

## Umelé zásahy do atmosférických procesov (Aktívne ovplyvňovanie počasia)

*F. Šamaj: Anthropogenic Intervention to the Atmospheric Processes (Active Manipulation of the Climate). Život. Prostr., Vol. 34., No. 2, 93–97, 2000.*

The mankind has been attempting to influence climate for centuries. The period after the 2nd World War has brought the first successes and man's interventions to climate have acquired a new dimension. Actually the possibilities to regulate, but above all to increase, precipitation are studied. There has been managed agricultural crops protection against hailstorms and spring frosts, dispersion of clouds and mist on frequent airports. The effort is taken also to eliminate catastrophic consequences of the tropic cyclones (hurricanes). The same attention is focused to the maintenance of balance in ozonosphere and ionosphere to prevent possible negative impacts on processes in the troposphere.

Po stáročia sa ľudia snažili zasahovať do počasia s cieľom obmedziť jeho extrémne a škodlivé prejavy, obvykle bez úspechu. Ak sa úspech dostavil, bol zväčša náhodný, bez súvisu s týmto ľudským snažením. Prostriedkom na dosiahnutie cieľa boli rituálne tance, modlitby, procesie, mágia a pod. V 17.–18. storočí sa ako ochrana pred búrkou (bleskom) v strednej Európe používalo zvonenie. Pre väčší počet bleskov zasiahnutých zvonárov cisár Jozef II. zakázal v Rakúsku jedným z tisícov svojich dekrétov (patentov) r. 1783 neúčelné zvonenie proti búrkam a krupobitiu. Po jeho smrti boli tieto nariadenia zrušené a so zvonením pri búrkach sa pokračovalo ešte aj v prvej polovici 20. storočia. V 19. storočí sa v južnom Francúzku začalo so strieľaním z diel do búrkovej oblačnosti s cieľom ochrániť vinice pred krupobitím. Táto metóda bola po 2. svetovej vojne fyzikálne rozpracovaná a používa sa dodnes.

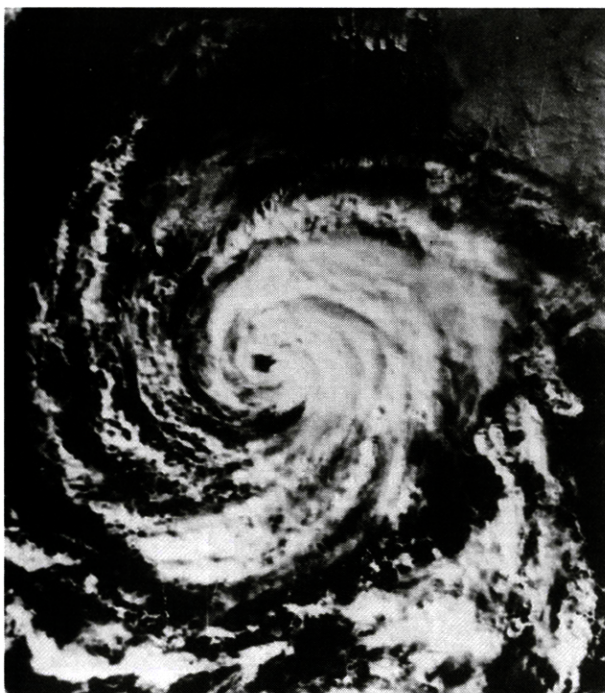
Praktickejším prístupom k zmierneniu sucha v strednej Európe v 19. storočí bolo vysádzanie vetrolamov a zavlažovanie plodín z budovaných vodných nádrží. Takú ochranu pred suchom rozvinuli najmä v 20.–30. rokoch v bývalom Sovietskom zväze v programe známom ako *Stalinský plán pretvorenia prírody*, ktorého realizácia v dôsledku hospodárskych problémov a vojnových udalostí nebola ukončená, a tak nepriniesol očakávané výsledky.

