

Ivan Gams

## Nekaj novejših razlag planetarne zračne cirkulacije

Napredek tehnike in aerologije tik pred zadnjo svetovno vojno, med njo in zlasti po njej, je bistveno spremenil in dopolnil staro in ustaljeno shemo planetarne zračne cirkulacije, kakršna je v osnovi nastala in se zlasti po zaslugi Hadleya ustalila konec 18. in v 19. stol. Zato je zadnja leta v tujih geografskih revijah izšla vrsta člankov o teh spremembah, ki so jih prinesle zlasti meritve višje atmosfere. Čeprav bo potrebno še več časa, predno bo nastala na podlagi novih dognanj smiselno tako zaokrožena in lahko umljiva shema cirkulacije kot je bila Hadleyeva, stare vendar ne kaže več nekritično poučevati v šolah. Vkljub temu, da je o nekaterih utemeljitvah in vidikih nove cirkulacijske sheme v tej reviji, v prvi številki l. 1959, že pisal V. Manohin (1), si nove razlage le počasi utirajo pot v slovenske geografske učbenike in preko njih v šole. Med jugoslovanskimi geografskimi učbeniki je v tem pogledu izjemen učbenik klimatologije dr. T. Šegote (2).

V glavnem so nove meritve ovrgle stare predpostavke, da je v zgornjih plasteh atmosfera medsebojno povezana s tokovi od ekvatorialnih širin proti polu. Meridionalne izmenjave zračnih mas je manj in kolikor je je, se vrši znotraj tropske in izventropske zračne gmote. Zato bomo novosti nakazali v zvezi z naslednjimi pasovi zračne cirkulacije.

### 1. TROPSKA ZRAČNA CELICA

Zazvema največji del zemeljskega površja in to približno med 35° s. in j. g.š. V vsem obsegu vladajo v njej, razumljivo, v istih nadmorskih višinah, dokaj enake temperature. V pasu tropske zračne cirkulacije prevladujejo v višinah in v nižinah atmosfere vetrovi vzhodne smeri, v nižinah zato, ker pihajo iz pasu subtropskega visokega zračnega pritiska proti ekvatorju in se zaradi odklonske (Coriolisove) sile odklanjajo na severni polobli v desno, na južni v levo. To so pasati (ang. trades), ki po njih nekateri imenujejo cel pas pasatni sistem. Nove razlage podčrtujejo, da so pasati usmerjeni predvsem k termičnemu ekvatorju. Ta pa se med letom samo na oceanih malo odmika od ekvatorja. Na kontinentih sledi termični ekvator premikanju sonca. V osredju Južne Amerike, v južnem delu Afrike in v Avstra-

liji se med tamkajšnjim poletjem premakne približno do južnega povratnika. Tam ima najtoplejši mesec približno 30°C. V našem poletju se odmakne daleč na sever v Severni Ameriki (julijske temperature 30°), v Sahari še preko povratnika, do okoli 30° s.g.š., pa seže v južni Aziji, kjer je temperatura najtoplejšega meseca do 35°C. Ko se na primer v naši zimi termični ekvator v Avstraliji oddalji od zemeljskega ekvatorja do 23° j.g.š., tečejo proti njemu pasati s severne poloble. Po novem naziranju se tem pasatom, ki jim ob približevanju zemeljskega ekvatorja upade Coriolisova sila in se z oddaljevanjem od ekvatorja na južni poluti spet poveča, vetrovna smer zalomi. Tu je pas nižjega zračnega tlaka in povečanih padavin in ta pas Flohn in drugi imenujejo severna intertropska konvergenca (v bodoče ITK). Med njo in termičnim ekvatorjem dobijo vetrovi vedno bolj smer zahod-vzhod. To je tropski pas zahodnih vetrov, ki pa so šibki. Blizu termičnega ekvatorja se vetrovi tropskega pasa zahodnih vetrov stikajo z jugovzhodnimi pasati južne polute in tu je južna intertropska konvergenca (konvergirati - stekati se) s podobnimi vremenskimi učinki, to je z znižanim tlakom in povečanimi padavinami (glej karto št. I). Za južno ITK trdijo, da ima 3 - 7 krat več padavin kot severna.

