

**BIOLOGIE**

Bubliny metanu v ledu  
na rybníku Harasov  
v Kokořínském dole.



JAN TOMAN

# Život v ledu

*aneb Úžasný svět kryofilních mikroorganismů*

**M**álokdo si uvědomuje, jak fascinující období geologické historie naší planety prožíváme. Pravda, neprochází se mezi námi impozantní dinosaurů a minulostí je i tropický svět eocenního klimatického optima, kdy evropské lesy kypěly tropickou faunou a flórou a bujná vegetace dosahovala až k oběma pólům. Zato máme vzácnou příležitost pozorovat mrazivé biotopy polárních oblastí, a to včetně téměř kompletně zaledněného kontinentu Antarktidy, což v historii Země rozhodně nebylo samozřejmostí.

Mohlo by se zdát, že na tak nehostinných místech se neudrží ani nejodolnější organismy. K překvapení řady lidí stačí už samotný poznatek, že na části antarktické pevniny – tomto symbolu nehostinnosti – úspěšně rostou nejen lišejníky, mechorosty a jednobuněčné řasy či bakterie, ale dokonce dva druhy cévnatých rostlin (*Deschampsia antarctica* a *Colobanthus quitensis*). Dlouhou dobu se výzkum polárních oblastí soustřeďoval jen na povrch, popřípadě na oceán pod ním. Nyní se ale ukazuje, jak zajímavý a neprozkoumaný je svět uvnitř ledu. Ten totiž zdaleka není „kusem mrtvé látky“.

Každý živý tvor, který žije v tak specifickém prostředí, musí být náležitě přizpůsobený. Hlavním problémem je nedostatek vody, která je z organismu při mrznutí okolního prostředí osmotickými jevy vysávána. To je spojeno s nebezpečně se zvyšující koncentrací solí a dalších chemických látek uvnitř buňky. Organismus také musí zajistit, aby krystaly vznikajícího ledu jeho buňku neroztrhaly, a jistě není příjemné ani celkové zpomalení metabolismu při nízkých teplotách. Navíc s klesající teplotou roste riziko úplné nefunkčnosti některých proteinů a jejich degradace. Jak je vidět, bez důmyslných řešení by organismus dlouho nepřežil. Co má jedinec na výběr z ekologického hlediska? Při zhoršení podmínek se může uchýlit do stavu dormance (kryobiózy).<sup>1</sup> Pokud je to však z nějakého důvodu výhodné – např. pokud by mu po „probuzení“ hrozila velká konkurence nebo vznikají-li nepříznivé podmínky často a trvají-li dlouho –, může se u něj vyvinout schopnost aktivně žít i za extrémně nízké teploty; pochopitelně velmi zpomaleně. Právě taková strategie je jednou z nejzajímavějších vůbec.

Víme, že mnohé organismy dokáží přežít v dormantních stádiích i mimořádně nízké teploty. Při jakých teplotách ale dokáží ještě aktivně metabolizovat? Životní projevy organismů si musíme rozdělit do tří kategorií. Za ideálních podmínek rostou, množí se a plně udržují své tělo; za horších podmínek zvládnou už pouze růst a údržbu; za limitních podmínek zpomalují metabolismus natolik, aby ještě zvládly základní opravy DNA a makromolekul proteinů. Velmi pomalý metabolismus je bohužel současnou technikou téměř neměřitelný. Poslední stadium pak přechází v kryobiózu. Kryobiotické bakterie po „probuzení“ spoléhají na opravy DNA rozlámané radioaktivitou horninového pozadí za dobu stáze (i tisíce až miliony let).

Energetické hodnoty zmíněných tří stavů jsou zhruba v poměru  $10^6 : 10^3 : 1$ . Pokud by člověk měl schopnosti kryofilních bakterií, stačilo by mu množství živin, které v aktivním stavu spotřebovává za jeden den, k přežití v kryobiotickém stavu na zhruba 2700 let.

