

Severo-južná asymetria slnečnej koróny a jej kvázi-dvojročné oscilácie

O.G. Badalyan, IZMIRAN, Troitsk, Rusko, badalyan @izmiran.troitsk.ru

V.N. Obridko, IZMIRAN, Troitsk, Rusko, obridko @izmiran.troitsk.ru

J. Rybák, Astronomický ústav SAV, Tatranská Lomnica, Slovak Republic, choc @ta3.sk

J. Sýkora, Astronomický ústav SAV, Tatranská Lomnica, Slovak Republic, sykora @ta3.sk

Abstrakt

Severo-južnú asymetriu (SJA) skúmame pomocou databáz štyroch indexov slnečnej aktivity, menovite, intenzity zelenej koronálnej čiary Fe XIV 530,3 nm, celkovej plochy slnečných škvrn, celkového počtu slnečných škvrn (všetky tri indexy za obdobie 1939-2001) a celkového magnetického toku (1975-2001). Zaujímalo nás ako časovo-priestorové rozloženie SJA, tak aj jej vzájomné korelácie pre jednotlivé indexy aktivity. Našli sme, že typické časové variácie SJA sú súhlasné pre uvedené štyri indexy aktivity, a to ako v krátkodobých, tak aj v dlhodobých meradlách. Pritom najvyšší stupeň korelácie v SJA uvedených indexov sa dosahuje v zóne $10^\circ - 20^\circ$ heliografickej šírky.

V časovom priebehu SJA jednotlivých indexov aktivity sme odhalili kvázi-dvojročné oscilácie (KDO). Použili sme metódy spektrálnej analýzy (Spectral Variation Analysis – SVAN) a vlnkovej analýzy (Wavelet Analysis – WAN), aby sme preskúmali KDO detailnejšie. Zistili sme, že existujú dlhodobé súčasné zosilnenia a zoslabenia KDO v SJA skúmaných indexov aktivity a to naraz vo veľkom rozsahu heliografických šírok. Významnou sa zdá byť najmä skutočnosť, že nájdené KDO sú oveľa výraznejšie vyjadrené v SJA jednotlivých indexov aktivity než v samotných indexoch aktivity, a súčasne, že KDO jednotlivých indexov aktivity korelujú medzi sebou oveľa horšie než je to v prípade ich indexov SJA.

Zaujímavou je aj skutočnosť, že veľkosť KDO v SJA, hlavne pri intenzite zelenej koróny, sa zdá byť v anti-fáze k SJA samotných indexov aktivity. Najlepším príkladom toho je podstatné zoslabenie KDO v polovici šesťdesiatych rokov minulého storočia, teda v období, kedy bola pozorovaná najvyššia SJA vo všetkých indexoch slnečnej aktivity.

Výsledky tejto práce poukazujú na úzky vzťah medzi globálnymi a lokálnymi prejavmi slnečnej aktivity, ktoré sú riadené magnetickými poliami rôznych rozmerov. Získané poznatky naznačujú, že SJA predstavuje určitú fundamentálnu vlastnosť, rovnako sa prejavujúcu v rôznych indexoch slnečnej aktivity. Na prekvapenie, nijaká z teórií slnečného dynama nebola doteraz schopná reflektovať taký významný fenomén slnečnej aktivity, akým SJA a jej vlastnosti nesporne sú.

1. ÚVOD

Až do nedávnej minulosti sa slnečná aktivita skúmala vcelku pre celé teleso Slnka, bez rozdelenia na jeho poglobule. Predpokladalo sa, že všetky procesy na Slnku prebiehajú rovnako ako na severnej tak aj na južnej poglobule. Pre celé Slnko boli odvodené početné indexy slnečnej aktivity – Wol-

fovo číslo, početnosť polárnych fakulí, celkový tok rádiového žiarenia, a iné. Taký prístup umožnil odhaliť základné vlastnosti slnečnej cykličnosti. Boli nájdené prakticky synchrónne cyklické variácie rôznych indexov, charakterizujúcich prejavy aktivity vo všetkých hladinách atmosféry Slnka, od fotosféry až do koróny. Podobné cyklické variácie boli odhalené aj v medziplanetárnom priestore a v

indexoch geomagnetickej aktivity. Za predpokladu identity oboch pologúl Slnka sa rozvíjali rôzne teoretické predstavy, menovite, teória diferenciálnej rotácie Slnka, dynamo teória a hélíoseizmológia.

Avšak, postupne sa stalo zrejším, že severná a južná pologuľa "pracujú" nie celkom identicky. V časovom chode rôznych indexov slnečnej aktivity sa pozoruje istá "rozladenosť" v ich fáze a veľkosti na dvoch pologuliach v dĺžke od niekoľko mesiacov do niekoľkých rokov. Takéto rozdiely sa prejavujú v početných indexoch slnečnej aktivity od fotosféry do koróny a je zvykom popisovať ich ako severo-južnú asymetriu. Zo spôsobu jej výpočtu vyplýva, že SJA možno skúmať ako diferenciálnu veličinu, malú oproti samotným indexom aktivity. Žiada sa tiež poznamenať, že počas pomerne dlhého obdobia sa mnohí autori prikláňali k názoru, že samotná SJA je artefaktom, dôsledkom chýb pozorovania, alebo dôsledkom štatisticky nevýznamných fluktuácií meraných veličín. Preto ešte pomerne nedávno v práci Carbonell, Oliver a Ballester (1993) prvým zo základných záverov práce bolo tvrdenie, že SJA plôch slnečných škvŕn je štatisticky významnou a je teda reálnym fenoménom.

Hoci štúdium SJA prebieha už dosť dlho, stále možno konštatovať, že podstata tohoto fenoménu zostáva nejasnou a naďalej dochádza k odhaľovaniu nových skutočností odrážajúcich rôzne stránky tohoto zaujímavého javu.

Najpodrobnejšie bola skúmaná SJA slnečných škvŕn. Boli k tomu použité plochy škvŕn a niektoré iné škvŕnové indexy za rôzne dlhé obdobia. Analyzovaná bola aj SJA mnohých iných indexov slnečnej aktivity – filamentov, protuberancií, jasnosti koróny, rádiových zábleskov, atď. Štúdium radu autorov umožnilo odhaliť niektoré základné charakteristiky fenoménu SJA. Neraz sa napríklad konštatovalo, že severná pologuľa Slnka bola v druhej polovici 20. storočia po dlhú dobu značne aktívnejšia. V asymetrii rôznych indexov slnečnej aktivity boli odhalené kvázi-periodické zmeny v širokom diapazóne frekvencií. Existencia SJA vedie aj k tomu, že v na severnej a južnej pologuli nesúhlasia tzv. aktívne dĺžky, pričom je práve evidentný náznak ich antipodálnosti (viď napr., Vitinskij a kol., 1986).

V rade prác bola porovnávaná SJA pre rôzne indexy slnečnej aktivity (Newton a Milson, 1955; Waldmeier, 1971; Sýkora, 1980; Rušin, 1980). Podľa výsledkov takých porovnaní možno usudzovať, že SJA predstavuje dôležitú nezávislú charakteristiku slnečnej aktivity, ktorá sa správa rovnakým spôsobom v rôznych indexoch a na rôznych časových a priestorových škálach. Jedným z cieľov našej práce je práve preverka a odôvodnenie takého predpokladu. Skúmame preto SJA v štyroch indexoch slnečnej aktivity a v pomerne dlhom časovom intervale. Pre štúdium sme vybrali jasnosť (intenzitu) zelenej koronálnej čiary, sumárnu plochu slnečných

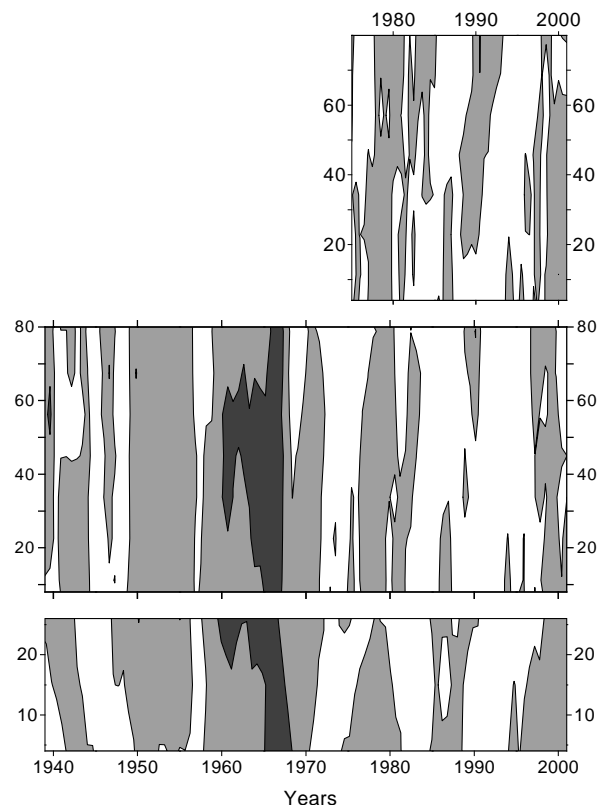
škvŕn, ich celkový počet a celkový magnetický tok.

