

Arktida – je severní polární oblast ohraničená přibližně izotermou 10 °C průměrné teploty v nejteplejším měsíci. Zahrnuje Severní ledový oceán a část severního pobřeží Evropy, Asie a Severní Ameriky o rozloze kolem 26,5 mil km². Oceán je většinou zamrzlý, pevniny mají charakter mrazových pouští, v jižnějších oblastech mají tundrový a močalovitý charakter. Převládá zde vysoký tlak vzduchu a celoročně nízké teploty a malé srážky. Půdy jsou zde věčně zmrzlé - permafrost. Lidské osídlení velmi řídké.

Geometricko-fyzikální úvod - osa Země je vychýlena vzhledem k pozici Slunce.

Úhel náklonu osy Země a tedy oblast povrchu Země, která je v zimním období odcloněna od zářivé energie Slunce, nebo naopak kde v letním období nezapadá Slunce, dosahuje 66° 33' severní šířky (polární kruh). Polární kruh je kromě již zmíněné 10 °C izoterm nejčastěji vymezení arktické oblasti. Díky nepřetržitému ozáření dopadá v letním období na povrch arktické oblasti větší množství zářivé energie než ve stejném období v rovníkové oblasti. Na druhé straně účinnost tohoto záření je značně omezena především díky ostrému úhlu dopadu záření a celou řadou dalších faktorů (tyto faktory budou diskutovány později). Střídání arktického léta a arktické zimy je příčinou strmého gradientu teplot mezi arktickou a mírnou-rovníkovou oblastí. V zimním období dosahuje gradient až 60 °C, naopak v letním období se snižuje na 10-20 °C.

Země je obrovským magnetem se Severním a Jižním magnetickým pólem. Magnetický pól se nenachází v pozici geografického pólu a v průběhu geologické evoluce Země se jeho poloha mění. Severní a Jižní magnetický pól nejsou přesně proti sobě. Přímka, kterou bychom propojili Severní a Jižní magnetický pól, by neprotnula zemské jádro v jeho středu. Z tohoto důvodu bylo kromě Jižního a Severního magnetického pólu vypočítáno geofyziky i teoretické místo pro Severní a Jižní geomagnetický pól. Severní a Jižní polární záře (*AURORA BOREALIS*) má fyzikální základ v umístění magnetických pólů. Tok elektromagnetického pole mezi jádrem naší Země a Sluncem způsobuje světélkování atmosféry (polární záři). Polární záře je způsobena elektromagnetickými částicemi (nejčastěji kyslíkem a dusíkem). Subatomické částičky nabité energií ve vrchní atmosféře světélkují. Barva těchto světélkujících částiček je závislá na energetické hladině a složení vrchní atmosféry. Ovál, odkud může být pozorována polární záře, jehož centrem je geomagnetický pól, se nazývá „*AURORA OVALIS*“. Směrem dovnitř nebo vně tohoto pomyslného oválu možnost pozorování polární záře klesá.

Klima arktické oblasti - Troposférické vzdušné masy nad arktickou oblastí můžeme rozdělit do tří základních skupin - arktická, polární a tropická. Tyto tři typy vzdušných mas se navzájem nemísí a v horizontálním profilu mají víceméně stálou teplotu a vlhkost. Oblasti nízkého tlaku jsou místa, kde dochází ke střetu vzdušných mas. Distribuce vzdušných mas se svými frontálními depresemi vytvářející topografii troposférické vrstvy jsou typické pro arktickou oblast. Navíc v oblasti severního pólu je neustále udržována oblast nízkého tlaku, která vyvolává kruhový pohyb vzdušných mas (v protisměru hodinových ručiček nebo západovýchodní směr). Zóny vzdušných mas se v průběhu ročního cyklu pohybují severojižně nebo jihoseverně a mají za následek nasávání teplejšího a vlhkého vzduchu do arktické oblasti v letním období a naopak rozšiřování chladného a suchého vzduchu do mírného pásma v zimním období.

