné době jako dinosauři, snad před 200 miliony let, a po dobu prvních zhruba dvou třetin své existence byli v převážné většině případů pouze drobnými nočními tvory, neschopnými dinosaurům plnohodnotně ekologicky konkurovat.

Při bližším pohledu neobstojí ani hypotéza o „náhlém zhoršení klimatických podmínek“ a ústupu hladin oceánů. Koncem křídý například dochází k ochlazení klimatu, které bylo dříve interpretováno jako možná příčina konce „teplomilných“ plazů. Dnes ale víme, že dinosauři byli velmi variabilní a adaptabilní skupinou; dokázali se přizpůsobit i značně nepříznivým klimatickým podmínkám, ve kterých by dnešní plazi žít nedokázali. Známe dokonce fosilie dinosaurů z oblastí za někdejším severním i jižním polárním kruhem. V roce 2007 byl ve Spojených státech objeven drobný ornitopodní dinosaurus, pojmenovaný jako *Oryctodromeus cubicularis* (v doslovném překladu „kopající běžec z nory“), který si zřejmě aktivně vyhrabával podzemní nory či doupata, v nichž snad přečkával kratší období zhoršených životních podmínek.⁴ Podobné nory staré přes 100 milionů let byly později objeveny také v australských křídových sedimentech, tuto pozoruhodnou schopnost tedy mohla mít i řada dalších menších druhů dinosaurů. A pokud se dinosauři dokázali schovat před požárem, horkem nebo naopak mrazem do podzemních nor, nebyli savci při katastrofě na konci křídý v zase tak velké výhodě, jak jsme si dříve mysleli. Proč tedy alespoň někteří dinosauři tuto katastrofu také nepřežili?

Mnozí teropodní (draví) dinosauři také vykazovali pernatý pokryv těla, sloužící primárně jako ochrana jejich tělesné teploty. V období spodní křídý se na mnoha místech planety drasticky ochladilo, přičemž dinosauři se tomuto zhoršení životních podmínek bez problémů přizpůsobili (jak dokládají například dnes

již desítky známých opeřených čínských dinosaurů z doby před 130–120 miliony let). V roce 2012 byl například z východočínské provincie Liao-ning vědecky popsán prokazatelně opeřený *Yutyrannus huali*, devět metrů dlouhý a kolem 1,5 tuny vážící příbuzný mnohem později žijícího severoamerického tyranosaura.⁵ Mnozí dinosauri přitom vykazují přítomnost evolučně velmi vyspělého typu opeření, které muselo jejich těla velmi dobře chránit před chladem. Máme tedy v případě těchto tvorů k dispozici důkazy o jejich vysoké adaptabilitě a širokém repertoáru přizpůsobení proměnlivému prostředí. Během nesmírně dlouhého období, po které dinosauri obývali tuto planetu, se průběžně dokázali neustále se měnícím životním podmínkám úspěšně přizpůsobovat.

Mezi nejvýznamnějšími teoriemi o vyhynutí dinosaurů se po delší dobu vyjímalala jedna, kterou vědecká obec zcela nezavrhuje ani dnes. Souvisí s úlohou krytosemenných rostlin, které se poprvé prokazatelně objevují v rané fázi křídového období, asi před 130 miliony let, a během spodní křídly se postupně šíří do různých pevninských ekosystémů (nastává nová epocha vývoje rostlinstva, která se označuje jako kenofytikum).⁶ Koncem křídového období již pokročilé kvetoucí rostliny představovaly naprostou většinu druhového vegetačního spektra, jejich podíl představuje až 90 %. Je pochopitelné, že za úpadkem a konečným vymřením dinosaurů byla někdy spatřována právě tato „křídová revoluce“, jak je obměna globální květeny často nazývána. Dominantní býložravci konce druhohorní éry, v té době především kachnozobí a rohatí dinosauri, se podle této teorie nebyli schopni adaptovat právě na spásání kvetoucích rostlin. Ty pro ně měly být z velké části nestravitelné, nebo dokonce smrtelně jedovaté.^a S postupným vyhynutím býložravců pak pochopitelně následoval stejný

^a Tyto hypotézy se dokonce snažili někteří badatelé podpořit poukazem na pozorované zvýšení výskytu kostních tumorů u kachnozobých dinosaurů z období svrchní křídly. Tento reálný výskyt paleopatologií na fosilních kostech dinosaurů však s evolučním nástupem krytosemenných rostlin pravděpodobně nijak úzce nesouvisí.

konec i pro dravé teropody, jimž takto mizel hlavní a převažující zdroj potravy. I tato na první pohled rozumná hypotéza má ale své četné trhliny. Rozhodně totiž nelze tvrdit, že dinosauři se s krytosemennými rostlinami setkali až na samotném konci křídy. Jak již bylo zmíněno, zástupci kvetoucích rostlin se významně rozšířili již desítky milionů let před koncem druhohor. Dinosauři snad mohli mít zpočátku jisté problémy s adaptací na nový zdroj potravy, měli však stále dost evolučního času se mu přizpůsobit. Na postupnou adaptaci jim bylo vymezeno zhruba 60 milionů let!

Je děsivé a fascinující, jak výraznou proměnou ekosystémy na přelomu křídy a následujícího paleocénu^a prošly. Stačí se přitom zaměřit na jediný aspekt z jinak mnohem komplexnějšího pohledu, kterým je maximální tělesná velikost živočichů. Jak ukázal například již kanadský paleontolog Dale Russell v roce 1970, vymírání na konci křídy přežili na souši zřejmě jen velmi malí tvorové o hmotnosti nanejvýš 10–25 kilogramů.^b Přitom ještě těsně před koncem křídy se po zemi procházeli obří kachnozobí a rohatí dinosauři vážící zřejmě přes 10 tun. Na území Nového Mexika a Texasu možná ještě žili gigantičtí sauropodní dinosauři druhu *Alamosaurus sanjuanensis*, kteří podle některých údajů mohli měřit kolem 30 metrů na délku a vážit přes 70 tun.⁷ Velkých rozměrů dosahovali také pozdně křídoví krokodýli a ptakoještěři. Od zvířat o hmotnosti několika dospělých slonů ke zvířátkům o hmotnosti menšího psa – během zlomku geologického času, snad pouhých několika tisíciletí. Možná dokonce jen během několika dní... Vyhynutí dinosaurů není jen katastrofou – je pro

^a Paleocén je nejstarší epocha periody paleogénu (dříve také „starší třetihory“). Datujeme ji do doby před asi 66–56 miliony let, a je tak prvním obdobím, následujícím po vyhynutí dinosaurů.

^b V roce 1982 publikoval Russell odhad míry vymírání kompilací z odborné literatury, která uváděla přehled tehdy známých druhů, žijících před a po hranici K-Pg. V časovém úseku 5–10 milionů let před touto hranicí Russell napočítal celkem 2561 rodů, zatímco 5–10 milionů let po ní to bylo 1392 rodů. V závislosti na množství nově vyvinutých rodů na počátku paleocénu pak odhadl, že vymírání přežilo asi 54 % tehdejších rodů.^{6a}

nás také připomínkou, že vesmír je k životu na Zemi i jeho evoluční velkoleposti zcela indiferentní.

Jisté je, že člověk není nevyhnutelným výsledkem evolučního vývoje. Naše vývojová historie byla do značné míry utvářena nepředvídatelnými událostmi a náhodou, stejně jako ta dinosaurů. Ačkoliv jsme relativně mladým vývojovým druhem, který existuje zhruba jen 200 000 let (podle novějších archeologických objevů z Maroka možná o stovku tisíciletí víc)⁸ náš savčí rodokmen zasahuje až do doby, kdy malí osrstění tvorečkové ustrašeně vykukovali ze svých nor na jedny z prvních triasových dinosaurů. Po celou dobu jejich existence obývali pouze stinné kouty dinosaurího světa. Jejich největší historická šance přišla teprve s katastrofou, o které pojednává tato kniha. Lidstvo tedy existuje prakticky jen díky této události, jakkoliv to může znít přehnaně. Vraťme se nyní zpět k původní otázce – co bylo skutečnou příčinou vyhynutí jedné z nejúspěšnějších skupin obratlovců v dějinách planety – druhohorních neptačích dinosaurů? Jak je možné, že v geologicky nepostřehnutelném okamžiku zmizely celé tři čtvrtiny druhů žijících tehdy na Zemi?⁹ Dovolíme si nyní mírně předběhnout v našem vyprávění a vydat se na cestu, kterou si až donedávna s dinosaury téměř nikdo nespojoval – stopy nás totiž vedou neobvykle daleko, dokonce až za samotné hranice atmosféry naší planety, do hájemství astronomie.

Kapitola 1.