Dôležitou obecnou vlastnosťou vybraných indexov je to, že všetky sú indexami charakterizujúcimi aktivitu Slnka v danom konkrétnom bode jeho povrchu. Väčšina iných indexov aktivity sú alebo integrálnymi indexami vzťahujúcimi sa k Slnku ako celku (žiarenie Slnka, tok rádiového žiarenia, a pod.), alebo charakterizujú nestacionárne procesy (napríklad, počet, intenzitu a súradnice slnečných erupcií a koronálnych výronov hmoty). Nestacionárne procesy v našej práci neskúmame. Málo dostupnými sú digitálne filtrogramy disku Slnka a len nedávno sa objavili rádiomapy Slnka s dostatočným priestorovým rozlíšením. Inou dôležitou charakteristikou nami vybraných indexov je pomerne značná dĺžka pozorovacích radov. Databáza JZK zaberá skoro šesť cyklov slnečnej aktivity. Aj údaje o charakteristikách a počte slnečných škvŕn sú dobre dostupné dokonca za dlhšie obdobie. Spoľahlivé merania celkového toku magnetického poľa existujú od r. 1976, teda počas 2,5 slnečného cyklu.

Jasnosť zelenej koróny Fe XIV $\lambda 530,3$ nm je veľmi vhodným indexom, umožňujúcim študovať slnečnú aktivitu a jej koronálnu asymetriu. Veľkou prednosťou tohoto indexu je to, že je meraný prakticky súčasne na všetkých hélíošírkach. Na báze patrolných pozorovaní poskytuje tento index rovnomerné a spojitú číselné pole (matricu údajov, databázu) pre hustú sieť bodov na disku Slnka. Tým sa v prvej časti značne líši od, napríklad, Wolfových čísel alebo plôch slnečných škvŕn, ktoré charakterizujú aktivitu iba v nízkych hélíošírkach, alebo od údajov o polárnych fakulových poliach popisujúcich stav len vo vysokých pri-polárnych šírkach. Naša databáza obsahuje údaje o intenzite (jasnosti) zelenej koróny s rozlíšením jeden deň (asi 13° v hélíodĺžke) a 5° v hélíografickej šírke, vzťahujúce sa k výške 60 oblúkových sekúnd nad slnečným okrajom (fotosférou).

Slnečné škvŕny charakterizujú aktivitu Slnka na hladine fotosféry. Prednosťou škvŕnových indexov slnečnej aktivity je, predovšetkým, dlhý časový rad údajov. Ako je známe tento rad značne prevyšuje časový interval počas ktorého je pozorovaná slnečná koróna. Pritom, prirodzene, údaje o škvŕnách umožňujú skúmať aktivitu Slnka a jej asymetriu iba v zóne pri-rovníkových šírok do $\sim 30^\circ$. V tejto práci na charakteristiku škvŕnovej aktivity používame dva indexy – sumárnu plochu škvŕn a ich celkový počet. Chceme podčiarknúť, že používame menovite celkový počet škvŕn a nie tradičné Wolfovo číslo. Ako bude vidno z ďalšieho, celkový počet škvŕn sa ukázal byť úplne nezávislým a celkom zaujímavým indexom, pričom často dáva vyššie hodnoty korelácie s charakteristikami asymetrie zelenej koróny ako, napríklad, plochy škvŕn alebo tradičné Wolfovo číslo.

Magnetický tok ako aj JZK sú, na rozdiel od škvŕnovej aktivity, spojitými veličinami a možno



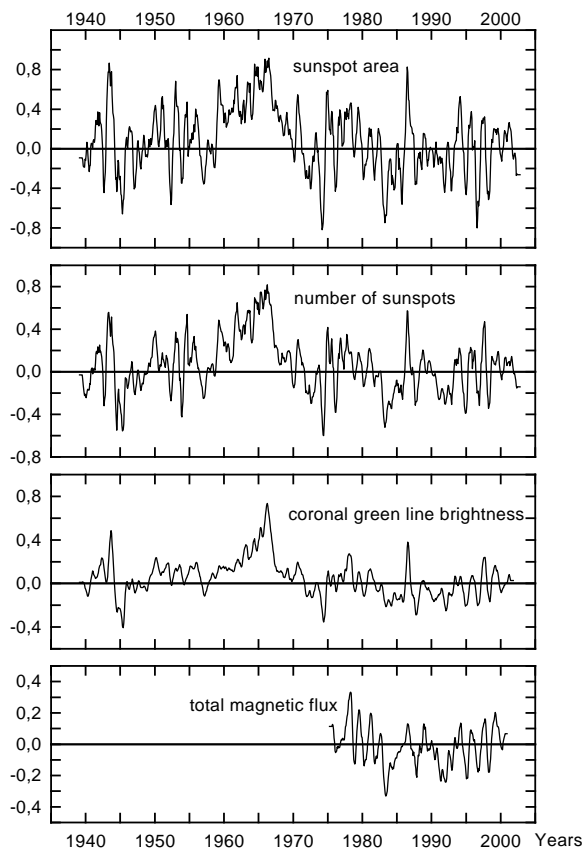
Obrázok 1. Diagramy šírka-čas pre asymetriu (zhora dolu) celkového magnetického toku, jasnosti zelenej koronálnej čiary a sumárnej plochy slnečných škvŕn. Asymetria magnetického toku sa mení v rozmedzí $\pm 0,5$ (dve gradácie na mape), pre jasnosť zelenej koróny sú použité tri gradácie s krokom 0,3 (čierna farba platí pre asymetriu vyššiu ako +0,3), pre sumárnu plochu škvŕn je krok 0,6 a čierna farba znamená asymetriu vyššiu ako +0,6.

ich, v princípe, určovať (merať) na ľubovoľnom mieste slnečného povrchu. Magnetický tok je pritom základnou charakteristikou slnečného magnetického poľa, určujúcou všetky prejavy slnečnej aktivity, vrátane štruktúry koróny a vzniku slnečných škvŕn.

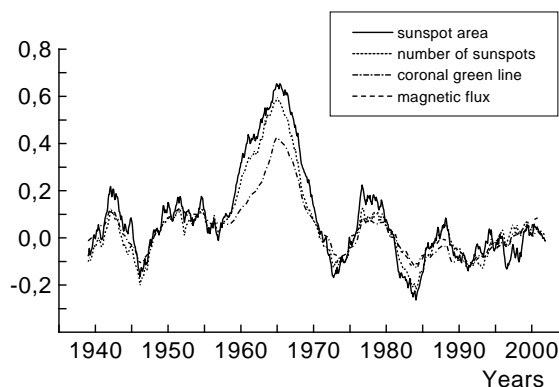
V tejto práci sme použili nasledovné databázy meraní:

(1) Intenzitu zelenej koronálnej čiary $\lambda 530,3$ nm Fe XIV. Táto databáza je založená na patrolných meraniach malej celosvetovej siete koronálnych observatórií a v súčasnosti pokrýva obdobie 1939-2001. Merania jednotlivých koronálnych staníc boli prevedené na spoločnú fotometrickú škálu, pričom metódu homogenizácie údajov popísal Sýkora (1971, 1992). Podrobný popis databázy JZK možno nájsť aj v Badalyan a kol. (2004).

(2) Sumárne plochy slnečných škvŕn. Boli počítané z meraní Greenwich observatória a získané z Internetu.
 (3) Celkový počet slnečných škvŕn. Tiež bol odvodený z meraní Greenwich-u a prevzatý z Internetu.



Obrázok 2. Priebeh SJA v štyroch skúmaných indexoch slnečnej aktivity v škrvnotvornej zóne $0^\circ - 30^\circ$. Bolo prevedené vyhladenie polynómom 13. stupňa metódou Savitzky-Golay. Je vidieť veľmi dobrý súhlas časových zmien asymetrie v rôznych indexoch a to aj na malých časových škálach.



Obrázok 3. Asymetria v štyroch indexoch aktivity, spracovaná metódou klzajúceho priemeru s oknom 49 mesiacov. Tu je vidieť zhoda časových zmien asymetrie na veľkých časových škálach.

(4) Celkový magnetický tok. Údaje o fotosférickom magnetickom toku sme pripravili z magnetických meraní na Kitt Peak Observatory vo forme magnetických máp pre Carrington-ovské rotácie (CR) pokrývajúce časový interval 1975-2001. Tu sme použili priemerné hodnoty magnetického toku vypočítané pre každú CR a každých 10° heliošírky. Pri príprave údajov sme predpokladali, že merané magnetické pole je radiálne orientované k slnečnému povrchu a preto pozorované polia boli vydelené hodnotou \cos inus-u heliografickej šírky.

A tak, indexy aktivity, asymetria ktorých je skúmaná v našej práci, súvisia s rôznymi prejavmi slnečnej aktivity. Všetky dáta sme spracovali rovnakou metódou štatistickej analýzy. To nám umožňuje porovnávať výsledky analýzy vzťahujúcej sa k objektom, ktoré vznikajú v dôsledku úplne odlišných mechanizmov vzájomného pôsobenia medzi magnetickým poľom a plazmou. Ešte raz chceme poznamenať, že v práci neskúmame nestacionárne procesy.