Energetická bilance arktické oblasti je kromě dříve uvedených faktů ovlivněna ještě celou řadou lokálně klimatických specifíků - ALBEDO - množství energie, které se odrazí zpět do atmosféry a které tudíž není využito živými i neživými systémy, je tím nejdůležitějším faktorem. Množství energie, které se odrazí zpět do atmosféry, závisí především na povaze a typu povrchu konkrétního území. Například území, které je zaledněné nebo pokryté sněhem, má vysoké energetické ztráty. Od povrchu ledovců a terénu pokrytého sněhem se odrazí až 80-97% energie. Trochu lépe je na tom odledněný substrát bez vegetace (30-70%). Nejlepším

povrchem, který absorbuje většinu na povrch dopadnuté energie, je vodní hladina nebo vegetace, kde ztráty dosahují pouze 15 až 20%.

Z uvedeného vyplývá, že odledněná území s minimálními srážkami (pouště a polopouště), nebo na druhé straně mořské ekosystémy, které nejsou celoročně pokryté ledem a které jsou navíc v případě arktické oblasti propojené proudy s moří mírné a tropické oblasti, daleko snadněji akumulují dodávanou energii než oblasti zaledněné. Tento základní fakt společně z větším výskytem oblačnosti nad arktickou oblastí (skleníkový efekt), určuje markantní rozdíly v klimatu Arktidy a Antarktidy.

Podívejme se však podrobněji na energii, která dopadne na povrch odledněného území. Mikroklima povrchu půdy s celou škálou terénních různorodostí se podílí na akumulaci složek energie a vytváří daleko příznivější podmínky pro život, než je tomu již například 1m nad jejím povrchem (CLIMATIC PARADISE). V arktické oblasti se klimatické podmínky v těsné blízkosti povrchu půdy mohou blížit podmínkám daleko teplejšího mírného pásma nebo dokonce tropů. Takovéto příznivé podmínky zde však zpravidla trvají jen několik dní.

Vývoj arktické oblasti a střídání glaciálních období – Se vznikem systému světového klimatu, s jakým se setkáváme v současné době, souvisí rozpad prapůvodního superkontinentu Pangea a následným posunutím jeho severní Laurasie a jižní části Gondwany do polárních oblastí. Posunutí kontinentů vedlo k markantní změně klimatu, protože akumulace energie v mořích byla narušena a následný pokles teplot a zalednění na sebe nedaly dlouho čekat. První ledovce začaly vznikat v arktické oblasti v severní Americe, v Grónsku a na severním pobřeží Sibíře v pleiocénu, tj. asi před 5 – 1,8 mil. lety. V jižní polární oblasti probíhal proces zalednění daleko dříve, a to již v oligocénu, tj. asi před 36 až 24 mil. lety.

Po celé období historie naší planety ($4,6 \cdot 10^9$ let) se klima nepřetržitě mění. Odhaduje se, že naši planetu postihlo pravděpodobně 7 velkých glaciálních období, které se lišily délkou, intenzitou a rozsahem zalednění. V poslední době se dokonce začínají objevovat informace, že Země několikrát po určité období své geologické historie, konkrétně v prekambriu, kompletně zamrzla (SNOWBALL EARTH), jak je tomu například v současné době na měsíci Jupitera Evropě.

Specifikem Severního ledového oceánu, kde již od počátku existovala výměna energie akumulované v mořské vodě mezi mírným-tropickým a arktickým pásmem, je relativní klimatická nestabilita. Volná hladina Severního ledového oceánu s vysokým výparem a následným přenosem oblačnosti do severních poloh vede ke zvýšeným srážkám a k postupné akumulaci vody ve formě ledu. Transformace vody z moří do formy kontinentálního zalednění způsobuje pokles hladiny oceánu a částečné přerušení spojení mořskými proudy mezi mírným-tropickým pásmem a arktickou oblastí. Tento fenomén ještě stupňuje ochlazování oblasti a postupné pokrývání Severního ledového oceánu ledovým příkrovem. Pokrytí oceánu i pevniny ledovci vyvolá vznik suchých cyklonů a postupné vysoušení (aridizaci) oblasti. Suché klima následně přeruší nárůst ledovců, způsobí změnu klimatického cyklu na interglaciální periodu, tj. období, kdy ledovce začínají ustupovat, a celé území se postupně začíná oteplovat. Tento cyklus se opakuje a jeho periodičita se stupňuje především v posledních zhruba 100 000 letech.

