

zřetel na celou složitost reálných podmínek. Avšak theoretické výsledky, kterých bylo — za různých zjednodušených předpokladů — dosud již dosaženo (zvláště V. Bjerknesem a H. Solbergem, 1921, 1922, 1928, 1933), mají velmi důležitý význam a usnadňují značnou měrou chápání skutečně se odehrávajících jevů.

## LITERATURA.

Theorie frontálních větrů v nejnižším tvaru, se zřetelom na nejnovější výskumy, viz:

V. Bjerknes, J. Bjerknes, H. Solberg, T. Bergeron. *Fysikalische Hydrodynamik mit Anwendung auf die dynamische Meteorologie*, Berlin 1933.

Populárnější výklad, vztahující se v podstatě na synoptickou stránku otázky, viz Bergeron: *„Trojrozměrné-skutečný synoptický vzhled“*, díl I., II 36 a 48, 1934.

Viz také:

H. Ludloff. *Stabilität der Zyklonswellen*. *Ann. Phys.* 8, 1933, 615.

## § 66. Vývoj frontální cyklony.

I. Vína vzniklá na hlavní frontě může být dynamicky stabilní nebo dynamicky vrátká. V prvním případě se vína přemísťuje podél fronty bez podstatného zvětšení své amplitudy nebo, což je totéž, bez podstatné změny „profilu“ (a bez podstatného prohloubení deprese v barickém poli) a konečně zaniká. Fronta se znovu „vzpřimuje“ a její poloha se následkem celého děje podstatně nemění. Takové dynamicko-stabilní víny se vyskytují zvláště na arktických frontách.

V druhém případě se přemísťuje vína podél fronty s postupným zvětšením své amplitudy (a s prohloubením barické deprese). Fronta vychýlená vínou z původního stavu rovnováhy se již k ní nevrací a voduchové hmoty v oblasti vyvinující se poruchy se značně přemísťují. Nyní pojednáme podrobně o rázu tohoto děje.

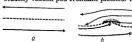
Na obr. 162 je znázorněno schéma „životního běhu“ cyklony, sestavené na základě synoptické zkušenosti bergenské školy J. Bjerknesem a Solbergem r. 1922. Na obr. 162 a je znázorněna tečkovaně stacionární hlavní fronta, ležící mezi východním studeným a západním teplým prouděním (proudnice v teplém vzduchu jsou na všech obrázcích znázorněny dvojitými čarami). Na dalším obrázku b vidíme vínu právě vzniklou na frontě. Její vznik již poněkud porušuje jednoduchý obraz dvou přímočarých proudění. Objevil se také pruh srážek v přední části víny, kde fronta nabyla rázu fronty teplé.

Je-li vína stabilní, končí také na tomto stadiu b její vývoj. Je-li však vína vrátká, její amplituda (směrem od severu k jihu) stále vzrůstá a v dalším stadiu c vidíme pak již t. zv. „mládkou cyklony“ nebo „vlnovou cyklonu“ s dobře vyjádřeným teplým sektorem. Vrchol, t. j. nejsevernější bod tohoto teplého sektoru, se „vytahuje“ stále více k severu; barická deprese se středem u vrcholu teplého jazyku stále více se prohlubuje (viz níže). Teplé proudění uvnitř teplého sektoru nabývá již jihozápadního směru. Studený vzduch ustupuje v přední části víny a uvolňuje místo teplému vzduchu; úsek hlavní fronty je zde typicky vyjádřenou teplotou frontou.

Rozdělení rychlosti ve vdušných prouděních v oblasti postupující víny je toho rázu, že teplý vzduch v přední části víny má větší složku rychlosti, kolmou na frontu, než studený vzduch. Proto je teplá fronta v přední části cyklony plochou vstupného klouzání (anafontou) a má

široký pruh předfrontálních srážek (viz obr. 180 v horizontálním a vertikálním průřezu).

Naproti tomu proniká studený vzduch v tlůu vlny stále dále směrem na jihovýchod, téměř kolmo na frontu, teplý vzduch pak plyne od fronty. Hlavní fronta má zde ráz studené fronty. Při tom se pohybuje teplý vzduch nad plochou studené fronty obyčejně k východu rychleji než studený vzduch pod frontální plochou. Proto má studená fronta ve vnitřní

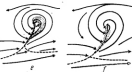


části vyvíjející se cyklony zpravidla jen úzký pruh srážek, t. j. je studenou frontou druhého druhu.

Vidíme, že teplá a studená fronta jsou v cykloně *c* nepřetržitě spojeny. Jsou to jen dva úseky vlnovité prohnutého povrchu hlavní fronty, na kterém se cyklona vyvíjí. Rázu teplé fronty nabývá hlavní fronta v přední části vyvíjející se poruchy, rázu studené fronty v zadní.



V době, kdy cyklona nabyla vzhledu stadia *c*, je tlak ve středu její barické deprese již asi o 10 milibarů nižší, než byl na začátku vývoje. Mechanismus vypuzování vzduchu z oblasti vyvíjející se poruchy je v činnosti.



Vidíme, že se při vzrůstu amplitudy poruchy přemisťuje vrchol teplého sektoru podél fronty a současně proniká stále dále k severu. Ale barický střed cyklony, jak již bylo řečeno, se shoduje s vrcholem teplého sektoru. Proto směřuje pohyb cyklonálního středu již nikoli přímo na východ, nýbrž s určitou složkou směřující k severu. Synoptická zkušenost ukazuje, že mladá cyklona v stadiu *c* postupuje ve směru proudění (isobar)<sup>1)</sup> v svém teplém sektoru.

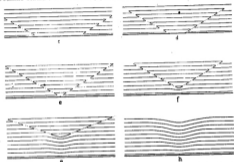
Obr. 182. Vývojce cyklony podle J. Bjerknera a Solberga, 1932.

původní vlny, poněvadž vlnového čtenu rychlosti ubývá. Porucha ztrácí již pozvolna své původní vlastnosti vlny; je na cestě státi se vírem. Barická deprese v oblasti poruchy se stále prohlubuje a rozšiřuje se na vyšší vrstvy troposféry.

<sup>1)</sup> Protože se směr isobar shoduje se všeobecným směrem proudění nad hladinou moře.

Stadium c ve vývoji cyklony bylo objeveno J. Bjerknesem 15. srpna 1918. Roku 1919 uveřejnil J. Bjerknes její popis pod názvem *sideální* cyklony.

Původně J. Bjerknes předpokládal, že všechny cyklony jsou vždy sestaveny právě podle tohoto typu, že schéma *sideální* cyklony je všeobecným schématem, kterého lze použít v každém okamžiku pro každou cyklonu. Praxe však brzy ukázala, že struktura podle schématu c je jen krátkodobým a přechodným zjevem ve vývoji cyklony. Stadium c netrvá obyčejně déle než 24 hodin. Je-li však vlna vrátná a přešla-li z původního stadia b do stadia c, její evoluce se pak na tom nezastavuje. Sou-



Obr. 163. Schematický vertikální průřez cyklony v stadiích jejího vývoje jak jsou za sebou (podle Bjerknesa a Solberga, 1922).

časné s dalším vzrůstem amplitudy (a s pronikáním vrcholu teplého sektoru stále dále k severu) se teplý sektor cyklony zužuje. Vše je to, že se studený vzduch v týlu cyklony, vyvedený z původní stabilní situace, rozšiřuje stále dále podél povrchu země k jihu a východu. Vlivem sestupného pohybu a rozšíření v studeném vzduchu cyklonálního týlu dohání postupně studená fronta pomaleji se pohybující teplou frontu; studený vzduch se rozšiřuje stále na větší prostranství u povrchu země na újmu teplého sektoru, jak je znázorněno na obr. 163. Říkáme pak, že se cyklona zviřuje. Konečně nastává okamžik, kdy se teplá a studená fronta cyklony spojují. Ve vnitřní oblasti cyklony nemá již teplého vzduchu u povrchu země; je celý vytlačen do vyšších vrstev.

Tento děj, známý pod názvem okluse (okludování) cyklony a znázorněný na obr. 162 c a f, byl objeven T. Bergeronem koncem r. 1919.

Porucha v tomto stadiu vývoje se nazývá okludovaná cyklona a komplexní fronta, vzniklá spojením teplé a studené fronty, se nazývá, jak již víme, frontou okluse. Někdy se nazývá

oboje krátce o k l u s l. V době okluse dosahuje barická deprese poruchy nejen největší hloubky u povrchu země, nýbrž rozšiřuje se ve směru vertikálním až k samé stratosféře.

