

Datovací metody

Protože paleoantropologie se zabývá fosilními nálezy kosterních pozůstatků předchůdců člověka které jsou staré miliony let je třeba si něco říci o tom jakým způsobem tyto nálezy datujeme.

Relativní a absolutní datování

Pro mnoho historických výzkumů především pokud se jedná o výzkum na malé ploše stačí časové zařazení před a po určité události bez přesného označení doby, kdy se tato událost stala, takovéto datování označujeme jako relativní. Např. pokud máme nález v přesunutých vrstvách na jezerní terase termínem před (ante quem) označíme, že se tam dostal před přesunutím vrstev, naopak pokud nalezneme sídliště na této jezerní terase označíme je termínem post quem to znamená že se objevilo až po přesunutí vrstev.

Při porovnávání větších časových vzdáleností potřebujeme co nejpřesnější údaje to znamená absolutní chronologii. Absolutně počítáme čas na časové ose od současnosti a označujeme ho zkratkou B.P. před současností. Zakladatelem vědecké chronologie byl Eratostenes z Kyrény, který v 3. stol. před kr. vytvořil absolutní chronologii na základě řeckých olympijských her (776 před – 393 po kr.) (obr. 328)

Geologické a paleontologické datovací metody nám poskytují jen relativní data na základě posloupnosti hornin, rostlinných a živočišných druhů, která lze spojit s absolutními daty jen ve výjimečných případech. Takovéto datování nazýváme geochronologií. Dělíme je na metody litostratigrafie a paleontologické metody biostratigrafie, podle objektu na jehož základ datujeme.

Absolutní data získáváme fyzikálně chemickými metodami.

Geologické metody (Litostratigrafie)

Dějiny země neprobíhají cyklicky. Na základě různých proměnlivých faktorů, které mají dohromady velice rozdílné účinky na tvářnost zemského povrchu, nelze dokonale zjistit jakými vývojovými fázemi Země prošla. Každé stádium je založeno na určité situaci. tento historický sled potom tvoří základ všech geologických datovacích metod.

Výsledkem geologických procesů jsou horniny. Rozlišujeme horniny vyvřelé a usazené.

Vyvřeliny vznikají buďto v hloubce země z krystalizujícího magmatu jako velké útvary (Plutony) nebo na povrchu země v důsledku vulkanických pochodů z vychladlé lávy.

Sedimentované horniny vznikají ukládáním a zpevňováním (diagenezí) zvětralých hornin, zbytků organismů (řas, vyšších rostlin, schránek živočichů) nebo vulkanických popelů (tufy).

Vyvřelé i sedimentované horniny mohou být v důsledku pohybů zemské kůry (tektoniky) přemístěné a v důsledku zvýšeného tlaku a teploty přeměněny. Takovéto horniny nazýváme metamorfované horniny. Ke změnám minerálního složení horniny může dojít také kontaktem s magmatem nebo lávou.

Geologické datování vyvřelin a metamorfítů je založeno na rekonstrukci horninotvorných procesů. Plutony musí být mladší než horniny které daly podnět k jejich vzniku. A vyvřeliny musí být stejně staré jako magma nebo láva ze které vznikly. Obr. 315.

Pro paleoantropologické datování, to znamená pro rekonstrukci původu člověka, je nejdůležitější datování sedimentů, zvláště říčních usazenin (říční sedimenty, fluvialní sedimenty), jezerních usazenin (limnické sedimenty), rašelinišť a sopek (aglomeráty, tufy). Základem pro datování všech sedimentů je tzv. zákon ukládání dánského lékaře Nielse Stensena z roku 1699. Všeobecně je nazýváno stratigrafické pravidlo. Říká, že prostorové uložení sedimentů nad sebou odpovídá časovému sledu v jakém se uložily. Také tento badatel zjistil, že geologické vrstvy probíhají horizontálně a mohou být velmi silné. Tak vzniklo stratigrafické datování, které spočívá ve vytvoření co nejrovnějších profilů, na kterých je

zachycen průběh geologických vrstev. Na nich se porovnávají stejně silné vrstvy a jejich potavení v profilu a hledají se vzájemné vztahy mezi nimi.

Příčinou pro vznik střídajících se vrstev sedimentů v průběhu času jsou horniny samy. Většinou se litostratigrafické datování provádí prostřednictvím transgrese nebo regrese a také se datuje vzhledem ke změnám klimatu v důsledku vzniku nebo ústupu epikontinentálních moří. To platí především pro vnitrozemské oblasti. Změny z aridního (suchého) na vlhké (humidnímu) podnebí nebo z teplejšího na chladné podnebí vytvářejí zásadní změny ve fyzikálně chemickém složení hornin. Kromě těchto globálních změn existují také lokální změny podnebí.

Všeobecně platí: čím slabší je proudění vody (hydrodynamika), tím jemnější je sedimentová vrstva, která je transportována a uložena. U říčních usazenin hraje roli rychlost proudění vzduchu (vítr), u aglomerátů (slepenců a tufů) je důležitá vzdálenost od sopky.

Ale změnám může podléhat také chemické prostředí. Velice důležité je kromě dalších faktorů množství kyslíku. Např. ve špatně větraných sedimentech a/nebo v sedimentech, kde proudí voda bohatá na živiny je v sedimentech nahrazeno trojmocné železo, železem dvojmocným. Nejlépe je to vidět na zbarvení horniny od tmavě hnědé až červenofialové po šedou až zelenou. To je nejpatrnější v současnosti v aridních oblastech, na odhalené zemi, kde je málo vegetace.

Mnoho profilů, především v kontinentální oblasti, je výsledkem změn klimatu a vegetačních poměrů. Velkoplošné kolísání klimatu vytvářejí základy pro systém geologického datování. Tento systém je třeba modifikovat v závislosti na lokálních podmínkách (složení hornin, reliéf krajiny) to znamená v závislosti na endogenních tektonických faktorech, které mají vliv na strukturu (jemnost) vzniklých sedimentů.

