

Pokroky matematiky, fyziky a astronomie

L. Křivský

Výzkumy dlouhodobých změn atmosférické cirkulace

Pokroky matematiky, fyziky a astronomie, Vol. 2 (1957), No. 3, 351--358

Persistent URL: <http://dml.cz/dmlcz/137228>

Terms of use:

© Jednota českých matematiků a fyziků, 1957

Institute of Mathematics of the Academy of Sciences of the Czech Republic provides access to digitized documents strictly for personal use. Each copy of any part of this document must contain these *Terms of use*.



This paper has been digitized, optimized for electronic delivery and stamped with digital signature within the project *DML-CZ: The Czech Digital Mathematics Library* <http://project.dml.cz>

VÝZKUMY DLOUHODOBÝCH ZMĚN ATMOSFÉRICKÉ CIRKULACE

Vývoj počasí i změny podnebí jsou dnes předmětem intenzivního výzkumu na celém světě. Zjišťovat zákonitosti změn povětrnostních procesů a zákonitostí podnebných změn není jen theoretickou záležitostí meteorologie, fyziky atmosféry. Společnost tu žádá, jako od žádné jiné přírodní vědy tak naléhavě — předpověď. Je řada přírodních věd se stejnou úrovní výzkumu, jako je v meteorologii, a jelikož není žádána na těchto vědních oborech předpověď zkoumaných dějů, jsou tak velmi váženými vědeckými obory. Meteorologie má tu nevýhodu, že od začátku jejího vzniku jako exaktní věda je povinna »samozřejmě« dodávat předpovědi počasí a změn podnebí, bez ohledu na to, do jaké míry jsou známy podstatné zákonitosti dějů v zemské atmosféře a podstatné příčiny atmosférických proměn. Fysice je vlastní experiment, fyzikální teorie jsou pak prověřovány praxí. Meteorologii zatím nezbyvá než přírodní »experimenty« sledovat, měřit, nemůže si experimenty zastavit, opakovat si je za stejných podmínek znova a znova, a ověření meteorologických teorií — to je předpověď. Jsou obory uvnitř meteorologické vědy, které pracují podobně jako experimentální fyzika, od těchto oborů se však předpověď nežadá nebo jen ve velmi malé míře. Za meteorologa experimentuje sama příroda, každým okamžikem a neustále, má to nevýhody, o těch byla již zmínka, výhody pak, že se vlastní experiment nepřipravuje. Sledování atmosférické cirkulace, která je nositelem počasí a povětrnostních změn a v dlouhodobém smyslu je hlavní příčinou podnebných změn, spolu s výzkumem velkého množství aktivních činitelů, vytvářejících složitý mechanismus atmosférické cirkulace, to je hlavní úkol meteorologie.

Krátkodobé změny atmosférické cirkulace, trvající řádově dny až měsíce, nebudou předmětem tohoto pojednání. O tyto změny se zajímá synoptická meteorologie a její obory krátkodobá předpověď počasí na 1—3 dny a středně dlouhodobá předpověď na 3—5 dnů. Tyto metody vystačí se sledováním vlastností a proudění vzdušných hmot a jejich čel, atmosférických front, vývoje a přemísťování tlakových útvarů (cyklon a anticyklon) při zemském povrchu v různých výškách v troposféře nad zemským povrchem a s extrapolací stávajícího vývoje a stavu do budoucnosti. Přes to, že v tomto úseku meteorologie bylo hodně vyzkoumáno a v posledních letech se pak používá pro předpověď počasí moderních početních metod i prostředků, je zaručena úspěšnost předpovědí v oblasti mírných a vyšších zeměpisných šířek na 75—85 %. Tyto výsledky ostatně pocítuje každý, kdo sleduje předpovědi Hydrometeorologického ústavu. S dlouhodobými předpověďmi je to ještě horší. Otázky, jak bude vypadat počasí příští roční dobu, celý rok nebo podnebí v příštích pěti nebo dvaceti letech, zůstávají prakticky bez odpovědi. Tyto úkoly studuje zatím theoreticky meteorologie s klimatologií spolu s astronomií, geofysikou a s důležitým nástrojem — matematickou statistikou.