Okrem náboženských a vedecky motivovaných pokusov o ovplyvňovanie prvkov počasia, bol tu aj rad podvodov. Napríklad Ch. Hatfield r. 1915, počas obdobia sucha v San Diegu (USA), v oprávnenej domnienke, že dažde sa musia vyskytnúť v krátkej dobe, pristúpil na

dohovor, že za 10 000 dolárov privolá dážď (príbeh je stvárnený v divadelnej hre a filme "Obchodník s dažďom"). Skutočne, onedlho nastali prudké lejaky, ktoré spôsobili zničujúce povodne. Peniaze nedostal, naopak, boli proti nemu vznesené obvinenia s požiadavkou na náhradu škody. Podobný, ale opačný prípad sa stal aj u nás. V suchom povojnovom roku 1947, keď bezdažďové obdobie v strednej Európe trvalo od apríla do augusta, jeden podnikavec z okolia Bratislavy si vyhotovil potvrdenie o schopnosti vyvolávať dážď a začal s ním obchodovať. Od viacerých veľkostatkárov za prísľub dažďa vyinkasoval pomerne vysoké sumy, dážď však neprišiel, a rovnako ako jeho kolega zo San Diega skončil pred súdnym tribunálom.

O cieľných a fyzikálne opodstatnených zásahoch do atmosférických procesov sa uvažovalo počas 2. svetovej vojny. Napríklad Nemecko malo záujem o vyvinutie metódy na porušenie ozonoféry, a tým, prostredníctvom zvýšenia intenzity krátkovlnného žiarenia, o zahubenie ľudstva na značnej časti zeme. Našťastie, tieto úvahy zostali iba v teoretickej rovine. Vo Veľkej Británii, ktorá viedla sústavné letecké operácie proti priemyselným a vojenským objektom v Nemecku a na území jeho spojencov, venovali pozornosť najmä výskumu rozptyľovania hmiel na domácich letiskách, ktoré komplikovali ich operačné plány. Na rozpúšťanie hmiel používali benzínové horáky, čo nepochybne umožnilo zachrániť tisíce spojeneckých letcov.

Veľký prielom v ovplyvňovaní počasia však nastal až po skončení 2. svetovej vojny, keď americký vedec V.



1. Pohľad na tropický cyklón (hurikán) z meteorologickej družice

2. Rádiolokačné pracovisko SHMÚ na Malom Javorníku pri Bratislave



Schaefer objavil, že infikácia oblakov drobnými kryštálkami suchého ľadu vyvoláva atmosférické zrážky, resp. spôsobuje nárast intenzity ich tvorby. Suchý ľad má veľmi nízku teplotu ( $-78\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) a pri rozptýlení do oblakov viaže na seba vodnú paru, vytvárajú sa vodné kvapky, kým nenarastú do takej veľkosti, aby vplyvom gravitácie začali padať na zem ako dážď alebo sneh. O niečo neskôr ďalší Američan, B. Vonnegut, zistil, že podobné vlastnosti majú kryštálky jodidu strieborného (aj jodidu olovnatého). Sú ideálnymi kondenzačnými jadrami, vhodnými na infikáciu oblakov (sú lacnejšie a ľahšie nimi možno manipulovať). Zdá sa, že aj tento objav bol prvýkrát prakticky využitý (zneužitý) na vojnové účely. Svojho času bolo v OSN vznesené podozrenie, že Spojené štáty americké uskutočňovali infikáciu monzúnových systémov oblačnosti vo vietnamskej vojne. Ich krátkodobým cieľom bolo zaplaviť Ho-Či-Minovu cestu, dlhodobým narušiť hospodárstvo Vietnamu (spôsobíť povodne na pobreží, zničiť hrádzový systém a vyvolať sucho vo vnútrozemí). Tieto obvinenia prerokúval aj senátny výbor Kongresu USA a svetová tlač prinášala články o vedení tzv. "meteorologickej vojny".