V posledním období vynaložilo lidstvo velký intelektuální i hmotný potenciál, aby rozluštilo zákonitosti střídání glaciálních - interglaciálních cyklů. Základní teoretický princip, tzv. „MILANCHOVIČŮV MODEL“ střídání glaciálních období v periodě přibližně 120 000 až 150 000 let, je založen na teoretickém výpočtu tří proměnných: změny polohy osy Země, změny v úhlu osy Země vůči Slunci a změny tvaru oběžné dráhy Země kolem Slunce. Mravenčí práce mnoha geologů, glaciologů a paleobiologů (analýzy izotopů kyslíku, vodíku, analýzy

sedimentů – křemitých schránek rozsivek, pylových zrn a dalších fosilních zbytků, atd.) s překvapením ukazuje, že teoretický předpoklad založený na Milanchovičově modelu je do značné míry opodstatněný a že střídání glaciálních a interglaciálních období se výrazně projevují především v klimatu arktické a antarktické oblasti a ve změně hladiny oceánů. Dále bylo prokázáno, že úroveň zalednění obou polárních oblastí spolu do značné míry koliduje a odpovídá hladině světových oceánů. Na co však zatím nedovedeme s určitostí odpovědět je otázka, kterou nám klade veřejnost, do jaké míry antropogenní činnost člověka ovlivňuje tuto, - zdá se zákonitou - změnu klimatu.

Poslední glaciální období, o kterém máme nejvíce informací a které významně ovlivnilo také území střední Evropy (poslední doba ledová), se projevovalo dvěma na sebe navazujícími chladnými periodami a spadalo zhruba do období 65 až 18 tis. let před současností. V průběhu tohoto období bylo území naší republiky obklopeno dvěma masami ledovců. Údolími a sedly našich severních pohraničních hor k nám pronikaly splazy severního kontinentálního ledovce. Na jihu byla situace poněkud odlišná, alpské zalednění nedosahovalo až k našim hranicím. Tyto dvě ohromné masy ledu však silně ovlivňovaly klima České pánve. Aridní studené klima polárních pouští a polopouští a mocná vrstva permafrostu byly nejdůležitějšími fenomény tehdejší přírody naší republiky (Obr. 18). V průběhu pozdního glaciálu a halocénu postupným oteplováním docházelo k ústupu zalednění, rozmrzání permafrostu. Na to následně navazovaly změny hydrologických, hydrogeologických poměrů s postupným rozšířením rostlinného pokryvu.

PERIGLACIÁLNÍ procesy – v průběhu posledního glaciálního období byla velká část severní hemisféry pokryta příkrovem kontinentálních ledovců. Území, o kterém hovoříme jako o území, kde se uskutečnily nebo stále probíhají periglaciální procesy, bylo v minulosti celé zaledněné. V užším slova smyslu však pod pojmem periglaciální procesy chápeme procesy, které probíhají ve specifickém klimatu v blízkosti čela ustupujícího ledovce. Periglaciální procesy jsou charakterizovány střídáním cyklu vymrzání a tání substrátu a s tím spojeným zvětráváním a soliflukcí. Mrazové procesy povrchové vrstvy půdy vedou ke vzniku takzvaných mrazových půd neboli POLIGONÁLNÍCH PŮD. Příčinou tohoto procesu jsou nestejně fyzikální vlastnosti při vymrzání mezi vodním prostředím a substrátem. Bylo detailně popsáno široké spektrum typů mrazových půd. Přítomnost PERMAFROSTU (věčně zmrzlé půdy) je nejdůležitějším fenoménem periglaciálních oblastí. Charakter permafrostu významně ovlivňuje mineralizační procesy (zvětrání substrátu) a rozšíření i formy života aktivní vrstvy. Aktivní vrstva je povrchový půdní horizont, který roztává během letního období a do kterého jsou koncentrovány veškeré projevy života terestrické arktické oblasti. Vytváření aktivní rozmrzlé vrstvy půdy spotřebovává velké množství energie dopadající na povrch substrátu. Pod touto vrstvou tvoří permafrost neproniknutelnou bariéru mezi hlubšími vrstvami substrátu a povrchem a naopak. To často vede mimo jiné k akumulaci vody na povrchu půdy a ke vzniku rozsáhlých mokřadních ekosystémů. Nejmocnější vrstvy permafrostu jsou v nejchladnějších oblastech Arktidy a dosahují mocnosti až 600 m. Na druhé straně v šelfových oblastech, pod mořskou hladinou nebo pod velkými jezery neexistuje permafrost ani v těch nejchladnějších polohách. Teplotní profil permafrostu je stabilní, kromě jeho horní (aktivní) vrstvy a vrstvy, která se nachází na spodním rozhraní mezi permafrostem a nezamrzlým podložím. Mocnost a rozšíření permafrostu velmi dobře charakterizuje klima a je podobně jako kontinentální zalednění jakýmsi prvkem, který vyrovnává teplotu naší planety.