Dlouhou dobu se mělo za to, že metabolismus ustává okolo  $-17\text{ }^{\circ}\text{C}$ , dnes máme jasné doklady pro aktivní metabolismus i okolo  $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Vzhledem k tomu, že teploty oceánického ledu na Zemi jen vzácně dosahují  $-35\text{ }^{\circ}\text{C}$  (extrémní teplotní výkyvy totiž zasahují jen povrchovou vrstvu ledu, teplota uvnitř je poměrně stálá), jsou možná mnohé polární druhy schopny metabolizovat za jakékoli přirozené teploty svého prostředí. Fotosyntéza u endolitických řas a sinic může probíhat i za teplot okolo  $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ , u některých lišejníků při  $-17\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Určité mikroorganismy dokáží dlouhodobě přežít jen z plynů difundujících krystalovou mřížkou ledu, který je obklopuje. V kontinentálním antarktickém ledovci jsou doklady pro metabolismus probíhající i ve vrstvách o teplotě  $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$ , a to zejména v závislosti na přítomnosti horninového podkladu či minerálních částic. Limitní tedy zřejmě nebude teplota, ale přítomnost živin (která je zde výrazně menší než v členitém sezonním ledu na oceánu). Existují dokonce indicie o enzymové aktivitě určitých mořských bakterií při  $-80\text{ }^{\circ}\text{C}$  a experimenty s mnoha enzymy dokázaly jejich omezenou funkčnost i při teplotách kolem  $-100\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Není vyloučené, že i za těchto teplot probíhá alespoň pomalá forma údržbového metabolismu. Někteří vědci se tedy zcela opodstatněně domnívají, že metabolismus může nízká teplota sice výrazně zpomalit, ale teoreticky neexistuje jeho dolní hranice.