Explicitne sa zaoberáme: (1) Priestorovo-časovými rozloženími severo-južnej asymetrie, určenej z rôznych indexov slnečnej aktivity a ich vzájomnými koreláciami ako na malých tak aj na veľkých časových škálach; (2) Kvázi-dvojiročnými osciláciami v asymetrii indexov aktivity a ich priestorovo-časovými rozloženími, a následne súvislosťami medzi KDO a SJA; (3) Kvázidvojiročnými varáciami v samotných indexoch aktivity a porovnaním KDO v asymetrii s KDO v indexoch aktivity.

Výsledky prevedenej analýzy svedčia o tom, že SJA je skutočne významným a informatívnym parametrom slnečnej aktivity. Problémy súvisiace so širšou akceptáciou fenoménu SJA sú naznačené v záverečnej kapitole tohoto článku.

2. KRÁTKODOBÉ A DLHODOBÉ ZMENY ASYMETRIE V RÔZNYCH INDEXOCH SLNEČNEJ AKTIVITY

Index SJA určujeme v tejto práci štandardným spôsobom ako $A = (S - J) / (S + J)$, kde S a J sú hodnoty odpovedajúcich indexov aktivity pre severnú a južnú pologuľu. Pre rozličné zámery nášho výskumu sme často potrebovali stredné hodnoty asymetrie pre zvolené časové a šírkové intervaly. Pretože veličina A závisí od S a J nelineárnym spôsobom treba definovať prijatú procedúru priemerovania A . My pod strednými hodnotami asymetrie chápeme výpočet asymetrie nasledovným spôsobom. Na začiatku sa vypočítajú stredné časové a/alebo priestorové hodnoty indexov slnečnej aktivity pre severnú a južnú pologuľu oddelene a až potom sa vypočítajú hodnoty A podľa vyššie uvedeného vzorca. Niekedy sme takto získané priemerné hodnoty asymetrie ešte dodatočne "vyhladili", o čom je v texte povedané v každom prípade zvlášť.

Obyčajne sa pod SJA chápe rozdiel medzi severnou a južnou pologuľou, ponímanými ako celok. Avšak, je dobre známe, že slnečná aktivita má zreteľnú, ba až výraznú, zonálnu štruktúru. Preto sme pokladali za vhodné počítať a skúmať index asymetrie aj v závislosti na heliošírke. V takomto prípade ako S a J chápeme hodnoty akéhokoľvek indexu v symetricky umiestnených šírkových zónach vzhľadom k rovníku Slnka.

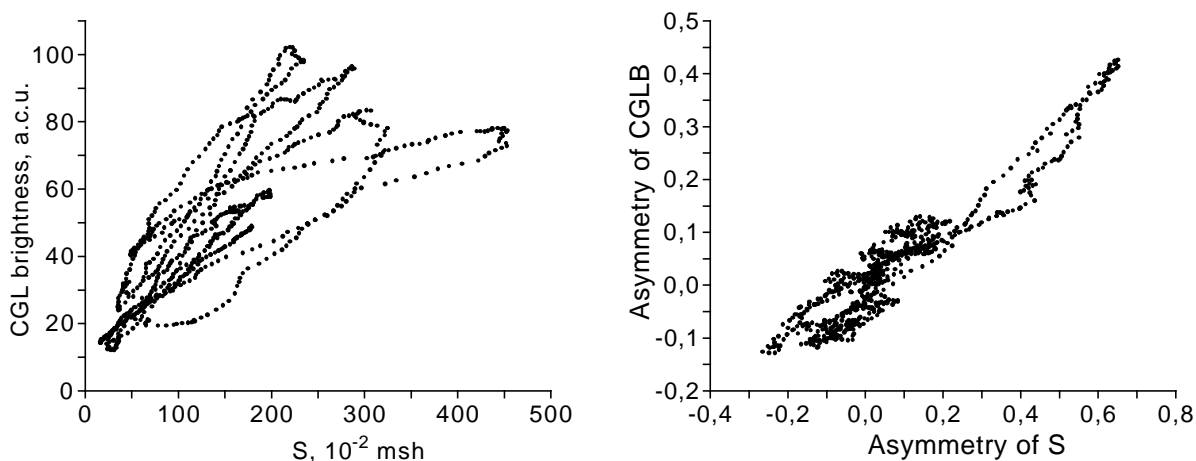
Na obr. 1 sa nachádzajú diagramy šírkačas pre asymetriu troch zo skúmaných indexov aktivity – celkového magnetického toku, JZK a sumárnej plochy škvŕn. Sú demonštrované dlhodobé a veľkoškálové variácie SJA. Za tým účelom boli pre zostrojenie dvoch horných panelov použité polročné priemerné hodnoty asymetrie v 10-stupňových šírkových zónach. Na zostrojenie dolného panelu boli vypočítané priemerné hodnoty asymetrie sumárnych plôch škvŕn v troch šírkových zónach $0^\circ - 10^\circ$, $10^\circ - 20^\circ$ a nad 20° , ktoré sa potom vyhladili polynómom 9. stupňa metódou Savitzky-Golay (viď <http://www.mathworks.com>). Táto metóda potláča šumy a zachováva vysokofrekvenčné zložky. Vyhladenie bolo nutné previesť, lebo asymetria plôch (i počtu) škvŕn podlieha väčším výkyvom než asymetria iných indexov (napríklad, v obdobiach kedy na jednej z pologúl absentujú škvŕny, A dosahuje hodnotu $\pm 1,0$), a tak bez náležitého vyhladenia by sme dostali príliš "zašumenú" mapu.

Obr. 1 ukazuje, že SJA sa v uvedených indexoch mení podobným spôsobom v celom intervale širok (hoci samotné hodnoty A môžu byť rôzne veľké). Vyplýva to z veľmi podobného striedania tmavých a svetlých pásov na všetkých troch paneloch obr. 1. Poznamenávame, že asymetria celkového počtu škvŕn (ktorú na obr. 1 neuvádzame) sa prakticky nelíši od asymetrie plôch škvŕn uvedenej na dolnom paneli. Možno jasne dedukovať, že v prvej polovici skúmaného intervalu je koróna na severnej pologuli vcelku jasnejšia než na južnej. V druhej polovici intervalu je situácia opačná, aj keď samotná asymetria je pritom podstatne nižšia. Inak povedané, v skúmanom intervale 1939-2001 je kladná asymetria (t.j., kde je severná pologuľa jasnejšia od južnej) vyjadrená zreteľnejšie. V období 1965-68 došlo k podstatnému zosilneniu asymetrie. Existencia vertikálnych pásov na diagramoch šírkačas súvisí s približne súčasnou náhlou zmenou asymetrie na všetkých šírkach. Na tento fakt sme už skôr poukázali pri prezentácii časového priebehu SJA v JZK, v 10-stupňových šírkových zónach (Badalyan a kol., 2002).

Badalyan a kol. (2002) skúmali ešte jeden index škvŕno-tvorby Slnka – tradičné Wolfove čísla. Prezentovali cyklické zmeny Wolfových čísiel, jasnosti zelenej koróny a plôch škvŕn oddelene na severnej a južnej pologuli. Ukázali, že k nárastu a úbytku asymetrie týchto troch prejavov slnečnej aktivity dochádza prakticky súčasne a táto korelácia sa

Tabuľka 1. Koeficienty korelácie asymetrie rôznych indexov v šírkovvej zóne $0^\circ - 30^\circ$

Korelácia medzi asymetriou indexov	Koeficient korelácie
plocha slnečných škvŕn – zelená koróna	$0,800 \pm 0,013$
počet slnečných škvŕn – zelená koróna	$0,860 \pm 0,010$
plocha slnečných škvŕn – počet slnečných škvŕn	$0,916 \pm 0,006$
plocha slnečných škvŕn – celkový magnetický tok	$0,768 \pm 0,024$
počet slnečných škvŕn – celkový magnetický tok	$0,800 \pm 0,021$
zelená koróna – celkový magnetický tok	$0,848 \pm 0,016$



Obrázok 4. Krížové korelácie medzi sumárnou plochou slnečných škvŕn a jasnosťou zelenej koróny (ľavý panel) a medzi SJA tých istých indexov aktivity (pravý panel). Všetky veličiny sú spracované metódou klzavého priemeru s oknom 49 mesiacov. Vidno, že korelácia medzi indexami aktivity je značne menšia ($k = 0,76$), ako medzi ich asymetriou ($k = 0,95$).