Použití

Příkladem klimaticky vzniklých stratigrafií jsou terasové systémy nebo ložisková stratigrafie. Tyto hrají významnou roli při nálezech fosilií pleistocenního člověka.

Terasy

Rozlišujeme terasy říční a jezerní a terasy mořské. Systémy říčních a jezerních teras dělíme na ty ve vlhkých oblastech středních a vyšších poloh a terasy nacházející se dnes v aridních oblastech.

Ve vlhkých oblastech ve středních a vyšších polohách vycházíme z předpokladu, že v průběhu chladných období (glaciálů) převažuje fyzikální zvětrávání (mrazem) nad chemickým. V tomto případě řeky nejsou schopny odtransportovat velké množství suti, která do nich napadala v důsledku fyzikálního zvětrávání (eroze) a údolí se zanášejí. V teplejších obdobích (interglaciály, interstadiály) převažuje naopak chemické zvětrávání. Následkem toho ustupují hrubé sedimenty a řekou protéká větší množství vody. V důsledku toho stoupá erozní činnost řek. Řeky začínají prořezávat dřívě vytvořené naplaveniny a vznikají terasy. Protože v každé době meziledové se řeky hlouběji zařiznou, jsou terasy tím starší, čím výše leží nad řekou.

Podobná situace nastává na březích jezer. Voda z roztátých ledovců způsobuje v interglaciálech rozlití jezer do plochy a tvoří pobřežní terasy. Později pokud ještě dojde ke zlepšení klimatu se jezero zase vyplní sedimenty a jeho rozloha se zmenší.

Jinak vznikají říční a jezerní terasy v aridních oblastech. Tady místo glaciálů nastávají období dešťů fluviály, kdy dochází ke vzestupu vodní hladiny a ke zvýšenému odnosu materiálu, zatímco v mezičase (interfluviály) převažuje mechanické zvětrávání.

Od říčních a jezerních teras se liší mořské terasy. Podle výpočtů byla mořská hladina v poslední době ledové o 90 – 100 m níže než dnes, protože veliké vodní masy se proměnily v kontinentální ledovce. Říkáme tomu eustatické kolísání mořské hladiny. Podobně táhají

kontinentálních ledovců a s ním spojený vzestup mořské hladiny v meziledových dobách ke přispívá ke vzniku pobřežních teras. Jsou tím vyšší, čím byly vyšší průměrné teploty v dobách meziledových a tím delší, čím déle interglaciály trvaly, to znamená kolik kontinentálního ledovce stačilo během interglaciálu odtát. Oproti říčním a jezerním terasám platí systém datování podle mořských teras celosvětově. Lokální změny však mohly způsobit tektonické posuny zemské kůry a tak způsobit nepřehlednost vrstev.

Fosilní půdy

Další datování je možné podle fosilních půd (paleosolů), které také odrážejí klimatické změny.

Vznik půd, které na vertikálním profilu přerušují eolické (říční) vrstvy, odpovídá klimatickým poměrům v dobách meziledových. Problémy zde působí zkorelování půd z různých profilů a jejich přiřazení určitému interglaciálu. Bez pomoci fosilních nálezů (savci, měkkýši, pyly) nebo absolutního datování není přiřazení možné.

Teplotní křivky

Protože se předpokládá, že klimatické změny, které probíhaly v době ledové jsou závislé na množství slunečního svitu, pokusili se badatelé určit jak probíhaly doby ledové a meziledové asi 600 000 let pozpátku. Vycházeli z délky dráhy oběhu Země kolem slunce a délky dne a noci. Tímto způsobem se chtěli dobrat absolutních údajů o počtu a délce jednotlivých period doby ledové. Takovéto křivky vyjdřující množství slunečního záření vytvořil Milankovič (1920 – 23) a van Woerkom (1953). Ovšem korelace těchto astronomicky vypočítaných křivek s geologicko paleontologickým dělením není jistá. Kromě toho ke vzniku dob ledových přispívají kromě slunečního svitu i další faktory. Což celkový systém komplikuje a zneprůhledňuje. Na základě těchto teplotních křivek byla vypočítána paleoteplotní křivka povrchové vody karibského moře, kterou vytvořil Emiliani (1966) na základě poměrů izotopů kyslíku O 16/O 18, které jsou závislé na teplotních poměrech, z vápenitých schránek dírkovců (foraminifera). (obr. 319)

Roční systém

Vedle kolísání klimatu využívá litostratigrafie klimatický rytmus v průběhu roku ve středních a vyšších polohách.

Příkladem jsou slepence ledových a meziledových jezer, které vznikly při posledním zalednění. Větší množství organického materiálu, který vznikl na základě odumírání planktonu dalo vzniknout tmavým, tenkým vrstvám vzniklým v pozdním létě nebo na podzim, zatímco silné světlé písčité vrstvy vznikaly na jaře nebo v raném létě, prostřednictvím zvětrávání. V nich se nachází poměrně málo organických zbytků. Studium dat a paralelizací různých lokalit je dnes možné na základě těchto vrstev datovat 15 000 let zpět. Jiným příkladem využití ročních klimatických rytmů v litostratigrafii je tzv. solná chronologie, při níž se sleduje cyklické ukládání soli ve vrstvách.

Problematika

V praktickém využití však na první pohled jednoduchá litostratigrafie způsobuje mnoho problémů. To platí zvláště pro vnitrozemskou oblast. Protichůdné sedimentační procesy mohou na velice malém prostoru ve stejném čase vytvořit zcela odlišné horniny. Zatímco fyzikálně chemické podmínky tvorby hornin v mořském prostředí se vyskytují stejné a neměnné na velkém území, v suchozemských oblastech se mění od místa k místu (také na mořském pobřeží). To se týká hydrodynamiky stejně jako ukládaného materiálu a vegetace. Protože podmínky pro vznik hornin jsou různorodé, členění profilů není jen časové, ale také místní stejné horniny mohou probíhat skrze profily napříč (mohou vybočovat z vrstev).