Začíná-li spojení front, jak je znázorněno na obr. 162 c, nikoli ve středu cyklony, nýbrž nejříve na okraji, nazývá se toto první stadium okluse s e k l u s l. Sekluse není vůbec nutným momentem ve vývoji cyklony. Ve velké většině případů začíná okluse od středu cyklony a spojení tepého a studeného úseku hlavní fronty, které tam započalo, se rozšiřuje postupně k okraji.

Vytlačování teplého vzduchu studeným při vývoji cyklony je schematicky znázorněno na vertikálním průřezu obr. 163; souvislými čarami jsou znázorněny ve vertikálním řezu isothermické plochy, čerchánými čarami frontální plochy. Náčrtky obr. 163 odpovídají stadiím a—h na výše uvedeném horizontálním schématu evoluce cyklony. Doporučuji čtenáři srovnat s vertikálním průřezem obr. 163 skutečné rozdělení teplot v určitém konkrétním případě mladé cyklony, znázorněné podle P a l m é n a (1931) na obr. 198.

Dále (§ 67) se podrobně zastavím u struktury cyklony jak v stadiu vlnové (mladé) cyklony, tak také v stadiu okluse. Nyní je jen důležité poznamenat, že od okamžiku okluse mizí původní teplotný rozdíh v oblasti cyklony u země. To má velmi důležitý význam pro život cyklony.

3. V § 24 mluvil jsem již o tom, že hlavním zdrojem kinetické energie cyklony je vrátké horizontální rozložení studené a teplé vzduchové hmoty v oblasti cyklony. Dokud je hlavní fronta stacionární, je účinek isobaricko-isostatických solenoidů vyrovnáván účinkem rotace země, takže žádná cirkulace v kladném směru solenoidů nevaníká a žádná kinetická energie se neprodukuje. Na frontální vlně se však tato rovnováha porušuje a vzniká cirkulace frontální klouzání. Klouzání normálním směrem cirkulace (teplý vzduch nahoru, studený vzduch dolů) se vyskytuje podél plochy teplé fronty v přední části vyvinující se cyklony a podél spodní části plochy studené fronty; výstup teplého vzduchu bývá také pozorován ve větší nebo menší míře v celém teplém sektoru a zvláště před studenou frontou. Cirkulace opačným směrem se vyskytuje podél větší části plochy studené fronty, kde se uplatňuje určitý sestupný pohyb v studeném vzduchu a ještě silnější sestupný pohyb v teplém vzduchu, ležícím nad ním.

Normální cirkulace podél teplé fronty a spodní části studené fronty vykonává práci a vede tudíž k zvětšení kinetické energie. Sestupné klouzání teplého vzduchu se děje naproti tomu se spotřebováním práce. Ale během času se vyvinuje ve vrátké vlně výstupné klouzání stále silnější a cirkulace v normálním směru začíná převládat; produkce kinetické energie přesahuje spotřebu. Potenciální energie polohy vzduchových hmot v cykloně přechází víc a více v energii kinetickou (která jde zčásti na překonání tření). Cyklonální vlna jako celek zvětšuje svou kinetickou energii, což je nutně spojeno se současným zesílením horizontálních barických gradientů. Takovéto zesílení může však vzniknout jen na újmu prohloubení se cyklony, t. j. cestou vypuzování vzduchu z oblasti cyklony; jiných možností není.

Toto protigradientové vypuzování, jak jsem již ukázal v paragrafu 24, je podmíněno vzrůstem uchylující síly při vzrůstu rychlosti. Vypuzování vzduchu působí kompenzační přírůstek gradientu; avšak rovně-

\*) Kromě toho bývá okluse nazývána také sém děj spojování front, okluseování.



váha mezi uchylující silou a gradientem se neustavuje do té doby, dokud zásoba potenciální energie v cykloně ještě není vyčerpána.

Vypuzování vzduchu z oblasti cyklony je nejintenzivnější v přední části cyklony, kde máme největší kladnou cirkulaci podél tepé fronty. Proto se zde také soustřeďuje největší pokles tlaku (největší záporné barické tendence podle absolutní hodnoty) a potvrzuje závěr Bruntův a Douglasův o souvislosti poklesu tlaku a vřstupuňmi pohyby (§ 24). V týlu cyklony, kde jsou soustřeďeny sestupné pohyby podél studené fronty, máme naopak větší nebo menší vyplňovám, t. j. oblast stoupání tlaku třeba relativního. Je pochopitelné, že barický střed cyklony musí postupovat v tom směru, v kterém tlak klesá zvláště silně; tak tomu bývá také ve skutečnosti.

Ve vyvinutější se cykloně tedy všeobecně vystupuje teplý vzduch vzhůru, studený vzduch pak sestupuje a rozšiřuje se v spodních vrstvách. Při tom se společně těžšíte obou vzduchových hmot v cykloně snižuje. Vlivem děje okluse se ocitá veškeren teplý vzduch nad stud. rým; těžšíte systému zaujímá nejistější možnou polohu; nahromaděni thermodynamických solenoidů mizí a s ním se vyčerpává zdroj potenciální energie cyklony. Cyklona ztrácí definitivně ráz víny a proměňuje se po oklusi v spodních vrstvách ve více méně souměrný vír studeného vzduchu, který vyplňuje oblast cyklony stále neohutnější hmotou. Přítiv kinetické energie přestává. Vtěkání vzduchu v spodních vrstvách cyklony (vlivem tření) se nyní již nekompensuje protigradientovým vypuzováním vzduchu v jejích vysokých vrstvách; uchylující síla již nepřevyšuje gradient.

Vystupování vzduchu ve střední části cyklony ovšem pokračuje nějakou dobu také po oklusi vlivem vtékání vzduchu v spodních vrstvách cyklony od okraje ke středu, podmíněného třením. Avšak nyní se stává vystupující střední část cyklony vlivem adiabatického ochlazení vystupujícího vzduchu při všeobecné stabilitě zvrstvení studenější než prostředí a vzniká pole solenoidů, podmiňující zrychlení cirkulace v opačném směru. Proto se děje nyní vřstup vzduchu v cykloně již proti normálnímu směru cirkulace, se spotřebou práce a tudíž kinetické energie; třením v spodních vrstvách udržuje však vtékání vzduchu do cyklony a udržuje tudíž cirkulaci, spotřebovující práci. Tření vyplňuje tedy nejen střední část cyklony v spodních vrstvách vtékajícím vzduchem, nýbrž nahrazuje také ve vyšších vrstvách výše popsanou sepfimou cestou protigradientové vtékání vzduchu z cyklony vtékáním vzduchu do cyklony.

Deprese v barickém poli, která se sepfstržitě prohlubuje až k okamžiku okluse, se začíná nyní vyplňovat, cyklonální rotace vzduchu slábne a cyklona roztahmá.

Vínový člen rychlosti postupu po oklusi úplně mizí a cyklona postupuje teď jen spolu se všeobecným prouděním. Toto proudění, vtáčené do cyklonální cirkulace, ztratilo však již původní směr, rovnoběžný a východní polohou fronty. Proto se cyklona po oklusi zpomaluje a často se stává téměř stacionární.

Potenciální energie vrátke horizontální polohy vzduchových hmot a různou teplotou je hlavně, nikoli však jediným zdrojem kinetické energie cyklony. Jiným podstatným zdrojem je energie vrátkeosti, t. j. vrátkeho vertikálního zvrstvení vzduchových hmot (Refsdal, 1930). Čím labilnější jsou vzduchové hmoty tvořící poruchu tím snadněji se odehrává zvřzení víny a tím intenzivnější je vývoj cyklony. Velmi stabilní teplý vzduch v cykloně nevystupuje nebo jeho výstup se brzy zastaví, poněvadž thermodynamické solenoidy budou v tomto případě brzy zničeny cirkulací podél fronty. Naproti tomu víhkovrátký

teplý vzduch stoupá a uvolňuje velké množství potenciální energie. Prohlubování cyklony probíhá v tomto případě máločetně rychle a může se udržet také nějakou dobu po oklusi. Energie vrátekosti má zvláštní úlohu ve vývoji tropických cyklonů.