Přes to, že i podnebí (klima) je vlastně souhrnem počasí vyskytujících se nad určitou oblastí, není možno při výzkumu výkyvů, kolísání a změn podnebí používat method, se kterými pracuje synoptická meteorologie včetně početní předpovědi.

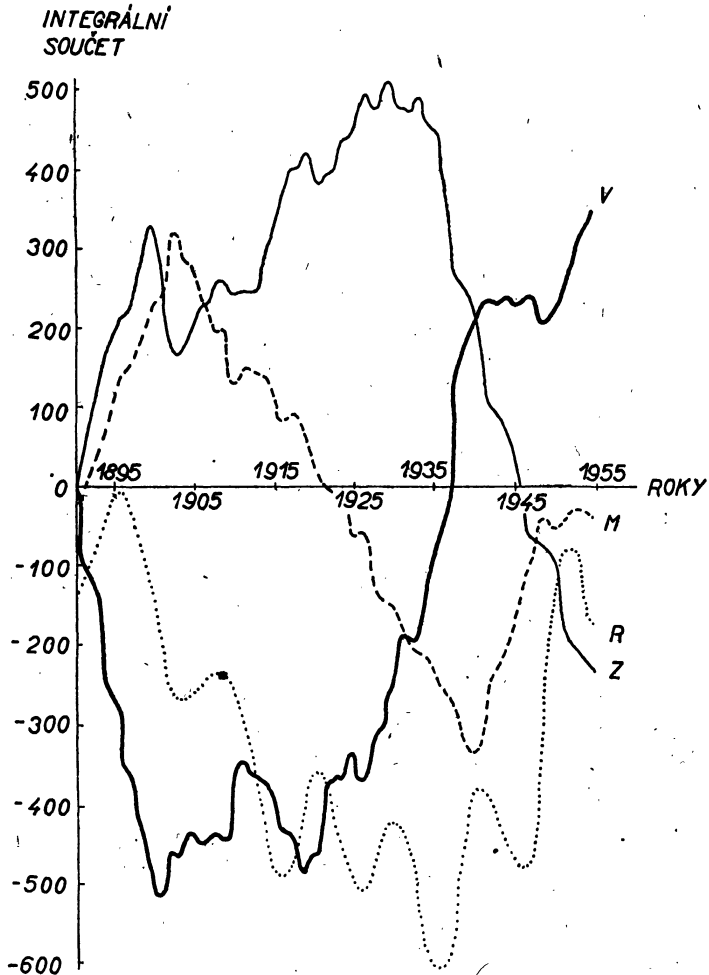
Jelikož podnebí a jeho výkyvy během let mimo celé řady více nebo méně téměř stálých činitelů je určováno v podstatě proměnlivým cirkulačním režimem a jeho změnami a celou všeobecnou cirkulací, je pochopitelně nutno studovat nejprve velmi soustavně a pracně zákonitosti cirkulace nad rozsáhlými oblastmi země a její formy v průběhu let a desetiletí, to jest ve vývoji, a též v souvislosti s těmi ději, které jsou hlavní příčinou cirkulace atmosféry vůbec a jsou fyzikálně s to změny a výkyvy způsobovat. To je ovšem velmi dlouhá a namáhavá cesta, nemající ihned naději na úspěch, na který čeká dnešní společnost, na spolehlivou předpověď vývoje podnebí pro nejrůznější národohospodářské potřeby, jako je na př. námořní a říční plavba, vodní energetika, meliorační opatření velkých rozměrů a jiné.