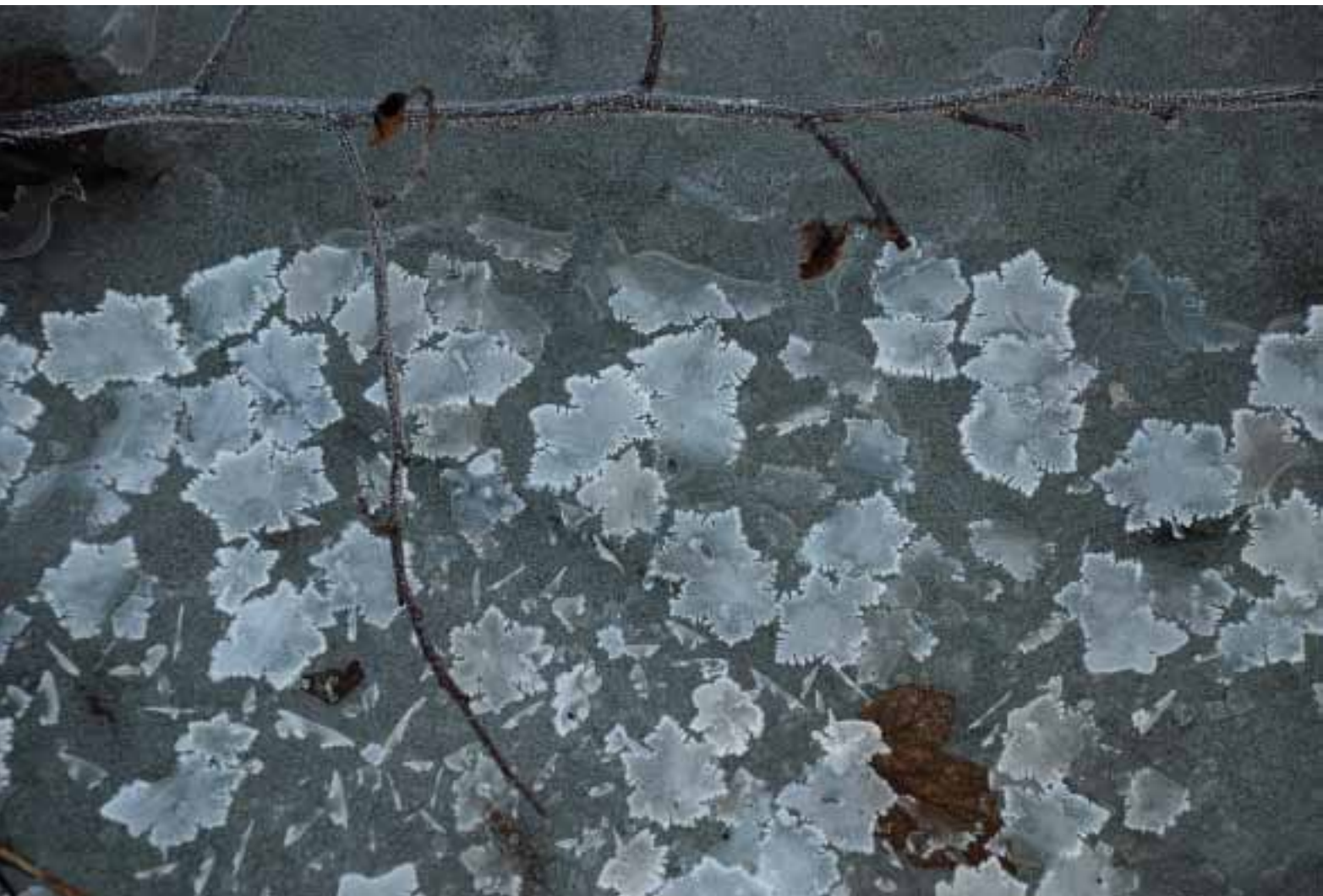
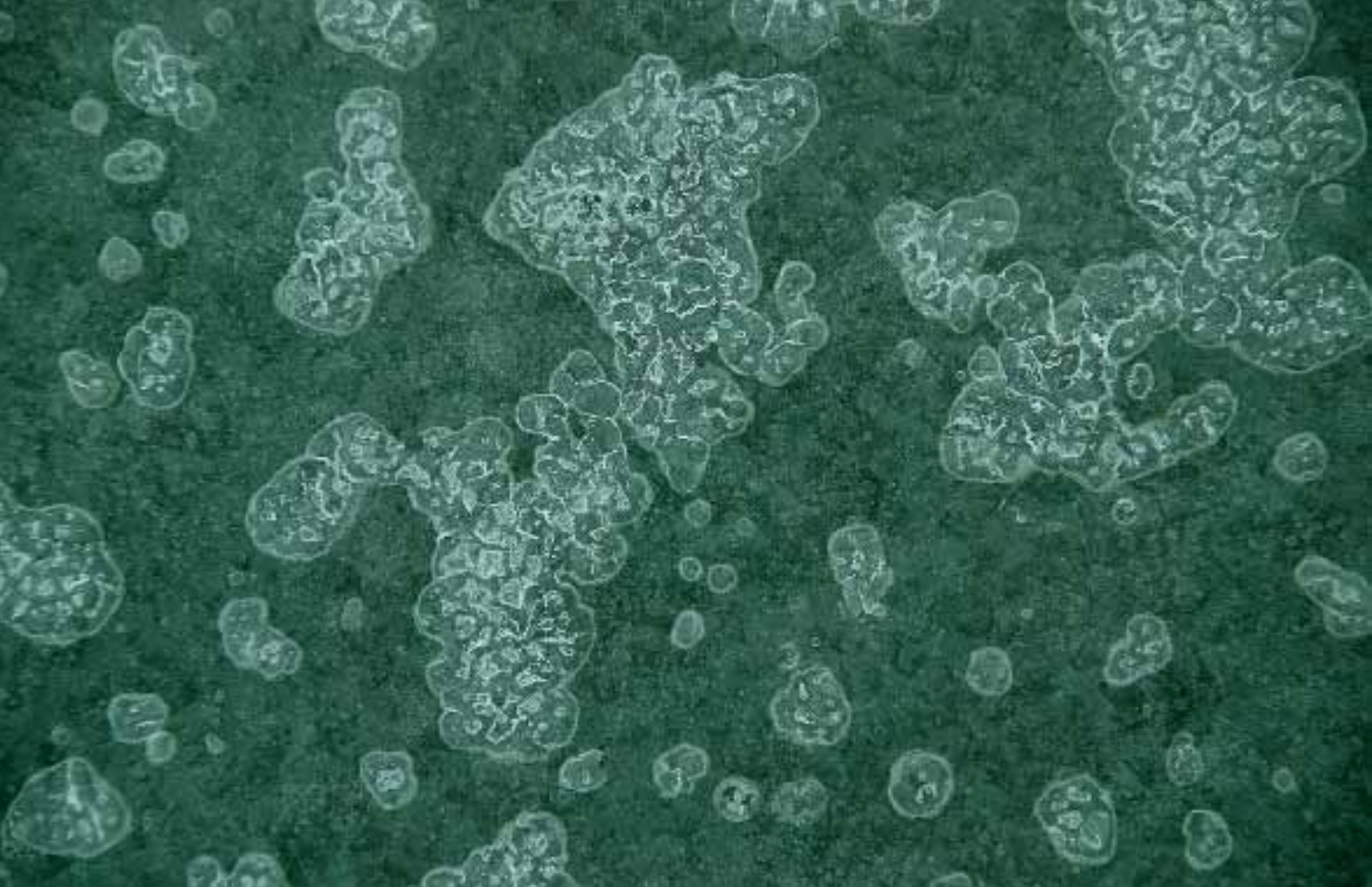
Ledová prostředí na Zemi mají kromě řady společných vlastností i mnoho specifík. Trvale nebo po část roku zamrzlé oblasti nacházíme i ve středních zeměpisných šířkách nebo ve vysokých pohořích, nejvýraznější je však trvalé zalednění v okolí pólů a v přiléhajících periodicky zamrzajících oblastech oceánů. Led na hladině polárních oceánů je členitým mikrohabitatem, jehož několikametrová vrstva se vždy znovu rozvíjí v zimním období. Mořská voda není na rozdíl od sladké po zmrznutí jednoduše, nýbrž obsahuje komplexní síť kanálků a pórů se solankou. Ty se tvoří na hranici krystalů ledu a okolo zrnec detritu či hornin. Soli a jiné příměsi hromadí se v pórech snižují bod mrznutí vody až k  $-90\text{ }^{\circ}\text{C}$ , a na Zemi tudíž nikdy nezamrzají. Kanálky jsou doslova rájem pro prokaryota a jednobuněčné řasy, neboť kromě kapalného prostředí obsahují gradienty světla, živin, salinity a teploty. Uvnitř ledu nalezneme aktivní pouze jednobuněčné organismy, konkrétně některé druhy (hlavně fotoautotrofních) prvoků a prokaryotické organismy (eubacteria i archaea). Fotosyntéza ve svrchních vrstvách ledu nad míru nahrává půlroční polární den. Prosperují v něm zejména penátní rozsoivky (*Bacillariophyceae*). Některé jejich druhy dokáží s nástupem polární noci přepnout metabolismus na heterotrofní a vy- ...s. 281