V jiných oblastech nemusela sedimentace probíhat vůbec, docházelo tedy jen k odnosu (lineárně: eroze, plošně denudace), zde tudíž budou v profilech sedimentační hyáty. Mladé vulkanické horniny se mohou dostat v podobě horizontálních vrstev do starších vrstev a tak zkreslovat průběh profilu. Takto změněné vrstvy lze ovšem rozpoznat na základě jejich doprovodných vrstev.

Základním problémem litostratigrafie je nespolehlivost korelace vrstev a záměna diachronních (po sobě) procesů za izochronní (ve stejném čase najednou).

S touto problematikou se můžeme setkat kromě absolutního datování také u fyzikálně chemických metod, při identifikaci a sledování tzv. marker beds (což jsou hlavní horizonty podle kterých se datuje), které se vytvořily izochronně v důsledku určitých událostí a platí pro celou oblast. Tyto vrstvy mohou vznikat v důsledku klimatických změn např. v záplavových vrstvách na pobřeží nebo v intergaciálních vápenců v jeskyních, v tufech a na lávových polích vzniklých při vulkanické činnosti, v tzv. emerzních horizontech, což jsou plochy vystouplé z vodních (tzv. hard grounds) (obr. 321), nebo na základě velkoplošných pohybů zemské kůry (epirogenetické procesy). V každém případě je důležité, že lze spolehlivě identifikovat tzv. marker beds a je téměř vyloučené si je splést s jinými podobně utvořenými horizonty. V některých jednotlivých případech to ovšem může činit problémy. U tufů a láv, které jsou důležité pro datování východo a severoafrických nalezišť hominidů jsou velmi důležité kromě absolutního datování (obr. 322) a paleomagnetických profilů také charakteristické složení hornin a přítomnost určitých stopových prvků (tephrochronologie). O některých událostech soudíme, že se odehrály v celosvětovém měřítku. Jedná se např. o pád velkých meteoritů (např. kumulace iridia a jiných vzácných prvků ve vrstvách na rozhraní křída a třetihor ukazuje na velmi silnou vulkanickou činnost., ale také kolísání hladiny moří jak k ní docházelo v průběhu pleistocenního zalednění a v důsledku vyschnutí středozemního moře na přelomu mio a pliocénu asi před 5,5 miliony let.

Při korelování lokálních regionálních a globálních stratografií nabyly v poslední době významu paleomagnetické metody. Tyto postupy jsou založeny na dvou předpokladech: magnetické pole země se několikrát přepólovalo a že feromagnetické minerály (magnetit a hematit) v tekutém magnatu nebo při velice pomalých sedimentačních podmínkách se nasměrovaly ve směru magnetického pole země. V takto vzniklých horninách je zakonzervován směr tehdejšího magnetického pole.

Měření magnetismu na takovýchto vzorcích z profilu dovolují sledovat přepólování magnetického pole v průběhu profilu a porovnat je se standardní stupnicí, která zahrnuje celý svět (obr. 322 a 323) Přitom se mohou vyskytnout potíže při identifikaci určitých magnetických fází země a potom není možné je kombinovat s biostratografií nebo absolutním datováním.

Pomocí paleomagnetismu můžeme např. zjistit, že stratigrafie vrstev v Siwaliku v předhůří Himalájí, která známá svými bohatými vrstvami miocenních hominoidů probíhá diachronně ve formacích Chinji, Nagri, Dhok Pathan (obr. 320).

Jiným zásadním problémem litostratigrafie je vyjímka ze základního stratigrafického zákona, týkající se vzniku pohoří. Pro paleoantropologii naštěstí nehraje žádnou roli. Při vzniku pohoří může dojít k překrytí vrás a tím ke vzniku inverzních vrstev nebo v důsledku překrytí několika zemských ker může dojít k opakování stejně starých vrstev.

I zde existují možnosti jak takovéto situace rozeznat. Např. zde mohou ukázat původní směr vzniku vrstev kořeny rostlin a pozůstatky živočišných schránek.

Paleontologické metody (biostratigrafie)

Anglický inženýr William Smith objevil při geodetických pracech, že fosílie v profilech se vyskytují v určitém pořadí. Podle tohoto poznatku popsal v letech 1816 – 19 průběh geologických vrstev v Anglii a stal se tak zakladatelem biostratigrafie.

Základem biostratigrafie je evoluční teorie A. Wallace (1858) a C. Darwina (1859), podle níž se v důsledku přírodního výběru v průběhu dějin země fauna vyvíjí. Proto se v určitých obdobích vyskytovala typická fauna a flóra, která se nikdy potom neopakovala. Na základě toho faktu je možné zkorelovat určité vrstvy a období prostřednictvím fosilií v nich uložených. Takovými fosiliím se říká vedoucí (hlavní) fosilie (index fossils) to jsou takové, které jsou pro určité období nejcharakterističtější.

Podmínkou pro to, aby se určitý druh stal vedoucí fosilií, je rychlé tempo evoluce druhu (čím jsou morfologické změny rychlejší, tím lze přesněji datovat), bohatost znaků (poskytuje dobré identifikační možnosti), široké rozšíření druhu (umožňuje korelaci vrstev na mnoha místech světa), častý výskyt (aby byla statistická pravděpodobnost nálezu vysoká), rozšířenost v různých biotopech umožňuje korelaci více různých vrstev. Také je důležité objevit primární místa, uložení, aby nemohlo dojít k chybě např. při nálezu přesunuté fosilie ze staršího období. Přesun lze docela dobře rozeznat.