Po 2. svetovej vojne, v r. 1947, bol pripravený pokus o ovplyvňovanie veľkopriestorového atmosférického javu, nazvaný "Cirrus". Bol zameraný na zoslabenie ničivých účinkov vetra v tropických cyklónoch (hurikánoch) pomocou infikovania systému oblačnosti, ktorý ho vytvára. Výsledky tohto pokusu a rad ďalších potvrdili, že umelými zásahmi do mechanizmu systému tropického cyklónu možno zmeniť smer postupu hurikánu (žiaľ, zatiaľ nie želaným smerom), alebo urýchliť proces jeho vývoja tak, aby zanikol ešte nad oceánom. Hurikány, okrem ničivých účinkov vetra, sú aj nositeľmi vlhky, od ktorej závisí poľnohospodárska produkcia rozsiahlych pobrežných oblastí. Ich zánik nad oceánom znamená nedostatok vlhky pre priľahlé pobrežie, čo predstavuje často väčšie škody, než ich mechanické účinky. Preto sa v súčasnosti kladie dôraz na spresnenie a predĺženie doby predpovedí dráh hurikánov, intenzity ich procesov a pod.

V druhej polovici 20. stor. Svetová meteorologická organizácia (WMO) uskutočnila niekoľko medzinárodných experimentov zameraných na bližšie poznanie fyzikálnych podmienok viacerých globálnych atmosférických procesov (napr. tropický, monzúnový, polárny experiment a ďalšie) a na možnosti ich umelého ovplyvňovania. Zúčastnilo sa na nich aj niekoľko meteorológov z bývalého Československa. K výsledkom, resp. k stavu komerčného ovplyvňovania počasia zorganizovala WMO niekoľko celosvetových konferencií. V súčasnom období aktivity meteorológov zamerané na umelé zásahy do počasia môžeme sledovať vo viacerých oblastiach:

• **Ochrana pred krupobitím** – Najrozšírenejšie sú umelé zásahy do búrkovej oblačnosti (Cumulonimbus) s cieľom predísť ničivým účinkom krupobitia, ktoré sa najčastejšie vyskytuje v kontinentálnom vnútrozemí stredných zemepisných šírok. Jeho výskyt sa znižuje smerom k oceánu, k pólom a čiastočne aj k rovníku.

Pri ochrane pred krupobitím treba poznať mechanizmus tvorenia krúp. Na základe dlhoročných pozorovaní pomocou rádiolokačnej techniky vieme, že krupobitie je tým pravdepodobnejšie, čím je väčší vertikálny rozsah cumulonimbu (Cb), čím je dlhší jeho životný cyklus, čím sú v ňom intenzívnejšie vertikálne pohyby a čím je vyššia teplota pri základni oblaku. Dnes poznáme dostatočne spoľahlivo korelačné vzťahy medzi niektorými parametrami oblaku a jeho dospievania ku štádiu, v ktorom sa tvoria krúpy. Na základe týchto vzťahov bol zostavený rad termodynamických modelov krúповých oblakov s opisom parametrov ich vývoja. Z nich bola odvodená asi desiatka variantov umelého ovplyvňovania Cb na zabránenie vypadávania krúp z neho.

V súčasnosti existuje viacero možností transportu reagentov do búrkového oblaku:

• Aplikáciou chemických (kryštalizujúcich) aktívnych látok:

- rozptyľovaním reagentov z pozemných generátorov,
- vystreľovanie reagentov neriadenými raketami zem-vzduch,
- vystreľovanie reagentov z diel,
- pyrotechnické granáty, resp. rakety zem-zem z lietadiel.