Dvojna intertropska konvergenca je razvita na približno 6/10 dolžine ekvatorja, kjer se uveljavlja tudi tropski pas zahodnih vetrov. Za ostali del ekvatorja z enotno ITK, kjer prevladuje ob konvekciji zračnih mas zatišje (kalme), velja stara oznaka. Prevladuje v glavnem nad oceani. Dokaj širok tropski pas zahodnih vetrov pa je med Azijo, Novo Gvinejo in Avstralijo, kjer je v celem le precej kopnega.

Obe ITK s tropskim pasom zahodnih vetrov vred z gibanjem sonca med letom potujeta na sever in jug od zemeljskega ekvatorja. Trajno je v tropskem pasu zahodnih vetrov le manjši del tropikov, ki pa se odlikuje z najvišjimi letnimi padavinami (povirje Amazonke, severno obrobje Gvinejskega zaliva, Kongoška kotlina, Indonezijsko otočje). Glej karto št. II.

Vreme v tropskem pasu zahodnih vetrov smo označevali z



z e n i t n i m d e ž e v j e m . Vendar pomena ne kaže jemati dobesedno, saj pas zenitnega deževja v celtem niha med letom na sever in jug mnogo manj kot sonce in tudi časovno zaostaja za soncem za 1 - 2 meseca. Deževje ni samo termično pogojeno, temveč je tudi posledica baričnih sprememb. Javljajo se zelo plitve barične depresije, ki se premikajo proti zahodu ali proti severozahodu (ang. easterly waves). Te tvorbe se zaradi slabe Coriolosove odklonilne sile kmeleu zapolnijo, so kratkotrajne, neregularnih smeri in jih je še težje napovedovati kot depresije v naših, zmernih širinah.

Kondenzacijski nivo je pri zenitnem deževju nizek, često pod 1 km. Stara trditev, da je ekvatorialni pas pas nizkega zračnega pritiska, drži le za nižjo troposfero. Že v višinah 2 - 3 km v tropih tlak ni nižji kot drugod po svetu. V višji troposferi vladajo v tropski zračni celici vetrovi vzhodne smeri, ki niso posebno močni. Višina, do koder sega vzhodna cirkulacija, proti robu tropov pada, tako da prehaja tam tropska zračna cirkulacija pod višinsko zahodno strujanje, ki je del pasu zahodne zračne cirkulacije zmernih širin. Ker so v robnih tropih prvič merili višinske vetrove, ki so tam dokaj nasprotne smeri kot prizemni pasati, se je rodila predstava o antipasatih, ki naj bi dovajali iz ekvatorialnih širin razgreti zrak, da bi se zaradi povečanega zajezevanja grezali in s tem nadoknadili izgubo zraka, ki nastaja z odtokom mas v pasatih. Nove meritve antipasatov v starem smislu niso potrdile. Ker pa je nujno treba zamišljati, da zračni dotok izravnavna tlak zaradi pasatov, si nove razlage po Flohnu (3) zamišljajo meridionalno izmenjavo v obliki spirale: zračne gmote, ki se ob ekvatorju zaradi segretja dvignejo, preidejo v višinski vzhodnik, ta pa se med meandriranjem greza in prehaja v pasate. (karta I c.). Tako izravnalno strujanje nekateri imenujejo prapasat, ki pa ga drugi izpodbijajo.

Višinski vetrovi dosegajo največje hitrosti v tako imenovanih vetrovnih strženih, za katere se je uveljavila tujka jet-stream ali kratko jet (izg. džet). Nekateri so stalni, drugi obdobjni in ker je sistematičnih merjenj višinskih vetrov še malo, je število vetrovnih strženov v višji troposferi in stratosferi sporno. Vedno na novo odkrivajo nove. Po Bluthgenu (odn. Richterju in Flohnu 4, str. 340) se v tropih javljajo:

1. stratosferski vzhodni jet med 10 in 20° s. in j. g.š. v višini 14 - 17 km in sicer v poletni dobi tiste poloble,
2. jetu podobni visokotropski, t. im. Bersonov zahodnik v višini 20 km. Javlja se domnevno v dveletnih periodah,
3. Krakatavski vzhodni veter v višinah 25 - 30 km, ki je svoj čas raznašal pepel po izbruhu vulkana Krakatau.