Kameny padající z nebe

*Takové zrůdy a nestvůry tvořila země –
Marně, neboť jim příroda nedala vzrůst;
nemohly dojít sladkého rozkvětu věku,
Ani nalézt potravu, ani se pářit. ...*

*Jistěže tenkrát vymřelo nemálo druhů,
Any se nemohly množit a zachovávat.
Každé zvíře, jež na živném povětří žije,
Každou tu čeled' chránila od chvíle zrodu
Lest nebo bojovnost, nebo konečně rychlost.*

Titus Lucretius Carus: *O podstatě světa* (zpěv V.: Genesis),
asi 60 př. n. l. (překlad J. Nováková, Praha 1945).

Úvodní slova této kapitoly jsou stará dvě tisíciletí, a pocházejí tedy z doby, kdy o vymírání na konci křídového období nemohl mít nikdo ani potuchy (ostatně nebylo ještě známo, že takto dávné období a tvorové zvaní dnes dinosauři vůbec existovali). Přesto jako by v oněch verších rezonovala ona katastrofa, mající původ mimo naši planetu. A kupodivu, s „nebeským“ poselstvím v podobě padajících planetek^a a komet^b se v době života

^a Planetka nebo asteroid je menší vesmírné těleso nepravidelného tvaru, obíhající kolem Slunce (většina se jich nachází v tzv. Hlavním pásu planetek mezi oběžnými drahami Marsu a Jupiteru). Obvykle mají rozměry od stovek metrů po stovky kilometrů a tvoří je v různé míře uhlikaté látky, křemičitany a kovy. V tomto textu budeme oba termíny (planetka i asteroid) používat a libovolně zaměňovat, ačko-

autora zmíněného verše již lidé setkali, a to nikoliv ojediněle.^c Písemné záznamy, archeologické objevy i geologická interpretace impaktů nám dnes dokazují, že meteority^d znali, a dokonce i aktivně vyhledávali již lidé v nejranějším starověku před mnoha a mnoha tisíci lety. Vzhledem ke statistické pravděpodobnosti velkých impaktních událostí je zřejmé, že lidstvo muselo ve své historii zažít několik skutečně velkých dopadů mimozemských těles a poměrně velké množství menších, přesto však hrůzu budících událostí tohoto druhu. V průměru asi jednou za půl milionu let například dopadá na Zemi těleso o rozměru jednoho kilometru, schopné vytvořit zhruba desetikilometrový kráter.¹⁰ Asteroid

liv přesnější je spíše pojem planetka. Počet známých planetek se rychlým tempem zvětšuje. Zatímco v roce 1990 byly katalogizovány jen dva tisíce planetek, k roku 2018 je to téměř 760 000, z toho asi 21 000 je pojmenovaných. Zhruba dva tisíce planetek pojmenovali čeští astronomové z observatoří v Ondřejově a na Kleti. Stovky planetek tak dnes nesou jména, vztahující se k Česku nebo Slovensku (např. Zátopek, Foglar, Nohavica, Macocha, Barrande, Švejk, Masaryk, Fučík, Baťa, Hašek, Kundera, Kubišová a mnoho dalších). Jedna planetka v hlavním pásu se dokonce jmenuje 9949 *Brontosaurus*.

^b Komety (postaru vlasatice) jsou malá tělesa sluneční soustavy, složená zejména z ledu a prachu; nepřesně jsou označovány jako „špinavé sněhové koule“. Obíhají kolem Slunce obvykle po vysoce výstředných drahách a většinu doby své existence se zdržují ve velmi chladných oblastech daleko za drahou Neptunu. Když se přiblíží ke Slunci, vnější ledové vrstvy začnou sublimovat a vznikající plyn spolu s prachem, který bere s sebou, postupně vytváří tzv. komu a následně i kometární ohon, směřující vždy od Slunce. Kometární jádra mají obvykle průměr pod 50 kilometrů, ale jejich ohon může dosáhnout délky až stovek milionů kilometrů. K listopadu roku 2014 bylo známo přes 5200 komet, další jsou každoročně objevovány. Z potenciálně nebezpečných těles, která by se mohla střetnout se Zemí, tvoří méně než 10 %. Jsou ale nebezpečné kvůli své vyšší „potkávací“ rychlosti a obtížnější detekci.

^c Mnohem častěji šlo nicméně o dopady planetek, protože frekvence srážek s kometami je vzhledem k jejich menší početnosti ve vnitřní části sluneční soustavy podstatně nižší. Podle počtu pozorovaných blízkozemních objektů se odhaduje, že odhad nebezpečí střetu s planetkami a kometami má poměr 9 : 1, nebo dokonce 9,5 : 0,5 ve prospěch planetek. To ale neznamená, že v minulosti k dopadům kometárních jader na Zemi nedocházelo. Je naopak možné, že právě některé komety mohly spolupůsobit při největších vymíráních v dějinách planety.

^d Meteorit je úlomek tzv. meteoroidu, obvykle velmi malého tělesa, které přiletí z vesmíru a vstoupí do atmosféry naší planety, přičemž unikne zničení a dopadne až na zemský povrch (resp. na povrch jiného vesmírného tělesa, například Marsu nebo Měsíce). Světelná dráha meteoroidu v atmosféře se nazývá meteor.

o průměru 50 metrů, schopný zcela zničit i větší město, se sráží se Zemí zhruba jednou za několik století. A dvacetimetrové kusy, stejné jako těleso explodující v roce 2013 nad ruským Čeljabinskem, přilétají přibližně každých šest desetiletí.^a Lidé už se s nimi tedy museli setkat mnohokrát. Ta nejstarší setkání bohužel ještě nemohla být písemně zaznamenána, jiné události zase unikly pozornosti, protože se odehrály na širém oceánu (a případné následné tsunami nebyly s impaktem spojovány).

Lidstvo naštěstí nikdy nezažilo srážku, která by se silou jen vzdáleně blížila té, jež má na svědomí dinosaury a jejich současníky z konce křídy. Tělesa o velikosti nad 10 kilometrů podle statistiky skutečně přilétají jen jednou za 50–100 milionů let a lidstvo je tu ještě relativně krátce. Přesto se i v dějinách existence biologického rodu *Homo* (což činí zhruba posledních 2,5 milionu let) velké impakty nepochybně odehrály. Právě v době vzniku člověka zručného (*Homo habilis*) v Africe, asi před 2,51 ($\pm 0,07$) milionu let^b došlo k dopadu planety do oblasti Bellingshausenova moře v Jižním oceánu nedaleko pobřeží Antarktidy.¹¹ Planeta o odhadovaném rozměru 1–4 kilometry tehdy narazila rychlostí asi 20 km/s do dna moře zhruba 1500 kilometrů jihozápadně od pobřeží dnešního Chile. Při nárazu se vytvořil kráter o průměru asi 35 kilometrů a podle fundovaných odhadů byla výsledná tsunami vysoká až 200 metrů. Impakt mohl vyvrhnout do atmosféry stovky miliard tun sedimentů, zastiňujících sluneční světlo a drasticky snižujících povrchovou teplotu. Někteří vědci se dokonce domnívají, že dopad mohl natolik ovlivnit celosvětové klima naší planety, že možná „nastartoval“ příchod kvartérních (čtvrtohorních) dob ledových. Byla snad i za příchod ledovců

^a Některé novější odhady jsou dokonce ještě pesimističtější. Každý den prý kolem Země (asi do vzdálenosti Měsíce) prolétá až několik desítek asteroidů o velikosti domu a každých deset dnů dojde dokonce ke srážce s tělesem o velikosti 10–15 metrů. To je stokrát častější výskyt, než se donedávna soudilo. Ne všichni odborníci ale s touto statistikou souhlasí, ostatně je zatížena velkou chybou a žádné zcela přesné údaje nelze získat.

^b Podle jiných údajů ale spíše 2,0–2,3 mil. let.

a pleistocénní megafauny mimo jiné v podobě mamutů a srstnatých nosorožců zodpovědná srážka s vesmírnou planetkou?

