

M. I. Budyko: Zmeny klímy. Gidrometeoizdat, Leningrad 1974.

Faktory zmeny klímy

Príčiny zmien klímy rozdelíme na dve skupiny. K prvej patria také vonkajšie faktory, ktoré majú bezpochyby vplyv na klímu, hoci názory o miere tohto vplyvu a jeho charaktere sa rôznia. K druhej skupine patria faktory, ktorých vplyv na klímu sa javí ako možný, ale nie nevyhnutný. V súvislosti s tým niektorí autori týmto faktorom priznávajú úlohu pri zmene klímy, zatiaľ čo iní ich odmietajú.

K viacerým faktorom, ktoré patria do prvej skupiny, treba zaradiť zmeny v zložení atmosféry, tvare zemského povrchu a astronomické faktory, ktoré ovplyvňujú sklon zemského povrchu vzhľadom k Slnku.

Zmeny v zložení atmosféry. Na základe najnovších výskumov majú na klímu podstatný vplyv dva meniace sa komponenty, ktoré ovplyvňujú zloženie atmosféry – koncentrácia CO₂ a množstvo aerosólu vznikajúceho v dôsledku vulkanickej aktivity.

Tyndall pred viac ako 200 rokmi dokázal, že zmeny koncentrácie CO₂ môžu viesť k zmenám klímy, pretože atmosférický CO₂ spolu s vodnou parou pohlcujú dlhovlnné žiarenie v atmosfére.

V ďalšom období problematika vplyvu atmosférického CO₂ pritiahla pozornosť Arrheniusa a Chamberlina, ktorí predpokladali, že zmeny množstva atmosférického CO₂ mohli byť príčinou štvrtohorných zaľadnení.

Arrhenius vo svojich prácach skúmal pohlcovanie radiačných tokov atmosférou a predložil numerický model na určenie teploty pri zemskom povrchu v závislosti od vlastností atmosféry. Pri aplikácii tohto modelu Arrhenius zistil, že ak sa zvýši 2, 5 až 3 krát množstvo CO₂, zvýši sa teplota vzduchu o 8 až 9 °C, naopak zníženie CO₂ o 35-45 % zníži teplotu o 4 až 5 °C. Keď zobral do úvahy aj geologické výskumy zistil, že množstvo CO₂ v súčasnej atmosfére tvorí len malú časť toho CO₂, ktorý bol v minulosti z atmosféry absorbovaný a spotrebovaný na tvorbu uhlíkových hornín. V súvislosti s tým Arrhenius vyhlásil, že koncentrácia CO₂ sa mohla v atmosfére meniť v širokom rozpätí. Tieto zmeny podľa Arrheniusa ovplyvňovali teplotu vzduchu do takej miery, že mohli zapríčiniť nástup a ústup zaľadnení.

Výskumy Chamberleina boli venované najmä geologickému aspektu tohto problému. Pri skúmaní rovnováhy atmosférického CO₂ si Chamberlein všimol, že uvoľňovanie CO₂

z litosféry sa do značnej miery menilo v závislosti od úrovne vulkanickej aktivity a iných faktorov.

Uvoľňovanie CO₂ pri geologických procesoch sa tiež značne menilo v závislosti od rozlohy povrchu hornín vystavených vplyvu atmosférickej erózie. Pri zväčšení tejto rozlohy uvoľňovanie CO₂ spôsobené týmto procesom zvetrávania vzrastalo.

Chamberlein predpokladal, že zaľadnenia vznikali v dôsledku horotvorných procesov a zdvihnutia kontinentov, čo viedlo k zvýšeniu erozívnej činnosti, zväčšeniu povrchu zvetrávaných hornín a zníženiu koncentrácie CO₂. Na potvrdenie tohto predpokladu Chamberlein realizoval výpočty, na ktoré však nemožno nazerať ako na kvantitatívny model skúmaného procesu.

V ďalšom období bola hypotéza o pôvode CO₂ spochybnená, pretože sa objavil názor, že v pásme, v ktorom CO₂ pohlcuje žiarenie charakterizované vlnovými dĺžkami 13 – 17 mikrometrov, prebieha významné pohlcovanie žiarenia vodnou parou, ktorá znižuje podiel CO₂ na zmeny tepelného režimu.