Tudi pojem grezanje zračnih mas nekatere nove razlage

omejujejo na gotove nadmorske višine in sicer na plast med stalnimi pasati in višjimi vetrovi nasprotne smeri. V območju subtropskega visokega pritiska odn. konjskih širin poraste na tej meji temperatura povprečno za  $1,15^{\circ}/100m$ , kar imenujejo pasatno inverzijo. Je v višini 1 - 2,5 km in se proti ekvatorju zvišuje. Manjka nad Zahodno Indijo do višin 7 000 m. Kjer piha pasat s toplega kopnega na hladno morje (Jz. Afrika), se zniža in omogoča nastajanje megle.

Celotna tropska cirkulacija potuje za soncem, vendar pri tem časovno in krajevno zaostaja.

## II. PAS ZAHODNE ZRAČNE CIKULACIJE

Od tu so proučitve zgornjih delov atmosfere najstarejše in novejši čas je prinesel manj novosti v razlago cirkulacije kot pri tropih. To je edini pas, kjer imajo vetrovi v glavnem isto smer v vsej višini, le da so v višinah, kjer ni reliefnih ovir, mnogo hitrejši. Ker vladajo zahodni višinski vetrovi vse do polov, mnogi ločijo le dva cirkulacijska sistema, tropsko cirkulacijo in izventropsko cirkulacijo. Tu bo govora o polarni cirkulaciji posebej.

Stik zahodne cirkulacije in tropske celice je področje posebne pažnje moderne klimatologije in meteorologije. Ta stik je v višini 500 mb ploskve med 30 in 40° s.g.š. in je nagnjen, tako da se pas zahodnih vetrov nalega nad tropsko cirkulacijo. Pozimi se na naši polobli ta stik odmakne na 20 - 35° s.g.š. Imenujejo ga *f r o n t a l n a c o n a p l a n e t a r n e c i r k u l a c i j e* in ne poteka premočrtno, temveč je v stalnem vijuganju proti polu in ekvatorju. Ob tej coni so višinski vetrovi - jeti - najhitrejši. Srednje hitrosti so okoli 122 km/h, večje so pozimi in na vzhodni strani kontinentov je njihova hitrost znatno večja. Največje izmerjene hitrosti so nad 600 km/h in zato mora z njimi računati medkontinentalni letalski promet. Višinske vetrove ob frontalni coni so prve odkrili in zato jih še danes često označujejo kar z jeti. V istih nadmorskih višinah ozračja v tej frontalni coni, če gremo od ekvatorja proti polu, hitro pada temperatura in se zvišuje zračni pritisk. Izobarske ploskve ob frontalni coni hitro izgubljajo na višini. Dogajanje v tej frontalni coni je po mnenju moderne meteorologije odločilno za vremensko dogajanje po svetu. Ta cona ima torej vlogo, ki so jo nekoč pripisovali pasu ekvatorialne konvekcije. Višinski vetrovi valovijo v periodah in valovnih dolžinah, ki jim skušajo dognati zakonitost. Če je valovanje zares tako ritmično, kot to povzema Šegota (2), je še sporno. Ob manjši hitrosti je valovanje intenzivnejše. Včasih pa pride v troposferi tudi do blokade zahodne višinske cirkulacije.



To je tedaj, kadar se od severa v višinah razširi proti jugu greben ali klin ali tudi samo kaplja hladnega zraka, ki more povzročiti tudi pri nas, zlasti spomladi, neprijetno dolgotrajno nestalno in hladno vreme, ko se zadnjič spustijo nočne temperature pod 0°C še v drugi dekadi maja (ledeni možje).

Višinske zahodnike proučuje moderna meteorologija tudi zaradi razvoja polj visokih in nizkih zračnih pritiskov, ki potujejo proti vzhodu in ki spremljajo depresije in aticiklone nizke troposfere. Po zakonih gibanja se odvajajo polja visokega zračnega pritiska na severni polobli navzdol v smeri proti jugovzhodu, polja nizkega pritiska pa v smeri proti severovzhodu.