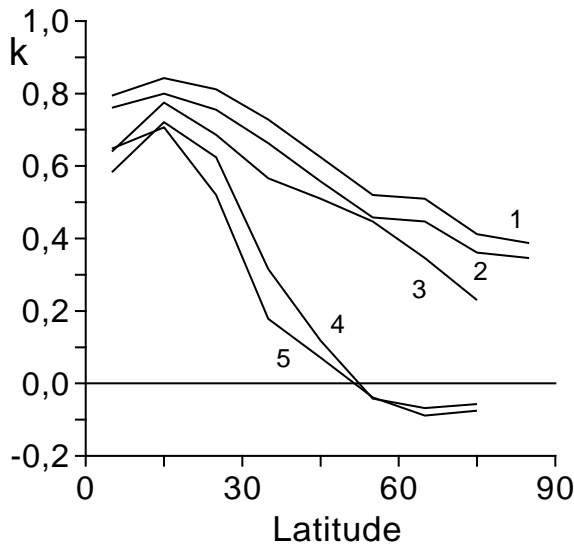
zachováva ako na veľkých tak aj na malých časových škálach. Všetky tri parametre ukazujú dominanciu severnej pologule v prvej polovici skúmaného časového intervalu a miernejšiu dominanciu južnej pologule v druhej časti intervalu. Svedčí to o existencii akejsi dlhoperiodickej vlny, blízkej k 40 rokom, ktorá sa spomína aj v niektorých iných publikovaných prácach.

Na obr. 2 je ukázaný priebeh SJA vypočítaný zo spremerovaných hodnôt asymetrie v zóne $0 - 30^\circ$ pre všetky štyri indexy aktivity. Tento obrázok sme "vyrobili" nasledovným spôsobom. Pre všetky štyri indexy sme vypočítali priemerné hodnoty A za každý mesiac. Potom sme na nich previedli vyhladenie metódou Savitzky-Golay polynómom 13. stupňa. Ako je vidieť z obr. 2, získané krivky sú podobné skoro až do detailov. Napríklad, vo všetkých indexoch je jasne vidieť nárast SJA v rokoch 1965-68, pokles asymetrie blízko roku 1983 a náhly nárast v roku 1986. V tabuľke 1 uvádzame koeficienty párovej korelácie asymetrie skúmaných indexov.

Na obr. 3 sú tie isté indexy SJA skúmaných prejavov slnečnej aktivity ako na obr.2, spracované metódou klzavého priemeru s oknom 49 mesiacov. Na rozdiel od obr. 2 je tu eliminovaná vysokofrekvenčná zložka a ponechaná je len pomaly

sa meniaci zložka asymetrie. Vidno, že krivky sú opäť veľmi podobné aj vo všetkých veľkoškálových detailoch. Táto zhoda sa odráža vo vysokých koeficientoch korelácie: pre plochu škvŕn – JZK je to $k = 0,950$; pre počet škvŕn – JZK $k = 0,960$ a pre plochu škvŕn – celkový počet škvŕn dostávame $k = 0,975$. Existencia niekoľkých maxim a miním na obr. 3 poukazuje na existenciu kváziperiodickej vlny s periódou ~ 12 rokov.

Dôležité je podčiarknúť, že hoci vyhladené samotné indexy aktivity vykazujú tiež 11-ročné cyklické zmeny, predsa len nevykazujú také vysoké vzájomné stupne korelácie ako to vidíme pri korelovaní indexov ich asymetrie. Na ilustráciu tohoto tvrdenia je na obr. 4 uvedené porovnanie indexu sumárnej plochy škvŕn na severnej pologuli s JZK pre severnú pologulu (ľavý panel) a porovnanie asymetrie tých istých indexov (pravý panel). Všetky tieto veličiny sú spracované metódou klzavého priemeru s oknom 49 mesiacov. Dobré je vidieť, že medzi indexami aktivity je korelácia podstatne nižšia ako pre asymetriu. Na ľavom paneli obr. 4 je koeficient korelácie $k = 0,76$ a na pravom paneli je to $k = 0,95$. Vidno tiež, že pre každý cyklus aktivity má závislosť JZK versus sumárna plocha škvŕn tvar slučky. To znamená, že tieto indexy rôzne závisia od času, a



Obrázok 5. Párová korelácia indexov asymetrie roznych prejavov slnečnej aktivity: (1) Jasnosť zelenej koróny v 10-stupňových šírkových zónach – celkový počet škvrn; (2) JZK v 10-stupňových zónach – celková plocha škvrn; (3) JZK v 10-stupňových zónach – magnetický tok v tých istých zónach; (4) Magnetický tok v zónach – celkový počet škvrn; (5) Magnetický tok v zónach – celková plocha škvrn.

to vedie k tomu, že k ich maximálnym hodnotám nedochádza súčasne. Vo väčšine prípadov k maximu JZK dochádza neskôr ako je tomu v prípade sumárnej plochy škvrn. Tento posuv v jednotlivých cykloch predstavuje od 9-10 do 2-3 mesiacov, ale v 21. cykle sa posuv javí dokonca záporným (8 mesiacov). V asymetrii k takým očividným posuvom nedochádza.

Na obr. 5 sú uvedené koeficienty párovej korelácie štyroch indexov slnečnej aktivity v závislosti od heliografickej šírky. Pritom JZK a magnetický tok sú skúmané v 10-stupňových šírkových zónach a plochy škvrn a ich celkový počet boli počítané pre celú škvrnotvornú zónu. Použili sme polročné priemery hodnôt asymetrie. Z obr. 5 je vidieť, že vo všetkých šírkových zónach najlepšie medzi sebou korelujú hodnoty A pre JZK a celkový počet škvrn, trochu horšia korelácia (ale tiež kladná vo všetkých zónach) sa pozoruje medzi asymetriami JZK a sumárnej plochy škvrn. Najvyššiu koreláciu asymetrií pri všetkých porovnávaných pároch zaznamenávame v šírkovej zóne $10^\circ - 20^\circ$. V polárnej oblasti korelácia značne klesá. Súčasne si možno všimnúť zaujímavú a nie celkom jasnú skutočnosť, že v strednešírkovom intervale nad 30° , kde škvrny už prakticky neexistujú, asymetria zelenej koróny, tak ako v nižších šírkach, stále dobre koreluje s asymetriou plochy škvrn, spočítanej pre šírky menšie ako 30° . Treba tiež poznamenať, že magnetický tok

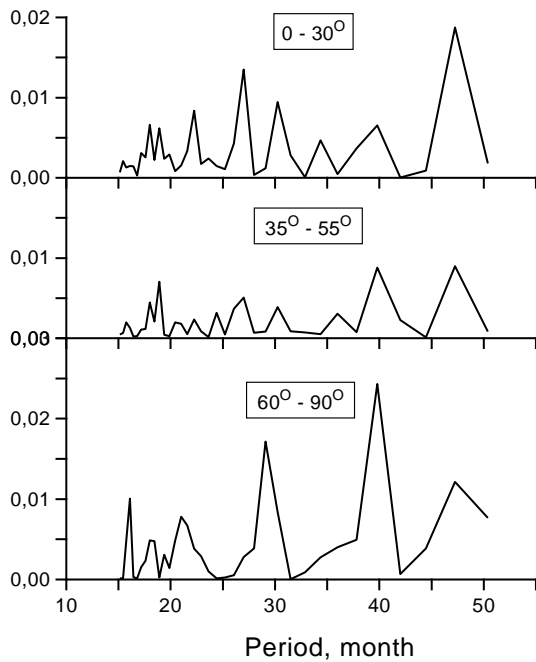
v pri-polárnej zóne má, aj keď malú, no zápornú koreláciu s celkovým počtom škvrn a ich plochou. To môže svedčiť o tom, že magnetický tok v pri-polárnej oblasti je určený predovšetkým veľkoškálovým magnetickým poľom, kdežto na JZK vo všetkých šírkach vplývajú najmä lokálne magnetické polia. Treba však mať aj na pamäti, že magnetický tok je počítaný z pozdĺžnej zložky magnetického poľa a preto vo vysokých šírkach je prakticky totožný s tangenciálnou zložkou poľa.

Možno zhrnúť, že k nárastu aj poklesu veľičiny A vo všetkých štyroch skúmaných indexoch aktivity dochádza prakticky súčasne a že zmeny korelujú ako na veľkých, tak aj na malých časových intervaloch. Analýza prevedená v tejto kapitole ukazuje, že asymetria prejavov slnečnej aktivity sa javí akýmsi obecným procesom, prejavujúcim sa súčasne a prakticky rovnako v rôznych indexoch. Tým sa asymetria podstatne odlišuje od priebehu samotných jednotlivých prejavov slnečnej aktivity. Zdá sa, že asymetria sa javí akousi fundamentálnou charakteristikou slnečnej aktivity.

3. KVÁZI-DVOJROČNÉ OSCILÁCIE V RÔZNYCH INDEXOCH ASYMETRIE

Jedným z najzaujímavejších javov spomedzi periodických oscilácií jednotlivých prejavov slnečnej aktivity sú ich kvázidvojočné oscilácie (KDO). V poslednom čase im bolo venovaných mnoho prác. Niektorí autori dokonca predpokladajú, že KDO sú nemenej fundamentálnym javom ako je 11-ročný cyklus. Sú dôvody predpokladať, že KDO súvisia s periodicky blízkymi procesmi, ktoré prebiehajú na spodnej hranici konvektívnej zóny. Obridko a Gaziev (1991) ukázali, že KDO sú veľmi dobre viditeľné v asymetrii magnetických polí, odvodenými zo synoptických $H\alpha$ máp.