Použití

Kritéria pro datování

Biostratigrafie vychází z několika základních předpokladů

1. Že určité druhy organismů se v určitých obdobích vyskytují v geologických profilech a později z nich mizí (allochronologie). To znamená, že se objevují v důsledku migrace a později mizí, vymrají. Přičemž je důležité znát kdy se taxon poprvé objevil, což má větší váhu než negativní potvrzení výskytu, to znamená když se taxon ve vrstvách již nevyskytuje, protože se neví zda druh vymřel. Pro datování a korelaci na základě biostratigrafie různých oblastí je problematické, že tyto druhy mohly na jiných místech existovat již dříve.

2. Je důležité zachytit vznik a vývoj taxonů v určité oblasti (autochronologie). Takovéto vývojové řady (chronokliny) lze na základě geologických zákonů v profilu nalézt a pěkně v časovém sledu jak po sobě existovaly a interpertovat. Máme mnoho příkladů.

Z paleoantropologického hlediska je zvláště důležité dělení evropské doby ledové na základě vývoje slonů (obr. 324) nebo stratigrafické rozdělení východo a severoafrického pliocénu na základě vývoje prasat (obr. 325).

3. Při datování je důležité vycházet z celých souborů (ne jednotlivých druhů), to znamená kombinací rostlinných a zvířecích fosilií. Zvláště pokud nemáme možnost korelace s jinými oblastmi např. u ostrovních populací, lze sestavit tzv. graduální podobnost (procentuální zastoupení určitých taxonů) s recentní flórou a faunou oblasti. Tento postup použil např. při dělení terciéru Charles Lyell, kdy využil měkkýšů středozemního moře nebo G.H.R. von Koenigswald při stratigrafickém dělení pleistocénu Jávny na základě savců.

Roční období

Podobně jako litostratigrafie tak biostratigrafie využívá změn klimatu v průběhu roku. Velkou roli hrají např. letokruhy stromů. Lze na nich rok po roce poznat růstové podmínky a lze je porovnávat mezi jednotlivými stromy. Na jejich základě lze získat absolutní údaje asi 2000 let dozadu. Datování na základě letokruhů stromů nazýváme dendrochronologie. Také při nálezu izolovaných dřev např. ze staveb lze poznat kdy byly tyto stromy skáceny, to znamená můžeme určit jak může být stavba nejvýše stará.

Podobným způsobem lze studovat letokruhy na šupinách ryb, které nám také udávají klimatické podmínky v tom kterém roce a svým počtem udávají stáří studovaného jedince. Denní rytmy v oblastech výskytu korálů udávají počet dní v roce a tím vlastně určují rychlost rotace země v minulosti. V Devonu asi před 350 – 410 mil. let měl rok asi 395 – 400 dnů.

Problematika

kontinuita vývoje

Problémy biostratigrafie vyvstávají u kontinuálně se vyvíjejících se druhů, z nichž nacházíme jen malé množství fosilií a to především při paralelizaci lokálních stratigrafií s vtšimi celkynapř. kontinenty.

V řešení problému rozdělení kontinuálního vývoje na jednotlivé úseky, hraje významnou roli diskuse o způsobu průběhu evoluce. Skokový vývoj od druhu ke druhu jak jej zastává punktualismus by biostratigrafické rozdělení časového kontinua ulehčil. Jako základ biostratigrafie dodnes platí Biozóna, kterou v roce 1850 definovali DOrbigny a Opper. Odpovídá délce života jednoho druhu. Kdy ale začíná a končí jeden druh? Jednoznačné ohraničení biozón právě upřednostňuje punktualistický přístup. Pokud však předpokládáme, že evoluce alespoň na úrovni druhu probíhá kontinuálním posunem znaků tak jak to předpokládají gradualisté je třeba rozdělení do zón nahradit jiným schématem, které by místo časového biostratigrafického úseku bralo za základ určitou evoluční úroveň fauny nebo flóry. Takovéto rozdělení má na rozdíl od běžného dělení na biozóny dvě výhody. Lze je přidáním dalších úrovní zjemnit (v závislosti na stupni poznání), a dále paralelizace regionálních stratigrafií zůstává v zásadě otevřená a nemusí se násilně pasovat do nějakého modelu. Takovýto biostratigrafický koncept používají od roku 1968 evropští paleontologové, zabývající se savci. Na základě podobných stratigrafických úrovní právě savců jsou sestavovány tzv. land-mammals ages, které jsou platné pro celý kontinent.

hyáty ve fosilních nálezích

Co se chybění fosilních druhů týká, existují tři hlavní názory: je možné aby se zachovala jen malá část organismu jako fosilie. To se týká savců a především jejich chrupu.

Zadruhé jen malá část flóry nebo fauny na nějakém území zfosilizuje. Podle Laporta (1981) zůstanou z asi 10000 rostlinných a živočišných druhů které obývají břeh řeky jen 10 až 15 fosilizovaných. Odhady, které srovnávají počet fosilních nálezů s recentní faunou na určitém území docházejí k vyšším počtům. Behrensmeyer a Boaz (1980) dospěli při studii v národním parku Amboseli v Keni k závěru, že v závislosti na velikosti těla se zachovávají fosilie, které počtem odpovídají 6 – 17% recentním druhům masožravců a 10 – 68% herbivorů, žijících v této oblasti. To odpovídá také závěrům Retallakovým (1984), který vypočítal na základě porovnání paleoekosystému savců z paleogenní půdy v Jižní Dakotě, že se zde zachovalo asi 9 – 54% fosilií původní fauny.

Zatřetí V některých obdobích a na některých lokalitách neexistují podmínky pro fosilizaci živočichů ani rostlin. Většinou jsou fosilie nesoucí vrstvy později odnešeny. Podle odhadů 5 – 50% historie Země dosud zdokumentováno prostřednictvím fosilií.

