

# Некоторые результаты изучения длительных рядов астрооптических наблюдений в Полтаве

Халявина Л.Я., Заливадный Н.М.

*Полтавская гравиметрическая обсерватория НАН Украины, Полтава, Украина*

*e-mail:pgohal@mail.ru*

Астрометрические наблюдения за изменениями координат пунктов являются важным источником геодинимической информации. В пост-классическую эпоху – это изучение изменений локального направления силы тяжести (НСТ) (резолюция комиссии №19 XXI ассамблеи МАС, Буэнос-Айрес, 1991 г.)

Геодинимическая информация из долголетних рядов астрометрических наблюдений

1. Получена модель движения полюса Земли с 1899-1992гг., которая является основой современной модели C01 IERS [1].
1. Выявлены низкочастотные закономерности изменений амплитуды и фазы чандлеровского колебания полюса и скорости вращения Земли [2-3].
2. Обнаружены аномальные изменения координат обсерваторий, предшествующие мощным землетрясениям [4-7].
3. Установлена зависимость глобальных геодинимических параметров и вариаций NST от солнечной активности (СА) [8-12].

## Актуализация наземной астрометрии

Выявленные связи **НСТ** с реальными геодинамическими явлениями, актуализировали наземную астрометрию.

В Китае реализуется проект совместных гравиметрических и астрономических наблюдений, включающий создание цифрового зенитного телескопа [13]. Профессор Ли образно сформулировал задачу так: «Повернем телескоп, чтобы взглянуть в недра» [19].

Аналогичные наблюдения возобновлены в Чехии, где с 2007г. функционирует модернизированная зенитная труба по соседству с криогенным гравиметром [14].

В Полтавской гравиметрической обсерватории наблюдения не прекращались: до 2014 г. функционировал зенит-телескоп ЗТЛ-180, до 2017 г. – призенная астролябия. Ряды наблюдений вариаций широты обеспечивают базу эмпирических данных для комплексного изучения геодинамических параметров, наряду с GPS-станцией и сейсмо-наклономерными приборами.

Представлен анализ геодинамических параметров, определенных из наблюдений на призенной астролябии в Полтаве.

## 1. Структурный анализ широтного ряда из наблюдений на астроябии

Ряд наблюдений широты с призменной астроябией (1962-2017гг.) обработан с использованием уточненных каталогов звезд ARHIP, Tycho-2, HIP, HIP2, с учетом современной теории прецессии-нутаии IAU2000/2006, а также усовершенствованной методики контроля стабильности инструментальной системы астроябии [16].

Для определения структуры интерполированного ряда  $\{\varphi_i\}$  был апробирован метод определения параметров  $s$  гармонических составляющих непосредственно из решения системы уравнений вида:

$$\Delta\varphi[n]=\sum h_k z_k^{n-1} +r[n] \quad (1)$$

где  $k=1,..s$  – номер составляющей;  $h_k = A_k \exp(i\psi_k)$  – комплексная амплитуда;  $z_k = \exp[(-\alpha_k + i\omega_k)t]$ ;  $i = \sqrt{-1}$ ; параметры:  $A_k$  – амплитуда,  $T_k = 2\pi/\omega_k$  – период,  $\psi_k$  – начальная фаза,  $\alpha_k$  – коэффициент затухания амплитуды  $k$ -ой компоненты;  $r[n]$  – случайные погрешности наблюдений.

Для нахождения оценок параметров составляющих системы уравнений (1) разработан алгоритм рекуррентного уравнивания для нелинейных систем, позволяющий находить не только искомые параметры, но и изучать динамику их изменения.

В таблице 1 – параметры главных компонент: чандлеровой, годовой, а также 12-летней, полученных для ряда наблюдений на призменной астроябии и полярной составляющей, вычисленной на основе модели C01 IERS.

Таблица 1

Главные компоненты вариаций широты Полтавы (1962-2017)					
Модель IERS C01			Астролябия		
Период	Амплитуда	Фаза	Период	Амплитуда	фаза
$432.76^d \pm .15$	$0.144'' \pm .003$	$26.40^0 \pm .05$	$432.46^d \pm .21$	$0.125'' \pm .004$	$18.96^0 \pm .07$
$365.20^d \pm .08$	$0.090'' \pm .002$	$242.89 \pm .04$	$365.20^d \pm .12$	$0.091'' \pm .003$	$242.01 \pm .06$
$12.37^y \pm .30$	$.007'' \pm .001$	$98.31 \pm .38$	$12.24^y \pm .20$	$.022'' \pm .003$	$100.54 \pm .26$

Параметры  $T$ ,  $A$ ,  $\Psi$  для чандлеровой и годовой компонент эмпирической и эталонной кривой согласуются между собой и с данными [2].