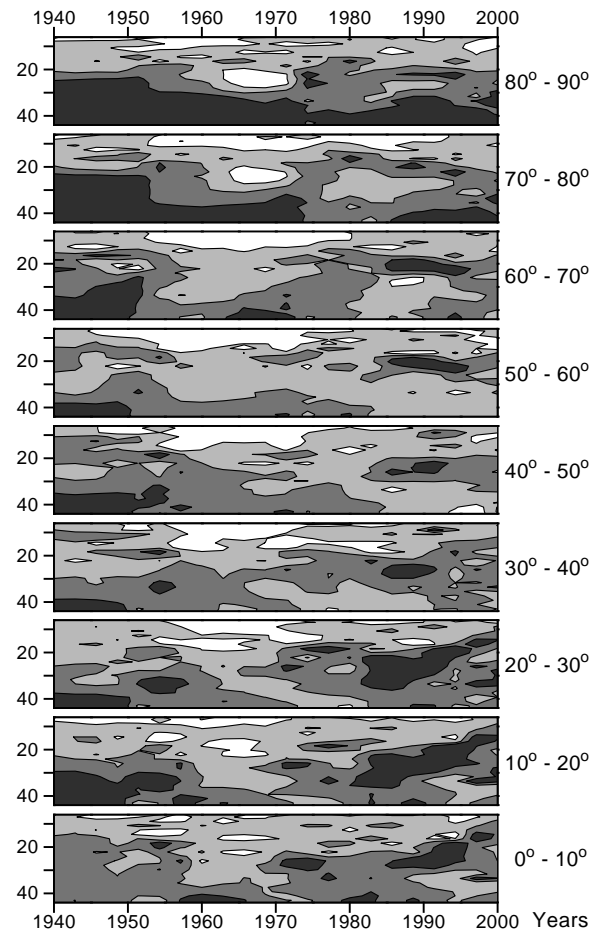
Časový priebeh kriviek na obr. 2 ukazujú, že aj v chode SJA existujú krátkoperiodické oscilácie. Aj bez ďalšej analýzy možno odhadnúť, že charakteristická dĺžka týchto oscilácií je rádovo 1,5- 3,0 roky. A naozaj, aplikácia Fourier-ovskej analýzy jasne dokazuje prítomnosť KDO v spektre asymetrie. Na obr. 6 ukazujeme štvorce amplitúd oscilácií asymetrie v pásme periód od 15 mesiacov do 4 rokov pre tri šírkové zóny. Pri výpočtoch sme aplikovali normovanie na štandard (stredne-kvadratická odchylka). V dôsledku takého normovania sa všetky oscilácie prevedú na jednu škálu a suma štvorcov všetkých amplitúd v každom spektre je potom rovná jednotke. Je vidieť, že v škvrnotvornej zóne $0^\circ - 30^\circ$ (horný graf) sú oscilácie zosilnené v pásme 2,2-2,5 rokov. Vo vysokošírkovvej zóne $60^\circ - 90^\circ$ (dolný graf) vidno dve maximá – v oblasti 2,5 roka a najvyššie maximum – v oblasti troch rokov. Pritom, v strednešírkovvej zóne $35^\circ - 55^\circ$ (stredný graf) oscilácie nemajú výrazne maximá, čo svedčí o tom, že v tejto šírkovvej zóne KDO ak aj existujú, tak sú podstatne



Obrázok 6. Fourier-diagramy pre tri šírkové zóny (znázornené sú štvorce amplitúd oscilácií asymetrie). V rovníkovej zóne $0^{\circ} - 30^{\circ}$ možno vidieť zosilnenie oscilácií s periódami 2, 2,2, 2,5 rokov, vo vysokošírčkovej zóne sa najlepšie vydeľujú periódami blízke k 3 rokom. V stredných šírkach sú KDO málo výrazné.

slabšie ako v nízkych, alebo vysokých héliošírkach.

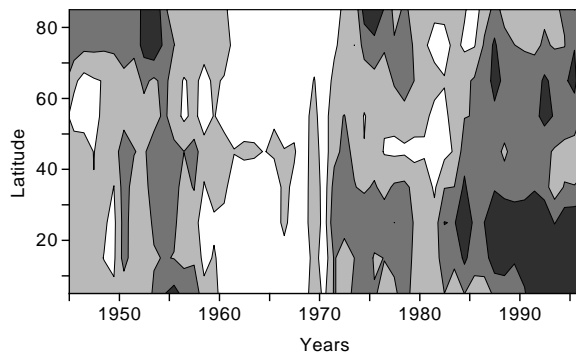
Na podrobné štúdium časových a šírkových variácií KDO sme použili spektrálno-časovú analýzu (SVAN) a vlnkovú analýzu (WAN). SVAN predstavuje rozvoj do Fourier-ovho radu v kľzajúcich sa časových intervaloch (oknách). To znamená, že v časovom okne zvolenej dĺžky sa vypočíta Fourier-ov rozvoj a potom sa toto okno posunie o nejaký časový úsek a celá procedúra sa opakuje. Získaný súbor Fourier-ových rozvojev umožňuje potom softvérovo zostrojiť celkovú mapu amplitúd oscilácií (tzv. SVAN-diagram) v súradniciach čas–perióda oscilácií. Pre analýzu sme použili hodnoty asymetrie spriemerované za každý mesiac. Kľzajúce sa okno malo dĺžku 132 mesiacov a časový posun okna predstavoval 12 mesiacov. Vo vnútri každého okna sme previedli vyššie spomenuté normovanie na štandard. Skúmali sme amplitúdy oscilácií v pásme periód od 6 do 44 mesiacov. Chceme poznamenať, že hoci relatívna veľkosť každej oscilácie, obecné povedané, je charakterizovaná štvorcom (druhou mocninou) jej amplitúdy niekedy sa ukázalo vhodným uvádzať a analyzovať samotné amplitúdy. Je zrejmé, že závery ktoré možno urobiť pri takejto prezentácii výsledkov sa nijako nemenia. Nižšie, pri každom prípade menovite okomentujeme čo je prezentované na obrázkoch a v tabuľkách.



Obrázok 7. SVAN-diagramy pre asymetriu JZK v 10-stupňových šírkových zónach. Na osi ordinát je perióda oscilácií v mesiacoch.

Na obr. 7 sú SVAN-diagramy (amplitúdy oscilácií) pre asymetriu JZK v 10-stupňových šírkových zónach. Celkový interval variácií amplitúdy oscilácií v asymetrii je rozdelený na štyri gradácie. Stupeň tmavosti narastá s rastom amplitúdy, najtmavší odtieň odpovedá amplitúdam prevyšujúcim 0,195 (pripomínáme, že suma kvadrátov v každom kľzajúcom sa okne je rovná 1). Z obr. 7 je zrejmé, že KDO (25-30 mesiacov) existujú v priebehu veľkej časti nami skúmaného obdobia. Osobitne sú KDO zosilnené v rovníkovej zóne po roku 1970. Vo vysokých šírkach je evidentné zosilnenie vyšších dlhoperiodických harmoník, menovite v 40-50-tych rokoch minulého storočia. Na druhej strane, v šírkovom intervale $50^{\circ} - 60^{\circ}$ sú KDO slabo vyjadrené v priebehu celého skúmaného intervalu a možno vymedziť interval (60-te roky), kedy KDO prakticky absentujú vo všetkých šírkach. Poznamenáme, že menovite v tom období boli pozopované najvyššie hodnoty SJA.

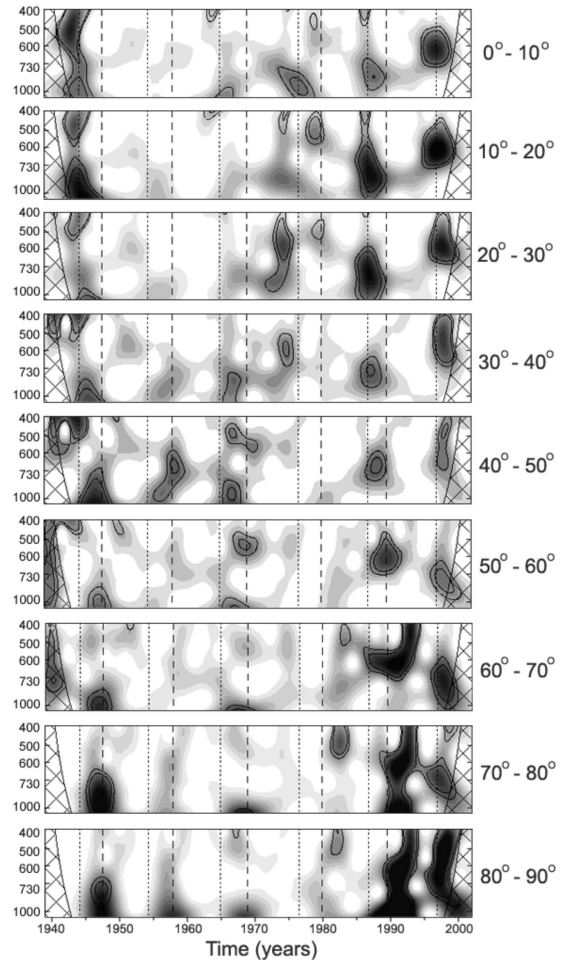
Na obr. 8 je ukázaná mapa rozloženia štvorcov amplitúd KDO v asymetrii JZK v závislosti od



Obrázok 8. Rozloženie sumy kvadrátov amplitúd oscilácií asymetrie v JZK v závislosti od času a šírky.