Velkých úspěchů na poli výzkumu dlouhodobých změn atmosférické cirkulace dosáhli v posledních desetiletích zvláště sovětské meteorologové, klimatologové a hydrologové. Nejcennější nové poznatky o změnách všeobecné cirkulace atmosféry a o jejich příčinách získali pak meteorologové Arktického vědeckovýzkumného ústavu v Leningradě hlavně zásluhou prof. G. J. V a n g e n g e j m a a doktora matematicko-fyzikálních věd A. A. G i r s e. Touto skupinou pracovníků byly dokonce velmi úspěšně aplikovány poznatky a výsledky v praxi, a to pro dlouhodobou předpověď pro životně důležitou oblast SSSR, velmi citlivou na výkyvy podnebí — pro Arktidu a subpolární oblasti [1, 2].

A. A. Girs ve své poslední práci shrnuje výsledky zkoumání dlouhodobých přeměn forem atmosférické cirkulace a změn sluneční činnosti v období posledních 65 let, kdy jsou k dispozici spolehlivé údaje o cirkulaci na severní polokouli. G. J. Vangengejm již dříve dokázal, že všeobecnou cirkulaci atmosféry lze vyjádřit jako proces neustálé přeměny jejích základních forem. Ukázalo se, že v průběhu ročních dob základní západní typ cirkulace (Z) se nejčastěji přeměňuje v následující sezóně ve východní typ (V), východní typ je vystřídán meridionální cirkulační formou (M) a po této se vyskytují uvedené základní typy cirkulace s převažujícím výskytem meridionálního typu (M). Toto typisování veškerých cirkulačních procesů, stanovené G. J. Vangengejmem, vystihuje dokonale přeměny a formy cirkulace atlanticko-evropské oblasti. Západní typ (Z) je charakterisován převládajícím transportem vzdušných hmot ze západních směrů na východ, východní typ (V) je charakterisován transportem vzdušných hmot z východních směrů na západ a meridionální typ (M) je charakterisován největší šířkovou výměnou vzdušných hmot od jihu na sever a od severu na jih. Stanovení zákonitostí střídání uvedených typů cirkulace během ročních sezón umožňuje touto t. zv. makrocirkulační metodou dlouhodobých předpovědí stanovit vývoj povětrnosti na 5 měsíců dopředu.

A. A. Girs nesleduje zákonitosti střídání a chodu četnosti základních cirkulačních typů jen během sezón, ale v průběhu velmi dlouhých období, neboť výsledky takového dlouhodobého sledování mají význam pro dlouhodobou předpověď podnebných výkyvů a kolísání. Girs zpracoval katalog cirkulačních typů za uvedené období a pro každý měsíc v roce byla stanovena četnost výskytu základních cirkulačních typů v počtu dní. Z celého období je stanoven průměrný výskyt a od tohoto normálu jsou vypočteny odchylky pro jednotlivé měsíce v jednotlivých letech. Tyto odchylky v četnostech byly algebraicky sčítány a naneseny do grafu, kde na ose úseček je časové měřítko (roky). Pro jednotlivé základní typy cirkulace uvedené oblasti byly provedeny tyto t. zv. integrální křivky měsíčních výchylek

četností v celém zkoumaném 65letém období (1891—1955). Je ještě nutno podotknout, že právě v posledních 50 letech jsou zjišťovány velké přeměny v podnebí, a to zvláště v polární a subpolární oblasti severní polokoule.



Obr. 1. Integrální křivky měsíčních odchylek výskytu cirkulačních typů M, V a Z v počtu dní v atlanticko-evropské oblasti. Tečkovaná křivka je integrální křivka ročních odchylek relativního čísla sluneční činnosti.