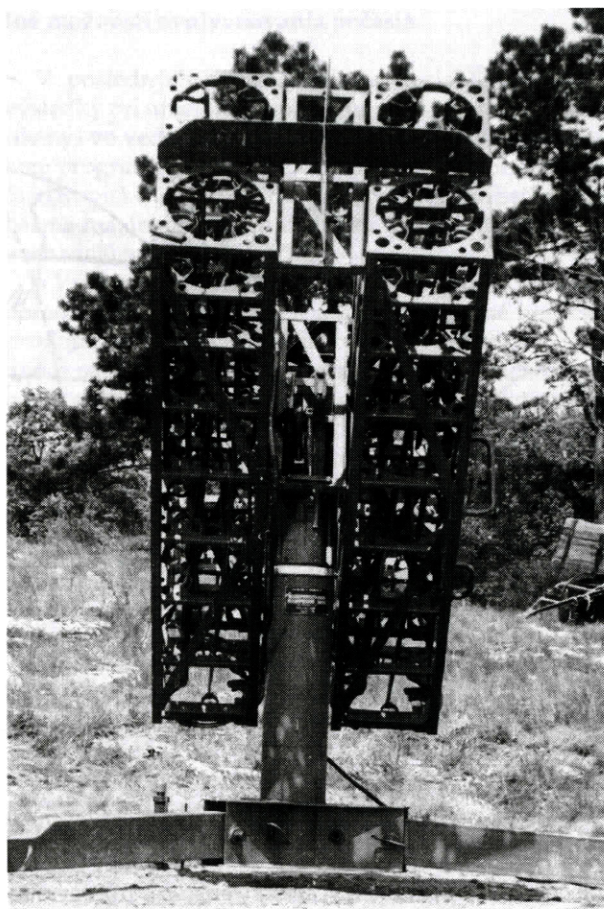
• Aplikáciou mechanických prostriedkov:

- rázové vlny spôsobené delostreleckými salvami,
- siete proti krupobitiu.

Na sledovanie oblačných systémov sa používajú prostriedky aktívnej i pasívnej rádiolokácie, lidary (laserové radary), družicové aparatúry aktívnej a pasívnej rádiolokácie.

Modifikácia krúповých procesov sledujúca zabránenie vzniku krupobitia sa uskutočňuje už vyše 40 rokov v mnohých krajinách. Plochy ochraňované pred krupobitím predstavujú okolo 0,5 mil. km<sup>2</sup> (najmä v USA, krajinách bývalého Sovietskeho zväzu, bývalej Juhoslávie, Talianska a Francúzska). Na základe výsledkov sa ukazuje, že škody spôsobené krupobitím boli takto znížené v priemere na štvrtinu.

Vzhľadom na geografickú členitosť nášho územia sú v jednotlivých oblastiach Slovenska odlišné podmienky na výskyt krupobitia. Realizácia opatrení proti nemu sa považuje za nákladnú, avšak rentabilnú. Na základe škôd, ktoré vyčíslila Slovenská poisťovňa, a. s., sa zdá, že by bolo účelné vybudovať v Podunajskej nížine raketový polygón na ochranu poľnohospodárskych plodín pred krupobitím s pôsobnosťou na ploche asi 200 000 ha. Ochraňovaná plocha by zaberala územie Podunaj-