Keď Callender (1938) zobral do úvahy vplyv tohto efektu dospel k nižším hodnotám zmien prízemnej teploty pri zmenách koncentrácie CO₂ v porovnaní s výsledkami Arrheniusa. Podľa výsledkov Callendera zdvojnásobenie množstva CO₂ zvýši teplotu vzduchu o 2 °C, pričom vplyv zmien koncentrácie CO₂ na teplotu sa znižuje ďalším vzrastom koncentrácie.

V prácach Callendera a ďalších (1938) bol vyslovený predpoklad, že oteplenie klímy v prvej polovici XX. storočia súvisí so zvýšením koncentrácie CO₂ v atmosfére, čo je spôsobené priemyselnou činnosťou človeka.

Hoci Callender poukázal na veľký význam pohlcovania dlhovlnného žiarenia vodnou parou pri adekvátnom zhodnotení vplyvu zmien koncentrácie CO₂ na teplotu, napriek tomu Plass (1956) a Kaplan (1960) realizovali výpočty vplyvu CO₂ na tepelný režim, pričom nebrali do úvahy efekt vodnej pary. Plassove výsledky hovorili o pomerne veľkých zmenách prízemnej teploty (zvýšenie teploty o 3,6 °C pri zdvojnásobení koncentrácie CO₂, zníženie o 3,8 °C pri dvojnásobnom znížení koncentrácie CO₂), čo mu umožnilo vrátiť sa k hypotéze o CO₂, že štvrtohorné zaľadnenia boli vyvolané zmenami koncentrácie CO₂. Pre vytvorenie tejto hypotézy Plass vytvoril koncepciu o autoperiodickom charaktere zmien koncentrácie CO₂ v atmosfére a oceánoch, z ktorej vyplývalo nasledujúce.

Po počiatočnom malom znížení koncentrácie CO₂ v atmosfére sa znižuje prízemná teplota, čo spôsobí zvýšenie objemu polárnych ľadovcov. V dôsledku toho sa zníži objem vody v oceánoch, čo vedie k zvýšeniu obsahu CO₂ v atmosfére a ďalšiemu otepleniu. S

nástupom otepľovania sa topia ľady, objem vody v oceánoch sa zväčšuje, množstvo CO₂ v atmosfére sa znižuje a začína sa nová perióda ochladzovania.

Kaplan vo svojej práci vyslovil názor, že vplyv oblačnosti značnou mierou znižuje zmeny prízemnej teploty spôsobené zmenami koncentrácie CO₂, čo je porovnateľné s Plassovým odhadom.

Potreba zahrnúť do výpočtov tepelného režimu atmosféry aj pohlcovanie dlhovlnného žiarenia vodnou parou bola podčiarknutá aj v prácach Kondratjeva a Niiliska (1960) a v práci Möllera (1963). Keď Kondratjev a Niilsk započítali tento efekt dostali značne menšie zmeny prízemnej teploty v porovnaní s výsledkami Plassa a Kaplana..

Möller zdôraznil, že pri zmene teploty vzduchu sa obyčajne mení absolútna vlhkosť, pričom relatívna vlhkosť vzduchu ostáva viac menej konštantná. Zvýšenie absolútnej vlhkosti vzduchu pri zvýšení teploty umocňuje pohlcovanie dlhovlnného žiarenia v atmosfére, čo prispieva k ďalšiemu zvýšeniu teploty. Möller zistil, že ak sa zvýši koncentrácia CO₂ pri konštantnej absolútnej vlhkosti, sa prízemná teplota zvýši o 1,5 °C, pričom pri konštantnej relatívnej vlhkosti táto hodnota niekoľkokrát vzrastie. Zároveň si Möller všimol, že vplyv CO₂ na tepelný režim môže byť kompenzovaný relatívne malými zmenami absolútnej vlhkosti vzduchu alebo oblačnosti.

Detailný výskum závislosti teploty vzduchu od koncentrácie CO₂ uskutočnili Manabe a Wetherald (1967). Ich práca upozornila na nepresnosti výpočtov Möllera, ktorý vyčíslil zmeny tepelného režimu atmosféry iba na základe údajov o tepelnej bilancii zemského povrchu neberúc do úvahy tepelnú bilanciu celej atmosféry.