V průběhu doby docházelo k dalším výrazným impaktním událostem. Například velké australsko-asijské pádové pole svědčí o tom, že k celé sérii dopadů mohlo dojít asi před 800 000 až 750 000 lety, kdy východní Asii obýval člověk vzpřímený (*Homo erectus*).¹² Z této doby známe také jedny z nejstarších dokladů o používání opracovaných kamenných nástrojů. Byly odkryty na jihu Číny a spolu s nimi archeologové objevili také kousky uhlí a tektity (sklovité útvary vzniklé roztavením hornin při impaktu).^a Zdá se, že ohromný impakt v této době zdevastoval velké území na jihovýchodě Asie, a protože nebyl dosud objeven odpovídající impaktní kráter, je docela dobře možné, že k dopadu došlo v moři nebo těleso explodovalo ještě ve vzduchu. I tak je ale jasné, že muselo jít o devastaci děsivého rozsahu, o čemž svědčí doklady o intenzivních lesních požárech v té době i celkový rozsah pádového pole (zahrnující jihovýchodní Asii, Indonésii, Filipíny i Austrálii, celkem asi 10–30 % zemského povrchu).¹³ Australsko-asijským tektitům se někdy také přezdívá navanuty.^b Další možné důkazy o velkých srážkách s kosmickými tělesy z období pleistocénu známe i z jiných lokalit, například z Kazachstánu nebo Indie.

Ještě o trochu starší jsou události, které vytvořily krátery Bosumtwi a Žamanšin. Bosumtwi je 10,5 kilometru široký impaktní kráter vyplněný v současnosti z větší části jezerem. Nachází se v africké Ghaně a byl vytvořen před zhruba 1,07 miliony let tělesem o průměru kolem jednoho kilometru.¹⁴ Kráter je i s výplní jezerních sedimentů hluboký asi 750 metrů. V současnosti je již

^a Tektity jsou vlastně přírodní skla, často vizuálně pohledná a tvarově specifická. Obvykle mají tmavou barvu a vznikla zřejmě roztavením terčových hornin při impaktu a utuhnutím při transportu vyššími vrstvami atmosféry (na vzdálenost stovek nebo i tisíců kilometrů). Patří mezi ně například i krásné jihočeské a jihomoravské vltavíny (moldaviny).

^b Malou zajímavostí je, že jeden z těchto kapkovitých či tyčinkovitých útvarů byl darován i britskému přírodovědci a „otci“ evoluční teorie Charlesi Darwinovi při jeho objevné plavbě kolem světa ve 30. letech 19. století.

částečně erodovaný a přístup k němu ztěžuje okolní pralesní terén. Je téměř jisté, že kráter souvisí i s výskytem zdejších tektitů, zvaných ivoryty. Název kráteru je odvozen od starého (17. století) místního názvu pro jezero, které se vztahuje k „antilopímu bohu“ jménem Bosomtwe. Dokážeme si představit, že pokud se v době dopadu nacházeli v blízkém okolí naši hominidní předci, mnozí nepochybně zahynuli a ti šťastnější, kteří se nacházeli od místa dopadu dál, zažili nejděsivější a zároveň asi i nejvelkolepější zážitek ve svém životě.

Podobné to jistě bylo i v případě kráteru Žamanšin, který je ještě o trochu větší (průměr 14 kilometrů) a vznikl asi o dvě stě tisíc let později. Dříve se předpokládalo, že právě tento kráter na území Kazachstánu může mít přímou souvislost s již zmíněným pádovým polem tektitů v Australasii, dnes se ale od této hypotézy upouští.¹⁵ Kráter, jehož název znamená v místním nářečí „špatné místo“, byl v minulosti zkoumán i českými vědci. Předpokládá se, že tento dopad už měl natolik závažné následky, že mohl vytvořit podmínky podobné tzv. nukleární zimě, předpokládanému drastickému snížení teplot v důsledku zastínění slunečních paprsků vzdušnými oblaky prachu po případné globální jaderné válce. Jaký dopad na celosvětové podnebí ale tento impakt měl, zatím nedokážeme s jistotou říci. Víme nicméně, jaký druh tělesa oba krátery vyhloubil – v případě afrického kráteru šlo o železný meteorit, zatímco v Kazachstánu to byl tzv. uhlíkatý chondrit (o těchto tělesech ještě bude řeč).

Na tomto místě udělejme malou odbočku do zmapované historie. Meteoritické železo není rozhodně ničím novým, nejde o objev moderní éry. Využívali jej už staří Egypťané v období kolem roku 3500–3200 př. n. l., jak ukázaly objevy z archeologické kulturní vrstvy Gerza. V hrobovém nálezu zde bylo odkryto devět podlouhlých železných korálků, vytepaných a upravených do podoby ozdob z původně surového kusu meteoritického železa. Tento nález byl vědecky publikován v roce 2013 a poprvé jasně demonstroval, že již ve 4. tisíciletí před naším letopočtem ovládaly některé starověké civilizace základy opracování kovů

a snad i dovednost pátrání po meteoritech, ležících na zemi.¹⁶ V anglické lokalitě Danebury byl zase v 70. letech minulého století objeven a roku 1989 rozeznán 30 gramů vážící fragment chondritického meteoritu, vložený záměrně do hrobu z doby železné. Pochází asi z období kolem roku 330 př. n. l. (± 120 let) a podle názoru některých vědců může jít o jeden z prvních dokladů člověkem pozorovaného dopadu meteoritu v Evropě.¹⁷ I na americkém kontinentu původní obyvatelé dobře znali meteority. Na několika místech ve Spojených státech byly objeveny obřadně uchovávané exempláře, jako byl 61 kilogramů těžký železný meteorit z Arizony, zabalený do oděvu z peří. Podobné nálezy pocházejí i z Nového Mexika a některých jiných lokalit na jihozápadě USA. Podle archeologických objevů dokonce Indiáni a Inuité používali kusy železných meteoritů pro vytvoření ostrých okrajů nástrojů a pro hroty svých harpun a šípů.¹⁸ Důkazem je například *Ahni-ghito*, neboli meteorit z mysu York, který dopadl na Zemi asi před 10 000 lety v oblasti severního Grónska. Při hmotnosti 31 tun je jedním z největších známých meteoritů na světě a dosud nejtěžším, který byl kdy přemístěn. Dnes tento vesmírný balvan o rozměrech $3,4 \times 2,1 \times 1,7$ metru můžeme obdivovat v Americkém přírodovědeckém muzeu v New Yorku.

Další předpokládané (mnohdy ale dosud vědecky nepotvrzené) krátery z doby archaického člověka bychom našli také v Kanadě, Austrálii nebo Jižní Africe. Planetky si skutečně nevybírají, kam dopadnou.^a To platí i pro období holocénu, tedy zhruba posledních 12 tisíciletí od skončení poslední doby ledové. Mezi nejznámější patří celé seskupení jedenácti kráterů Rio Cuarto v argentinské provincii Córdoba. Pokud se skutečně jedná

^a Ze zhruba 190 (k roku 2018) identifikovaných kráterů na povrchu Země se jich nejvíc (60) nachází na území Severní Ameriky, následuje Evropa se 41 potvrzenými krátery a například i relativně malý kontinent Austrálie vykazuje 27 známých impaktních struktur. Rozlohou zdaleka největší Asie (včetně Ruska) má přitom pouhých 31 kráterů, velký kontinent Afrika pak 20 a Jižní Amerika jen 11. V Antarktidě ještě nebyl žádný kráter prokázán, přestože je jisté, že jich pod ledovým příkrovem může být pohřbeno velké množství. Z uvedených údajů je zřejmé, jak velkou roli hraje pro tuto statistiku intenzita výzkumu na jednotlivých územích.

o impaktní krátery, a nikoliv o výsledek erozivní činnosti větru (jak se nyní tyto struktury jeví),¹⁹ pak jde o jeden z nejstarších dokladů o impaktech v holocénu. Největší z mírně protažených kráterů má rozměr kolem 3,5 kilometru. Krátery možná vytvořilo těleso (či tělesa) přilétající pod malým úhlem ze severovýchodu, přičemž po dopadu vytvořily dle odhadů rozžhavený oblak o šířce 10 kilometrů a délce kolem 50 kilometrů. Není ale jisté, zda v době dopadu v této oblasti již žili lidé, protože jiné datování ukazuje na možné stáří až 100 000 let. Lokalita Campo del Cielo, opět v Argentině, byla zase svědkem impaktu v době před asi 4–5 tisíciletími.²⁰ Na tomto kráterovém poli o rozloze $3 \times 18,5$ kilometru se nachází přinejmenším 26 kráterů (největší o rozměru 115×91 metrů), a ty byly Evropany objeveny již v roce 1576. Dodnes bylo odtud vytěženo na 100 tun železného meteorického materiálu, přičemž dva největší kusy dostaly název *El Chaco* (37 tun) a *Gancedo* (30,8 tuny).