3. Jaký je pak výsledek vývoje cyklony, popsaného zatím jen v nejhlavnějších rysech? Teplý vzduch je ve vyšších vrstvách přenesen daleko na sever ze své původní polohy jižně od hlavní fronty. Naproti tomu postupují ohromné hmoty studeného vzduchu v týlu cyklony daleko k jihu. Nová poloha hlavní fronty po oklusi, znázorněná na obrázcích 162 f, g a h (nebo na obr. 164 e, f), je značně jižnější než původní poloha na obr. 162 b nebo c (nebo na obr. 164 a, b). Úloha vývoje cyklony podle vysvětleného schématu záleží v tom, že vzduchové hmoty proudící původně navzájem rovnoběžně ve směru rovnoběžek nabývají poledníkové složky pohybu a přenášejí se z jedné šířky do jiné. Postupný vývoj serie cyklon na hlavní frontě vyvolává, jak uvidíme dále, velkolepé přeměnění vzduchových hmot, které je důležitým článkem ve všeobecné cirkulaci ovzdušší.

Výše jsem mluvil výše o teplém a studeném vzduchu a hlavní frontě, neuváděje zeměpisných podrobností. Můžeme teplý vzduch stotožňovat s tropickým a studený s polárním. Pak bychom našli schema schématem tvoření se cyklony na polární frontě. Můžeme pokládat teplý vzduch za polární a studený za arktický, pak dostaneme schema vývoje cyklony na arktické frontě. Podstata děje je v obou případech stejná.

Směřuje-li studené proudění nikoli od východu na západ, nýbrž také od západu na východ (s menší rychlostí než teplo), nebudou tím rovněž způsobeny žádné změny v našem schématu. Všeobecný obraz proudnic v prvním — vinovém — stadiu je podobný jiný, jak vyplývá ze srovnání obrázků 154 A a B. Ale vývoj cyklonální cirkulace v dalších stadiích činí obraz proudnic v oblasti cyklony úplně shodným v obou případech. Lze se snadno o tom přesvědčit, srovnáme-li se schématem Bjerknesovým a Solbergovým podobnější schema Bergeronova, které uvádím na obr. 164. Bergeron vzal právě západní směry obou proudnic. Proudnice ve schématu Bergeronově chybějí, ale isobary poskytnou o nich dostatečnou představu.

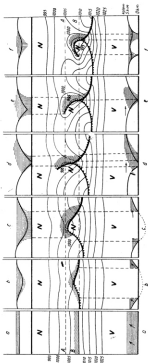
4. Výše jsem podal výklad původního a základního schématu vývoje cyklony, daného r. 1922. K rozvinutí hlavních zásad tohoto schématu se vrátíme ještě v dalším výkladu. Schématem Bjerknesovým-Solbergovým se však nevyčerpává vždy celý životní běh cyklony. Nezdánlivá zbyvá v cyklose také po oklusi určitá teplotní nesouměrnost. Dejme tomu, že studený vzduch v týlu cyklony je teplejší než studený vzduch v přední části cyklony. Je to v Evropě obvyklý případ v zimě, kdy před frontou okluse v okludované cyklose leží vychlazený pevninský polární vzduch a za frontou okluse proudí od západu teplý mořský polární vzduch. Po oklusi postupuje barický střed cyklony ještě dále a jako by klouže podél fronty okluse (barický střed deprese se ovšem nemůže rodfirmit: od fronty). Stále větší a větší úsek fronty okluse se ocitá v týlu cyklony. Větry cyklonálního týlu umělejí ji k jihovýchodu a způsobují takto t. z. zá h y b o k l u s e. Za tímto zahnutým úsekem fronty okluse plyne vzduch již od severu a severovýchodu a je tudíž studenější. Následkem toho vzniká mezi základní a zahnutou částí fronty okluse falešný teplý sektor. Tento děj je znázorněn na schématu obrázku 164.

Vlivem vytvoření se falešného teplého sektoru pokračuje v oblasti cyklony přechod potenciální energie polohy v kinetickou energii také po oklusi. Nyní se vytlačuje od povrchu země již teplý mořský polární vzduch. Cyklona se prohlubuje dále tak dlouho, dokud konečně nastane

opětná okluse; zahnutý úsek fronty okluse dohoní konečně nezahnutý úsek a spojí se s ním. Štěrka vzniká ještě stabilnější komplexní fronta. Čím je vířivější vzduch falseého teplého sektoru, tím jest intenzivnější opětné prohloubení cyklony. Zůstává-li rozdělení teploty v cykloně také po druhé okluse přece dosti nerovnoměrné, může se analogický děj opakovat několikrát, jak jest ukázáno na schématu obrázku 165 (podle Refadala, 1930). Následkem toho se barická deprese cyklony stále více prohlubuje a dostane konečně ohromnou sústřední cyklonu s minimálním tlakem ve středu do 970—950 mb. Toto zvláštní plochy a hloubky cyklony je zvláště zdůrazněno na schématu Refadala. Fronty v oblasti sústřední cyklony se postupně rozplývají a po více méně dlouhém trvání (něže dni) vstupuje cyklona konečně do stadia odumírání.

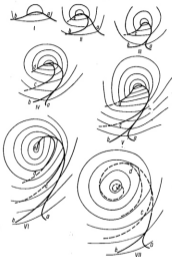
Nyní může jen spejnit s jinými ještě života schopnými poruchami nebo vpád čerstvého studeného vzduchu se strany na nějakou dobu udržet existenci sústřední cyklony a způsobit její regeneraci. Avšak regenerace tohoto druhu je podmíněna příčinami neležícími v samé počtati vývoje cyklony. Podrobněji pojednáme o regeneraci ve zvláštním paragrafu (68).

Na mapách obr. 166 je schematicky znázorněn (podle J. Bjerk-



Obr. 164. Evoluce cyklony podle Berggera, 1934.

nessa a T. Bergerona) vývoj cyklony z 22.—23. října 1921. Upozorňují čtenáře na ohromný přenos polárního vzduchu z oceánu do střední Evropy, který nastal v důsledku vývoje jejího vývoje. Krásný případ vývoje cyklony je záznam podle J. Bjerknesa na obr. 167—168 (28.—30. března 1928); vertikální průřez této cyklony viz na obr. 169. Na obr. 170—172 je podán vývoj cyklony z 20.—22. září 1932 (trošce



Obr. 165. Evoluce cyklony podle Refadala, 1939.

autora). Na obr. 173—178 je podán vývoj cyklony z 30.—31. prosince 1930 rovněž podle J. Bjerknesa: zde vidíme dvojnásobnou okluzi. Vertikální průřez cyklony je dán na obr. 179. Ještě několik případů vývoje cyklon viz na mapách na konci knihy.

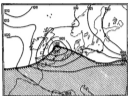
Š. R. Scherhag (1934) zjistil empiricky souvislost mezi vývojem izobarických oblastí stoupání a klesání tlaku a tedy mezi evolucí atmosférických poruch na jedné straně a divergencí nebo konvergencí proudů ve volném ovzduší na straně druhé. Pásmo konvergence proudů ve středních vrstvách troposféry nebo, což je stejné, konvergence isochar

v této hladině (při čemž se přisuzuje isobaře směr proudnice) se sbíhají v oblasti stoupání tlaku na synoptické mapě; v oblasti divergentních výškových větrů tlak klesá. Vysvětlení je toto:

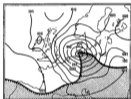
Při divergenci proudění, kde se vzdálenosti mezi isobarami rychle zvětšují, může proudění zůstat stacionárním (a tlak nezměněným) jen v tom případě, ubývá-li rychlosti stejnou měrou, jak vzrůstají vzdále-



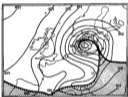
22. října 1921 - ráno



22. října 1921 - večer



23. října 1921 - ráno



23. října 1921 - večer

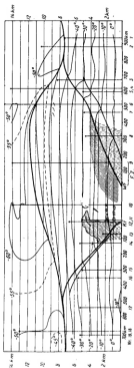
Obr. 146. Vývoj cyklony 22.—23. října 1921 (podle Hjerkmessa a Bergerona).

nosti mezi isobarami. Následkem zachování kinetické energie vzdušného proudění, zbývá však vždy malý přebytek rychlosti, a proto se vyvinou protigradientové vypuzování vzduchu napříč isobar od nízkého tlaku k vysokému, t. j. odběkání hmot z dané oblasti, které působí pokles tlaku. Analogicky je horní divergence isobar provázána stoupáním tlaku. Jest arci nutno, aby se horní divergence nebo konvergence nekompensovala silnější spodní konvergencí nebo divergencí.