Амплитуда 12-летней цикличности в реальных вариациях широты Полтавы превосходит в 3 раза амплитуду компоненты в полярной кривой. Это означает наличие такой же цикличности в неполярных смещениях зенита. Указанная цикличность коррелирует с главным циклом солнечной активности [10].

## Медленные смещения зенита Полтавы

Медленные изменения широты Полтавы: 1) по данным о движении полюса (C01); 2) по наблюдениям на астролябии; 3) по наблюдениям на зенит-телескопе ярких зенитных звезд, представлены на рис.1 .

Изменения локального отвеса (НСТ) содержатся в **неполярных** вариациях зенита обсерватории. Меридиональная неполярная составляющая  $Z$ :

$$Z_i = \varphi_i - (x(t_i)\cos\lambda + y(t_i)\sin\lambda), \quad (2)$$

где  $\varphi_i$  – значение широты;  $x(t_i)$ ,  $y(t_i)$  – значения координат полюса на момент  $t_i$  (модель C01 **IERS**);  $\lambda$  - западная долгота станции.

- Неполярные вариации зенита, сглаженные с окном 6 лет можно отождествить с вариациями отвесной линии [16].
- Комбинация рядов наблюдений на двух разнотипных инструментах в Полтаве позволила установить: 1) объективный характер декадных изменений линии отвеса; 2) их подобие низкочастотной полярной составляющей вариаций широты Полтавы [15,16]. (Рис.2)
- Но систематические различия в медленных смещениях зенита на двух инструментах при общем характере трендов (рис.1) для некоторых интервалов достигали  $0.02'' \div 0.04''$ . Также **в ряде наблюдений ярких зенитных звезд не проявилась 12-летняя цикличность**. Это указывает на ограниченность точности определяемых из астрооптических наблюдений значений **НСТ**.

# Медленные изменения широты Полтавы

(arcsec)