Problémy s paralelizací

Podobně jako litostratigrafie má také biostratigrafie problémy s paralelizací lokálních nebo regionálních stratigrafií. Kromě chybějících fosilních druhů jsou tyto potíže způsobeny různorodými biotopy, které vedle sebe ve stejném čase existují. Zvláště je problém zkorelovat mořské a suchozemské stratigrafie. Kromě absolutního datování a paleomagnetických profilů, mohou zde pomoci pouze lokality na nichž jsou smíseny suchozemské a mořské vrstvy, ve kterých se nacházejí vedoucí fosilie a nebo suchozemské fosilie v mořských vrstvách, ale nesmí být přesunuté.

Problémy s paralelizací lokálních stratigrafií se mohou také ukázat když se druhy v důsledku přirozených bariér (hory, moře, řeky) nerozšiřují dostatečně rychle, takže stratigraficky můžeme mluvit o jejich současném rozšíření.

Stratigrafická nomenklatura

Výsledky stratigrafických výzkumů jsou řazeny do schemat. První stratigrafické rozdělení vytvořil Ital G. Arduino 1759. Sestávalo se z období nazvaných montes primitivi, čímž myslel paleozoikum (prahory) a prekambrium, dále montes sekundari (mezozoikum) a montes tertiar (kenozoikum). Od počátku byly stratigrafické pojmy spojeny s určitými horninami.

Teprve William Smith v první polovině 19. století použil biostratigrafii, kde vztahoval obsah fosilních nálezů k určitým horninám. Pojem Zóna dnes Biozóna vytvořili nezávisle na něm v roce 1850 Dorbigny a Opper. Trvalo to ale ještě až do poloviny 20. století než byly za základ datování vzaty fyzikálně chemické metody a relativní metody jako litostratigrafie a biostratigrafie ustoupily do pozadí. Proto se dnes hovoří o chronostratigrafii, která se zabývá jen časovými vztahy na rozdíl od lito nebo biostratigrafie.

V současné době platné schéma dějin země je výsledkem práce mezinárodní pracovní skupiny, a bylo zveřejněno v roce 1976 v mezinárodním stratigrafickém průvodci a je všeobecně závazné.

Nejdůležitější změna v dosud platné nomenklatuře je kromě nové chronostratigrafické terminologie je změna v pojmu formace. V německy psaných knihách představoval pojem formace preiody dějin země jako kvartér, terciér, křída nebo jura, podle nové mezinárodní regule označuje formace malé geologické útvary a je tudíž základním pojmem litostratigrafie na místo v minulosti používaného termínu vrstva. Lze ji dále rozdělit na members nebo beds. Základem biostratigrafie je jako v minulosti biozóna, která se také dělí na další podjednotky assemblage zones, range zones a sub zones. V chronostratigrafické terminologii mluvíme místo o formaci nebo biozóně o chronozóně. Některé stratigrafické jednotky jsou definovány stratotypem, který se skládá z jednoho nebo více profilů na typové lokalitě. Podle toho zda se jedná o vrstvy hornin nebo vrstvy obsahující organické fosílie, rozlišujeme lithostratotypus nebo biostratotypus.

Přehled stratigrafických termínů je uveden v tabulce 84, důležité periody jsou v tabulce 85 a v současné době platné korelace pro evropský pliocén a kvartér jsou v tabulce 86.

Fyzikálně chemické chronologické metody

Pro absolutní určení stáří antropologických nálezů od 1000 do milionů let existuje mnoho metod, které využívají fyzikálních a chemických zákonů. Tyto metody na rozdíl od biologických geologických a stratigrafických metod které datují jen relativně jsou celosvětově platné a jejich výsledky produkují mezi sebou srovnatelná data (absolutní datování).

Rozlišujeme přímé a nepřímé datovací metody. Pokud máme antropologické nálezy jako kosti nebo zbytky tkání, které nejsou pro dostupné techniky vhodné, jsou vzácné nebo je jich malé množství pomáhají nepřímé datovací metody vrstev ve kterých byly nálezy objeveny.

Samozřejmě, že zde existuje určité riziko, že tyto nálezy se do dotyčných vrstev dostaly později a tudíž dostaneme špatná data.

Metodické základy

Rozpad radioaktivních částic

Nejspolehlivější a nejpřesnější absolutní data poskytují fyzikální metody, které jsou založeny na poločasu rozpadu radioaktivních látek.

Všechny látky jsou složeny z několika základních prvků. Atomy těchto prvků se liší v počtu pozitivně nabitých protonů v atomovém jádře počet neutronů je pro každý atom různý. To určuje zda se jedná o stabilní nebo radioaktivní prvek. Např. uhlík existuje ve třech izotopech C12, C13, C14, které mají 6, 7 a 8 protonů. C12 a C13 jsou stabilní a C14 je radioaktivní. To číslo je součtem protonů a neutronů.

Stabilní izotopy nemění svoje složení bez vnějšího zásahu. Naopak radioaktivní atomy (radionuklidy) se v průběhu času rozpadají na jiné izotopy (a také jiné prvky) nebo přecházejí na nižší energetické hladiny. Tento proces je téměř vždy spojen s emisí alfa nebo beta nebo gama záření. U těžkých prvků jako je uran vznikají dceřinné a vnukovské izotopy, které jsou radioaktivní a tvoří rozpadové řady (obr. 341).

Při radioaktivním rozpadu podle aktivity radionuklidu dochází k rozpadu s určitou specifickou rychlostí, jejíž poločas se exponenciálně snižuje. To je důležité právě pro datování.

Fyzikální proces radioaktivního rozpadu nabízí několik možností datování:

1. kosmogonní izotopy, pokud známe jejich počáteční aktivitu, potom nám aktivita vzorku ukáže datum. K tomu je třeba srovnávací vzorek podle kterého zjistíme počáteční aktivitu, nejlépe geneticky příbuznou substanci o známém stáří.