Mnohé krátery z mladších dob jsou spojovány také s různými legendami o hněvu bohů nebo magických místech, která jsou posvátná a pro běžného smrtelníka zapovězená. Různými legendami je tak opředen například kráter Lonar v Indii (o stáří 52 000 let a šířce necelé 2 kilometry), estonský kráterový komplex Kaali (devět kráterů o průměru až 110 metrů, událost z let 800–400 př. n. l.)^a nebo meteorit, který snad dopadl někdy kolem roku 400 n. l. nedaleko dnešního italského městečka Secinaro (kráter o rozměrech 140×115 metrů).^b Uvažuje se dokonce i o tom, že

^a Jde o jeden z mála dokumentovaných případů dopadů v obydlených oblastech. Podle novějšího datování k impaktům došlo v nordické době bronzové, v letech 1530–1450 př. n. l. a výsledkem bylo mimo jiné úplné shoření vegetace v okruhu 6 kilometrů od místa dopadu. Je pravděpodobné, že tyto události se staly pevnou součástí mytologie místních obyvatel (jak dokládá například karelo-finský národní epos Kalevala).

^b Tato událost je někdy dokonce dávána do souvislosti s vítězstvím císaře Konstantina Velikého v bitvě u Milvijského mostu nad jeho protivníkem Maxentiem a následně i s jeho obrácením na křesťanskou víru. K této bitvě ale došlo roku 312 n. l., zatímco kráter je podle datování z roku 2002 přesně o jedno století mladší. Výsledný kráter Sirente leží v kraji Abruzzo ve střední Itálii, ale jeho skutečný původ zůstává nejasný.

velké vymírání pleistocénních zvířat v Severní Americe kolem roku 10 900 př. n. l. mohla rovněž zavinit velká planetka či kometa o rozměru přes 1,6 km.²¹ Ta mohla údajně dopadem zlikvidovat i do té doby vzkvétající cloviskou kulturu nejstarších známých obyvatel tohoto kontinentu. Tato hypotéza se ale dnes jeví spíše jako nepravděpodobná, i když dopad většího tělesa v tomto období nelze úplně vyloučit. Je možné, že i mnohé další katastrofické události, drastické změny klimatu nebo zániky civilizací způsobily lokální impakty, o kterých zatím nevíme, nebo jsou dosud neprokazatelné. Například „nebeští draci“ ve starověké Číně mohou být v mnoha případech spojeni s pozorováním bolidů, velmi jasných meteorů zářících ve vyšších vrstvách zemské atmosféry.^a Postavy ohnivých nebeských mužů nebo zvířat však nalézáme například i v mytologii skandinávských národů, indiánských kmenů či domorodců z Afriky i Austrálie.

Jednou z posledních předvědeckých událostí tohoto druhu je pravděpodobný vznik Wabarských kráterů v Saúdské Arábii přibližně v polovině 18. století. Krátery o průměru až 164 × 116 metrů byly identifikovány britským arabistou a objevitelem St. Johnem Philbym v roce 1932 a dnes jsou datovány na stáří kolem 250 let.²² V okolí bylo objeveno množství průvodních jevů impaktu a největší úlomek železa z meteoritu, odkrytý v roce 1966, váží přes 2 tuny. Celkově měl dopadající meteorit hmotnost asi 3500 tun a největší z úlomků při dopadu uvolnil zhruba stejnou energii, jako atomová bomba nad Hirošimou. Existují ústní tradice předávané od údajných svědků tohoto dopadu, kteří popisovali oslňující světlo a ohromný hluk, který se po dopadu rozléhal

^a Bolid je světelný úkaz, vytvářený meteoroidem (obvykle menší pevné těleso, vzniklé v důsledku rozpadu větší planetky), který vstoupí do zemské atmosféry, srážkami s molekulami vzduchu je zbrzděn a přetváří se za vzniku tepla a světla. Zářící meteoroidy v atmosféře nazýváme obvykle meteory. Tento termín je často zaměňován s meteoritem, což je pozůstatek meteoroidu, který přežil průlet atmosférou a dopadl až na zemský povrch. Jinak také: meteoroid je těleso putující vesmírem před vstupem do zemské atmosféry; meteor je světelný úkaz, který vlet meteoroidu do zemské atmosféry vyvolá. Bolid je velmi jasný meteor a konečně meteorit je zbytek, který dopadne až na zem.

do dalekého okolí. Není ale jisté, zda někdo tuto krátkodobou událost skutečně pozoroval. Stejně tak nevíme, zda opravdu došlo k údajné největší katastrofě spojené s padajícími meteority. Měla se odehrát na jaře roku 1490 v čínském městě Čching-jang (provincie Kan-su) a měla podobu meteoritického deště, který údajně pozabíjel víc než deset tisíc lidí!²³ Dochovaly se tři historické prameny k této události, z nichž vyplývá, že na zem padaly velké kusy kamene o hmotnosti až 1,5 kilogramu. Podle názoru některých astronomů mohlo jít o materiál z komety *C/1490 Y1*, která je zodpovědná za pravidelná pozorování meteorického roje tzv. kvadrantid.²⁴ I když jsou uváděné údaje o počtu mrtvých nejspíš nadsazené, je docela dobře možné, že k úmrtí mnoha lidí vinou kosmických projektilů tehdy skutečně došlo.^a

Zcela nepopíratelným setkáním člověka a kamenného posla z vesmíru je nicméně událost od alsaského města Ensisheim (dnes v severovýchodní Francii), k níž došlo pouhé dva roky po nešťastné události v Číně. Dne 7. listopadu 1492 nedaleko městských bran Ensisheimu spadl do obilného pole za velkého hřmění a světla „ohnivý kámen“, který se při dopadu rozpadl a vytvořil menší jámu. Nikdo nebyl zraněn a meteorit brzy přilákal velkou pozornost. Pád tohoto tělesa byl (v rámci jeho průletu atmosférou) údajně viditelný na vzdálenost až 150 kilometrů, takže se na něj přišli podívat obyvatelé vsí z dalekého okolí. Dochovaný kus váží 127 kilogramů a má průměr kolem 1 metru.²⁵ Německý renesanční humanista a satirik Sebastian Brandt (1457–1521) této události dokonce věnoval samostatnou báseň.²⁶ Dnes je meteorit stále k vidění v expozici městského muzea v Ensisheimu a je tak vůbec nejstarším historicky zaznamenaným případem dopadu tělesa, kdy meteorit je stále

^a Nešlo však zdaleka o jediný případ lidského úmrtí zaviněného padajícím meteoritem. Neověřené údaje o zabití padajícími kameny pocházejí například z italských a čínských kronik z let 616, 1511, 1639, 1650 nebo i 1907. Ačkoliv nejsou všechny tyto záznamy ověřitelné, je prakticky jisté, že často tradované tvrzení, že v historii neexistuje žádný záznam o zabití člověka meteoritem, je nejspíš příliš optimistický. Existují také podezření, že meteorit mohl v minulosti zasáhnout některá dopravní letadla, tyto údaje ale rovněž nejsou ověřitelné.

k dispozici a přístupný vědeckému zkoumání. Za zmínku v této souvislosti stojí, že také na našem území se již v pozdním středověku objevil podobný případ, a to kolem roku 1400. Tehdy dopadl v blízkosti obce Loket na Karlovarsku železný meteorit o původní hmotnosti kolem 107 kilogramů. Než byl tento „Zakletý purkrabí“ rozřezán pro účely vědeckého výzkumu, měřil asi $50 \times 30 \times 20$ centimetrů a vzniklo kolem něho množství pověstí a legend.²⁷ Tzv. deště meteoritických kamenů však byly na našem území pozorovány i později, například roku 1723 u Ploskovic na Litoměřicku, dále roku 1753 na Tábořsku nebo v roce 1833 u Blanska.

Skutečnost, že „kameny mohou padat z nebe“, byla dobře známá a v praxi průběžně ověřovaná ve starověku i středověku, renesance se ale nesla ve znamení skepticismu. Pády těles z nebe měly být náhle jen iluzí (ostatně o kometách se pod vlivem starověké Aristotelovy autority učenci až do 16. století domnívali, že jde o úkazy sublunární, tedy nacházející se blíže Zemi než Měsíc; Aristotelés sám se dokonce domníval, že komety jsou „suché a teplé výpary“). To se však začalo pomalu měnit na sklonku 17. století. Komet se jako zlého znamení na obloze obávali lidé již od starověku, a strach z těchto objektů přetrval až do počátku 20. století (u nás jejich soupisem proslul v 16. století například humanistický autor Matyáš Gryll z Gryllova, žijící v letech 1551–1611), v roce 1672 se pak motiv srážky s kometou objevuje například v Molièrově hře *Učené ženy*. V této době byly poprvé dostatečně přesně propočítány dráhy komet a potvrdilo se, že jde skutečně o tělesa, pohybující se sluneční soustavou jiným způsobem než planety. Dříve nemyslitelná možnost srážky planet s kometami se ukázala jako reálná.