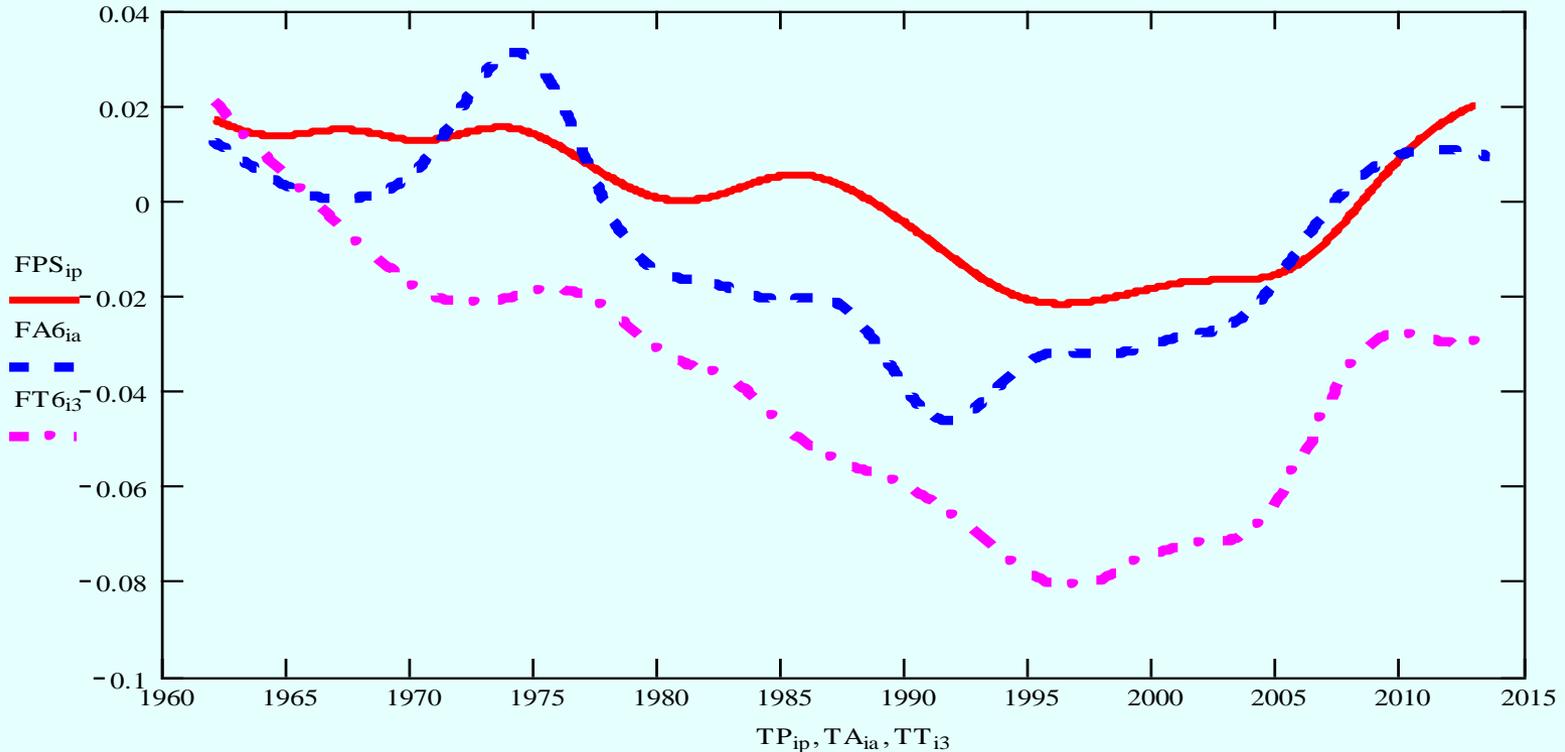


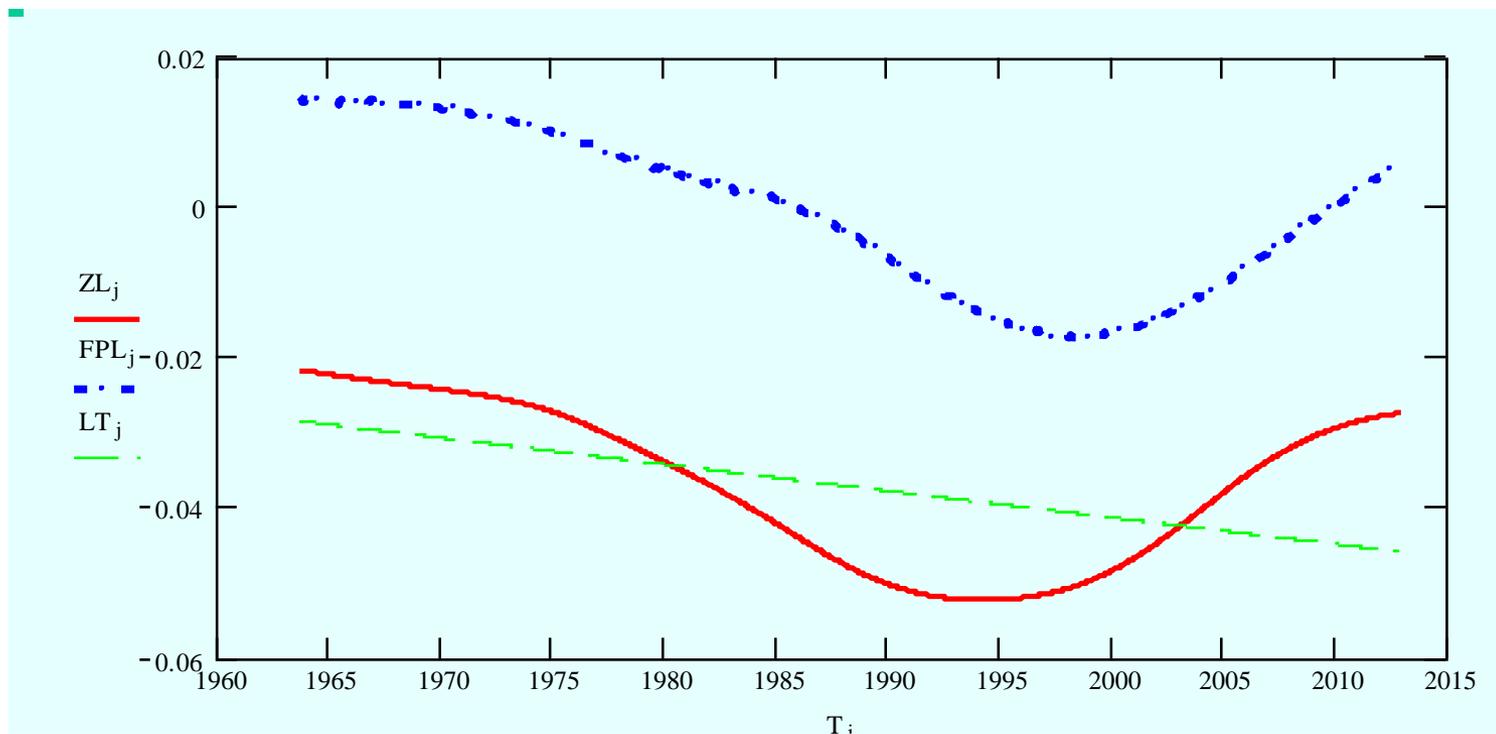
РИС. 1

- $FPS$  – долгопериодическая полярная компонента (модель C01 EOP);
- -  $FA6$  - медленные вариации широты Полтавы из наблюдений на астролябии;
- · -  $FT6$  – то же по наблюдениям ярких зенитных звезд.

# Декадные составляющие изменений НСТ и полярных изменений широты Полтавы

(arcsec)

$Corr(ZL, FPL)=0.88$



**РИС.2**

- ZL – декадные смещения НСТ в меридиане;
- · - ·** FPL – декадные изменения полярной компоненты (C01 EOP model).

Додекадные вариации НСТ ЗА6 (после удаления нелинейного тренда) для ряда призменной астролябии имеют форму цикличности, которая асинхронна