V období let, kdy integrální křivka výskytu určitého typu roste, byl zvětšený výskyt této formy cirkulace v počtu dní. Při poklesu křivky se procesy uvažované cirkulační formy vyskytovaly málo. Spád křivek vyjadřuje tak nadprůměrný nebo podprůměrný výskyt a tedy stupeň anomálnosti cirkulačního procesu. Z obr. 1 lze zjistit, že intenzita rozvoje (výskyt) forem Z, V a M se mění v průběhu let, a to celkem v podobě delších výkyvů dlouhých řádově několik desetiletí. Z grafu

možno na př. zjistit, že maximální výskyt situace typu Z je v období 1891—1930, potom až do dnešní doby je výskyt tohoto typu minimální. Výskyt formy V od začátku 20. století až do dneška dosahuje maxima. Meridionální forma cirkulace (M) dosahovala maxima výskytu před r. 1905, potom až do r. 1940 byl hluboký pokles četnosti a od této doby až podnes je opět velký výskyt tohoto typu. Již tímto zjištěným faktem je nalezena vlastně nejbližší příčina velkých podnebných kolísání v teplotách v severní polární a arktické oblasti, což se dá jedině vysvětlit celkovou zvětšenou mezišířkovou výměnou. Zvětšení výskytu východního a meridionálního typu (V+M) na úkor zmenšeného výskytu západního typu (Z) znamená zvětšování severo-j jižního a jiho-severního transportu vzdušných hmot a tím zmenšování teplotního šířkového kontrastu a v důsledku toho zvyšování teplot v polární a arktické oblasti. A. A. Girs celé zkoumané období podle průběhu integrálních křivek výskytu typů rozděluje na tato charakteristická období:

1891—1899	1900—1928	1929—1939	1940—1948	1949—1955
M+Z	Z	V	M	V

Při tomto dlouhodobém zkoumání byly nalezeny tytéž zákonitosti směny jednotlivých forem jako při krátkodobém sezónním zkoumání. Po období s maximem výskytu typu Z zákonitě následuje období s maximálním výskytem typu V a po epoše V nastává epocha s převažujícím výskytem typu M. Po tomto období se zvyšoval výskyt cirkulačních procesů formy V a též M. Již G. J. Vangengejm zjistil [1] též velmi důležitou souvislost mezi cirkulačními oblastmi atlanticko-evropskou a mezi oblastmi tichooceánsko-americkou. Jestliže se v atlanticko-evropském sektoru ustálí aspoň po 15 dní určitý typ cirkulace, stejný typ cirkulace ovládne tichooceánsko-americký sektor. Jinak však i tyto dva hlavní sektory cirkulace severní polokoule udržují do určité míry jakousi vlastní autonomitu.

Byl zde i další důležitý úkol zjistit dlouhodobé vztahy cirkulačních dějů v obou hlavních sektorech. Materiál meteorologických synoptických map dovolil zkoumat cirkulační změny v období 1900—1955. Ukázalo se, že i v tichooceánsko-americkém prostoru lze atmosférickou cirkulaci vystihnout třemi základními typy;

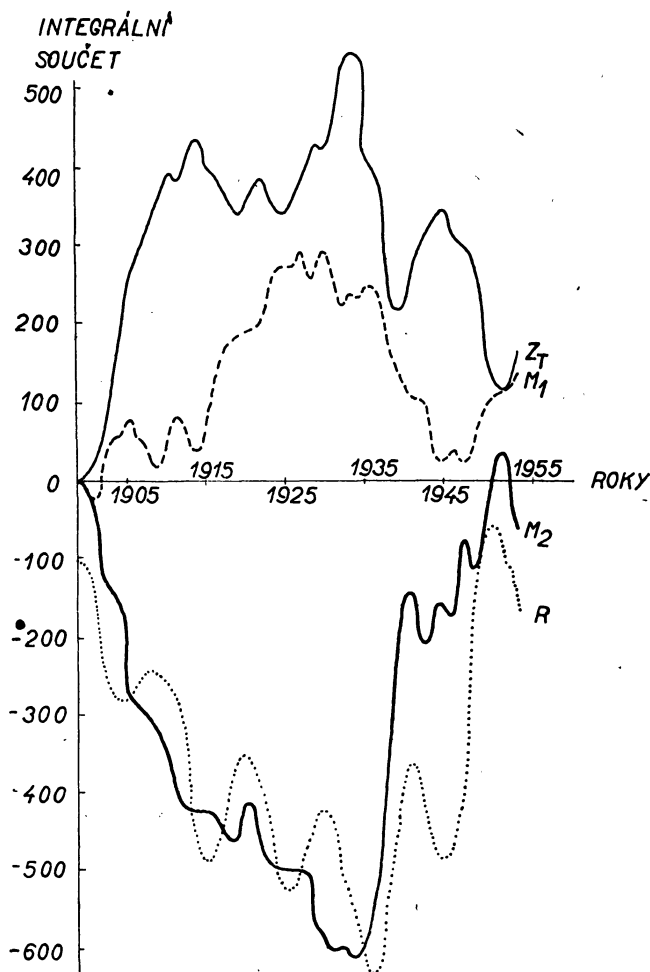
1. zonální procesy (Z_T), které jsou charakterisovány cyklonální aktivitou na polární frontě. Cyklony putují od Japonska, jižněji Kamčatky přes Aleutské ostrovy a dále na východ nad Kanadu a též i někdy dosáhnou islandské oblasti tlakového minima;