Ještě v posledním desetiletí 17. století se tematice dopadů komet na Zemi věnuje i geniální „otec“ gravitační teorie Sir Isaac Newton (1643–1727). Ten se roku 1694 zamýšlí nad možností, zda velké terénní propadliny jako Kaspické moře nemohly vzniknout srážkou s kometami a zda biblická potopa nebyla následkem právě takové kolize.²⁸ Pásmo hor by pak představovala pozůstatek

po obřích vlnách, které vznikly při následující potopě a nahrnuly na jedno místo ohromné množství hornin. Newton se však musel těchto prozíravých představ vzdát na nátlak církve. Podobnými myšlenkami se ve stejné době zabíral také Newtonův mladší krajan, slavný přírodovědec Edmond Halley (1656–1742). Jen o dva roky později další Angličan William Whiston (1667–1752) publikuje svoji knihu *New Theory of the Earth* („Nová teorie Země“),²⁹ kde se již zcela otevřeně odvolává na dopadající komety coby původce potop a dalších katastrof. Ve své výstřední teorii nicméně uvádí, že Země vznikla původně jako kometa, která se až postupným dlouhodobým vývojem proměnila v planetu. Srážka s další kometou jí poté udělila rotační pohyb nárazem na rovník. Následovalo ještě přiblížení třetí, tentokrát „trestající“ komety, která vyvolala svojí slapovou silou vzednutí vodstva do výšky šesti mil, a tedy onu biblickou potopu. Podle Whistona k této události mělo dojít roku 2926 před Kristem. Ačkoliv se nic z uvedeného neblíží pravdě, podobný způsob uvažování již znamenal jistý průlom.

V roce 1742 spekuluje francouzský matematik a filozof Pierre Louis Moreau de Maupertuis (1698–1759) o důsledcích, které by pro atmosféru a oceány na Zemi měl právě dopad komety (planetky tehdy ještě nebyly známy). Konečně roku 1790 se další přírodovědec, belgický botanik Noël Martin Joseph de Necker (1730–1793), odvážil udělat další krok a ve svém díle s podivným názvem *Phytozoologie philosophique* („Filozofická fytozoologie“) píše, že k vymírání druhů může dojít pouze z neobvyklých příčin, například při srážce Země s kometou. Ani toto konstatování však ještě nevyvolalo žádnou odezvu. Pro učení svět sklonku 18. století bylo na podobné úvahy příliš brzy.^a Prozí-

^a V té době již byly nicméně dlouhodobě pozorovány meteorické roje, tedy pravidelně se opakující spršky meteorů neboli létavic. K jejich objevu dochází, když Země prolétá stopou dráhy některé z komet. V Čechách patří k nejznámějším rojům Perseidy (zvané také „slzy svatého Vavřince“), které se objevují každoročně v červenci a srpnu, nebo Leonidy s maximem výskytu okolo 18. listopadu. Komety samotné byly dlouhodobě považovány za zlá znamení a symbol blížící se katastrofy, hladomoru, válek nebo jiného neštěstí. Strach z jejich blízkosti však není jen

ravě se k problematice postavil také významný francouzský badatel Georges Louis Leclerc de Buffon (1707–1788), který o realitě masivních srážek v polovině 18. věku vůbec nepochyboval. Podle jeho teorie o vzniku sluneční soustavy narazila do Slunce kdysi mohutná kometa a část hmoty naší hvězdy tak byla rozmetána po vesmírném okolí. Právě z úlomků vzešlých z této kolize měly podle Buffona vzniknout planety a další tělesa sluneční soustavy. Tato podle dnešních měřítek výstřední hypotéza poměrně dobře vysvětlovala, proč planety rotují kolem své osy, proč obíhají Slunce ve stejném směru i proč se pohybují téměř v jedné rovině. Dnes samozřejmě víme, že důvod těchto skutečností je poněkud jiný – je jím téměř současný vznik Slunce a planet z plynopráchového oblaku. V době Buffonově šlo ale přesto o významný myšlenkový pokrok. Události „nebeské“ v jeho pojetí už totiž byly pevně spjaté s pozemskými, hmota tvořící Zemi takříkajíc našla svůj původ ve vesmíru.

Teprve koncem 18. století se nicméně začínají objevovat domněnky některých odvážnějších myslitelů, že k těmto obvykle nevídaným mimozemským návštěvám skutečně dochází. Roku 1794 píše o meteoritech německý fyzik a hudebník Ernst Florens Chladni (1756–1827), vědec zčásti maďarského a slovenského původu. Svým dílem položil základy meteoritiky, tedy vědy o meteoritech. Označil totiž tyto horniny za kameny vesmírného původu, přičemž v jeho době byly ještě obecně považovány za produkt sopečné činnosti. Chladni jako vůbec první seriózní badatel snesl pro svoji domněnku pádné důkazy a měl i trochu štěstí v tom, že brzy po vydání jeho stěžejního díla byly přímo pozorovány dopady meteoritů hned na několika místech světa.^a A šlo přitom o události, které rozhodně neušly pozornosti

záležitostí středověku nebo raného novověku – doslova paniku vyvolalo v některých evropských metropolích ještě třeba předposlední přiblížení Halleyovy komety ke Slunci v roce 1910.

^a Bez zajímavosti není ani skutečnost, že realitu „kamenů padajících z nebe“ uznával již v polovině 19. století ředitel jezuitské hvězdárny v Klementinu Joseph Stepling. Ten vysvětloval původ sedmi meteoritů spadlých u dvora Strkov nedaleko Tábora dne 3. července 1753 nesmírně silnou explozí nějaké pozemské sopky.

široké veřejnosti ani tehdejší vědecké komunity. Například hned roku 1794 dopadl meteorit u italské Sienny, o rok později byl pozorován dopad v anglické vsi Wold Newton (či Wold Cottage) a roku 1798 zase v indickém Váránasí. Ještě významnější událostí byl ale meteoritický déšť ve francouzském L'Aigle, ke kterému došlo 26. dubna roku 1803. Na toto město v Normandii se snesl roj více než 3000 kusů meteoritů, dnes řazených mezi takzvané běžné chondrity. Tuto událost nechala prošetřit dokonce sama Pařížská akademie věd a pověřený předseda komise, astronom a fyzik Jean-Baptiste Biot (1774–1862) uzavřel své šetření tehdy šokujícím konstatováním, že k pádu těles z kosmu zde opravdu došlo.³⁰ Přesto ještě roku 1807 polemizoval s učiteli z Univerzity v Yale americký prezident Thomas Jefferson (1743–1826), když komentoval podobnou událost, která se měla odehrát v Connecticutu. Doslova prý pronesl zhruba tolik, že „raději uvěř, že dva profesori z Yale lžou, než že kameny mohou padat z nebes“.³¹ I když jde možná o poněkud přibarvené podání této události, vcelku dobře poukazuje na myšlení té doby.

Ale situace už byla na počátku 19. století uznání meteoritů coby vesmírných těles padajících na Zemi mnohem příznivější. V roce 1813 píše francouzský astronom, fyzik a matematik Pierre-Simon Laplace (1749–1827), že obří meteorit by při dopadu na Zemi vyvolal kataklyzma, které by vyhubilo celé druhy! Jak prozíravá myšlenka, předcházející svou dobu o více než jedno a půl století.^a Když nyní poněkud poskočíme v čase, můžeme konstatovat, že meteority byly postupně vzaty na milost a jejich hledání se dokonce stalo výnosným obchodem. Jen mezi roky 1740 a 1990 bylo nalezeno asi 4660 meteoritů o celkové hmotnosti bezmála půl milionu tun, průměrně 106 kilogramů na kus. Zemí

Předpokládal, že po výbuchu sopky doletěly vyvržené horniny až do Čech. Ačkoliv se v tomto bodě mýlil, jeho názor byl na svoji dobu prozíravý.