V novejšem času ločijo:

1. jet polarne fronte med 35 in 55° s.g.š. v spodnji in srednji troposferi do 9 km višine,
2. subtropski jet v zgornji troposferi, okoli 12 km visoko, med 25 in 40° s.g.š. Stržena se na vzhodni strani kontinentov često združujeta. Tu je tudi poglobljanje obstoječih in nastajanje novih depresij (ciklogeneza) najintenzivnejše.

Kako je pod vetrovnimi strženi frontalna cona, kjer so strmo nagnjene izoterme in izobarske ploskve, nagnjena proti ekvatorju, prikazuje prerez atmosfere za dne 25. I. 1959 v meridionalni smeri ob vzhodni obali ZDA na karti št. III. Karta je povzeta po Hare Kennethu (6).

Tudi sistem zahodne zračne cirkulacije je podvržen nihanju, ki ga povzroča potovanje sonca med letom. Podobno kot v tropih tudi v pasu zahodne cirkulacije nova merjenja niso potrdila starih hipotez, da bi bili v velikih višinah usmerjeni vetrovi proti polom. Tudi v tem pasu izenačujejo pritiske, ki nastajajo z meridionalnimi vetrovi pri tleh, višinski vetrovi s svojim vijuganjem. Nekateri dopuščajo večje vdore hladnejšega zraka iz pasu zahodne cirkulacije v tropske širine, kjer naj bi povzročali hurricane ali tajfune. Drugi se s tem ne strinjajo in navajajo meritve onesnaženja zraka z radioaktivnimi snovi po eksplozijah neuklearnih bomb. Še dolga leta po njih je bilo onesnaženje omejeno v glavnem na isti pas zračne cirkulacije. Ta ugotovitev ni razveseljiva za primer, če bi prišlo v naših geografskih širinah do nuklearne svetovne vojne. V tem pasu je namreč stacioniranega največ nuklearnega orožja.

### III. POLARNA ZRAČNA CIRKULACIJA

V njej prevladujejo v nižinah hladni arktični vetrovi, ki jih Coriolisova sila odklanja v vzhodno smer (na severni polobli). Tudi v prejšnjem poglavju o pasu zahodne cirkulacije smo govorili v glavnem o severni polobli,

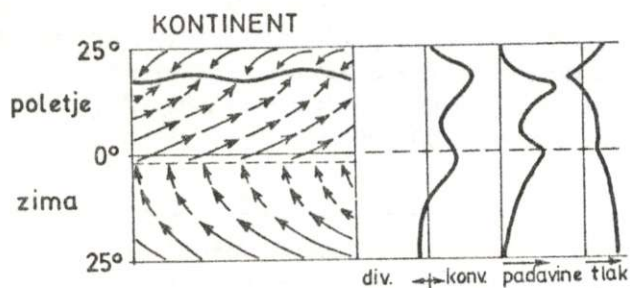
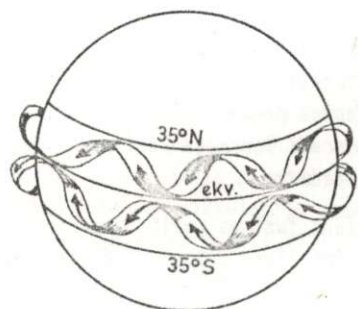
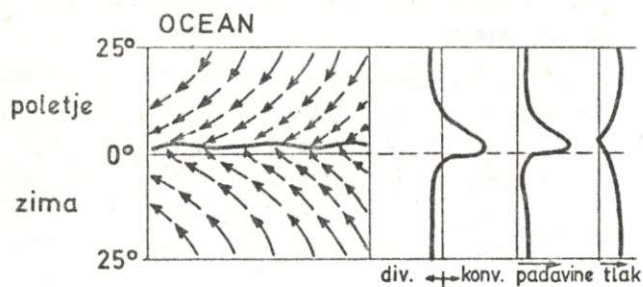
ki je najbolj preučena, čeprav je pas prav tako, odnosno še bolj značilno, razvit na južni poluti, kjer je manj kopnega).