Manabe a Wetherald počítali vertikálne rozloženie teploty v atmosfére, pričom brali do úvahy pohlcovanie dlhovlnného žiarenia vodnou parou, CO₂ a ozónom. Vo výpočte bolo použité vertikálne rozloženie relatívnej vlhkosti vzduchu zadanej podľa empirických údajov. Predpokladalo sa, že rozloženie teploty závisí od podmienok lokálnej radiačnej rovnováhy, ak vertikálny gradient teploty neprevyšuje 6,5 °C na 1 km. Bolo poukázané na to, že význam teplotného gradientu je maximálny pri ohraničujúcom vplyve konvektívnych procesov na rast teplotného gradientu.

Manabe a Wetherald zistili, že pri priemernej oblačnosti zdvojnásobenie koncentrácie CO₂ pri konštantnej relatívnej vlhkosti vzduchu zväčší povrchovú teplotu o 4,4 °C. Dvojnásobné zníženie existujúcej koncentrácie zníži teplotu vzduchu o 2,3 °C.

V ďalších prácach Manabe urobil výpočty vplyvu zmeny koncentrácie CO₂ na teplotu vzduchu v rôznych zemepisných šírkach. Pri použití trojrozmerného modelu všeobecnej cirkulácie atmosféry Manabe zistil, že zvýšenie teploty vo vysokých zemepisných šírkach

spôsobenej zvýšením koncentrácie CO₂ približne dvakrát prevyšuje zvýšenie priemernej globálnej teploty (Inadvertent Climate Modification, 1971).

L. R. Rakipovová a O.N. Višňjakovová (1973) vypočítali zmeny teploty vzduchu v rôznych zemepisných šírkach pre veľký interval koncentrácie CO₂. V tejto práci bol použitý dvojrozmerný model termického režimu atmosféry, ktorý zahŕňal radiačné toky tepla, prírastok a úbytok tepla pri kondenzácii a výpare, makroturbulentné procesy výmeny tepla v zemskej atmosfére a výmena tepla medzi povrchom oceána a jeho hlbšími vrstvami. Pri výpočte radiačných tokov zobrali do úvahy vodnú paru a ozón.

L. R. Rakipovová a O.N. Višňjakovová počítali zmeny teploty vzduchu v rôznych zemepisných šírkach a výškach v závislosti od koncentrácie CO₂ od nuly po hodnotu, ktorá päťkrát prekračovala jej súčasnú hodnotu. Výpočty boli realizované pre chladný aj teplý polrok v podmienkach bezoblačnej atmosféry a pre priemernú oblačnosť. Vplyv oblačnosti na závislosť teploty vzduchu od koncentrácie CO₂ sa ukázal ako relatívne malý. Rozdelenie tejto závislosti pre teplý a chladný polrok sa tiež ukázalo pomerne malé.

Treba poznamenať, že L. R. Rakipovová a O.N. Višňjakovová na rozdiel od Manabeho a Wetheralda predpokladali, že pri zmenách koncentrácie CO₂ absolútna vlhkosť vzduchu zostáva konštantná. Takýto predpoklad znamená opomenutie efektu zmeny výparu pri zmene prízemnej teploty, čo vedie, ako ukázali Manabe s Wetheraldom, k istému zmenšeniu zmien teploty vzduchu spôsobených zmenami koncentrácie CO₂.

Všetky spomenuté výskumy vplyvu zmien koncentrácie CO₂ na tepelný režim atmosféry zahŕňajú veľké množstvo zjednodušujúcich predpokladov. Vo väčšine týchto výskumov sa daný problém skúma ako lokálny, bez započítania možných zmien všeobecnej cirkulácie atmosféry ako výsledku zmien teploty vzduchu.

Z tohto hľadiska sú zaujímavé práce Manabeho a L. R. Rakipovovej, O.N. Višňjakovovej, z ktorých vyplýva, že výpočet zmien teploty v rôznych zemepisných šírkach dáva pri všeobecných globálnych podmienkach výsledky, ktoré sa nevelmi odlišujú od výpočtu realizovaného bezprostredne z údajov spriemerovaných pre celú planétu.

Jedným z najdôležitejších zjednodušení, prijatých na začiatku realizovaných výpočtov je závislosť medzi tepelným režimom atmosféry a plochou polárneho ľadového príkrovu. Manabe dospel vo svojich výsledkoch k väčšej zmene teploty vzduchu (hlavne vo vyšších zemepisných šírkach) v závislosti od zmien koncentrácie CO₂ v atmosfére.