^a K otázce původu měsíčních kráterů se mezitím vyjadřovaly i největší osobnosti soudobé vědy, jako byl anglický přírodovědec a mikroskopik Robert Hooke, německý filozof Immanuel Kant nebo britský astronom a skladatel německého původu, objevitel planety Uran William Herschel.

zaslíbenou je v tomto směru Antarktida, kde bylo jen do roku 2000 objeveno víc než 30 000 kusů meteoritů.^a Přesto i v průběhu 19. století dále převládalo mínění, že jde o události nepříliš významného druhu, a že pády těchto objektů nemohou ve skutečnosti ovlivnit dlouhodobé dění na Zemi.^b Tomu napomáhalo i učení aktualismu v geologii (viz dále), které za všemi změnami jevícími se na zemském povrchu spatřuje pouze působení nesmírně dlouhého (geologického) času. Žádných katastrof v podobě dopadu obřích těles z vesmírného prostoru tedy nebylo třeba a nikdo jejich stopy ani oficiálně nehledal.^c

Ale důkazy se přece jen nabízely a nebylo možné je donekonečna ignorovat. Na konci 19. století začali vědci poprvé zkoumat velkou kruhovou jámu zvanou Kráter z kaňonu Diablo (*Canyon Diablo Crater*) o průměru 1,2 kilometru, nacházející se v Arizoně. Prstencový val z vyvržené zeminy zde byl vysoký kolem 40 metrů a hloubka jámy činila přes 170 metrů. Protože v okolí San Franciska se vyskytují hojně sopečné horniny, od samotného začátku

^a Za samostatnou zmínku stojí například exemplář ALH 84001, objevený koncem roku 1984 v antarktickém pohoří Alan Hills. Tento meteorit původem z Marsu se stal slavným v roce 1996, kdy skupina vědců oznámila, že objevila údajné stopy po mikrofosiliích, a tedy po mikroskopickém životě na Marsu. Tato hypotéza ale není všeobecně uznávaná. Meteorit byl ze sousední planety vyvržen při impaktu asi před 17 miliony let, na povrch Země dopadl zhruba před 13 000 lety.

^b Dopady meteoritů jsou velmi aktivně sledovanou událostí i dnes. Například v květnu roku 2016 dopadl malý meteorit u Hradce Králové. O rok později byl po objevu amatérským hledačem meteoritů tento 134 gramů vážící kousek prozkoumán a katalogizován jako *EN 170516 Hradec Králové* do mezinárodní databáze meteoritů s rodokmenem. Známe totiž jeho dráhu ve sluneční soustavě a jeho přílet byl zaznamenán přístroji. Jde již o páté meteoritické těleso s rodokmenem v Česku a 30. na světě. Prvním objeveným meteoritem s vypočítanou dráhou letu byl rovněž na našem území objevený meteorit *Příbram*, který dopadl 7. dubna 1959 východně od Příbrami.

^c Malou regionální odbočkou může být připomínka na svou dobu fundovaného spisu českého premonstráta, doktora filozofie a gymnaziálního profesora Josefa Františka Smetany (1801–1861), který roku 1837 píše ve spisku *Základové hvězdoslaví čili astronomie* o následcích střetu Země s kometou. Prozíravě zde popisuje „vody okeánu“ valící se přes hory a hubící „celé národy ba veškeré člověčenstvo i s jejich památkami vzdělanosti a osvěty své“. Dnes již dobře víme, že takový scénář je v případě mohutného impaktu do značné míry reálný.

se předpokládalo, že i tento kráter je vulkanického původu. V roce 1891 označil geolog Grove Karl Gilbert (1843–1918), jeden ze zakladatelů americké geologické služby *U. S. Geological Survey*, kráter mylně za výsledek vulkanické podpovrchové exploze. Paradoxně to byl právě Gilbert, kdo zároveň jako jeden z prvních prokázal impaktní původ kráterů na Měsíci. V roce 1903 se k tomuto kráteru dostal důlní inženýr, právník a obchodník Daniel Moreau Barringer Jr. (1860–1929), který jej naopak brzy označil za impaktní kráter, pozůstatek po dopadu železného meteoritu. Kdo ze zmíněných mužů měl pravdu, zjistíme snadno, když si vyhledáme dnešní název arizonského kráteru – jmenuje se Barringerův.^a

Barringer, sám zkušený autor knihy o důlním právu v USA, si byl impaktním původem kráteru jistý již kolem roku 1906, nikdo ale nebral jeho názor příliš v potaz. Prosazení impaktního původu příliš nepomohl ani fakt, že obchodník byl neúspěšný ve snaze najít zbytky meteoritu pode dnem kráteru. K tomu ale ve skutečnosti nikdy nemohlo dojít, protože těleso se při impaktní explozi z drtivé části vypařilo a zbytek byl rozprášen po okolí. Barringer strávil bezvýsledným pátráním po domnělém meteoritickém pokladu celých 27 let, přičemž uskutečnil 28 nákladných vrtů a nechal razit dvě šachty na dně kráteru jdoucí do hloubky 55 metrů. Definitivní potvrzení impaktního původu této struktury přišlo až o půl století později, kdy se kráterem začal zabývat geolog a planetolog Eugene Merle Shoemaker (1928–1997).^b Tento agilní vědec obhájil svoji doktorskou práci o mechanice meteo-

^a Takto je oficiálně označován až od roku 1946. Zajímavé je, že až do roku 1926 představoval tento útvar jediný rozpoznatý dopadový kráter na světě. Ne, že by některé další tou dobou již nebyly objeveny, nikdo ale zatím netušil, že mohou být impaktního původu.

^b E. M. („Gene“) Shoemaker vystudoval geologii v Kalifornském technologickém institutu a později na Princetonské univerzitě. Dlouhodobě působil jako geolog při průzkumu uranových ložisek v Coloradu a Utahu, přičemž nelenil a nad rámec svých povinností stíhal studovat i sopečné a impaktní struktury v širokém okolí. Po obhájení doktorské práce postupně proslul na poli impaktní vědy. Působil v USA i v Austrálii. Jen zdravotní problémy mu zabránily v jeho životním snu, stát se prvním geologem, pracujícím na Měsíci. Zemřel při těžké autonehodě u australského

ritického impaktu a po roce 1960 se začal věnovat astrogeologii a studiu kráterů na Měsíci i na Zemi. V arizonské struktuře objevil jasné známky impaktu v podobě minerálů stišovitu a coesitu i šokem přeměněných křemenů (minerálů, jimž byla prudkým nárazem a žářem po dopadu pozměněna lomivost, resp. krystalová struktura). Porovnal také vzhled a strukturu kráteru s výsledky podzemních explozí jaderných náloží v Nevadské poušti (například umělý kráter Sedan o průměru 390 m) a rovněž našel jisté shodné znaky. Těmi byly třeba i převrácené vrstevní sledy hornin v okrajových valech kráterů. Od doby Shoemakerových výzkumů v 60. letech už o impaktním původu Barringerova kráteru i mnoha dalších podobných struktur prakticky nikdo nepochybuje.^a

Vulkanismus tedy mohl být jako původce kráteru vyloučen, arizonská struktura (a některé další, které již byly v té době objeveny) měla prokazatelně impaktní původ. Od 50. a 60. let je právě díky Shoemakerovi a některým jeho kolegům nauka o impaktech planetek a kometárních jader skutečnou vědou a dopady velkých až obřích kosmických těles – nikoliv pouze malých meteoritů – je definitivně prokázanou a nikým nezpochybňovanou skutečností. Dnes už se proto o impaktech běžně učí na většině škol, podobně jako například o zemětřeseních nebo o sopečné činnosti. Pro českého čtenáře je zajímavým detailem i fakt, že o arizonské impaktní struktuře se již roku 1948 zmiňuje český geolog a báňský odborník Radim Kettner (1891–1967) ve svém nejvýznamnějším díle *Všeobecná geologie*. Na poměry tehdejší doby přitom věnuje tomuto tématu poměrně značný prostor.

Barringerův kráter měl však zajímavou historii i v následujících letech a desetiletích. Již od roku 1960 v něm trénovali

Alice Springs dne 18. července 1997. Část jeho popela byla v lednu 1998 vynesena sondou *Lunar Prospector* k Měsíci.

^a Mezitím došlo k dalším významným událostem spojeným s pády meteoritů. Jednou z nich byl například Sichote-Aliň (pojmenovaný podle stejnojmenného pohoří na ruském dálném východě), který dopadl 12. února roku 1947 do oblasti ležící severovýchodně od Vladivostoku. Rozpadl se ještě ve výšce 5,6 km nad povrchem a jeho úlomky o celkové hmotnosti přes 70 tun vytvořily kráterové pole o rozloze 1,3 km². Největší kráter měl průměr 26 metrů a hloubku 6 metrů.

američtí astronauti své budoucí cesty na Měsíc, o osm let později byla tato oblast prohlášena chráněným přírodním výtvorem. Každoročně již od roku 1982 je také udělována Barringerova medaile úspěšným výzkumníkům, zabývajícím se impakty. V blízkosti kráteru se dnes nachází naučné středisko i muzeum a pořádají se zde pravidelné prohlídky impaktní struktury zvědavými turisty z celého světa. K uznání velkých impaktů mezitím významně přispěl také kosmický věk a výzkum povrchu Měsíce i kamenných planet a měsíců sondami, jako byly (či dosud jsou) *Mariner 9*, *Magellan*, *Voyager 2*, *Cassini*, *New Horizons* a další. Výzkum provedený kosmickými sondami prokázal, že vznik kráterů na tělesech s pevným povrchem je ve sluneční soustavě spíše pravidlem než výjimkou a na Zemi tomu v minulosti nemohlo být jinak. Dnes známe i z povrchu Země pravděpodobné pod zemí pohřbené krátery, vzniklé před více než 3 miliardami let, jejichž odhadované původní rozměry přesahují 400 kilometrů.^a