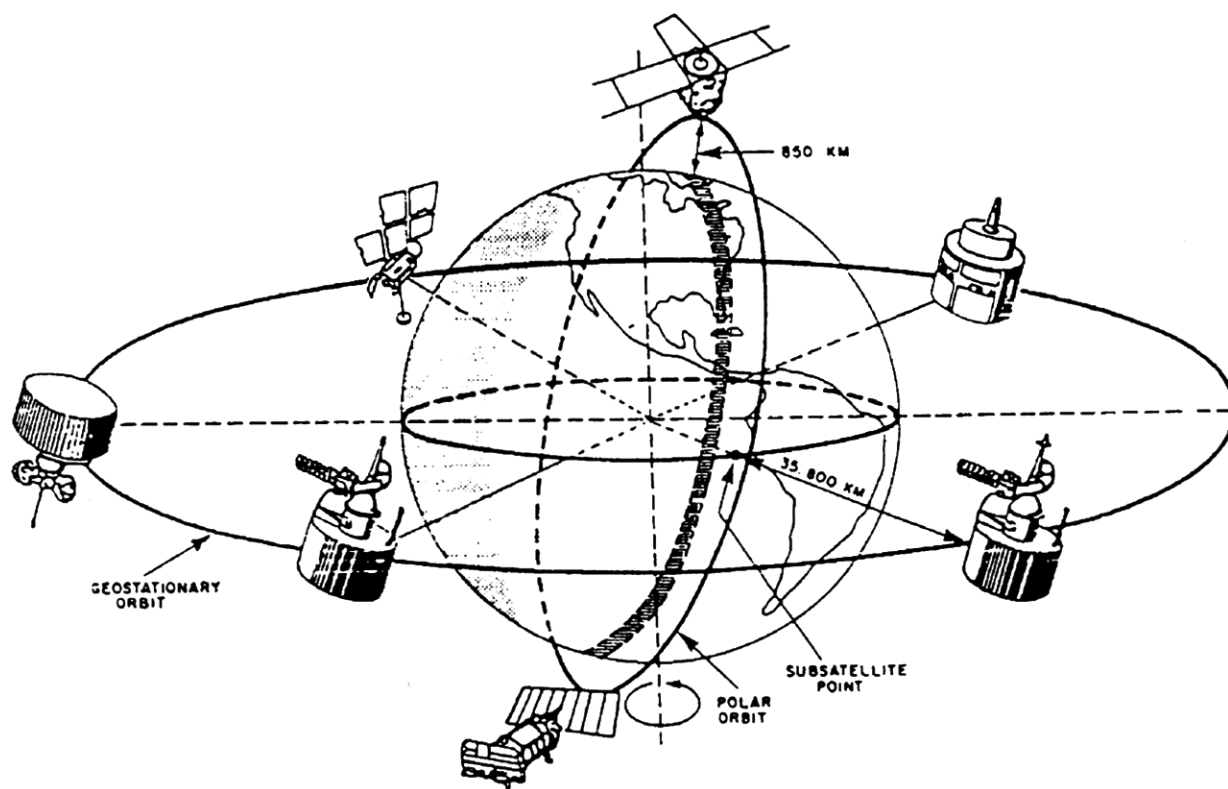


3. Raketomet na vystreľovanie reagentu do búrkovej oblačnosti

skej nížiny, najmä v okresoch Levice, Nové Zámky a Komárno, kde krupobitie spôsobuje najväčšie škody. Funkciu riadiaceho centra by mohlo vykonávať rádiolokačné pracovisko SHMÚ na Malom Javorníku pri Bratislave, ktoré by nepretržite sledovalo vývoj búrkových oblakov, riadilo a kontrolovalo činnosť asi 20 meteorologických raketových základní.

### Zvyšovanie úhrnov kvapalných a pevných atmosférických zrážok

V rámci WMO sa uskutočňujú viaceré projekty umelého regulovania množstva zrážok. Od prvých pokusov o zvýšenie úhrnov (množstva) zrážok infikovaním oblakov prekonala metodika týchto pokusov značný vývoj smerujúci ku komplexnosti meteorologických, technických a matematických zložiek, ktoré sa na experimentoch podieľajú. Na infikovanie vrstevnatej (zimnej)