Ilustrační snímky ledu na s. 276, 278 a 279  
© Radek Mikuláš.  
Viz rovněž prostřední dvoustranu (s. 279–280) věnovanou ledu.

1) Vladimír Košťál: Kryobiotické stavy aneb Vratná zastavení životních dějů (Vesmír 88, 368, 2009/6)

Jan Toman (\*1988) studuje ekologickou a evoluční biologii na Přírodovědecké fakultě Univerzity Karlovy v Praze. Nyní se zabývá převážně studiem, v budoucnu by se rád věnoval (nejen) evoluční biologii.







žit z rozpuštěných organických látek, ostatní obvykle přežívají zimu v dormantních stadiích. V zimě uvnitř oceánického ledu přebírají otěže chemoheterotrofové prokaryotního původu.

Oproti tomu v kontinentálním ledovci neznalezneme kanálovitou strukturu ledu a organismy tu jsou (zejména v hloubce) obecně vzácnější, metabolicky pasivnější a téměř výhradně prokaryotní. V masě ledu se soustřeďují do posledních míst kapalné vody, hlavně do okolí zrn prachu a dalších nečistot.

Za normálních okolností se led při nízké teplotě chová jako pevná látka. Pokud ovšem dosáhne určité mocnosti, zvýšený tlak na podloží zkapalní jeho hraniční vrstvu a ledovec začne po hornině „klouzat“. Organismy pak ochotně využívají hraniční plastickou vrstvu s dostupnou vodou v kapalném stavu. Ještě zajímavější situace nastává za zvláštních topografických podmínek podloží, které jsou splněny na několika místech v Antarktidě. Naleznete zde unikátní subglaciální jezera, jejichž počet se podle geofyzikálních měření přibližuje dvěma stovkám. Jejich vznik a dynamika nejsou ještě zcela objasněny. Jisté je jen to, že svou roli hraje jak obrovský tlak nadložního ledovce, tak geotermální teplo z podloží. Nalézáme je totiž vesměs v místech tektonických zlomů. Jak málo o nich víme, naznačuje nedávný objev. Podle něj je mnoho jezer propojeno subglaciálními periodickými řekami, které vyrovnávají tlak ledovce na jedno jezero upuštěním vody do tělesa sousedního nebo do moře. Největším ze subglaciálních jezer je Vostok o rozměrech asi 50 na 250 kilometrů, který svým tvarem připomíná otevřené písmeno V. Maximální hloubka se odhaduje na 800 metrů a hladina je překryta téměř čtyřmi kilometry ledu. Voda v jezeře pomalu cykluje, ze svahů pod tlakem stéká plastická vrstva spodní části ledovce, zatímco voda z hladiny je vytlačována vzhůru. Celý objem se vymění za několik tisíc let. Teplota jezerní vody se odhaduje na zhruba  $-3\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Nad jezerem se rozkládá ruská polární stanice Vostok, ve které se mimo jiné provádějí extenzivní ledovcové vrty pro rekonstrukci klimatu. Výzkumníci se dlouho vrtání až na úroveň hladiny jezera bránili v obavách z možné kontaminace běžnými mikroorganismy. Ve světle objevů dalších jezer a faktu, že nejsou na sto procent izolována, se ale rozhodli letos ve vrtání pokračovat a příští sezonu (tj. na podzim 2011) hladiny dosáhnout. Díky použití speciálních technologií bude riziko kontaminace sníženo na minimum a očekávané objevy ho snad několikanásobně převýší. Plánují se jak optická pozorování jezera speciální sondou, tak odběry z vodního sloupce a sedimentů ze dna.

O biotě subglaciálních jezer nevíme téměř nic. Tato jezera navíc v mnoha ohledech připomínají podpovrchové oceány některých velkých měsíců obíhajících kolem plynných obrů; konkrétně satelitů Jupiteru, Saturnu a Uranu. Subglaciální oceány neboli endohydrosféry na měsících velkých planet jsou v kapalném stavu udržovány jednak obli-



gátním rozpadem radioaktivních izotopů, ale hlavně působením slapových sil mezi sebou a vůči mateřské planetě. Bezsporně nejznámější je podpovrchový oceán na Europě, jednom z čtyř velkých Jupiterových měsíců. Podobné endohydrosféry se ale s větší či menší pravděpodobností nacházejí i pod povrchem dalších Jupiterových měsíců, nejméně na jednom ze satelitů Saturnu a několika měsících Uranu. Případné organismy z jezera Vostok by nám mohly poskytnout cenná vodítka pro hledání života na jiných tělesech sluneční soustavy a korigovat naše očekávání. Musíme však počítat s tím, že podobnost obou biotopů není absolutní. Vostok a další subglaciální jezera jsou v mnohém unikátní. Například se očekává, že jejich voda je extrémně obohacena kyslíkem a dusíkem kvůli vysokému tlaku nadloží. Koncentrace plynů oproti povrchovým jezerům by mohla být až padesátinásobná. Podobné jevy na tělesech s jiným typem atmosféry čekat nemůžeme.

Na první pohled by se mohlo zdát, že výzkum kryofilních organismů je typický teoretický obor zahleděný do sebe. Nic by však nebylo vzdálenější pravdě. Praktické aplikace se přímo nabízejí. Už teď využíváme naše objevy pro biomedicínské účely. Objevujeme další a další vodítka pro paleobiologii, zejména záhadná období „Země sněhové koule“ v neoproterozoiku, kdy byla většina povrchu naší planety sevřena pod ledovým příkrovem. Poznatky nám mohou pomoci s hledáním života na dalších tělesech sluneční soustavy; ať už uvažujeme o analogii mezi kontinentálním ledovcem a horninami na Marsu nebo mezi subglaciálními jezery a měsíci plynných obrů. Může se tak lehce stát, že výzkum kryofilních organismů v některém oboru či v některých oborech odstartuje takovou technologickou revoluci, jakou v molekulární biologii odstartoval ovládnutím polymerázové řetězové reakce (PCR) výzkum organismů termofilních.

**Kry zamrzlé v nové vrstvě ledu.**

←←

**Na protější straně nahore: Bubliny mezi dvěma vrstvami ledu. Na protější straně dole: Za příznivých okolností se ledová skořápka promění v ploché krystaly podobné javorovým listům (viz rubriku Data a souvislosti na s. 278).**

**Čirý, a tedy tmavý led vzniká ve starší puklině.**