Za zmínku na tomto místě stojí také kuriózní historka, související s údajným „Českým kráterem“. Již na počátku 17. století přirovnal italský učenec Galileo Galilei (1564–1642) svým dalekohledem pozorované měsíční krátery k tvaru, který vykazovala na renesančních a barokních mapách česká kotlina. Tuto podobu zmínil roku 1610 ve svém díle *Sidereus Nuncius* („Hvězdný posel“). V roce 1988 zašli ještě mnohem dál dva američtí badatelé z Bostonské univerzity Farouk El-Baz a Michael D. Papagiannis. Ti studovali satelitní snímky Země pořízené z výšky 36 000 kilometrů geostacionární družicí *Meteosat*. Když si v literatuře zjistili, že se na území tehdejšího Československa vyskytují tektonické vltaviny, utvrdili se v dřívějším přesvědčení, že česká kotlina a její pohraniční hory mají impaktní původ. Svůj předpokládaný kráter o průměru asi 300 kilometrů potom nazvali „pražská kráterová pánev“.³² Papagiannis, který není geologem, dokonce podle morfologie terénu odhadl stáří kráteru na zcela nesmyslných

^a Podobně gigantické struktury prekambriického stáří se podle údajů z let 2012 a 2014 nacházejí například v Grónsku nebo v Jižní Africe, zatím však nejsou plně vědecky potvrzené.

100 milionů let, tedy na období přelomu spodní a svrchní křídly. Tato hypotéza byla potom velmi rychle vyvrácena českými geology, kteří ihned prokázali geologickým i geofyzikálním rozbořením, že pohraniční hory nejsou okraji žádného kráteru, nýbrž geologicky mladým útvarem, vzniklým standardními geologickými pochody.

K myšlence impaktního kráteru na našem území se později vrátil geolog a popularizátor vědy Petr Rajlich (nar. 1944), jeho mnohem propracovanější a geologicky poněkud lépe doložená představa (tzv. „hypotéza Českého kráteru“) však dnes rovněž není mezi geology obecně uznávána.³³ Pokud by se nicméně v budoucnu impaktní původ domnělé, asi 2 miliardy let staré struktury přece jen potvrdil, představoval by tento útvar s průměrem asi 300–500 kilometrů jeden z největších známých kráterů na Zemi, a dokonce i v celé sluneční soustavě. A když už jsme zamířili domů, je třeba zmínit ještě jeden útvar, který byl dříve považován za impaktní kráter. Tato kontroverzní struktura je známá jako tzv. Ševětínský kráter a nachází se na území Jižních Čech.³⁴ Její stáří je odhadováno asi na 250 milionů let (shodující se s katastrofou na konci permského období) nebo podle jiných údajů na 75–85 milionů let (období svrchní křídly) a průměr tohoto domnělého astroblému^a činí přibližně 46 kilometrů.^b Ani v tomto případě se však zřejmě o skutečný kráter nejedná.

^a Astroblém je útvar na povrchu Země, který vznikl po dopadu tělesa z vesmíru. Obvykle jde o velké struktury v podobě impaktních kráterů, tímto pojmem jsou ale označovány i dosud s jistotou neidentifikované útvary či předpokládané krátery. V překladu z řečtiny znamená toto slovo přibližně „hvězdná rána“.

^b V 80. a 90. letech minulého století bylo zjištěno, že jihozápadně od Českých Budějovic je křídová výplň českobudějovické pánve ohraničena řadou zlomů s obloukovitým průběhem. U obce Ševětín, která leží přibližně v předpokládaném středu útvaru, je možné nalézt podobné horniny a geologické útvary jako v bavorském kráteru Ries (tříštivé kužele, deformovaná zrna křemene apod.). Na druhou stranu zde ale nebyly prokazatelně objeveny žádné vysokotlaké modifikace horninových nerostů ani další důležité impaktní ukazatele, bez kterých si vznik tak velké struktury nelze představit. V současnosti tak žádný potvrzený impaktní kráter z našeho území neznáme.

O přímé historii zkoumání impaktů souvisejících s vyhynutím dinosaurů, tedy o Alvarezově impaktní teorii a jejích důsledcích, budeme ještě pojednávat později. Ve výčtu starověkých až moderních pozorování obávaných komet, meteorů a dopadů meteoritů bychom mohli ještě dlouho pokračovat, ale pro potřeby uvedení do problematiky tento přehled plně postačí. Nás totiž zajímá *impaktní událost jediná* – ta, která se odehrála před závrtnou dobou 66 milionů let a sprovodila ze světa tři čtvrtiny všech tehdy žijících druhů, včetně populárních dinosaurů nebo létajících ptakoještěřů. Jednalo se o událost natolik zásadní a kataklyzmatickou, že si její průběh a dosah nedokážeme téměř ani představit. I ty největší impakty, které se odehrály v éře člověka – jakkoliv drastické a smrtící –, byly jen pomyslným dopadem malého kamínku do písku proti úderu kladiva, který zasáhl Zemi na konci křídly. Právě o této události se nyní pokusíme vypovědět co nejvíc informací, založených na věrohodných a do značné míry přesných a detailních vědeckých poznatcích. Ještě předtím je však nezbytné představit si alespoň stručně onen svět končící éry dinosaurů, který byl osudovým impaktem zasažen a v konečném důsledku i zničen.

Kapitola 2.

Svět před 66 miliony let

Ještě předtím, než se naplno ponoříme do problematiky velkého vymírání na konci křídý a doslova detektivního pátrání, které vedlo k odhalení jeho pravděpodobných příčin, načrtněme si nejdříve hrubý portrét naší planety v oné kritické době. Jak vypadaly ekosystémy a podnebí světa, který měl být již brzy z velké části odsouzen k zániku ve víru děsivé katastrofy? Ačkoliv mnoho podrobností ještě zbývá vědecky vypátrat a osvětlit, alespoň pro některé lokality již máme o tehdejších podnebí, ekologii a skladbě fauny i flóry mnoho cenných a důležitých informací. Díky mravenčí práci paleontologů, paleoklimatologů a geochemiků můžeme se značnou mírou jistoty rekonstruovat onen dávný svět končící křídý.

Je však ještě třeba přiblížit si ony časové dálavy, o kterých se budeme bavit. O jak vzdálenou dobu vlastně půjde? Jak moc dávno od naší současnosti je den, kdy se katastrofa na konci křídý odehrála? Můžeme ji srovnat s něčím, co dobře známe z naší osobní zkušenosti? Vždyť takzvaný hluboký, geologický čas se vzpírá uchopení lidským rozumem. Naše velké a vyspělé mozky byly evolucí uzpůsobeny k chápání a interpretování časových jednotek poplatných našim životním zkušenostem.^a Velmi dobře si tedy představíme sekundy, minuty, dny, týdny, měsíce i roky.

^a Právě naše nedostatečná schopnost vybavit si nezměrnost věků vedla k tomu, že koncept geologického času byl propracováván po celá staletí a přijat byl až s velkými průtahy během 19. století. Ještě kolem roku 1850 ale někteří vědci věřili ve správnost genealogického výpočtu irského arcibiskupa Jamese Usshera z Armaghu (1581–1656), který v roce 1654 stanovil počátek světa na 22. října roku 4004 př. n. l.

Už desetiletí jsou ale pro nás dobou velmi dlouhou, za kterou se naše životy mohou významně proměnit. Z dětí se stanou dospělí, věkem zralí lidé zestárnou, kompletně se (třeba i několikrát) změni politická situace, je ukončena nebo zahájena vleklá válka apod. Doba jednoho století je pak pro většinu z nás prakticky synonymem věčnosti a jen málokdo se takového věku dožije (a to jsme přitom živočišným druhem poměrně dlouhověkým). Časový úsek jednoho tisíciletí už se pak zcela vymyká našim běžným zkušenostem, vždyť za tuto dobu se vystřídá dobrých čtyřicet lidských generací! Za takový časový úsek povstanou a zaniknou celé civilizace, dojde k opakovanému vzestupu a pádu mocných říší, kompletně se promění rozsáhlé kultury, vyvine se například věda a umění. A přesto ani celé tisíciletí není proti geologickému času vůbec nic, takové období je v paleontologickém záznamu sotva postřehnutelné.