2. meridionální procesy jsou děleny na dva typy. Typ M_1 je definován touto cirkulační situací: hřeben hawajské anticyklony směřuje na severozápad na Aleutské ostrovy a též se někdy v této oblasti tvoří dokonce v zimě oblast vyššího tlaku, kde normálně je tlakové minimum. Cyklony směřují od Japonska na severovýchod ke Kamčatce a na Čukotku a dále putují po okraji oblasti vysokého tlaku na Aljašku a západní Ameriku;

3. u typu M_2 hřeben vysokého tlaku směřuje na západní okraj Ameriky a též se někdy spojuje s výběžkem polární anticyklony a vytváří pás vysokého tlaku, prostrajícího se často nad východní částí oceánu a nad západní Amerikou. Aleutské tlakové minimum je při tom zvláště rozvinuto i s tlakovými brázdami dáleko na jihovýchod a na severovýchod. Cyklony aleutského minima putují na severovýchod a podél americké anticyklony směřují pak na jihovýchod.

A. A. Girs provedl obdobné zkoumání výskytu těchto typů atmosférické cir-

kulace v průběhu let jako u atlanticko-evropské oblasti na základě rozboru denních synoptických map severní polokoule. Na obr. 2 jsou uvedeny opět integrální křivky cirkulačních typů, ale jsou to základní typy tichooceánské oblasti. Výsledné křivky jsou plně srovnatelné s křivkami na obr. 1.



Obr. 2. Integrální křivky měsíčních odchylek výskytu cirkulačních typů M_1 , M_2 a Z_T v počtu dní v tichooceánsko-americké oblasti. Tečkovaná křivka je integrální křivka ročních odchylek relativního čísla sluneční činnosti.

Ptáme se pochopitelně, jaká je podstatná příčina těchto nalezených změn a proč dochází vůbec k těmto dlouhodobým pochodům v cirkulaci a dále proč dochází převážně ke změně cirkulačního typu Z v typ V a tento proč přechází v typ M?

Změny podnebí mají příčinu ve změnách všeobecné cirkulace. Ke změnám cir-

kulace skutečně dochází, to je neustále v posledních letech na bohatém materiálu mnohými autory dokazováno. Jaké jsou však příčiny cirkulačních proměn?

A. A. Girs uvažuje a diskutuje nejprve příčiny spočívající bezpochyby uvnitř samé atmosféry. Při rozvoji západního proudění (typ Z) je potlačena šířková meridionální výměna vzduchových hmot a následkem toho se zvětšuje současný teplotní kontrast mezi jižními a severními šířkami. V dalším stadiu dosahují teplotní kontrasty takového kritického stupně, že jsou příčinou dynamické přeměny zonální cirkulace v cirkulaci vyznačující se na mapě tlakového pole meridionálním položením výběžků vysokého tlaku a brázd nízkého tlaku. Vznik meridionální formy tlakového pole spojené s mezišířkovou výměnou vzdušných hmot, t. zv. »bloky«, se neděje obyčejně na celé polokouli najednou, ale spíše jen v některé oblasti. V důsledku »bloku« v jedné oblasti se přibrzdňuje zonální západní proudění vůbec a vznikají i v ostatních oblastech změny v téměř smyslu, takže během určité doby převládá meridionální cirkulace.