с 11-летним индексом солнечной активности (СА) - SAI (рис.3а). Фазовая зависимость ЗА6 и SAI устойчива для 20÷24 циклов СА;  $\text{corr}(ZA6, SAI)=-0.69$ .

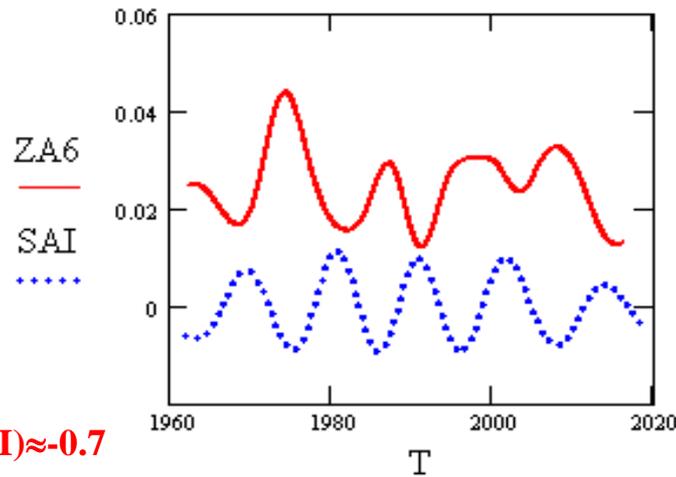
Для декадных компонент НСТ (ZAL) и СА (SAL) зависимость аналогична (рис. 3б).

Похожая зависимость индексов СА (SAI и SAL) отмечается для полярных вариаций широты FP6 и FPL, вычисленных по координатам полюса C01 (рис.3в, г).

**Отличия:** фаза полярных вариаций FP6 нестабильна, амплитуда меньше в 2 раза, чем для волн ЗА6; для декадных компонент – полярное смещение FPL на 8-10 лет запаздывает по сравнению с эмпирической кривой ZAL относительно максимума СА.