času a heliošírky. Sumované sú kvadráty amplitúd troch periód oscilácií, približne odpovedajúcich KDO 18,86, 22,0 a 26,4 mesiacov). Čím tmavší je odtieň tým vyšším amplitúdám odpovedá; čierna farba odpovedá oblastiam s sumou štvorcov amplitúd vyšších ako 0,12. Na tejto mape vidno, že: (a) KDO sú zosilnené v druhej polovici nami skúmaného intervalu (po 70-tych rokoch); (b) na nižších šírkach sú KDO vyjadrené výraznejšie ako na vysokých šírkach a sú ešte výraznejšie ako na stredných šírkach (toto súhlasí so záverom urobeným vyššie z Fourier-ovskej analýzy); (c) možno vyznačiť niekoľko šírkových vertikálnych pásov, naznačujúcich, že v určitých časových intervaloch sa KDO amplitúd asymetrie zosilňujú alebo zoslabujú súčasne na všetkých heliošírkach. Zaujímavé je porovnanie obr. 8 s obr. 1. Z porovnania týchto dvoch obrázkov je vidieť celkovú veľkoškálovú antikoreláciu medzi SJA a veľkosťou KDO. Podrobnejšie túto otázku preberieme nižšie vo 4 kapitole.

Asymetriu JZK sme podrobili aj vlnkovej analýze (WAN), tiež v 10-stupňových šírkových zónach. WAN-diagramy prezentujeme na obr. 9. Zvislé čiarkované a bodkované čiary na tomto obrázku indikujú polohy maxim a minim cyklov slnečnej aktivity. Tak ako na obr. 7, na každom diagrame sa stupeň tmavosti zvyšuje s nárastom amplitúdy oscilácií SJA. Tieto WAN-diagramy poskytujú lepšie časové rozlíšenie ako SVAN, ale na úkor zníženia spektrálneho rozlíšenia. Možno poznamenať, že v období 1943-1948 (fáza nárastu 18. cyklu) a v období 1984-1993 (fáza nárastu a maxima 22. cyklu) sa pozoruje postupný drift KDO z rovníkovej zóny k vysokým šírkam (možno to nejakým spôsobom súvisí s existenciou vyššie spomenutej vlny (o dĺžke ~ 40 rokov). V iných cykloch v priebehu určitého časového intervalu KDO existovali v pomerne širokom páse heliošírok bez viditeľného driftu (napríklad, v rokoch 1973-1974 sú KDO veľmi dobre viditeľné v šírkach $0^\circ - 40^\circ$). Podobne ako na SVAN-ogramoch, tak aj na týchto

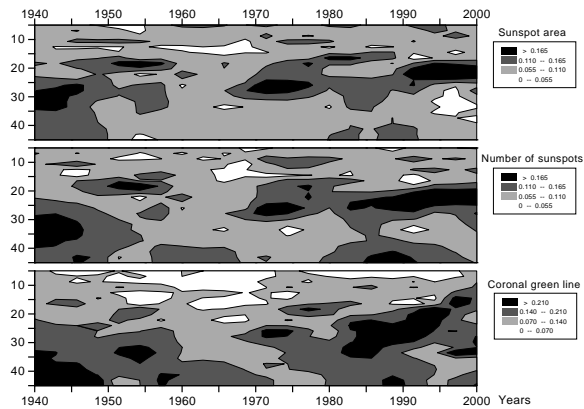


Obrázok 9. WAN-diagramy pre severo-južnú asymetriu jasnosti zelenej koróny v 10-stupňových šírkových zónach. Na osi ordinát je uvedená perióda oscilácií v dňoch.

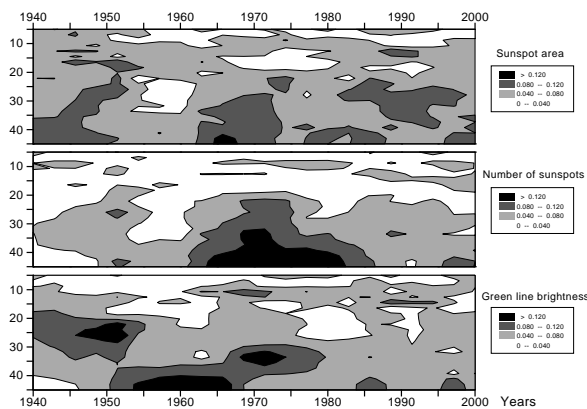
WAN-ogramoch je jasne vidieť zmenšenie KDO v 60-tych rokoch.

Chceme tiež uviesť, že aj pre celkový magnetický tok sú KDO veľmi dobre viditeľné ako na SVAN-ogramoch, tak aj na WAN-ogramoch. Na nízkych a stredných šírkach sú najintenzívnejšie blízko rokov 1980 a 1995. Momenty charakteristických zosilnení KDO v asymetrii magnetického toku v škrvnotvornej zóne $0^\circ - 30^\circ$ úplne súhlasia s momentami ich zosilnenia v ostatných nami skúmaných indexoch. Na WAN-ogramoch si možno tiež všimnúť 4-6 ročnú periódu (~ 1500 dní), osobitne dobre vyjadrenú v magnetickom toku blízko maxima 22. cyklu, v roku 1990 (Badalyan a kol., 2002).

Na obr. 10 prezentujeme SVAN-diagramy pre škrvnotvornú zónu $0^\circ - 30^\circ$ pre SJA plôch a počtu slnečných škvŕn, a tiež pre JZK. Je vidieť, že v asymetrii JZK nájdené osobitosti sa prejavujú aj v ostatných indexoch aktivity. Obzvlášť dobre sú viditeľné aj v asymetrii plôch a celkového počtu slnečných škvŕn čiastočné vymiznutie am-



Obrázok 10. SVAN-gramy pre škrvnotvornú zónu $0^{\circ} - 30^{\circ}$ pre asymetriu plôch slnečných škvŕn, ich celkový počet a JZK.



Obrázok 11. SVAN-ogramy pre škrvnotvornú zónu $0^{\circ} - 30^{\circ}$ pre samotné indexy plôch slnečných škvŕn, ich celkový počet a JZK.

plitúdy KDO v 60-tých rokoch a jej značný nárast v 70-tých a ďalších rokoch. Bolo by možné vymedziť ešte aj iné obdobia, keď sa KDO vo škrvnotvornej zóne zosilňovali. Pravdaže, shodnosť SVAN-ogramov pre asymetriu plôch a počet slnečných škvŕn je úplne prirodzená, hoci, ako sme ukázali vyššie, tieto indexy nie sú celkom identickými a spôsob ich vzájomnej súvislosti závisí od času. Súčasne, aj SVAN-ogram pre zelenú korónu ukazuje obecnú podobnosť s ostatnými dvomi SVAN-ogramami, hoci, úplnú identičnosť v tomto prípade už ťažko možno očakávať.

Okrem SVAN-diagramov pre asymetriu indexov slnečnej aktivity sme zostrojili aj SVAN-diagramy pre samotné indexy sumárnej plochy slnečných škvŕn, ich celkový počet a JZK, všetky pre škrvnotvornú zónu $0^{\circ} - 30^{\circ}$. Tieto diagramy prezentujeme na obr. 11. Predovšetkým si možno všimnúť, že na tomto obrázku nevidno zreteľnú vzájomnú zhodu SVAN-ogramov týchto troch indexov slnečnej

aktivity. Najhlavnejšie je však to, že na rozdiel od obr. 10, v priebehu samotných indexov aktivity nevidno zreteľné KDO. Takže z porovnania obr. 10 a 11 možno urobiť záver, že kvázi-dvojročné oscilácie sú oveľa lepšie vyjadrené v asymetrii než v samotných indexoch slnečnej aktivity. Poznamenávame tiež že celkový rozsah zmien amplitúd oscilácií je na obr. 11 1,3–1,7 krát menší ako na obr. 10.

Porovnanie koeficientov korelácie pre sumy kvadrátov troch amplitúd v rozpätí amplitúd KDO 18,86, 22,0 a 26,4 mesiacov uvádzame v tabuľke 2. Uvedené je párové porovnanie koeficientov korelácie amplitúd KDO v asymetrii a samotných veličín JZK, celkovej sumy plôch a počtu slnečných škvŕn v škrvnotvornej zóne $0^{\circ} - 30^{\circ}$.

Z tabuľky je vidieť, že, po prvé, koeficienty párovej korelácie sú pre asymetriu štatisticky významnými, ale pre samotné indexy ich veľkosť prevyšuje tri strednekvadratické chyby len v poslednom riadku. Po druhé, tieto koeficienty sú pre asymetriu značne vyššie než pre indexy, ktoré ju vytvárajú. Najzreteľnejšie je to v prípade porovnania asymetrie JZK a celkového počtu škvŕn.