Terestrické ekosystémy arktické oblasti. Na základě klimatických parametrů, stupně vývinu půd a diverzity/produktivity rostlinných společenstev byla arktická oblast rozdělena v jihoseverním transektu do několika zón. Střídání vegetačních zón a stupně vývinu půd jsou přímo úměrné postupné změně klimatických faktorů v jihoseverním transektu, i když hranice mezi jednotlivými zónami jsou mnohdy velmi široké (až stovky kilometrů) a často vytvářejí komplikovanou mozaiku jak ve složení a vývinu půd, tak ve složení a produktivitě

rostlinných společenstev. Kromě tohoto rozdělení se nejčastěji setkáme s rozdělením na oblast VYSOKÉ a NÍZKÉ ARKTIDY. VYSOKÁ ARKTIDA s průměrnou červencovou izotermou 4-2 °C zaujímá severní část oblasti, vyznačuje se nízkými srážkami a extrémně nízkými teplotami s nízkou rostlinnou produkcí a druhovou diverzitou (přibližně do 350 druhů cévnatých rostlin). Je tvořena chladnými arktickými pouštěmi, polopouštěmi, nebo je pokryta kontinentálními ledovci. Maximální pokryvnost při zemi se plazících cévnatých rostlin s velmi mělkým kořenovým systémem je 25%, přičemž kryptogamy (sinice, řasy, lišejníky a mechy) jsou zde daleko úspěšnější a dosahují pokryvnosti až 50%. NÍZKÁ ARKTIDA je tvořena několika kategoriemi vegetace - společenstvem přechodných formací mezi jehličnatými lesními porosty a tundrou (ekoton) a vlastními společenstvy tunder. Společenstvo ekotonu je společenstvo řídkého lesa s mělkým kořenovým systémem a s tzv. vlnkovým tvarem koruny jehličnatých stromů. Mělký kořenový systém je přizpůsoben se na přítomnost permafrostu, vlnková koruna je naopak přizpůsoben se vysokým rychlostem větru a abrazi (mechanickému poškození) ostrými kousky. Za tímto pásmem přechodných formací následuje tundra s druhově bohatým společenstvem (asi 600 druhů cévnatých rostlin), která sama o sobě představuje zvláštní biogeografickou jednotku. Tundrové společenstvo cévnatých rostlin je tvořeno trávami, ostřicemi a vytrvalými bylinami, které tvoří podrost křovinám a vřesovištím. V tomto společenstvu cévnatých rostlin se 100% pokryvností se vyskytují bohatá společenstva mechorostů a lišejníků vytvářející velmi hustý zapojený vegetační koberec. Mezi těmito tundrovými společenstvy se často vyskytují různá tekoucí i stagnantní mokřadní stanoviště. Nízká teplota, krátké vegetační období a omezená aktivní vrstva půdního horizontu společně s permafrostem, který brání výměně vody, látek a plynů s hlubšími půdními horizonty, předurčují vývoj arktických půd. Zamokření a omezené provzdušnění půdy má kromě již uvedených faktorů za následek akumulaci organických zbytků a tvorbu takzvaných glejových půd s nízkým pH. V jihoseverním transektu můžeme, i když velmi zjednodušeně, charakterizovat vývoj arktických půd.