2. Radioaktivní nerovnováha jedná se o poruchy radioaktivní rovnováhy při vzniku rozpadové řady

3. Vztah mateřského a dceřinného izotopu. Jedná se o speciální případ rozpadu mateřského izotopu na stabilní dceřinný izotop

4. Poškození ozářením Základy termoluminiscence., elektronspinová rezonance

Globální stratigrafické metody

pracují s časovými stupnicemi jejichž jednotlivé časové body jsou získány z normálních nebo anomálních změn látek v sedimentech, horninách nebo ledu a tyto jsou dále datovány spolehlivými metodami. Takovéto stratigrafické znaky vznikly v důsledku pozemních nebo extraterestrických procesů. Příkladem může být paleomagnetismus v železitých horninách, který odráží změny magnetického pólu země v určitém období.

Chemické datování

Výhodou chemických metod je přímé určení stáří například na kostech, ale má tu nevýhodu, že může produkovat méně přesná data než fyzikální metody. Základem těchto metod je předpoklad, že určité chemické reakce probíhají při stárnutí konstantní rychlostí. Ovšem zde je vše závislé na teplotě a přírodních podmínkách, které právě při velice proměnlivém klimatu v průběhu čtvrtohor nebyly stabilní a neustále se měnily. Kalibrace chemických časových os tyto problémy překonávají jen do určité míry, proto jsou jejich hranice poněkud omezené.

Datování pomocí kosmogenních izotopů

Radionuklidy, vzniklé prostřednictvím kosmického záření, které vznikají při jaderných reakcích z molekul plynů ve stratosféře a atmosféře (obr. 87) jsou vhodné pro datování. Na nich založené datovací metody vycházejí z toho, že tyto radionuklidy jsou vytvářeny v konstantním množství

v jejich jediném fyzikálním rezervoáru atmosféře, a odtud se rozšířily do biosféry, hydrosféry a litosféry jsou rovnoměrně rozprostřeny a nacházejí se zde v časově neměnné koncentraci mezi jejich rezervoáry se jejich množství poměrně rychle vyrovnává při vzniklém nepoměru. Protože ve skutečnosti v přírodě se skutečný stav těmto podmínkám jenom blíží, je třeba tato data korigovat.

Radioaktivní uhlík C14

Tato metoda spočívá v důkazu přítomnosti C14 v organické látce. C14 po jeho vzniku v atmosféře oxiduje na CO₂ prostřednictvím kosmického záření a mísí se s atmosferickým CO₂. Prostřednictvím asimilací rostlinami a výživou zvířat se rozšiřuje do biosféry. Stáří fosílií je počítáno z rozdílu aktivity C14 ve vzorku a standardu o známém stáří.

Přesnost datování se snižuje se stářím vzorku, množstvím vzorku a délkou měření. Většinou vzorky vážící 1g mají odchylku 40 – 50 let, 20g vzorky mohou být přesné až na 12 let. Vzorky lze odebírat z organických materiálů, kostí, zubů, dřeva, sintru a travertinu. Vždycky je potřeba odebrat větší množství vzorku zvláště tam, kde je nebezpečí kontaminace např. z okolí např. huminovými kyselinami, řasami nebo bakteriemi.

Datovací rozpětí se pohybuje od několika staletí po 30 – 50 tisíc let podle přesnosti aparatury. Možné je získat data do 70 tisíc let z některých vzorků.

Výsledky analýzy C14 se podle mezinárodní konvence udávají jako konvenční C14 data, které musí splňovat následující podmínky:

Datování probíhá k referenčnímu roku 1950 a datum musí být označeno před současností B.P. Všechna data se určují podle poločasu rozpadu určeného Libbym 5568 let, i když přesný je poločas rozpadu 5730 +30 let. Toto je důležité pro reprodukovatelnost a komparativnost těchto dat a koncentrace C14 se koriguje na -25 promile delta C13

Kalcium Ca41

Velice vzácné kosmogenní kalcium 41 je determinovatelné pouze technikou AMS (vysokofrekvenční spektrometrií accelerator mass spectrometer), protože má poločas rozpadu 130 000let. Protože vápník je bohatě obsažen v minerální složce kosti je možné touto metodou datovat až do milionu let. Doposud se ale neví jakým způsobem probíhá koloběh Ca41 v půdě, což zvyšuje chybu datování.

Berylium 10 Be10

Tato metoda je použitelná pro nepřímé datování sedimentů, půd a ledu a pracuje s daty mezi 10 000 a 15 miliony let. Provádí se technikou AMS a je třeba jen několika gramových vzorků. beta záření které vyzařuje berylium 10 má poločas rozpadu 1 500 000 mil let se vytváří v atmosféře prostřednictvím kosmického záření. Jeho podíl v atmosféře se mění podle ročního období a v posledních 7 – 9 mil let kolísal asi o 10%. V poslední době ledové ho bylo asi 2x více než v holocénu.

V důsledku tohoto časového kolísání se od sebe liší datum získané a skutečné, proto pro začátek se toto datování používá jen na profily sedimentů a ne na jednotlivé vzorky.

Radioaktivní nerovnováha

Uran thoriová metoda

Právě paleoantropologové často využívají nepřímého datování uran thoriovou metodou z jeskynního sintru (100 – 1000g). tato metoda poskytuje výsledky až do 350 000 let. Základem této metody je geochemické rušení radioaktivní rovnováhy mezi mateřským a dceřiným izotopem přírodního U238 a U235 jejich rozpadová řada končí stabilním izotopem olova (obr. 341). jejich stabilní produkty nabízejí několik možností datování pozemních vápenců jsou to metody T230/U234, Pa231/U235 a U234/U238.