Započítanie tohto vplyvu má, samozrejme, značný význam na objasnenie zákonitostí zmien klímy v priebehu poslednej časti tret'ohôr a v čase štvrtohôr.

V súvislosti s otázkou vplyvu zmien obsahu CO₂ na klímu bolo veľa výskumov venovaných možnosti vplyvu koncentrácie atmosférického aerosólu na klimatické podmienky.

Jeden z prvých vedcov, ktorí predpokladali, že zmeny priehľadnosti atmosféry vplyvajú na klímu, bol v 17. storočí B. Franklin.

V neskoršom období P. Sarasin a F. Sarasin predložili hypotézu o tom, že štvrtohorné zaľadnenia možno vysvetliť znížením priehľadnosti atmosféry v období zvýšenej vulkanickej aktivity. Túto hypotézu podporili niektoré nasledujúce výskumy (Fuchs, Patterson, 1947 atď.).

Koncepcia o vplyve vulkanickej činnosti na zmeny klímy bola Humphreysom (1913, 1929) najpodrobnejšie rozpracovaná v prvej polovici 20. storočia.

Humphreys zdôraznil, že po vulkanických erupciách vznikajú v stratosfére oblaky častíc, o ktorých predpokladal, že pozostávajú z vulkanického prachu. Zhodnotil vplyv týchto častíc na režim slnečnej radiácie a prišiel k záveru, že môžu značne zoslabiť tok krátkovlnného žiarenia smerujúceho na zemský povrch, pričom takmer nemenia dlhovlnné žiarenie, ktoré je vyžarované do vesmírneho priestoru. Množstvo častíc, ktoré sa dostali do ovzdušia na severnej pologuli po výbuchu sopky Katmaj v roku 1912 by podľa výpočtov Humphreysa postačovalo na zníženie priemernej prízemnej teploty o niekoľko stupňov za podmienky, že by sa tieto častice nachádzali dostatočne dlho v atmosfére. Z výsledkov pozorovaní Humphreys zistil, že po veľkých vulkanických výbuchoch skutočne prišlo k zníženiu priemernej teploty vzduchu o niekoľko desiatín stupňa Celzia na veľkých územiach.

Túto relatívne malú zmenu teploty po erupcii možno podľa názoru Humphreysa vysvetliť tým, že častice vulkanického prachu sa v atmosfére nachádzajú v obmedzenom čase.

Nasledovne boli názory Humphreysa podporené a rozvinuté Wexlerom (1953, 1956), ktorý predpokladal, že najjemnejší prach môže zotrvať v stratosfére priebehu viacerých rokov po vulkanickej erupcii.

Podľa názoru Wexlera oteplenie v 20 až 30-tych rokoch možno vysvetliť postupným zbavovaním sa atmosféry vulkanického prachu, ktorý sa tam dostal po niekoľkých veľkých explóziách začiatkom dvadsiateho storočia.

Podstatný vplyv vulkanickej činnosti na klímu pripisoval Brooks (1950), ktorý na základe údajov o vyvretých vulkanických horninách zostavil prehľad intenzity vulkanickej činnosti od začiatku paleozoika do súčasnosti. Brooks predpokladal, že zosilnenie vulkanickej činnosti bolo jedným z faktorov, ktoré spôsobili rozšírenie kontinentálneho zaľadnenia.

Z najnovších výskumov venovaných vplyvu vulkanickej činnosti na klímu je treba spomenúť prácu Lamba (1970) obsahujúcu prehľad vulkanických erupcií od roku 1500, ktoré podstatne znížili priepustnosť atmosféry pre krátkovlnné žiarenie. Lamb, podobne ako Humphreys a Wexler predpokladal, že vulkanické erupcie sú jedným zo základných faktorov súčasných klimatických zmien.

Otázky vplyvu vulkanickej aktivity na klímu bola skúmaná v prácach Budyka (1972, 1969), závery ktorých sú popísané v nasledujúcom texte.

Z ruského originálu Faktory izmenija klimata preložili Jana Matejovičová a Pavel Matejovič.

Poznámka:

Prezentovaný text je pracovnou verziou, v preklade pokračujeme.