4. Systém meteorologických (geostacionárnych i obežných) družíc prevádzkovaných WMO v polovici 90. rokov

oblačnosti sa uplatňuje tzv. *statický prístup* – rozšievanie reagentov lietadlami a helikoptérmi – výsledkom je sneženie. V lete sa pri infikovaní kopovitej oblačnosti, uplatňuje tzv. *dynamický prístup* – rakety a delá, výsledkom sú dažde. Na rozhraní subtropického a mierneho pásma sú rozsiahle stepné oblasti, na ktorých sa pre nedostatok vlhky donedávna nerozvinula rozsiahlejšia poľnohospodárska výroba. Ešte pred sto rokmi sa na prériách Texasu a ďalších štátov USA prehánali stáda bizónov, dnes sa tam pestuje pšenica a kukurica. Podobne, v hladových stepiach Kazachstanu sa pásli stáda oviec a koní, kým vtedajší generálny tajomník komunistickej strany Sovietskeho zväzu Nikita Sergejevič Chruščov nevyhlásil program *Rozoranie celín*. Na podporu tohto zámeru sa tu začalo pomocou lietadiel a helikoptér s ovplyvňovaním oblačnosti v zimnom období (obdobne sa to robí na prériách Texasu v USA) s cieľom vyvolať sneženie. Snehová pokrývka v zime ochráni osiate plochy pred holomrazmi, ktoré sú vo vnútrozemí pomerne silné. Na jar potom pri pomalom topení snehu vlhka preniká do pôdy a pomáha rastu siatín. Takýto spôsob modifikácie kolobehu vlhky napomáha zvyšovaniu výnosov a zabezpečeniu ekonomickej efektívnosti celého podujatia. Žiaľ, tak ako výsadba vetrolamov nariadená J. V. Stalinom, ani ro-

zovanie celín nebolo dovedené do konca, a teda nepri-niesli plánovaný efekt.

Množstvo vodnej pary v atmosfére je výsledkom prirodzených procesov. Ak je v ovzduší nízka vlhkosť, umelé zásahy nemôžu viesť ku vzniku zrážok. Ovplynňovaním možno urýchliť alebo spomaliť kondenzáciu vodnej pary a priestorovo regulovať množstvo zrážok.

To znamená, že ak sa umelými zásahmi v niektorej oblasti zvýši množstvo zrážok, nevyhnutne sa musí v inej znížiť. Platí to najmä v jarnom a letnom období, keď sa robia zásahy do kopovitej oblačnosti a zrážky padajú len pod oblačnosťou a nie na celej ploche. Tu problém zasahovania do oblačnosti prestáva byť meteorologickým, a stáva sa celospoločenským.

Napríklad, je suchá jar a vytvoria sa poveternostné podmienky, ktoré umožňujú efektívny umelý zásah do kopovitej oblačnosti s efektom dažďa. Rozhodneme sa takýmto spôsobom zavlažiť Podunajskú nížinu. Rakúsko a Maďarsko budú na medzinárodných fórach právom protestovať, že ich okrádame o rovnako potrebnú vlhku, preto takýmto zásahom musia predchádzať medzinárodné dohovory. Obávam sa, že napriek vzniku zjednotenej Európy k takýmto dohovorom a praktické-

mu uplatňovaniu zásahov do oblačnosti v Európe tak skoro nepríde.

### Rozptyľovanie hmieľ

V súčasnom období sa na desiatkach veľkých letísk intervaly štartov a pristávaní lietadiel pohybujú v rozmedzí 15–20 s, preto tam existujú účinné zariadenia, ktorými je možné rozptyľovať hmly a dosiahnuť normou požadovanú dohľadnosť.

Riešenie problému závislosti lietania od limitov povolených dohľadnosti sa vyvíja dvoma smermi:

- vývoj optických infračervených zariadení, pomocou ktorých možno štartovať a pristávať pri minimálnej dohľadnosti,
- vývoj metód a prostriedkov na rozpúšťanie hmieľ, spresnenie predpovedí ich výskytu, trvania a stanovenia momentu potreby umelých zásahov.

Podľa fyzikálnych podmienok pôvodu a hrúbky vrstvy hmly možno zasahovať proti nej tepelným prúdom (reaktívne motory) alebo chemickým reagentom (spravidla vrtnútkom). Aj pri pomerne vysokých nákladoch potrebných na rozpúšťanie hmieľ sa ukazuje táto činnosť ako vysoko efektívna.