V uzavřeném systému např. v nevětrálených kamenech starých přes 500 000 let jsou aktivní poměry všech členů řady rozpadu asi stejně velké. To znamená, že je zde radioaktivní rovnováha. Chemické a geofyzikální procesy jako zvětvávání a sedimentace tuto rovnováhu porušují, protože uran a thorium mají zcela jiné chemické vlastnosti. V takto nově vzniklých mateřských nebo dceřiných izotopech panuje radioaktivní nerovnováha a ta umožňuje datování vzorků.

Metoda Th230/U234 a Pa231/U235

Thorium a Protaktinium si jsou geochemicky podobné a jsou rozpustné vodou jako uran. Jeskynní vápenec obsahuje tudíž jen izotopy uranu (U238, U235, U234) z vody. Uran 234 se rozpadá na thorium 230. Tím se na určitou dobu mění aktivní poměry mezi oběma prvky

dokud se opět neustaví rovnováha. to dává základ pro datování. Obdobná metoda je Pa231/U235.

na rozdíl od kompaktního vápence tvoří kosti a další útvary obsahující krystalizovaný vápník otevřené systémy, které uran s vodou přijímají nebo odevzdávají. To může vysvětlit nízké nebo vysoké stáří, které tyto metody mohou pro takové vzorky udávat. Tato chyba je zjištělná použitím více metod na jeden vzorek. na tímto způsobem může být korigována U234/U238

Uran 234 je připoután na krystalovou mřížku hornin menší silou než U238 a proto je snadněji vodou odnositelný. Proto nastává radioaktivní nerovnováha. Úbytek U234 oproti aktivitě U238 s poločasem rozpadu 248 000 let dovoluje i při neznámých výchozích poměrech datování až do jednoho milionu let i když výsledky nejsou zcela přesné.

Draslík /argon

Touto metodou jsou spolehlivě datovány magmatické a metamorfované horniny nebo jejich minerální složky až do 10 mil. let. Byly takto nepřímě datovány také antropologické nálezy staré asi 100 000 let. Přesnost se pohybuje plus minus 1%. Jako vzorky někdy stačí hrst, jindy je třeba 50 kg kamení.

Přírodní draslík se skládá z izotopů K39 a K41 a v malém množství z izotopu K40. tento se rozpadá v poločase 11,93 miliard let z 89% na Ca40 a z 11% na Ar40. Pro datování je důležité kameny nebo horniny při stárnutí neztrácejí žádný Ar40 a tak tvoří uzavřené systémy. V tomto případě udávají stáří obsahy argonu a draslíku. Někdy je třeba vzít ohled na množství atmosferického argonu.

Datování na základě poškození zářením

Při účincích ionizujícího záření alfa a beta a gama se hmota poškozuje, toto poškození se projevuje změnou fyzikálních vlastností. Některé z nich jsou dlouhodobě stabilní se stářím se lineárním způsobem násobí. Rychlost jakou tato poškození vznikají se měří z externího a interního pohledu. Pro datování se užívají takové metody, které jsou schopny tato poškození zachytit.

Termoluminiscenční metoda

Slouží k nepřímému datování křemene, pálené hlíny, vypálených půd ve stáří do 15 000 let a její přesnost je asi 7%. Jeskynní sintr, spraš a láva jsou datovatelné až do 1 mil. let.

Na počátku stárnutí vzorků (po vypálení min. na 600C) předpokládáme, že byly bez termoluminiscenční energie. tato podmínka je bezesbýtku splněna u magmatu, keramiky nebo skla. Spraš např. ztrácí TL energii prostřednictvím slunečního světla. TL energie vzniká z vnitřního i vnějšího prostředí to znamená ze vzorku a jeho okolí radioaktivním zářením uranu, thoria a jejich produktů rozpadu a draslíku. Díl této energie je u některých látek zůstává při pokojové teplotě stabilní a je vyzářen teprve po dodání nějaké energie (ozáření UV nebo zahřátím). Vzorky které jsou anomální nedovolují datování, protože se jejich TL energie při normální teplotě mění.

Při datování termoluminiscencí určujeme :

tzv. paleodávku záření (AD archeologickou dávku), kterou vzorek absorbuje v průběhu stárnutí a

tzv. dávku z vnějšího prostředí (D) a dávku záření ze samotného vzorku.

Metodika Pro určení AD vzorek ozáříme tzv. přidavným ozářením . Vznikne nám termoluminiscenční křivka a z ní se potom aproximací odečte paleodosis. Věšší podíl D zjišťujeme měřením TL na nalezišti nebo dokonce ze vzorku půdy. U poměrně mladých vzorků, mladších 300 000 let musíme vzít v úvahu, že radioaktivní rovnováha nemusí být ještě ustavena.

Špatná data získáme v případě, že se na lokalitě vyskytují rušivé vlivy jako třeba radon. Také diagenetické změny nebo přesunuté vzorky mohou působit při datování problémy. Příkladem mohou být sedimenty, které na začátku neztratily veškerou termoluminiscenční energii.

Elektrospinová rezonance

ESR a TL metody mají stejnou metodiku. Data, která získáme ESR pokrývají mnohem větší rozpětí časové než TL asi od 1000 do 1 mil. let. Přesnost této metody dosahuje asi 15%. Její hlavní předností jsou malá množství vzorků, která stačí pro datování. K datování se používá vápenec, apatit, křemen nebo zubní sklovina. Podobně jako u uran thoriové metody vznikají disproporce při ztrátě nebo nadbytku uranu a thoria. Podobně jako u jiných metod je tato ve vývoji a její data nejsou ještě dostatečně přesná. Na základě porovnání dat z různých laboratoří se zjistilo, že data jsou poměrně různorodá.