Scherhag poukazuje na možnost usuzovat o divergenci nebo konvergenci isobar ve volném ovzduší podle divergence nebo konvergence isotherm u povrchu země, za předpokladu, že pozorování teploty jsou přímačná. Poněvadž v teplejších hmotách vzduchu tlak klesá a výškou pomaleji než v studených, musí být tlak ve vysokých vrstvách nad teplejším vzduchem vyšší než nad studenějším (za předpokladu, že dole je tlak

stejný).<sup>1)</sup> Proto musí divergencí isotherm podmínovat také divergenci horních isobar; totéž platí při konvergenci. Z toho lze usoudit, že vykazují-li isothermy středně vyjádřenou divergenci, neomezují se na přilehlou vrstvu, vzniká pokles tlaku, při konvergenci isotherm vzniká naspak stoupání tlaku.

Z těchto základních pravidel dostal Scherhag řadu odvozených, na př.: cyklona se slabými výškovými větry se musí vyvíjet (poněvadž při slabých větrech není dostatečná divergence nahofe); anticyklona se slabými výškovými větry se musí rozpadávat. Silné výškové větry zajišťují vývoj poruchy. Shoduje-li se horní divergence se středem cyklony, zůstává cyklona málo pohyblivá; totéž platí při shodě horní konvergence se středem anticyklony. Konečně lze ze základních zásad Scherhagových odvodit také zajímavé pravidlo týkající se pohybu cyklony. Poněvadž kinetická energie vzrůstá úměrně kvadrátu rychlosti, je pro kolísání tlaku rozhodující změna kvadrátu rychlosti. Ubyvání rychlosti větru v prostoru, na př. ze 60 na 50 m/sec, musí vyvolat změnu tlaku desetkrát větší než ubývání rychlosti z 10 na 0 m/sec. Proto bude cyklona postupovat tím rychleji, čím rychleji ubývá kvadrátu rychlosti výškového větru směrem od středu k přední části.

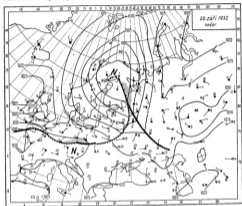


Obr. 366. Vertikální průběh cyklony 23.-30. března 1933. (podle J. Bjerkness a E. Palmén, 1933).

<sup>1)</sup> Vychází se z tohoto předpokladu podle Roediger (1932) způsob sestavení map větru ve výšce 2-10 km podle rozdílení vodorovných hmot na mapě. Protože ve

Poněkud dříve než Scherhag podal V. M. Michel (1932) empirická schémata horních proudění (3—6 km) při zesílení a zeslabení anticyklon; konvergence proudění při zesílení a divergence při zeslabení jsou na těchto schématech dobře patrné.

6. Pettersson udává vzorec, spojující rychlost a zrychlení evoluce barického systému (prohloubení nebo zesílení cyklony, zesílení nebo slábnutí anticyklony) s hodnotami tlaku a tendenci na synoptické mapě.



Obr. 170. Synoptická situace večer 23. srpna 1932.

Rychlost prohloubení (nebo vypínění) je dána všeobecnou rovnicí:

$$\frac{dP}{dt} = \frac{\partial P}{\partial t} + C \Delta P, \quad (1)$$

kde  $C$  je rychlost barického systému,  $\frac{\partial P}{\partial t}$  — tendence a  $\Delta P$  — barický ascendent v bodě, jenž nás zajímá;  $\frac{dP}{dt}$  — rychlost prohloubení, kterou lze vykládat jako barickou tendenci, odečtenou na barografu, pohybujícím se spolu s barickým systémem.

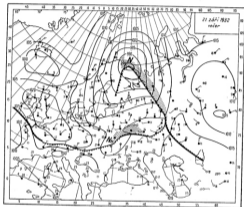
výše musí vznikat barické gradienty od teplých hran k studeným, musí zde pak proudění být rovnoběžná s frontami tak, aby studená hmota stávala větro. Vycházející z toho odhady podle polky front na mapě sestavit hypotetické rozdělení větrů v horní troposféře. Ovšem pro státní hlubokých cyklón a soustředěných anticyklón a převládajícími dynamickými příčinami změny tlaku se zpětně Rossby a v teorii.

Přímce pro střed systému se vyjadřuje rychlost prohloubení nebo vyplnění jako:

$$\frac{dp}{dt} = \frac{\partial p}{\partial t}, \quad (2)$$

t. j. rovná se barické tendenci ve středu; zrychlení prohloubení nebo vyplnění se pak vyjadří:

$$\frac{\partial^2 p}{\partial t^2} = \frac{\partial^2 p}{\partial t^2} - \frac{P_{xax}^2}{P_{axx}} - \frac{P_{yay}^2}{P_{ayy}}, \quad (3)$$



Obr. 171. Synoptická situace večer 21. srpna 1932.

kde  $P_{axx} = \frac{\partial^2 p}{\partial x^2}$  = složka isobarického ascendentu podél osy  $x$ ;

$P_{axx} = \frac{\partial^2 p}{\partial x^2}$  = zakřivení (nebo překročí) profilu tlaku podél osy  $x$ ;

$P_{ayy} = \frac{\partial^2 p}{\partial y^2}$  = složka isobarického ascendentu podél osy  $y$ ;

$P_{ayy} = \frac{\partial^2 p}{\partial y^2}$  = zakřivení profilu tlaku podél osy  $y$ .

Hodnoty  $P_{axx}$ ,  $P_{ayy}$ ,  $P_{axx}$ ,  $P_{ayy}$  lze přibližně určit tímto způsobem. Nechť znamenal  $p^{(x,y)}$ ,  $T^{(x,y)}$ ,  $\Delta T^{(x,y)}$  tlak, tendenci a změna tendence za 3 hodiny

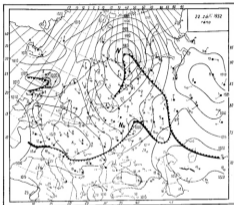


v bodě  $(x, y)$ . Vezmeme libovolnou jednotku délky (na př. 3 rovníkové stupně) a nanášíme na osu  $x$  body  $(1, 0)$ ,  $(\frac{1}{2}, 0)$ ,  $(0, 0)$ ,  $(-1, 0)$ ,  $(-\frac{1}{2}, 0)$ . Pak dostaneme tyto přibližné vzorce:

$$P_{121} = P^{1/2,0} - P^{0-1/2,0}$$

$$P_{222} = P^{1,0} - 2P^{0,0} + P^{-1,0}$$

Analogicky lze určit stejným sestavením podél osy též hodnoty  $P_{122}$ ,  $P_{221}$ .



Obr. 172. Synoptická situace ráno 23. srpna 1933.

Hodnotu prohloubení (vyplnění) ve středu za dobu  $t$  lze určit z následující rovnice, předpokládáme-li, že se děj odehrává se stálým zrychlením:

$$\Delta p = \frac{\partial P}{\partial t} t + \frac{1}{2} \left( \frac{\partial^2 P}{\partial t^2} - \frac{P_{121}^2}{P_{222}} - \frac{P_{221}^2}{P_{222}} \right) t^2, \quad (4)$$

Jednotku času  $t$  nutno zde vzít stejnou jako při přibližném určení hodnot obsažených ve vzorcích, t. j. rovnající se 3 hodinám.

Z těchto základních úvah, kombinovaných s frontologickými, odvodil Petterssen velké množství prognostických pravidel jak kvalitativních, tak také kvantitativních, která jsou uvedena v § 76 (pravidla 121—133).

## § 67. Stavba cyklony.

1. Na obr. 180 je znázorněna cyklonální porucha v stadiu přechodu od vlny k oklusi, objeveném J. Bjerknesem již r. 1918. Bjerknes nazval toto schéma «ideální cyklonou»; v dalším výkladu bude jí nazývat mláďou cyklonou.<sup>1)</sup> Existence teplého sektoru u povrchu země je charakteristickou zvláštností tohoto stadia ve vývoji poruchy.

Vznikla-li cyklona na polární frontě, představuje teplý sektor jazyk tropického vzduchu pronikající k severu (při neobvyklejším směru fronty od západu na východ). V mladém cykloně na arktické frontě je vytvořen teplý sektor z polárního vzduchu. K zjednodušení budu v dalším výkladu mluvit jen o cykloně na polární frontě. Proudnice u země v oblasti poruchy jsou na obrázku zřetelně znázorněny. Máme jihosápadní tropické proudění uvnitř teplého sektoru a cyklonální zakřivené proudnice v polárním vzduchu v oblasti cyklony. Střed nízkého tlaku se sbíhá, jak bylo již uvedeno, a vrcholem teplého sektoru. Charakteristický je více méně přímočarý tvar isobar v teplém sektoru a přelomy isobar při přechodu skrze frontu z teplého sektoru do studeného vzduchu. Nutno také poznamenat, že se v stadiu mladém cyklony prohlubuje porucha zřídka více než o 15—20 mb vzhledem k všeobecnému barickému «podkladu». Hlubší deprese souvisí zpravidla s okludovanými poruchami.