Mořské ekosystémy arktické oblasti. – Severní ledový oceán zabírá plochu asi 11,4 mil km² (střední hloubka 1 330 m, maximální hloubka 5 450 m) a je rozdělen podmořskými hřbety do Kanadské, Euroasijské, Grónské a Norské pánve. Pánve jsou značně hluboké, kdežto okrajová moře (Barentsovo, Karské, Laptěvů, Čukotské a Východosibiřské) jsou mělká. Centrální část oceánu je trvale pokryta ledem (cca 5 mil. km²). Severní ledový oceán si vyměňuje vody především s Atlantickým oceánem, v menší míře s Tichým oceánem. Díky několika přítokům velkých asijských a severoamerických řek a menšímu odparu má voda Severního ledového oceánu nízkou salinitu 30-32‰. Severní ledový oceán je teplotně velmi stabilní, povrchová teplota centrální části, která je pokrytá ledem, je -1 až -2 °C. Na několika místech arktické oblasti dochází k vyzvedávání teplejší vody bohaté na minerální živiny. Tyto lokality nezamrzají a jsou označovány jako mořské oázy neboli WATER POLYNIA. V oblastech mořských oáz se setkáváme se zvýšenou koncentrací všech životních projevů, podobně jak jsme tomu zvyklí u terestrických oáz.

Rozeznáváme tři základní mořské ekosystémy arktické oblasti: vodní sloupec, pobřežní šelfy a osídlený led (jak na povrchu, tak ve štěrbinách uvnitř ledu). Díky teplotní stabilitě, malé nebo žádné disturbanci (mechanické poškozování) jsou moře arktické oblasti velmi produktivní systém s vysokou druhovou diverzitou (počet druhů se pohybuje v tisících).

Adaptace organismů na život v Arktidě. – Odledněná terestrická území arktické oblasti jsou mladá. Jen nepatrný zlomek organismů, tzv. ENDEMITŮ, přežilo zalednění na vrcholcích (NUNATAKŮ) jinak zaledněných pohoří. Velká většina organismů se stěhuje do arktické oblasti za stále ustupujícím zaledněním. Prostředí, které odledněná území nabízí, je však velmi specifické a organismy cestující do uprázdněných území (NIK) si musí vytvářet široké spektrum vlastností, které jim umožňují spíše přežít než žít. Flóra arktické oblasti (KRYOFLÓRA) se většinou rekrutuje z rostlinných čeledí běžných v mírné oblasti, a to především z tzv. vysokohorské (ALPÍNSKÉ) květeny, která si vytvářela vlastnosti potřebné k životu v Arktidě ve vyzvednutých pohořích mírného pásma. Podmínkou přežití je možnost vykonávat veškeré metabolické procesy včetně ukončení životního cyklu. Nadzemní i podzemní části rostlin tvoří tenkou vrstvu, která využívá příznivější klima terénních nerovností. Aktivní vrstva půdy, kde probíhají jen velmi omezeně mineralizační procesy, neposkytuje dostatek živin pro růst rostlin. Limitace minerálními živinami (N, P, K, Ca, atd.) je častá. Dostupnost vody nebo naopak vodní eroze v období tání sněhu způsobují nestabilitu povrchu půdy a poškozují rostliny. Kryptogamy, které jsou do značné míry ekologickými oportunisty (mechorosty, lišejníky, řasy a sinice), lépe odolávají výše uvedeným stresovým faktorům. V arktické oblasti nacházejí největší uplatnění vytrvalé jednoděložné cévnaté rostliny (traviny a nízké keře), které disponují těmito vlastnostmi: květní pupeny se tvoří v předešlé vegetační sezóně, jsou větrosnubné nebo se opylují samy, mají zvýšený počet chromozomů (polyplodie), rozmnožují se především vegetativně, jsou viviparní (mají schopnost klíčení již na mateřské rostlině).

Na konci třetihor poskytovala travnatá tundra prostředí pro široké spektrum velkých savců a ptáků. V průběhu velkého zalednění na konci čtvrtohor však došlo k vyhynutí těchto původních druhů. Současná fauna se rozšířila do arktické oblasti po velkém zalednění na konci čtvrtohor a její vývoj byl umožněn a ovlivněn celou řadou chladnějších period. Neznáme jediného savce, který by žil v alpínské oblasti a zároveň v Arktidě. U ptáků máme několik takovýchto druhů. Také někteří chladnokrevní obratlovci si našli své niky výskytu v subarktické oblasti i v alpínském pásmu. Současní i historičtí zástupci obratlovců disponují celou řadou adaptací, které jim umožňují žít v arktických podmínkách nízkých teplot, rychlého proudění vzduchu, v krajině sezónně pokryté vysokou vrstvou sněhu, atd. Jmenujme jen nejběžnější adaptace vůči nízkým teplotám: tepelná izolace povrchu těla a jeho sezónní výměna, třes svaloviny, redukce evaporace, řízení periferní krevní cirkulace, tepenná výměna tepla, zužování a rozšiřování cév, atd.