V niektorých prácach iných autorov sa uvádzalo, že na Slnku existujú oscilácie s charakteristickými periodami 1-2 roky, KDO a 11-ročný cyklus. Je zaujímavé poznať relatívny prínos oscilácií s týmito periodami do sumárneho spektra od 1 mesiaca do 63 rokov. Vypočítali sme sumy kvadrátov amplitúd pre rôzne frekvenčné pásma v škrvnotvornej zóne pre Fourier-ovské spektrá (ešte raz pripomenieme, že suma kvadrátov všetkých oscilácií je rovná jednotke). Pritom, zo získaného spektra sme vyčlenili pásma I, II a III, odpovedajúce (v poradí) osciláciám s periodami asi 1-2 roky, 1,5-3 roky a 8-16 rokov.

Z tabuľky 3 je vidieť, že v indexoch aktivity je rozhodujúcim 11-ročný cyklus. Veľkosť oscilácií v pásme III predstavuje viac ako 30% zo sumárnej veľkosti všetkých oscilácií v spektre. Súčasne, v kvázi-dvojročnom pásme (II) a vysokofrekvenčnom pásme (I) sú oscilácie 20-30 krát slabšie. Situácia sa kardinálne mení pri analýze spektra asymetrie. Relatívna veľkosť oscilácií je v pásme III zoslabená 5-10 krát v porovnaní s osciláciami v indexoch aktivity. Na druhej strane, oscilácie v pásmach 1,5-3 roky a 1-2 roky narastajú 3-5 krát a stávajú sa porovnateľnými s osciláciami rádu dĺžky cyklu.

4. SÚVISLOSŤ MEDZI VEĽKOSŤOU ASYMETRIE A AMPLITÚDOU JEJ KVÁZI-DVOJROČNÝCH OSCILÁCIÍ

Vyššie prevedené porovnanie obr. 8 a obr. 1 dovoľuje predpokladať existenciu veľkoškálovej antikorelačnej závislosti medzi asymetriou a veľkosťou jej kvázi-dvojročných oscilácií. Svedčia o tom aj iné fakty, ktoré možno postrehnúť na predošlých obrázkoch. Tak napríklad, vyššie zmienené obdobie zníženia KDO v 60-tých rokoch časovo súhlasí s

Tabuľka 2. Koeficienty párovej korelácie súm kvadrátov amplitúd KDO v asymetrii a v samoých indexoch aktivity

Korelácia medzi	Kor. koef. pre asymetriu	Kor. koef. pre index aktivity
zelená koróna – plocha škvŕn	$0,693 \pm 0,099$	$0,50 \pm 0,20$
zelená koróna – počet škvŕn	$0,854 \pm 0,071$	$0,29 \pm 0,13$
plocha škvŕn – počet škvŕn	$0,889 \pm 0,063$	$0,56 \pm 0,11$

Tabuľka 3. Sumy kvadrátov amplitúd pre rôzne úseky frekvencií (periód)

Označenie	Periody (mesiace)	Asymetria		Indexy	
		Plocha škvŕn	JZK	Plocha škvŕn	JZK
I	25,2–12,6	0,06000	0,06278	0,01988	0,01606
II	18,9–37,8	0,06016	0,07270	0,01279	0,01517
III	94,5–189,0	0,03971	0,08942	0,32392	0,36761

obdobím nárastu samotnej asymetrie v JZK a tiež v plochách a počte snečných škvŕn. Možno urobiť záver, že v priebehu celého skúmaného obdobia a vo všetkých hélíoširkach sa ukazuje záporná korelácia medzi veľkosťou KDO a veľkosťou A .

Na obr. 12 (ľavý panel) uvádzame závislosť medzi sumou amplitúd KDO v asymetrii JZK pre šírkovú zónu $0^\circ - 30^\circ$ v pásme periód od 18,8 do 26,4 mesiacov a priemernej asymetrie v klzajúcom sa SVAN okne. Koeficient korelácie medzi týmito veličinami v uvedenej šírkovj zóne je $k = 0,82 \pm 0,05$.

Zápornú koreláciu medzi príslušnou sumou amplitúd KDO a veličinou asymetrie A možno vidieť aj vo všetkých ostaných šírkových zónach. Závislosť koeficientu korelácie od hélíošírky je prezentovaná na pravom paneli obr. 12. Najvyššie hodnoty tohoto koeficientu korelácie zaznamenávame v šírkových zónach $10^\circ - 20^\circ$ a $60^\circ - 70^\circ$. Tieto dve oblasti sú rozdelené úzkou zónou $40^\circ - 50^\circ$, kde je koeficient korelácie veľmi nízky. Treba povedať, že menovite v blízkosti tejto zóny došlo k navyšším hodnotám asymetrie JZK v období 1965-1968 (obr. 1). V tej istej zóne prakticky absentujú vysokofrekvenčné oscilácie (obr. 6). Možno pripomenúť, že menovite v tejto zóne sa nachádza hranica rozdelujúca oblasti nízkošírkových a polárnych magnetických polí.

Tá skutočnosť, že záporná korelácia medzi príslušnou veľkosťou KDO a veľkosťou asymetrie sa zachováva dokonca aj v oblastiach, kde je asymetria dostatočne veľká, ale má záporný znak, sa javí dosť podivnou. Logickejšou by bola taká závislosť medzi absolútnou hodnotou A a veľkosťou KDO. Pretože v období 1939-2001 prakticky niet období s veľkou zápornou asymetriou, skúmali sme tento problém na dlhom rade dát o plochách a počte snečných škvŕn za roky 1874-2002. Ukázalo sa, že skutočne, dôležitou je menovite absolútna hodnota indexu asymetrie A , a v oblastiach záporných hodnôt A ako aj v oblastiach ich kladných hodnôt veľkosť KDO klesá s rastom absolútnych hodnôt asymetrie.

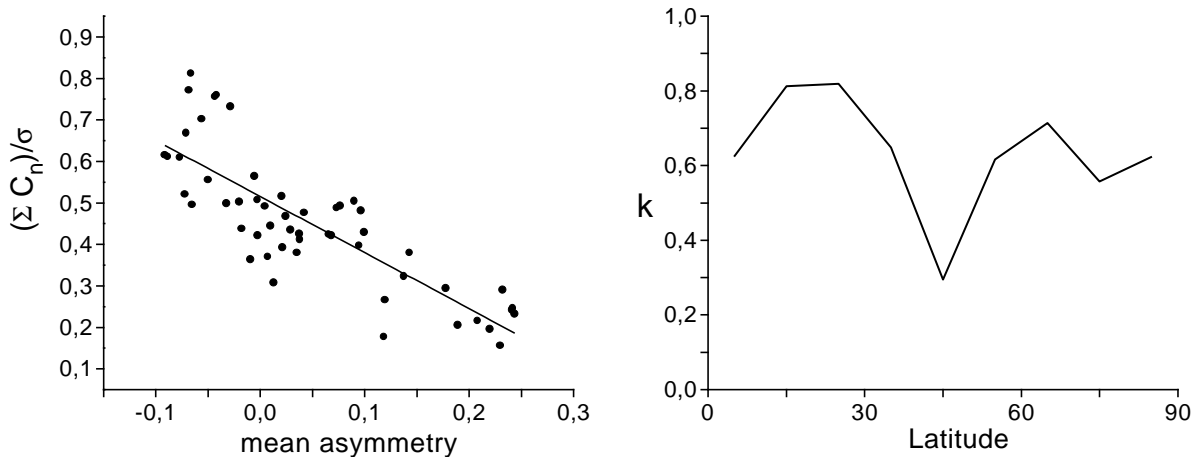
5. ZÁVERY

Severo-južnú asymetriu A sme analyzovali pomocou štyroch rôznych indexov, charakterizujúcich aktivitu v rôznych hladinách snečnej atmosféry. Boli to jasnosť zelenej koróny, sumárna plocha snečných škvŕn, celkový počet snečných škvŕn a celkový magnetický tok. Naše hlavné výsledky sú nasledovné:

(1) V časovom priebehu SJA (obr. 2 a 3) všetkých skúmaných indexov snečnej aktivity v škvŕnotvornej zóne $0^\circ - 30^\circ$ sme našli shodné variácie ako na malých (1,5–3 roky), tak aj veľkých (~ 12 rokov) časových škálach. V prvej polovici skúmaného časového intervalu dominuje severná pologuľa (so zreteľne vyjadreným maximom v rokoch 1964-1966) a v druhej polovici – južná pologuľa.

Žiada sa podčiarknúť, že skúmané indexy snečnej aktivity sa vzťahujú k rôznym javom na Slnku, ktorých existencie je dôsledkom úplne odlišných mechanizmov vzájomnej interakcie magnetického poľa s plazmou. V jednom prípade magnetické pole riadi konvektívne pohyby v podfotosférických vrstvách (snečné škvŕny), zatiaľ čo v druhom prípade magnetické pole riadi tok magnetoakustických vln (mechanizmus ohrevu koróny). Napriek tomu, porovnanie výsledkov vzťahujúcich sa k rôznym objektom na Slnku svedčí o ich obdivuhodnej zhode.