Podle amerického meteorologa I. N a m i a s e [3] výskyt cirkulačního »bloku« v Tichém oceáně vyvolá analogický cirkulační proces nad Atlantikem během 6—7 dnů. Toto rozšiřování poruchy, v našem případě »bloku« je způsobováno odpovídající podstatnou změnou struktury výškového thermobarického pole troposféry ve spojení se současnými změnami divergence, advektivních činitelů a vertikálních složek proudění vzduchu. Těž velkou úlohu zde mají při tomto procesu teplotné změny a vlastnosti zemského povrchu v souvislosti s počasím (teplotná bilance záření povrch—atmosféra) a mořské proudy.

Na otázku, na čem závisí forma V a M nad Atlantikem, při níž vzniká proces velké meridionální výměny, nám odpoví srovnání s výsledky Ch. P. P o g o s j a n a [4], který zkonstruoval průměrné výškové mapy absolutní topografie hladiny 500 milibarů. Když srovnáme typické umístění výškových tlakových hřebenů a brázd při východním typu (V) a meridionálním typu cirkulace (M), uvidíme, že hlavní brázdy nad východními okraji kontinentů na průměrových mapách existují v zimě i při východním typu (V). Tak teplotní vliv kontinentů na atmosféru je takový, že při zonálním proudění hlavní tlakové brázdy budou vznikat zvláště v těch oblastech, kde vznikají při typu V . Proto v zimě vzájemný vztah atmosféry a zemského povrchu by způsoboval přeměnu typu Z v typ V a zabraňoval by přestavbě typu Z v typ M , při kterémžto typu mají se vytvářet nad východními okraji kontinentů hřebeny vysokého tlaku a nikoli brázdy nízkého tlaku. Je možné, že je to jedna z příčin, proč typ Z se nejčastěji přestavuje v typ V a nikoli v typ M .

Při procesech typu V jsou zvláště vyvinuta hlavní islandská a aleutská tlaková minima. S tím je spojen v jejich přední (východní) části velký transport teplých vzduchových hmot do severních šířek a s ním i transport teplejších vodních mas. Výsledek je ten, že ve východních oblastech Atlantiku a Tichého oceánu se teplota vody zvyšuje, což umožňuje a podporuje v těchto oblastech vznik výškových tlakových hřebenů a přispívá to k přestavbě typů V v typ M . Je možné, že je to jedna z příčin, proč typ V je nejčastěji vystřídán typem M a nikoli typem Z . Budou zde však mít úlohu zvláštnosti vzájemných vztahů procesů v různých oblastech severní polokoule i vztahy mezi kvasiautonomními cirkulacemi na obou polokoulích. Při výzkumu těchto vzájemných vztahů pracovníci Arktického ústavu na př. zjistili, že když na polokouli po typu Z vzniká v tichooceánském prostoru cirkulační typ M_1 , pak v atlantickém prostoru se časem přemění typ Z v typ M a jestliže v prvním prostoru vznikne typ M_2 , pak v druhém prostoru se přetvoří typ Z v typ V .

Vzájemné přeměny všech uvedených typů v krátkodobějším smyslu a jejich vnitřní příčiny, které jsme naznačili, nemohou vůbec vysvětlovat mnohaletou existenci převládajícího typu (nebo 2 typů) cirkulace a značné potlačení ostatních zbývajících forem cirkulace a nevysvětlí, proč i v dlouhodobém mnohaletém chodu byly nalezeny analogické mechanismy cirkulačních přeměn.