Vycházíme z toho, že stáří vzorku je funkcí množství radioaktivity v krystalické mřížce a počtu fluktuálních míst, která jsou obsazena jednotlivými elektrony a která vznikají právě radioaktivním ozářením. Abychom určili jejich počet vzorek se umístí do silného magnetického pole, které kolmo přetíná mikrovlnné pole. Takto spin elektronů začne rezonovat. Nastalá ztráta energie se označuje jako ESR signál jehož velikost určuje hustotu osamělých elektronů v krystalické mřížce, to znamená stáří. Další postup při odečítání stáří je obdobný jako u TL, pouze korektura křivky je jiná

Paleomagnetické datování

Paleomagnetická metoda je velice účinná u usazenin a vyvřelin obsahujících železo a může jít zpět až o několik milionů let. Stáří se počítá od bodů, kdy horniny prošly naposled procesy jako přeměna, dehydratace a sedimentace, při nichž se vytvořila paleomagnetická centra. Přesnost této metody je asi 2%. Měření se provádějí na vzorcích profilů nebo vrtech. Železnaté horniny jsou při svém vzniku magnetizovány, tato magnetizace odpovídá svou silou a orientací magnetickému poli země v době jejich vzniku a již se nemění. V kvartéru se magnetické pole země několikrát v nepravidelných intervalech přepólovalo a po celém světě zanechalo měřitelné stopy. Nejdůležitější změnou magnetického pole v kvartéru je změna Brunhes Matujama před 730 000 lety B.P. Mladší vzorky tudíž ukazují normální magnetizaci, kdežto starší opačnou. Tato magnetizace se měří astatickými, spinovými a SQUID magnetometry.

Chemické datovací metody

metody chemického datování spočívají v tom, že určité reakce probíhají konstantní rychlostí. Z poměru vstupních a výstupních komponent potom lze stanovit stáří. Všechny chemické reakce jsou ovšem ovlivněny teplotou a okolním prostředím (pH, vlhkost atd.) je třeba chemické stupnice kalibrovat daty získanými jinými metodami (spolehlivými daty).

Metoda racemizace aminokyselin

Tato metoda se používá již dlouhou dobu k datování kosterního materiálu, je k tomu potřeba pouze několi gramů kostí i konzervovaných. Touto metodou lze datovat v rozpětí asi 1000 - 100 000 let. V poslední době ovšem se diskutuje o spolehlivosti této metody, protože tato data neobstála v mezinárodním testu reprodukovatelnosti. Podle tohoto testu jsou spolehlivá pouze data racemizace kyseliny asparagové.

Při této metodě dochází k racemizaci přirozených aminokyselin (jako kyselina asparagová, alanin, leucin, prolin, izoleucin), které se od sebeliší v některých částech molekul. Recentní aminokyseliny jsou opticky aktivní L-izomery (levotočivé) jejich asymetrické osy molekul se v průběhu času mění, racemizují a vznikají tak D - izomery, které se opět mění na L - izomery. Tak vzniká racemát jehož optická aktivita je nulová. Poměr L a D izomerů který

určuje optickou aktivitu aminokyseliny při tomto procesu se zvyšuje od 0 do 1 a slouží k určení stáří. Rychlost racemizace závisí na druhu aminokyseliny, na teplotě a chemickém složení vzorku. tato rychlost je při 0C 100x pomalejší než při 25C. Chybně změřená teplota vede k chybám v datování. Při 1% chybě v teplotě je chyba datace 20%. Poločas racemizace zahrnuje přeměnu poloviny L aminokyseliny na D formu a naopak. Poločas racemizace kyseliny asparagové je při běžné teplotě okolí asi 3000 let u alaninu asi 12 000 let. metodická zlepšení této metody se cílí na zjištění vlivu zvětrávání, poměru vody a vlivu diagenetických procesů na výsledky datování. Vzorky jsou napřed čištěny ultrazvukem, potom rozpuštěny v koncentrovaných kyselinách, poměry L a D izomerů jsou potom určovány chromatograficky.

Datování kostí na základě obsahu fluoru, uranu a dusíku

Na základě ad a absorpce fluoru a uranu je možné rozdělit dlouhé časové úseky, v nichž se našly např. lidské fosílie. je to pleistocén, který se dělí na spodní střední a svrchní. Méně spolehlivá data dávají aminokyseliny nebo dusík.

kosti a zuby, které byly ponořené ve vodě z ní absorbovaly fluór, přičemž se hydroxyapatit, který je jejich součástí změnil na fluoroapatit. Také uran může být absorbován. To znamená čím je vzorek starší, tím obsahuje více fluóru až dosáhne nasycení. Zde je důležitý předpoklad, že v průběhu kvartéru se nezměnily poměry uranu a fluóru ve vodě.

Z poměru Ca a P je zřejmé, zda je kost chemicky změněná nebo ne, což je důležité pro spolehlivé datování.

Dusíkové datování, které jde až do 100 000 let závisí na nahrazení kolagenu a tím zvýšení obsahu dusíku v průběhu času. Spolehlivost těchto dat je menší než u fluoru, protože rychlost nahrazování kolagenu podléhá mnohem více okolním faktorům než u fluoru.

Fluoro uranové datování se provádí na základě mmiligramových vzorků.

Metoda hydratace obsidiánu

Po metodických vylepšeních v posledních letech, datuje metoda hydratace obsidiánových objektů data se spolehlivostí na 1- 3% a jde až do 800 000 let do minulosti.

Obsidián zokolí absorbuje vodu a chemicky ji váže na perlit v 10x vyšším poměru než mateřský kámen. Perlitové vrstvy rostou v průběhu staletí až tisíciletí o několik milimetrů a liší se tloušťkou a optickými vlastnostmi. Mezi její tloušťkou d a stářím A existuje vztah $A = \epsilon d$

kdy faktor epsilon vyjadřuje množství hydratace, která je závislá podle Arrheniovy rovnice na teplotě.

K datování se používají tenké řezy kolmé na povrch na nichž měříme perlitové vrstvy v polarizačním mikroskopu.