(2) Osobitne bola veličina A vypočítaná v užších šírkových zónach a preskúmali sme párovú koreláciu asymetrie v rôznych indexoch aktivity pre také zóny. Demonštrujeme, že najvyšší koeficient korelácie pre všetky páry nastáva v šírkovom pásme $10^\circ - 20^\circ$ (obr. 5). Ukázalo sa, že asymetria JZK najlepšie koreluje s asymetriou celkového počtu škvŕn a ich plôch. Táto korelácia zostáva vysokou aj v zóne vysokých širok, v ktorej sa už škvŕny nevyskytujú. Možno sa domnievať, že asymetria JZK závisí od jedného parametra, ktorý je daný lokálnymi magneickými poliami. Naproti tomu, asymetria magnetického toku je dôsledkom dvoch zložiek magnetických polí, čo sa odráža na zmene znaku odpovedajúcich kriviek na obr. 5 vo vysokých šírkach. Najlogickejším sa zdá



Obrázok 12. Závislosť medzi sumou amplitúd oscilácií v pásme periód 18,8–26,4 mesiacov a priemernou asymetriou v kľúčajúcom sa okne pre šírkovú zónu $0^\circ - 30^\circ$ (ľavý panel). Koeficient korelácie je 0,82. Na pravom paneli je ukázaná závislosť koeficientu korelácie medzi veľkosťou KDO a veľkosťou indexu asymetrie od héliosírkvy.

byť predpoklad, že uvedenými zložkami sú lokálne nízkošírkové polia a veľkoškálové polárne polia.

Samozrejme, vysoký stupeň korelácie medzi JZK v zóne vysokých šírok s počtom snečných škvŕn nemusí znamenať priamy fyzikálny vzťah medzi týmito dvomi javmi. S ohľadom na mnohorakosť javov a procesov na Slnku vzniká dojem, že často je pri nich dôležitejším viac istý "rytmus" procesu ako priame energetické ovplyvňovanie. Takže, počet škvŕn v danom prípade, možno, odráža celkovú rytmiku procesov na Slnku, ktorej podliehajú ako lokálne magnetické polia, tak aj variácie JZK. Pritom, ako sa zdá, asymetria ako diferenciálna veličina predstavuje citlivý inštrument takej obecnej rytmiky.

(3) Boli nájdené a preskúvané kvázi-dvojrôčné oscilácie SJA pre všetky študované indexy aktivity. Použili sme k tomu originálny program spektrálno-časovej analýzy (SVAN), v ktorom na rozdiel od rozšírených a v literatúre opísaných SVAN programov sme zaviedli tzv. normovanie na štandard. Pre JZK a pre magnetický tok sme SVAN-diagramy zostrojili aj pre jednotlivé 10-stupňové šírkové zóny. Ukázalo sa, že existujú dlhodobé periódy stabilného zosilnenia KDO prakticky súčasne vo veľkom rozsahu šírok (obr. 8). Podobný výsledok sme obdržali pomocou vlnkovej analýzy (WAN).

(4) SVAN pre škvŕnotvornú zónu $0^\circ - 30^\circ$ ukázala, že vlastnosti KDO, zistené v asymetrii JZK sú vidieť aj v ostatných indexoch aktivity. Dajú sa nájsť zhodné zosilnenia KDO ako na časovej škále, tak aj vo frekvencii (obr. 10). Tak napríklad, v asymetrii plôch a celkového počtu škvŕn je zrejme zoslabenie amplitúdy KDO v 60-tych rokoch a následné jej značné zvýšenie v 70-tych rokoch a neskôr. V intervale 1970-2000 KDO existujú stabilne. Párová korelácia súm kvadrátov amplitúd KDO v JZK s os-

tatnými tromi indexami aktivity dosahuje hodnoty $\sim 0,7 - 0,9$. Zdá sa nám, že KDO, v princípe, nepredstavujú oscilácie so stálou periódou, ale sú kombináciou jednotlivých impulzov s periódami 1,5-3,0 roky.

(5) Prevedli sme aj SVAN pre samotné indexy aktivity a výsledky sme porovnali so SVAN pre asymetriu. Našli sme, že KDO sú oveľa lepšie vyjadrené v SJA ako v samotných odpovedajúcich indexoch aktivity. Ukázali sme tiež, že amplitúdy KDO v indexoch korelujú medzi sebou podstatne horšie ako amplitúdy KDO v asymetrii. Pri indexoch koeficient párovej korelácie súm kvadrátov amplitúd KDO dosahuje iba $\sim 0,3 - 0,55$.

(6) Bol odhalený neočakávaný efekt, spočívajúci v tom, že prejavy KDO v asymetrii skúmaných charakteristík slnečnej aktivity, osobitne v JZK, sú akoby v protifáze so samotnou SJA. Tak napríklad, značný nárast asymetrie vo všetkých indexoch aktivity v strede 60-tych rokov je doprevádzaný podobným značným poklesom amplitúd KDO na všetkých našich SVAN-diagramoch. Koeficient korelácie medzi sumou troch amplitúd KDO a veľkosťou asymetrie v JZK v šírkovvej zóne $0^\circ - 30^\circ$ je $k = 0,82 \pm 0,05$.

Takže, nami prevedená analýza ukazuje, že SJA je osobitým a nanajvýš perspektívnym nástrojom na analýzu variácií slnečnej aktivity. Možno sa domnievať, že asymetria je, podľa všetkého, nejakou fundamentálnou charakteristikou slnečnej aktivity.

Podstata asymetrie slnečných indexov je, obecnepovedané, nejasná. Spravidla a žiaľ, ani jedna z rošírených teórií dynama nezohľadňuje SJA, predpokladajúc úplnú identičnosť oboch pologúf Slnka. Asymetria by mohla byť dôsledkom pôsobenia pomaly sa meniaceho reliktovejho magnetického poľa,

ktorého existencia však nie je nijako dokázaná a z teoretického pohľadu je sporná. Poznamenáme aj, že k objasneniu asymetrie by reliktové pole samotné muselo mať dosť neštandardné vlastnosti: nesmelo by podliehať Hale-ovmu zákonu zmien polarít magnetického poľa a ono samotné by muselo mať výraznú asymetrickú zložku. Rozloženie veľkoškálového poľa podľa sférických harmoník vedie k existencii koeficientu formálne odpovedajúceho kvázi-monopólovej komponente. Avšak, doteraz je podstata takého efektu nejasná a mnohí autori sú toho názoru, že tento koeficient je dôsledkom chýb meraní. Ani s existenciou možného reliktového poľa (tak ako s celým problémom asymetrie slnečnej aktivity) nie je uvažovaná súčasná dynamo-teória neuvažujú.

POĎAKOVANIE

Táto práca bola čiastočne podporená Grantom č. 02-02-16199 Ruského Fondu Základného Výskumu, INTAS grantom č. 2000-840 a VEGA Grantami č. 02/3015/04 a č. 02/4013/04 Slovenskej Akadémie Vied. NSO/Kitt Peak dáta použité pre túto prácu boli pripravené za spolupráce s NSF/NOAO, NASA/GSFC, a NOAA/SEL. Výpočty pomocou Wavelet-transformácie boli vykonané s použitím počítačových kódov, ktoré vyvinuli C.Torrence and G.Compo (<http://paos.colorado.edu/research/wavelets/>).

LITERATÚRA

- Badalyan, O.G., Obridko, V.N., Sýkora, J., 2002, v H. Sawaya-Lacoste (ed.), *"Proc. of the Second Solar Cycle and Space Weather Euroconference, ESA SP-477"*, Noordwijk, s. 201
- Badalyan, O.G., Obridko, V.N., Sýkora, J., 2002, *Solar Phys.*, v tlači
- Carbonell M., Oliver R., Ballester J.L., 1993, *Astron. Astrophys.* 274, 497
- Newton H.W., Milson A.S., 1955, *Monthly Notices of the Royal Astron. Soc.* 115, 398
- Obridko V.N., Gaziev G., 1992, v K. L. Harvey (ed.), *"The Solar Cycle"*, *ASP Conference Series* 27, 410
- Rušin, V., 1980, *Bull. Astron. Inst. Czechosl.* 31, 9
- Sýkora, J., 1971, *Bull. Astron. Inst. Czechosl.* 22, 12
- Sýkora, J., 1980, v M. Dryer a E. Tandberg-Hansen (eds.), *Proc. of IAU Symp. 91, "Solar and Interplanetary Dynamics"*, D. Reidel Publ. Co, Noordwijk, 87
- Sýkora, J., 1992, *Contrib. Astron. Obs. Skalnaté Pleso* 22, 55
- Vitinskij, Yu.I., Kopecký, M., Kuklin, V.G., 1986, *Statistika pyatnoobrazovatelnoj dejatelnosti Solntsa*, "Nauka", Moskva
- Waldmeier, M., 1971, *Solar Phys.* 29, 332