Můžeme si nicméně pomoci různými zjednodušeními a přirovnáními. Tak například je možné dobu 66 milionů let převést na vzdálenost. Dejme tomu, že každý rok má délku jednoho centimetru. Pak desetiletí zabere přesně decimetr, dlouhý lidský život měří necelý metr a tisíciletí je dlouhé jako autobus. Jenže milion let už je vzdálenost mezi dvěma městy, rovných 10 kilometrů. A doba od vyhynutí dinosaurů pak proti lidskému životu o délce paže představuje vzdálenost 660 kilometrů, což je přibližná silniční vzdálenost mezi Prahou a Varšavou! Nebo to můžeme zkusit ještě jinak. Na tomto místě si vypůjčíme autorovo oblíbené přirovnání, se kterým přišel již slavný americký spisovatel Michael Crichton (1942–2008) ve svém románu *Jurský park*, jen si jej trochu uzpůsobím. Představme si, že lidský život o průměrné délce 75 let se smrskne do jediného dne, tedy doby téměř 27 400krát kratší (počítáme-li i přestupné roky). V takovém případě by při stejném zkrácení doba 66 000 000 let představovala stále víc než 2400 let.^a Celý právě skončený lidský život by začal teprve

^a Ve skutečnosti ještě o trochu více, protože podle zatím nejpresnějších odhadů dopadl asteroid Chicxulub asi před 66,04 miliony let ($\pm 0,04$ m. l.), řádově tedy o ně-

včera, ale dinosauři by vyhynuli už někdy kolem roku 390 před naším letopočtem, což je dokonce dříve, než se narodil například starořecký učenec Aristotelés (384–322 př. n. l.)! Nebo můžeme celou situaci obrátit a podívat se, jak dlouhá je z geologického hlediska existence lidských dějin. Řekněme, že lidská kultura v užším slova smyslu povstala asi před 40 000 lety. Vypadá to jako velmi dlouhá doba, ale v geologické mluvě jde o pouhý okamžik, trvající „ubohých“ 0,04 milionu let! Událost, o které pojednává tato kniha, se zkrátka odehrála před opravdu nesmírně dávnou dobou. Je malým zázrakem moderní vědy, že nám i přes takovou dálavu času dokáže poskytnout množství podrobných a přesných údajů.

A nyní již k hlavnímu tématu kapitoly – jak tedy vypadal svět končící éry dinosaurů? Před 66 miliony let vyhlížela příroda na jednu stranu velmi podobně, na druhou ale naopak značně odlišně od té současné. Kdybychom se mohli tehdy podívat na Zemi z výšky několika stovek kilometrů, spatřili bychom trochu jiné rozložení pevninských mas, ačkoliv rozdíl už by nebyl zdaleka tak velký, jako třeba na začátku druhohor (kdy byly ještě všechny kontinenty spojeny v jednu obrovskou pevninskou masu, zvanou Pangea^a). Na konci křídý už měly některé kontinenty tvar zhruba stejný jako dnes, přesto zde ještě byly nezanedbatelné rozdíly. Severní a Jižní Amerika nebyly dosud spojené žádným pevninským mostem, Indie byla dokonce ostrovem, který si plul budoucím Indickým oceánem, a našli bychom mnoho dalších roz-

kolik desítek tisíciletí dříve. Tato přesnost v odhadech je až zarážející. Odpovídá například situaci, kdy byste museli určit nějakou událost, ke které došlo ve vašem životě v uplynulém roce s přesností na pouhých 10 hodin (nebo v uplynulém týdnu s přesností na 12 minut).

^a Pangea (či Pangaea), v překladu „Všezemě“, byl jeden ze superkontinentů, který se v průběhu dějin Země vytvořil spojením všech kontinentů do podoby jednotlé masy pevniny. Pangea vznikla před více než 300 miliony let v mladších prvohorách a začala zanikat rozpadem na menší pevniny asi před 200–175 miliony let (počátek druhohorní jury).

dílů. Ostatně díky procesům deskové tektoniky^a se i kontinenty pohybují rychlostí několika centimetrů za rok, a to je po desítkách milionů let již pořádně znát. Od konce křídy se tak některé pevninské masy mohly oproti tehdejší poloze posunout o stovky, a dokonce i tisíce kilometrů. I když už bychom tedy tvar jednotlivých kontinentů poznali, neznamená to, že bychom je našli na úplně stejném místě jako dnes.

Na konci křídy byl ještě Tichý oceán podstatně širší, a naopak Atlantik výrazně užší než dnes. Podél rovníku tehdy mohla oceánská voda volně proudit kolem celé zeměkoule, a to jak ponořenou oblastí Střední Ameriky, tak i přes předchůdce Středozemního moře v podobě oceánu Tethys, který odděloval africkou a evropskou pevninu (tehdy však byla Evropa spíše soustavou větších i menších ostrůvků). Kromě již zmíněné Indie, plovoucí severně vsříc Eurasii, se oddalovala také Austrálie od Antarktidy, se kterou byla dříve spojena. Podstatnou okolností byla dále celkově vyšší hladina oceánu, což způsobilo, že množství nížin, ostrůvků a okrajů kontinentů se ještě nacházelo pod hladinou moře. Roli v tomto směru hrál i fakt, že tehdy zřejmě ještě neexistovaly polární ledovcové čepičky, které by dokázaly vázat dostatek vody, aby hladiny moří a oceánů poklesly. Protože kontinenty se v té době ještě nacházely daleko od pólů, nevytvářely se mocné mnohakilometrové vrstvy ledovců (jaké dnes najdeme třeba na Antarktidě) a hladina moří tedy byla stabilně vysoká.

Protože světová vodstva měla tehdy hladinu zhruba o 100 metrů výše než dnes, pronikla voda i do mnoha níže položených oblastí Afriky, Severní a Jižní Ameriky, Indie a samozřejmě i Evropy. V Čechách se nám dochovaly výrazné a okázalé doklady o křídovém moři například v podobě nádherných skalních měst, ta ale byla vytvořena již o nějakých 30 milionů let dříve, na začátku

^a Desková tektonika je v současnosti nejvíce uznávanou teorií, vysvětlující souhrnně geologické děje v litosféře. Podle ní se pohybují různě velké oceánské i kontinentální desky po povrchu plastické astenosféry vlivem horkých vzestupných konvekčních proudů z hlubin planety. Tato teorie dnes nejlépe vysvětluje kontinentální drift (pohyb kontinentů) i horotvorné pohyby, zemětřesnou činnost apod.

tzv. pozdní (svrchní) křída před zhruba 95 miliony let. Na samotném konci křída již byla úroveň moře o trochu nižší, i když v celosvětovém měřítku stále velmi vysoká. V Severní Americe se v období posledních desítek milionů let druhohorní éry vytvořilo ohromné vnitrozemské moře Niobrara (či *Western Interior Seaway*), které začalo ustupovat teprve krátce před koncem křída. V době svého největšího rozpětí dokázalo rozdělit severoamerický kontinent na dva samostatné bloky pevnin – západní Laramidii a východní Appalačii.^a V Evropě zase moře proniklo od západu až do oblasti dnešního pohoří Ural a do západních částí Ruské federace. Výše položená území vytvářela tropické mořské zátoky, které bychom našli v pásu území od Pyrenejí přes Francii a severní Evropu až po Rumunsko. Jižním směrem se začínaly rodit budoucí Alpy, které ale v tuto dobu představovaly pouze jakési kopcovité vrcholky a ostrůvky v prvotním Středozezemním (Proto-Mediterránním) moři.

V době dopadu asteroidu Chicxulub, jak jsme již zmínili, velké severoamerické vnitrozemské moře ustupovalo, stále ale existovalo v podobě obří zátoky o rozloze možná až čtvrtiny dnešních Spojených států amerických (tj. celkem přes 2 miliony km²). Pobřeží tohoto moře zasahovalo až 1200 kilometrů severně od dnešní linie, možná až někam k území dnešní Iowy a Illinois. Na západě již extenze Skalistých hor vytvořila výběžek pevniny, který vytvářel úzký poloostrov, ohraničující prostor budoucího Mexického zálivu, kde ale Yucatánský poloostrov ještě neexistoval. Místo dopadu bylo proto mělkým mořem na pevninském šelfu o hloubce asi několika stovek metrů.³⁵ Na východ od místa dopadu se nacházel hornatý ostrovní systém vytvářející oblouk ohraničující Karibské moře. Zde bychom již našli Kubu, Haiti i další ostrovy Antil, stáčející se jižním směrem. Předchůdce Mexického zálivu byl v podobě Proto-Karibiku mnohem větší vodní masou, rozlohou nejméně trojnásobný. Všechny tyto

^a Velké vnitrozemské moře, které v období křída rozdělilo Severní Ameriku, bylo nanejvýš asi 800 metrů hluboké, maximálně 970 kilometrů široké a táhlo se v délce 3200 km.