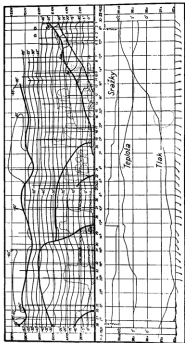
Z rozdělení proudnic je patrné, že v přední (pravé) části cyklony nabývá hlavní fronta rázu teplé fronty, v zadní (levé) části pak rázu studené fronty. Na schématu obr. 180 je taktéž znázorněn široký pruh srážek před teplou frontou a úzký pruh srážek za studenou frontou.

Na obr. 180 nahoře a dole jsou uvedeny ještě dva vertikální průřezy přes oblast cyklony. Hřejší a níž je proveden severně od středu cyklony, t. j. od vrchole teplého sektoru, spodní jižně od středu a probíhá tedy teplým sektorem. Na spodním průřezu vidíme předně výstup teplého vzduchu v přední části cyklony nad plochou teplé fronty a tvoření se charakteristické oblačné soustavy teplé fronty; za druhé vidíme již známé rozdělení proudnic a oblaků u studené fronty v zadní části cyklony; nad horní částí plochy studené fronty je na schématu poněkud naznačen sestupný pohyb teplého vzduchu. Průřez, provedený severně od středu, protíná plochu polární fronty nad povrchem země. Při něm máme zde jen polární vzduch; tropický proudí již jen nad ním. Průřez probíhá však přes oblast frontálních srážek, které jsou znázorněny také na něm.

Nutno podotknout, že se teplý vzduch pohybuje v mladém cykloně vůbec rychleji, než postupuje sama porucha. Proto protíná poruchou stále nový a teplý vzduch, sestupující podél studené klíma v týlu cyklony a vystupující v přední části cyklony.

V přední části cyklony, před teplotou frontou, máme oblast velkých záporných barických tendencí (oblast poklesu tlaku). Za prvé se vyskytuje zde čistě termický efekt ubývání studeného vzduchu v atmosférickém sloupci nad hlavou pozorovatele přibližuje-li se fronta. Za druhé se zde odehrává zvláště silný dynamický pokles tlaku při výstupu teplého vzduchu nad frontální plochou a při jeho vypuzování z oblasti cyklony ve vyšších vrstvách (viz § 66). Střední část (jádro) oblasti poklesu tlaku leží v mladém cykloně zpravidla před teplotou frontou poblíže středu. Uvnitř teplého sektoru tlak vzduchu se vyvíjí se mladém cykloně rovněž klesá (obr. 183, I); tento efekt jest již v podstatě dynamický, souvisící s vytlačováním vzduchu

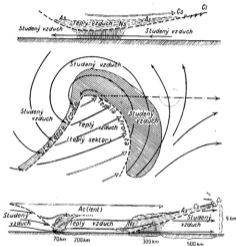
<sup>1)</sup> Bylo by možno mluvit ještě o «mladém cykloně»; po oklusi by bylo lze nazvat cyklonu «stárnoucí».



Obr. 178. Vertikální průřez cyklónou z 30. prosince 1909 podle aerologických sondů v Bruselu; dole je znázorněn chod meteorologických prvků při přechodu cyklóny v Bruselu (podle J. Bjerckvæta, 1908).

teplého sektoru vzhůru a s jeho protigradientovým odtékáním z oblasti cyklony.

Za studenou frontou v tlů cyklony máme obyčejně oblast vzrůstu tlaku, t. j. kladných barických tendencí; na okraji cyklony, dále od středu, může být pozorován určitý vzrůst tlaku také před studenou frontou. Stoupání tlaku za studenou frontou má také jak thermický, tak také dynamický ráz; píše-li tu jak velká hustota pronikajícího zde studeného



Obr. 189. Model mláde cyklony J. Bjerknema (1915—1921).

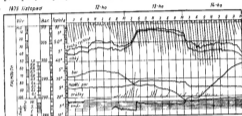
vzduchu, tak také sestupné pohyby vzduchu na zadní straně cyklony, provázené jeho víčkáním do oblastí cyklony. Prohlubuje-li se cyklona velmi silně, může být pásmo stoupání tlaku na zadní straně velmi slabě vyvinuto nebo může dokonce být překryto společnou pro celou cyklonu »cyklonální« oblastí poklesu; největší pokles tlaku bude však v tomto případě před teplou frontou, nejmenší pak za studenou frontou. V prohlubující se cykloně leží oblast tlakoví hlíže ke středu cyklony než v cykloně, která se neprohlubuje nebo vypřahuje.

Dejme tomu, že se mladá cyklona pohybuje od západu na východ nad místem pozorování, při čemž dráha cyklonálního středu probíhá se-

verně od daného místa. Změny tlaku v našem místě budou při přechodu cyklony patrně tyto: pokles tlaku, stále silnější před přiblížující se teple frontou; více méně značné zeslabení poklesu při přechodu teplého sektoru; příkrý vzrůst tlaku ihned v zářetí za studenou frontou, přecházející pak v pomalejší vzestup nebo stejný průběh. Typický barogram a rovněž náznaky jiných prvků při přechodu mladé cyklony jsou znázorněny na obr. 181; táž cyklona na synoptické mapě (rozděr T. Bergerona) viz na obr. 182.

Je důležité si pamatovat, že cyklona sama vyvolává svým vývojem a postupem izobarické oblasti poklesu a stoupání tlaku, nikoli však tyto oblasti vyvolávají cyklona, jak dříve před 25—30 lety Ekholm otázkou uobrácené. V praxi může být rozdělení tendencí v oblasti cyklony užitečné nejen pro zjištění polohy front při rozboru, nýbrž také pro prognosu.

Podstatnou pomoc mohou barické tendence poskytnout při stanovení postupu cyklony. Cyklona se pohybuje všeobecně v libovolném směru svého



Obr. 181. Záznamy průběhu meteorologických prvků při přechodu cyklony 12.—14. listopadu 1915 ve Falmouthu (podle Bergerona, 1925).

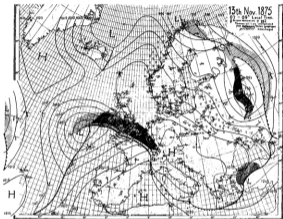
vývoje více méně rovnoběžné a čarou spojující střed oblasti stoupání se středem oblasti klesání tlaku. Protože tyto oblasti leží obyčejně excentricky vzhledem k cykloně, pohybuje se střed cyklony v každém okamžiku nikoli ke středu oblasti poklesu, nýbrž uchyluje se vlevo od tohoto směru. Trajektorie cyklony leží tedy na mapě vlevo od trajektorie oblasti poklesu tlaku.

Na obr. 183, I je znázorněna podle Refsdala, 1928, mladá cyklona, na obr. 183, II cyklona v stadiu oblesu, již pomalu zanikající; na obr. 183, III je okludovaná cyklona, dále se prohlubující vlivem opětne asymetrie teploty a vlhkostní vrstkovitosti vzduchu ve falešném teplém sektoru; na obr. 183, IV jest okludovaná cyklona s vlhkovrátkým vzduchem v tžtu, ale bez opětne termické nesouměrnosti a proto se neprohlubuje. Stačí srovnat směr isobar ve skutečném nebo falešném teplém sektoru (shodný se směrem pohybu cyklony) s polohou oblasti poklesu tlaku vzduchu (čerehané čáry), abychom spatřili souvislost mezi nimi při různých typech cyklony. Při okludované cykloně bývá však často snadnější zjistit polohu oblasti poklesu tlaku než nalézt cestou frontální analýzy polohu isobar ve falešném teplém sektoru.

Všeobecný vzrůst tlaku v celé střední oblasti cyklony svědčí patrně o jejím vyplnění a ustálení.

3. Nyní se zastavíme podrobněji u rozdlení počasi v oblasti mladá cyklony, předpokládajíc, že tato cyklona vznikla, jak bylo již dříve řečeno, na polární frontě.