Nakonec se ještě podívejme do světa evolučně nižších organismů a ukažme si, které fyziologické či metabolické adaptace jim umožňují žít či dokonce prosperovat v extrémních arktických podmínkách. Zaměřme se na adaptaci – aklimatizaci na nízkou teplotu, i když faktor nízké teploty působí v komplexu s ostatními ekologickými faktory prostředí. Je to však faktor, který má klíčovou úlohu nejenom v arktické oblasti, ale asi na 70% povrchu naší planety, kde klesají sezónně teploty pod bod mrazu.

V dlouhodobě teplotně stabilním prostředí polárních oceánů, moří a některých sladkovodních jezer měly organismy dostatek času k tomu, aby se adaptovaly na život v nízkých teplotách nebo dokonce v teplotách blížících se bodu mrazu. Organismy žijící v nízkých teplotně stabilních podmínkách nazýváme stenotermní nebo psychofilní. Výkyvy teplot více než 10°C jsou pro ně většinou smrtelné a dokonce celá řada z nich vykazuje největší metabolickou aktivitu při teplotách pod bodem mrazu -2 až +3 °C (mořská voda má díky obsahu solí nižší bod mrazu). V terestrickém prostředí, kde organismy neměly dostatek času, aby si vytvořily speciální adaptace k nízké teplotě (zalednění oblasti víceméně přerušilo evoluci), nacházíme naopak organismy s širokou teplotní valencí (euryotermní nebo

mesofilní). Tyto organismy žijí v nízkých teplotách v suboptimálních podmínkách a teplota, při níž vykazují nejvyšší metabolickou aktivitu, často přesahuje teplotu 20 °C.

Uvedme příklad fyziologické reakce sinic a řas na nízkou teplotu. Sinice a řasy jsou častými a mnohdy jedinými producenty organické hmoty v extrémně chladných podmínkách:

- Poměr výkonu fotosyntézy a respirace se s klesající teplotou mění. S klesající teplotou rychleji klesá respirační aktivita než fotosyntéza. To vede k pozitivní bilanci v akumulaci organického uhlíku.
- Současně se zvyšuje aktivita RUBISCO enzymu a ostatních enzymů Calvinova cyklu. Tento proces doprovází zvyšování koncentrace fotosyntetických pigmentů. Následně se zvyšuje biomasa jednotlivých buněk, a to především v obsahu buněčných bílkovin a tuků.
- Mění se složení a následně propustnost buněčných membrán. Zvyšuje se zastoupení nenasyčených mastných kyselin, zkracuje se jejich délka a mění se složení fosfolipidů a sterolů buněčných membrán. To všechno vede k větší propustnosti membrán a ke snadnější výměně látek mezi vnějším a vnitřním prostředím buňky.

Kromě mikroorganismů byla adaptace na nízké teploty nebo na teploty pod bodem mrazu studována na celé řadě mořských živočichů, především u ryb. Bylo například zjištěno, že ryby žijící v podmínkách polárních oceánů a moří jsou schopny obohacovat své tělní tekutiny látkami, které působí jako nemrznoucí směsi a zabraňují vzniku krystalů ledu v těle studenokrevných obratlovců (glykoproteiny, polyhydrické alkoholy).

Poznatky o fyziologických adaptacích na nízkou teplotu se úspěšně využívají v komerční sféře, například při přípravě speciálních pracích přípravků použitelných ve studené vodě, které využívají principy enzymatických štěpných reakcí popsaných u mikroorganismů z polárních oblastí, nebo ke genetickým manipulacím chovu ryb. Implantace genů zodpovědných za rezistenci vůči nízkým teplotám a vymrzání se stává běžně využívanou metodou.