Aby odpověděli na uvedenou otázku, zkoumali sovětsí meteorologové Arktického ústavu vztah mezi dlouhodobými sekulárními kolísáními sluneční aktivity a dlouhodobými přeměnami cirkulačních forem Z , V a M . A. A. Girs zpracoval relativní počet slunečních skvrn vyjadřující sluneční aktivitu za 205 let (1750—1955), a to obdobným způsobem jako údaje o výskytu hlavních cirkulačních forem. Křivky dlouhodobé sluneční aktivity uvedené též na obr. 1 a 2 jsou opět integrální hodnoty odchylek od průměru. Na křivce sluneční aktivity pro celé období (kterou zde neuvádíme) je patrný 80—90letý cykl a menší výkyvy v periodě 11 let jsou též slabě zachovány.

Z obr. 1 vyplývá, že v období poklesu integrální křivky sluneční aktivity (t. j. vlastně období sekulárního minima) v atmosféře daleko častěji vznikají a rozvíjejí se procesy se zonálním západním prouděním (Z) a v téže době v prostoru Tichého oceánu (obr. 2) častěji vznikají procesy typů Z a M_1 . V období vzestupu křivky sluneční aktivity (t. j. vlastně v epoše sekulárního maxima) se mimořádně rozvíjejí nad Atlantikem pochody typu V a nad Tichým oceánem pochody typů M_2 a i M_1 . Podle A. A. Girse (což je v souladu i s výsledky solárních fyziků) prožíváme právě období sekulárního maxima sluneční činnosti a v příštích desetiletích bude aktivita klesat. Na základě tohoto výsledku a zjištěných vztahů A. A. Girs stanovil, že v letech po r. 1960 nutno počítat v atlanticko-evropské oblasti s aktivním rozvojem zonálních pochodů v troposférické cirkulaci a s oslabením meridionálního a východního typu a v tichooceánsko-americké oblasti s aktivisací pochodů typu Z a M_1 .

Na otázku, s čím je spojen výskyt dlouhodobých anomálií v rozvoji hlavních cirkulačních forem možno tedy odpovědět, že tyto anomálie jsou ve vztahu s dlouhodobými změnami sluneční aktivity, která se projevuje v 11letých a 80—90letých cyklech.

Tyto důležité Girsovy výsledky jsou ve shodě s výsledky amerického meteorologa F. B o d u r t h a (1952), který zjistil při zkoumání mechanismu zrodu anticyklon, že v období velké sluneční aktivity se objevuje v oblasti Aljašky velmi značná kladná tlaková anomálie a zvětšený vznik anticyklonálních »bloků«, při malé sluneční aktivitě je tlakový efekt opačný a výskyt »bloků« malý.

Girsovy závěry jsou též podporovány pracemi Z. G r e g o r a a L. K ř i v s k é h o [5, 6], kteří při zkoumání dlouhodobé změny výskytu frontální zony v atlanticko-evropské oblasti zjistili, že při zvyšující se sekulární sluneční činnosti frontální zóna častěji směřuje do polární oblasti, což je dokladem zvětšené meridionální výměny (u Girse cirkulační situace typů M a V).

Girs naznačuje též zákonitosti vztahu mezi 11letými slunečními cykly zachované na integrálních křivkách odchylek a mezi podružnými a méně výraznými kolísáními na integrálních křivkách výskytu cirkulačních typů. Podružná zvětšení sluneční aktivity v epoše všeobecného poklesu vyvolávají menší krátkodobé aktivisace forem V a M , v epoše všeobecného vzrůstu jsou doprovázeny daleko výraznějšími anomáliemi výskytu forem V a M .