4. *Teplá fronta.* Před teplou frontou máme zpravidla oblačný systém  $C_2 - A_2 - N_2$ . První  $C_1$  tohoto systému jsou dobrou předzvěstí přiblížující se cyklony a objevují se někdy ještě před začátkem poklesu tlaku, ve vzdálenosti 700—900 km od teplé fronty. Avšak podle směru

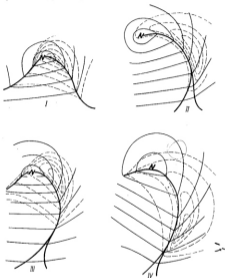


Obr. 152. Synoptická situace ráno 13. listopadu 1875 (podle Bergerona, 1935).

pohybu  $C_1$  nelze ještě usuzovat na směr pohybu cyklony; v § 72 uvidíme, že se proudnice v hladině  $C_1$  neshodují se směrem proudění vzduchu v teplém sektoru blízko povrchu země a tudíž se směrem pohybu cyklony. Teplý vzduch se stáhl při výkluzu vzhůru stále vpravo, t. j. stoupá stále později. Proto se odchýlí pohyb  $C_1$  více méně značně vpravo od pohybu cyklony.

Jak již bylo uvedeno v § 59, dosahuje dešť z  $A_2 - N_2$  po prvé povrchu země obvykle ve vzdálenosti kolem 300 km před teplou frontou; sníh z  $A_2$  ve vzdálenosti kolem 400 km. Vrátí-li se čtenář k § 59, najde tam vyjmenování možných příčin odchylek od těchto neobvyklých poměrů. Uvedu zde ještě, že při rozboru je nutno vyvarovat se zařadit do pásma trvalých srážek poslední přehánky týlu předcházející poruchy nebo záfron-  
tální srážky teplého sektoru (zvláště poblíže středu silně se prohlubující

cyklony, kde může v teplém sektoru již nejen mrholit, nýbrž skutečně pršet). V zimě bývá na mapě často obtížné rozpoznat sniž z *Aa*—*Na* teplé fronty od snižení ze soustavy vrstevných oblaků uvnitř vzduchové hmoty. Nutno si ještě pamatovat, že pozorovateli nejdříve přehlídají první drobný dešť z *Aa*, přiči-li s přestávkami, nebo jej šířují jako mrholení.



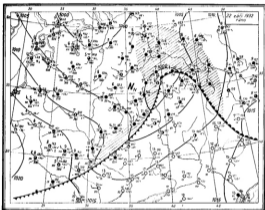
Obr. 183. Pokles tlaku v oblasti cyklony v různých stadiích jejího vývoje (podle Hefedala, 1930).

Mimoto v samé blízkosti čáry fronty mohou srážky při zemi mít skutečně tvar mrholení (viz § 59).

Konečně se nesmí zapomínat, že ráz srážek teplé fronty závisí do jisté míry na vlastnostech vystupujícího tropického vzduchu. Jak víme z předcházející kapitoly, může se vyvinout konvekce ve vlhkovrácném pevninském tropickém vzduchu, vystupujícím podél frontální plochy.

a pak bývají před teplotní frontou dokonce pozorovány bouřky. Scherhag (1931—1933) uvádí mnoho podobných případů pro Německo, kdy teplý vzduch přicházel v létě od východu nebo jihovýchodu z území SSSR. V létě bývají takové případy pozorovány také v SSSR. Avšak v atlantických cyklonech polární fronty s tropickým vzduchem přicházejícím od jihovýchodu jsou podobné případy patrně vykoupeny.

Při přechodu teplé fronty z oblasti cyklony do oblasti vyššího tlaku



Obř. 184. Mladý cyklóna na synoptické mapě.

může se teplá fronta stát katafrontou, při čemž oblast oblačnosti se srážek se zužuje nebo mizí.

Pro praxi je zajímavé poznamenat, že se oblast srážek teplé fronty shoduje dosti dobře se střední částí (jádem) oblastí klouzání tlaku v přední části cyklony. Z toho se však ještě nemá činit závěr, že pokles tlaku vyvolává srážky, nebo naopak (oba závěry byly činěny v dějinách meteorologie). Vše záleží jen v tom, že oba zjevy mají jednu a touž příčinu — výstupné klouzání teplého vzduchu nad plochou fronty.

Teplá fronta má určitý vliv také na oblačnost a srážky uvnitř hmoty. Čím blíže k čáře fronty při semě, tím níže začíná nad povrchem země frontální plocha a tím více zahrnuje tato plocha vývoj konvekce. Mimoto bývá konvekce zhuštění frontální oblačnosti, která zadržuje průhlední pády. Čb a Ču třílu předcházející cyklony proto rychle slábnou a mizejí, s postupujícím zvětšením oblačnosti teplé fronty. Zato však není před teplotní



frontou vyloučena možnost vývoje mlhy. Studený vzduch pod plochou fronty se nasycuje frontálními srážkami padajícími přes něj a dynamicky se ochlazuje vlivem silného poklesu tlaku. Také se může vyskytovat i neadiabatické ochlazení při jeho pohybu se složkou směřující od jihu k severu. Vlivem těchto příčin se může vyvinout před teplem frontou předfrontální mlha.

**B. Teplý sektor.** Přechod teplé fronty mladá cyklony přes daný bod znamená přechod tohoto bodu z polárního vzduchu do tropického. Frontální srážky z *Nz* přestávají upravená při samém nebo téměř při samém přechodu fronty; teplota stoupá. Předfrontální pokles tlaku přestává a je vystřídán stejnoměrným průběhem, prohlubuje-li se cyklona jen málo; protože cyklona postupuje ve směru ložar teplého sektoru, probíhá křivka tlaku při přechodu teplého sektoru celkem vodorovně. Prohlubuje-li se však cyklona, tlak v teplém sektoru klesá, třebaže méně silně než před teplem frontou. Zvláště charakteristický je v tomto směru pokles tlaku hned za teplem frontou a v každém případě daleko od studené fronty. Jsou-li barické tendence v této části teplého sektoru záporné, poukazují na všeobecné prohlubování cyklony. Nutno se však pamatovat na denní chod tlaku, t. j. na jeho všeobecný pokles ve dne, zejména v létě. Mimoto se mohou vyskytovat také všeobecná pomalá kolísání tlaku nad velkými plochami, nezávisle a frontálním tvořením se cyklony, jejichž původ je snad stratosférický (viz § 70). Jen po vyloučení těchto «postranních» změn tlaku můžeme podle barických tendencí v teplém sektoru usuzovat o prohloubení se cyklony.

Oblačnost, srážky a dohlednost nabývají po přechodu teplé fronty rázu typického pro hmotu tropického vzduchu. Při mořském tropickém vzduchu (v západní Evropě) máme takovoto postupno změnu povětrnostních poměrů v teplém sektoru ve směru od jižního okraje ke středu cyklony (srv. obr. 218). S počátku máme v subtropické anticykloně jasně počasí, podmíněně sestupnými pohyby a divergencí vzduchu. Dále na sever se objevují v tropickém vzduchu vlivem ochlazení zespod a vlivem adiabatického rozpínání při klesajícím tlaku vrstevné a zvláště vrstevné oblaky; pak se pokrývka *Sz* stále snižuje a dotýká se místy dokonce povrchu země; pásma mlhy. Při velkém obsahu vlhkosti se stávají mohutné *Sz* nebo mlhy ještě dále na sever kokodilně vrátkými a vylučují mrholení, velmi typický to příznak mořského tropického vzduchu v Evropě, zvláště v studené době roční.

Máme-li pro atlantickou polární frontu normální polohu teplého sektoru (na jihu) a pohyb cyklony od západu k východu, bývá pokles tlaku a dynamické ochlazení vzduchu v teplém sektoru nejsilnější v jeho západní části, před studenou frontou. Proto nastává kondensace dříve a vyvíjí se silněji v západním díle teplého sektoru než ve východním; pásma oblaků a srážek v teplém sektoru dostávají směr nikoliv od západu na východ, nýbrž od západě-jihozápadu na východo-severovýchod nebo dokonce od jihozápadu na severovýchod.

Roku 1932 ukázal *Marckgraf*, že bývají případy, kdy se vylučuje uvnitř teplého sektoru nejen mrholení, nýbrž také srážky složené z velkých kapek, zřejmě nekonvekčního původu. *Marckgraf* vysvětlil jejich vznik všeobecným vstoupem vzduchu v teplém sektoru vyvíjející se cyklony při jeho vytlačování vzduchem studeným. Zbývá však pochybnost, zda nejsou tyto srážky následek mohutného vývoje *Sz* v teplé hmotě, takže v své horní části oblaky dosahují hladiny zledovatění.