### Ochrana pred mrazíkmi

Každé počasie, ktoré priamo alebo nepriamo ohrozuje rastliny, nazývame *rizikovým*. Patria sem najmä prízemné mrazy v jarnom období, ktoré môžu spôsobiť veľké škody na úrode, najmä však v ovocinárstve, keď prichádza k zamrznutiu rozkvitnutých sádov. Pri snahe o minimalizovanie vplyvov rizikového počasia sa používajú rôzne nenákladné prostriedky a metódy ochrany (napr. zadymovanie), pretože rizikové počasie sa vyskytuje sporadicky a trvá len niekoľko hodín. Pri zásahoch prakticky nejde o ovplyvňovanie počasia, ale o zmenu stavu teplotného zvrstvenia prízemnej časti atmosféry (mikroklimy) obmedzenej oblasti.

Zadymovaním sa vytvára ochranná vrstva dymu nad inverziou postihnutým sádov, ktorá redukuje tepelnú stratu z vyžarovania a posilňuje konvektívny prúd. Tento premiešava spodnú studenú vrstvu s teplejšou, ktorá sa nachádza nad ňou. Prínosom tejto metódy je kombinácia retardácie straty radiačného tepla a získavanie tepla z inverzne zvrstvenej prízemnej vrstvy vzduchu. Moderné metódy, ako napr. *duplexný kombinovaný horák* sú schopné vytvárať tento efekt s väčšou intenzitou a pri menšom množstve dymu.

Podľa druhov ochraňovaných plodín a intenzity prízemných mrazov sa používajú rozličné metódy a zariadenia na ich ochranu. Pri všetkých ide o narušenie stability (teplotnej inverzie) prízemnej vrstvy atmosféry.

### Iné možnosti ovplyvňovania počasia

V posledných desaťročiach sa dosiahli zaujímavé výsledky pri umelom pôsobení na tropické cyklóny (hurikány) vo vedeckom a experimentálnom meteorologickom programe USA. Napr. dodanie tepla do prstencovej časti tropického cyklónu dotýkajúcej sa vonkajšej hranice pásma maximálnych nárazov vetra, ktoré pri týchto javoch majú najničivejšie účinky.

- Vývoj a aplikácia meteotrónov – zariadení, ktoré sú pomocou turboreaktívnych motorov schopné horúcim prúdom vzduchu narušovať hrubé vrstvy inverzie vyskytujúcej sa v zimných obdobiach v anticyklónach (napr. nad strednou Áziou), spôsobujúcich vysoké koncentrácie znečistenia v priemyselných aglomerátoch.

- Vyvolanie zostupných pohybov v konvektívnych oblakoch, ktoré tu spôsobujú vyparovanie oblačných častíc, a tým čiastočný alebo úplný rozpad oblaku. Výsledky týchto experimentov podporujú perspektívne možnosti účinnej ochrany pred povodňami.

Na modifikáciu počasia v budúcnosti sa predpokladá využívanie údajov z meteorologických družíc, rádiolokačných meraní a ich spracovanie pomocou počítačov, kedy, kde a ako zasahovať do atmosférických procesov.

Problematika aktívnych zásahov do poveternostných procesov je dnes samostatným odvetvím meteorológie s rozsiahlym programom medzinárodnej spolupráce. Na univerzitách veľkých štátov sú tejto problematike venované viacsemestrálne špecializované kurzy.

**„Dopustili by sme sa veľkého omylu, keby sme si mysleli, že množstvo vody a vzduchu je neobmedzené. Ľudia, ktorí vyrástli v meste, majú často závideniahodnú, alebo skôr zatrateniahodnú vieru v ľudské schopnosti. Človek vyrobí všetko, keď má dosť peňazí: dokonca vodu a vzduch!**

**Takýto omyl môže ľahko doviest' ľudstvo ku skaze...  
...Najhoršie na celej veci je prežívanie názoru, že človek a príroda stoja na opačných póloch. Väčšina ľudí sa mylne domnieva, že človek môže žiť aj vtedy, keď z prírody nič nezostane. V tom vidím hlavný problém.“**

**Konrad Lorenz  
(Zachraňme budúci)**