Při podrobnějším zkoumání vztahů mezi nalezenými křivkami četnosti cirkulač-

ních typů a sluneční aktivitou možno zjistit, že přelom v chodu sluneční aktivity nastává téměř současně se zlomem v chodu křivek cirkulačních typů v tichooceánsko-americkém prostoru. V atlanticko-evropském prostoru současnost zlomu není, je zde určitý časový posun. Zvýšení sluneční aktivity (vzestupná část 11letého cyklu) způsobuje porušení zonálních procesů v tichooceánském prostoru a rozvoj meridionálních M_1 a M_2 . Toto »blokování« má patřičný vliv přes advektivní, dynamické a jiné procesy v atmosféře a hydrosféře na zonální formy cirkulace v ostatních částech polokoule. Jestliže v Tichém oceáně se vytvořil meridionální typ M_2 , potom během doby se nad Atlantikem přemění typ Z v typ V a jestliže tam vznikne typ M_1 , pak je v druhém prostoru pravděpodobná změna typu Z na typ M .

Souběžně s výzkumem dlouhodobých změn cirkulace a sledováním vztahů k uplatňujícím se příčinám je rozvíjen výzkum převodního mechanismu vlivu sluneční aktivity a s tím spojené kvalitativní a kvantitativní změny záření. Stačí uvést jen theoretické řešení H. B. Marise, E. O. Hulberta [7] a B. Haurwitze [8, 9], jejichž theoretické předpoklady a výsledky jsou v posledních letech potvrzovány praktickým výzkumem tropopausy a ozonosféry meteorologickými radlosondami až do výšek 30–35 km.

Při velké sluneční činnosti vzrůstá emise ultrafialového záření a podle Haurwitze tato emise způsobuje zvětšení teploty ozonosféry. Tento efekt bude nejsilnější v nízkých zeměpisných šířkách, slabý bude ve vyšších šířkách. V důsledku tohoto působení vzniká tak větší teplotní šířkový kontrast a větší šířkový tlakový gradient a tedy tendence k meridionálním transportům vzduchu. Tento cirkulační pochod ve vyšších výškách pochopitelně není izolovaný a má vliv na níže položené cirkulační troposférické cely.

V obdobných zkoumáních zákonitostí atmosférické cirkulace nutno dále pokračovat jak v celoplanetárním měřítku, tak i při aplikaci již nalezených základních zákonitostí na jednotlivé oblasti Země. To má velkou důležitost při výpočtu dlouhodobých předpovědí počasí a pro předpovědi změn cirkulace a podnebí. Velký národohospodářský význam tohoto výzkumu v aplikaci je zřejmý již z kladených požadavků i v našem státě.

LITERATURA

- [1] Vangengejm G. J.: *Osnovy makrocirkulacionnogo metoda dolgosročnych meteorologičeskich prognozov dlja Arktiki*, Trudy Arkt. Inst. 34, 1952.
- [2] Girs A. A.: *Mnogoletnije preobrazovanija form atmosfěrnoj cirkulaciji i izmeněnija solnečnoj aktivnosti*, Met. i gidrol. 10, 1956, 3.
- [3] Namias I.: *Methods of extended forecasting*, U. S. Departement of Commerce, Sept. 1943.
- [4] Pogosjan Ch. P.: *Sezonnyje kolebanija obščej cirkulaciji atmosfery*, Trudy Centr. Inst. Prog., 1 (28), 1947.
- [5] Gregor Z., Křivský L.: *Kolísání frontální zony v oblasti Atlantiku a Evropy během roku a ve vztahu ke sluneční aktivitě*, Meteorolog. zprávy, 5, 5, 1952, 122.
- [6] Křivský L., Gregor Z.: *Dlouhodobé kolísání atlanticko-evropské frontální zony ve vztahu k podnebí*, Meteorolog. zprávy 9, 5–6, 1956, 144.
- [7] Maris H. B., Hulbert E. O.: *A theory of auroras and magnetic storms*, Phys. Rev., Ser. II., 33, 1929, 412.
- [8] Haurwitz B.: *Relations between solar activity and the lower atmosphere*, Transact. Amer. Geoph. Union, 27-II, 1946, 161.
- [9] Haurwitz B.: *Solar activity, the ozone layer and the lower atmosphere*, Harvard Obs. Mon., 7, 1948, 353.