Roku 1935 prozkoumal *Scherhag* případ, kdy srážky padaly zejména nikoli před teplem frontou, nýbrž v širokém (až 400 km) pruhu

za ní, uvnitř teplého sektoru. Podle mínění Scherhagova byla tehdy příčinou srážek konvergence a výstupný pohyb vzduchu souvisejí s jeho horní divergencí (viz o tom výše v § 66). Scherhag číší návrh, že srážek souvisí s vysokou sahající oblačné vrstvy se mohou vyvíjetovat uvnitř teplých hmot, aniž se omezují na pásma výstupného klouzání. Závěry Scherhagovy a také Markgrafovy se zakládají na velmi nedostatečném materiálu, zejména aerologickém. Avšak zcela pravděpodobně při tvoření se cyklonálních srážek má určitou úlohu mimofrontální konvergence (souvisejí s divergentním odtékáním ve vysokých vrstvách).

Překračuje-li tropický vzduch na své cestě hory, na př. Pyreneje nebo Alpy, sráží na návětrné straně mnoho vláhy a může dospět do střední Evropy již s počastm dosti jasným.

Větry v teplém sektoru atlantické cyklony polární fronty mají obyčejně směr mezi jižním a západním. Rychlosti větru, zejména ve vnitřní části cyklonální oblasti, mohou být velmi značné; přes to se udržuje míra dokonce při silných větrech nebo přechází v mlhu. O dosti klidném laminárním rázu větru v tropickém vzduchu jsem se již zmínil.

Při sahnornílné poloze teplého sektoru (viz § 72) a při jiných vlastnostech vzduchu v něm jsou tam povětrnostní poměry arciť jiné. Tak na př. mají v létě teplé sektory cyklon na evropském území SSSR, pevninský tropický vzduch přicházející od jihu nebo dokonce od jihovýchodu. Při velkém obsahu vlhkosti a pohybu nad přehřátou pevninou zachovává značnou vlhkostní vrátkost. Proto má oblačnost teplého sektoru spíše konvekční a nízkou vrstvou rás, při čemž pokles tlaku v teplém sektoru vyvíjející se cyklony usnadňuje v něm vydušování deště ve velkých kapkách. Na jihu evropského území SSSR, bývají dokonce zaznamenány případy bouřek uvnitř teplého sektoru.

Zcela svérázné bude ovšem počasí také v teplém sektoru cyklony na arktické frontě, pokud se zde teplý sektor skládá z polárního vzduchu.

C. Studená fronta. Před studenou frontou v oblasti cyklony klesá tlak obyčejně silněji než v ostatním teplém sektoru. Jen na okraji cyklony, tam, kde fronta vstupuje již do oblasti vyššího tlaku, může být pozorován vzrůst tlaku také před frontou. Přečhod fronty se vyznačuje na barogramu více méně ostrým přelomem a rychlým vzrůstem tlaku, který se brzy zpomaluje. Oblast kladných barických tendencí za studenou frontou je pro ní velmi typickým zjevem.

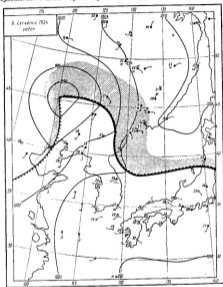
Jak již víme z kapitoly páté, je přečhod studené fronty provázen předfrontálním zesílením větru, často hůlavami podél fronty samé a charakteristickou soustavou oblaků a srážek. V oblasti cyklony bývá studená fronta nejčastěji druhého druhu, t. j. pásmo srážek leží převážně a dokonce výhradně před frontou (na rozdíl od schématu Bjerknesova a Solbergova, 1921). Ke všeobecné konvergenci a k vydušení teplého vzduchu před studenou frontou se poji ještě řada efektů, napomáhajících tvoření se předfrontálních srážek. Je možné zesílení mražení před frontou vlivem dynamického ochlazení vzduchu při poklesu tlaku. Patrně má tu úlohu také vlhkostní vrátkost teplého vzduchu ve velném ovzduší.

Velmi charakteristické je zlepšení dohlednosti a zesílení modře oblohy za studenou frontou při přečhodu z tropického vzduchu do polárního. Dostáváme-li se při přečhodu studené fronty z polárního vzduchu do arktického, musí se dohlednost rovněž více méně zlepšovat.

V záplti za přečhodem studené fronty se obloha obyčejně úplně nebo téměř úplně vyjasňuje. V nějaké vzdálenosti za frontou převládají však již oblačnost a srážky, typické pro záfrontální vzduchovou hmotu. Při

atlantické cyklóně polární fronty je to typické spočasně týlus: náhle se mění kupová oblačnost a přeháňky v mořském polárním vzduchu. Velikost poklesu teploty při přechodu studené fronty závisí arciž na historii života obou vzduchových hmot, před frontou a za frontou.

Rozdílení teploty v studeném vzduchu cyklóny je vůbec velmi ne- stejnoměrné. V zimě v cyklóně polární fronty je vzduch za studenou fron-



Obr. 188. Měsíční cyklóna na synoptické mapě.

tu teplejší než před teplou frontou, v létě studenější. Je to zcela pochopitelné, neboť historie života obou druhů vzduchu je velice odlišná: v týlu cyklóny máme čerstvý mořský polární vzduch, v přední části povětrnáky polární. V následujícím paragrafu povím ještě několik slov o teplotní asymetrii dokonce po okluzi, kdy v cyklóně sázívá a povrchu země jen polární vzduch.

3. Jak jsem již řekl, je vlnová cyklona obvykle krátkodobým (s trváním 12—24 hod.) stadiem ve vývoji frontální poruchy. Současné se zvětšením amplitudy vlny, t. j. s pronikáním teplého jazyku stále více k severu a studeného vzduchu v týlu cyklony stále více k jihu, se profil teplého sektoru zužuje. Polární vzduch roztékající se podél povrchu země zaujímá stále větší prostranství v spodních vrstvách a stále větší množství tropického vzduchu se zvedá od povrchu země vzhůru. V § 66 jsem již mluvil o tomto ději, který je přehledně znázorněn na schématech obr. 162 a 164. Ještě dříve v § 61 jsem pojednal o komplexních frontách okluse, vznikajících následkem tohoto děje splynutí teplé a studené fronty. Jak víme, rozdělují se tyto komplexní fronty na fronty okluse rázu teplé fronty a fronty okluse rázu studené fronty.

Je patrné, že v Evropě převládají okluse rázu teplé fronty v zimě, kdy je v týlu cyklony obfátý mořský polární vzduch a v přední části ochlazený pevninský polární vzduch. V létě je teplotní rozdíl mezi mořským a pevninským vzduchem opačný, a proto mají okluse v této době převážně ráz studené fronty. Na pacifickém pobřeží SSSR, kde je oceán na východě a pevnina na západě, jsou poměry zřejmě obrácené.

Na obr. 166 je znázorněn prostorový obraz okluse rázu teplé fronty. Spodní teplá fronta se ukončuje ve středu cyklonální poruchy u povrchu země; výšková studená fronta je v příslušném středu u horních hranic studeného vzduchu v cykloně. Tento střed leží několik set kilometrů na severozápad od spodního středu a tím výše, čím je porucha více okludována. Čára protínání mezi původní plochou teplé fronty a plochou studené fronty se zvedá v podobě šroubovnice od bodu okluse k hornímu středu cyklony. Čerchaná čára spojuje oba středy jest osou cyklony. Obdobné prostorové schéma platí také pro okluse rázu studené fronty.

Na začátku okludování dosahuje cyklona obvykle hloubky 15—20 mb v srovnání s tlakem v okolních oblastech; okludovaná cyklona, která ještě nezačala odumírat, je zpravidla dobře utvořenou depresí s uzavřenými isobarami a dosti velkými gradienty. Synoptické mapy nám ukazují, že většina depresí v našich šířkách má svléště v zimě relativní hloubku větší než 20 mb. Máme tedy na synoptických mapách většinou okludované cyklony, které se patrně ještě nějakou dobu prohlubují vlivem opětné teplotní asymetrie. Model vlnové cyklony nelze aplikovat na takové deprese. Provádíme-li jejich rozbor, musíme mít zřetel nikoli na Bjerknesův model mladá cyklony s teplem sektorem, nýbrž na model okludované cyklony. Takový „model okluse“ (na polární frontě) je znázorněn na obr. 187. Na horizontálním průřezu tohoto modelu vidíme frontu okluse (rázu teplé fronty), teplou a studenou frontu a ještě neokludovaný zbytek teplého sektoru v jižní části, podružnou studenou frontu, oblasti frontálních srážek a srážky uvnitř hmoty a konečně rozdělení tlaku. Právě tak se jeví v podstatě okludovaná cyklona na synoptické mapě.

Popsal jsem již výše stavbu front, patřících k okludované poruce, jejich oblačnost a srážky, isobarické systémy atd. Schéma obr. 187 poskytuje možnost obsáhnout jediným pohledem obraz okludované poruchy v jejím celku.