Hladni zrači se razteka iz mrzlega zraka-klobuka na polih. V njem pa je področje visokega zračnega pritiska plitvo. Že v višinah okoli 2 km zračni pritisk ni višji kot drugod po svetu. Center mraza je v Sibiriji, okoli Ojmekona, toda samo v nizki troposferi, v glavnem v dolinah. V višinah je najhladnejše navadno nad Baffinovo zemljo. Po novih ugotovitvah tudi tu ne gre za stabilno področje visokega zračnega pritiska, temveč tudi tu jedra nizkega in visokega pritiska potujejo proti vzhodu. Zaradi hladnega zraka in malenkostne absolutne vlage v njem pa prinašajo depresije seveda mnogo manj padavin kot v zmernih širinah. Antarktično območje se nekoliko razlikuje od arktičnega, kjer je več ledu. Na Antarktiki so močni vzhodni vetrovi predvsem na robu ledenega pokrova. Zaradi kompenzacij tlaka se zračne mase sredi ledenega kontinenta grezajo in zato je tam manj padavin.

V višinah vlada tudi na polih zahodnik, ki ima večje hitrosti v zimi tiste polute. Tako imenovani polarni nočni stratosferski jet pa se javlja samo v času polarne noči. Deloma je označen tudi na karti št. IV za 25. I. 1956.

Dogajanje na stiku hladnih vzhodnih vetrov z zahodno cirkulacijo, to je ob arktični fronti ali ob polarni fronti (pri tem je polarna bolj oddaljena od pola kot arktična) odnosno v pasu nizkega zračnega pritiska, je znano že dalj časa in v moderni klimatologiji ni doživel bistvenih, za geografijo važnih sprememb. Če upoštevamo te in obravnavane pasove zračne cirkulacije, dobimo naslednjo tabelo o deležih zemeljskega površja, ki ga zavzemajo (po Blüthgenu odn. Gentilliju ter Flohnu):

Cirkulacijski pas	Zemeljska širina		Površina zemlje v %	
	severna	južna poluta	severna	južna poluta
Polarni vzhodni vetrovi	90-70	70-90	4,9	5,6
Subpolarna konvergenca-pas nizkega tlaka	70-55	55-70	7,9	15,9
Zahodni vetrovni sistem	55-45	35-55	7,9	15,9
Subtropska divergenca	35-25	20-35	7,2	12,3
Tropski vzhodnik	25-10	5-20	13,2	22,4
Intertropska konvergenca	10 s.g.š. do 5 j.g.š.		10,5	-



Intertropska konvergencia je omejena na severno poluto, ker je ta zaradi obsežnejšega kopnega toplejša.

Sedanje intenzivno proučevanje zgornjih delov atmosfere prinaša vedno nova dopolnila k razumevanju zračne cirkulacije in vremensko dogajanje, ki išče vzroke v vedno večjih višinah. V končni konsekvenci se razlaga tako vedno bolj odmika klimageografiji in prehaja v domeno fizike atmosfere aerologije. Toda njen razvoj moramo geografi s svojega zornega kota spremljati, če hočemo znanstveno pojasnjevati klimatološke pojave pri tleh.

Opomba: Ta članek nudi skrajšano in z mnogo manj ilustracijami podano snov, o kateri je pisec predaval na seminarju slovenskih geografov januarja 1969 v Ljubljani. Vprašanje monsunov bo načeto v prihodnji številki 60.

#### Poglavitna literatura

1. Manohin V., Nova shema svetovne cirkulacije zraka. Geografski obzornik, III, 1956, št. 1
2. Šegota T., Fizička geografija I - Klimatologija. Zagreb 1963
3. Flohn, H., Zur Didaktik der allgemeinen Zirkulation der Atmosphäre. I. Geographische Rundschau, 12. Jg., No 4, april 1960. II. - NO.5, maj 1960. Braunschweig.
4. Bluthgen, J., Allgemeine Klimageographie. Lehrbuch der Allgemeinen Geographie. Berlin 1964
5. Hromov, S.P., K didaktike voprosov obščej cirkulaciji atmosferi. Vestnik Moksovskogo univerziteteta. Geografija, 6, 1968
6. Hare Kenneth F., The westerlies. Geographical Review. July 1960. New York.



Julij