Nejdůležitějším v ději okluse je, že se nám po okluse jeví porucha v spodních vrstvách již jako vír studeného vzduchu. Tropický vzduch vytlačovaný do vyšších vrstev je celkem v oblasti poruchy také v stavu cyklonální rotace. Při tom odtéká tropický vzduch značným dílem z oblasti poruchy na jihovýchod, uchyluje se vpravo při výstupu nad plochu teplé fronty; určitě množství tropického vzduchu odtéká v severní části cyklony k severovýchodu až k severozápadu podél sestupných drah a vyplňuje

«mezaru», která vzniká vlivem sesedání polárního vzduchu odtékajícího k jihu.

Na pokračování studené fronty okludované cyklony vzniká nezdělaná nová vlna. Bergeron ji považuje za charakteristickou pro model okluse, podobně se vlnová deformace objevuje patrně na tomto úseku fronty vlivem poruchy v přifrontálním poli větrů, vyvolané prodloužením u zahnutého konce okluse. Vlna zřejmě vždy rychle postupuje. Je-li vlna stabilní, buď brzy zaniká nebo vstupuje do okludované části poruchy, kde jí při rozboru nelze již nalézt. Při velké délce se může vlna zvlnit a nový vír může nahradit předchozí okludovanou cyklonu.

Na vertikálních průřezech těchto obr. 187 jsou znázorněny 4 průřezy cyklonou. Horní průřez probíhá vlevo od dráhy poruchy (v normálním případě severněji) a protíná jen kraj dešťového pásma teplé fronty. Horní hranice polárního vzduchu v severní části cyklony leží výše, tropopauza pak níže než na ostatních průřezech a mezi polárním vzduchem a tropopausou zřívá jen poměrně malý prostor pro troposférický tropický vzduch.

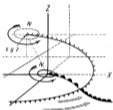
V horní troposféře nastává, jak známo, velmi silná ztráta energie záření (vysaňující vrstva Albrechtova). Proto se proměňuje tropický vzduch, zavlečený cirkulací okludované cyklony do severní části poruchy, v těchto vrstvách za několik dní v polární nebo arktický (aspoň v zimě ve vysokých zeměpisných šířkách).

Druhý průřez je proveden poblíž středu cyklony a třetí probíhá bodem okluse. Nejjižnější průřez probíhá teplým sektorem a odpovídá průřezu jižní části Bjerknesova modelu cyklony. Tropopauza má zde plochou vlnu ve výšce přibližně 10—11 km.

Bekl jsem již v I 66, že po začátku okluse postupuje střed poruchy dále a úsek fronty okluse, zůstávající v tělu cyklony, se zahýbá ve směru cyklonální cirkulace. Je-li okluse rázu teplé fronty, vzniká při tom falešný teplý sektor mezi nezahnutým a zahnutým úsekem fronty okluse. Vlivem toho může prohlubování se poruchy pokračovat také po oklusi, zvláště, je-li vzduch ve falešném teplém sektoru vířkovitý. Na schématu obr. 187 je fronta okluse znázorněna v takovém typickém zahnutém stavu.

Zahnutý konec fronty okluse může dokončit neohnutý, takže vzniká podružná okluse. Komplex front při tom vzniklý vypadá tak, jak je znázorněn na obr. 137, 4. Tento děj se může dokonce opakovat několikrát, jak tomu také bývá v ústředních cyklonách. Barická deprese cyklony se může při tom prohloubit celkem o 40—50 mb, někdy také více. Během času se zbytky front okluse v cykloně ovšem rozplývají a cyklona zaniká, někdy velmi rychle.

V souvislosti se zahnutým koncem fronty okluse se tvoří brázda v barické poli a zasahuje studený vzduch na určité délce od konce fronty okluse. Podél osy této brázdy se může v studeném vzduchu vlivem konvergence vytvořit podružná studená fronta, která jest jakoby pokračo-



(Obr. 186. Prostorový model okluse rázu teplé fronty podle Bergerona, 1934.)

váním zahnuté okluse. Tato studená fronta utváří ještě více falešný teplý sektor.

Uvedení horizontální struktura okluse, jak se nám jeví na synoptické mapě, je velmi podrobně prostudována a téměř každá synoptická mapa poskytuje nám nové příklady této stavby poruch. Co se týká vertikální struktury poruch, zejména vertikální struktury front okluse, je naše zásoba přímých aerologických údajů ještě velmi nedostačující a před aerologi stojí v tomto směru ještě velké úkoly. Ostatně jsme byli v nejposlednějších letech a měsících občasem již několika novými synopticko-aerologickými výzkumy okudovaných cyklon (Berg, Willlett, Bjerknes, Wexler).

#### LITERATURA K §§ 66—67.

- Základní práce týkající se stavby a vývoje cyklonálních poruch jsou:
- J. Bjerknes. On the structure of meeting cyclones. Kristiania 1919.
- J. Bjerknes a. H. Solberg. Meteorological conditions for the formation of rain. Kristiania 1921.
- J. Bjerknes a. H. Solberg. Life cycle of cyclones and polar front theory of atmospheric circulation. Kristiania 1922.
- T. Bergeron a. G. Swoboda. Wellen und Wirbel an einer quasistationären Grenzfläche über Europa. Leipzig 1924.
- O. Moess a. G. Schinze. Zur Analyse der Neubildungen. Ann. Hydr. 1929.
- A. Refsdal. Der feuchtblaue Niederschlag. Oslo 1930.
- A. Refsdal. Zur Theorie der Zyklonen. Meteor. Zeitschr. 1930.
- A. Refsdal. Zur Thermodynamik der Atmosphäre. Oslo 1932. Vlastní rešné a této práci viz v Met. Zeitschr. 1933, 213.
- V. Bjerknes, J. Bjerknes, H. Solberg, T. Bergeron. Physikalische Hydrodynamik. Berlin 1933.
- T. Bergeron. Trojzónový skloněný synoptický rozběr. Čist. II. Moskva 1934 (rusky).
- Dodatečně lze uvést:
- A. Meringraf. Der Luftdruckfall im Warmsektor. Beitr. z. Phys. d. fr. Atm. 19, 1923, 71.
- C. K. M. Douglas. Further researches into the European upper air data, with special reference to the life of cyclones. Quart. Journ. Roy. Met. Soc. 50, 1924.
- K. Keil. Die Okklusionen. Mitg. d. Observ. Lindenberg 1925.
- H. Troeger. Zur Frage der Okklusionen. Meteor. Zeitschr. 1929.
- A. Kreuder. Der Scheitwarmsektor einer okkludierenden Zyklone; die Warmluftschuppe. Das Wetter. 1932, 55.
- P. Baerlöjen. Theorie der Fronten und Zyklonen. Met. Zeitschr. 1933, 459.
- R. Scherhag. Zur Theorie der Hoch- und Tiefdruckgebiete; Die Bedeutung der Divergenz in Druckfeldern. Met. Zeitschr. 1934, 129.
- J. Namias. Elements of cyclonic structure. Bull. Am. Met. Soc. 34, 1955, 124.
- Synoptické a synopticko-aerologické rozbory jednotlivých poruch:
- J. Bjerknes. Practical examples of polarfront analysis over the British Isles in 1925—1926. London 1930.
- K. Schreiber. Analyse der Wetterlage vom 4. bis 8. Janu. 1912. (Ein Beitrag zur Bjerknes'schen Methode). Hamburg 1931.
- J. Bjerknes. Explorations de quelques perturbations atmosphériques à l'aide de sondages rapprochés dans le temps. Geof. Publ. Oslo 1932.
- J. Jaumotte. Passage sur la Belgique d'un cyclone à secteur chaud. C. R. Assoc. Franc. 1932, 163.
- J. Bjerknes a. E. Palmén. Aerologische Analyse einer Zyklone. Beitr. z. Phys. d. fr. Atm. 21, 1924, 51.
- J. Bjerknes. Investigations of selected European cyclones by means of aerial ascents. Case 3. Dec. 30—31, 1930. Geof. Publ. II, 4, 1935.
- E. Palmén. Registrierballonaufstiege in einer tiefen Zyklone. Soc. Sc. Fennica. Commentationes phys.-math. 5, 3. Helsingfors 1935.
- H. C. Willlett. Discussion and illustration of problems suggested by the analysis of atmospheric cross-sections. Papers in Phys. Oceanogr. a. Meteorology IV, 2. Cambridge, Mass. 1935.
- E. Kupfer. Die Zyklonenfamilie vom 12. bis 16. Mai 1935. Met. Zeitschr. 1935, 331.