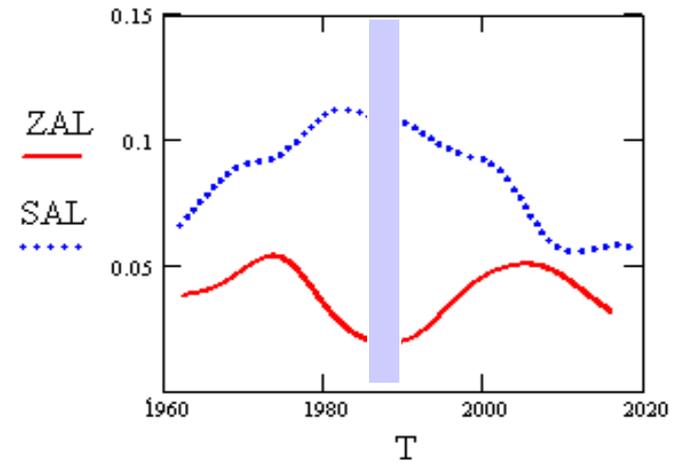
Полярные колебания FPL – это проекция колебаний Марковица (KM) на меридиан Полтавы ( $\lambda=34^{\circ}34'E$ ) [16]. В работе [17] в KM включены вариации FP6, параметры которых на интервале 1956-2004гг: период 15 лет, амплитуда 0.08", что соответствует параметрам табл.1 для 12-летней компоненты ряда C01, вычисленной для интервала 1962-2012 гг.

# Солнечные волны в полярных и неполярных смещениях зенита Полтавы

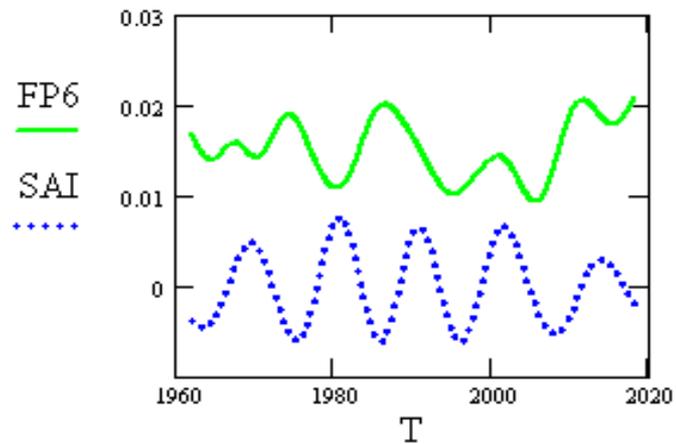


$\text{Corr}(\text{ZA6}, \text{SAI}) \approx -0.7$

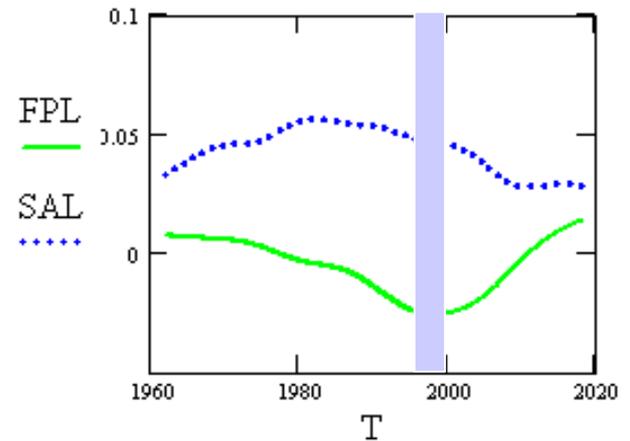
а)



б)



в)



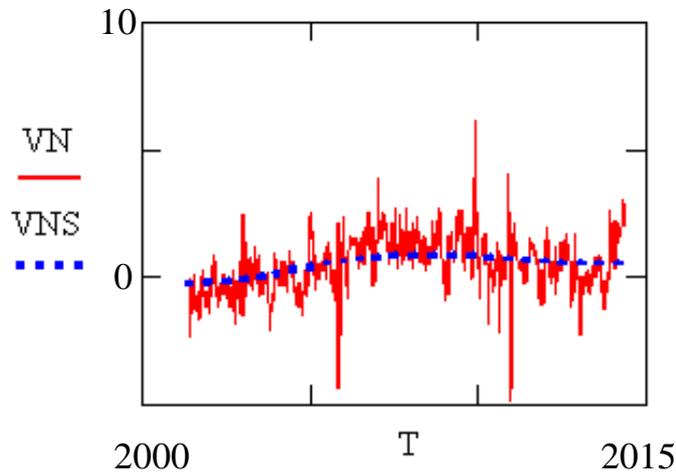
г)

Рис.3  
Ф

# Смещения зенита Полтавы и локальные движения земной коры по данным GPS-наблюдений

VN – N-компонента движения земной коры [19]

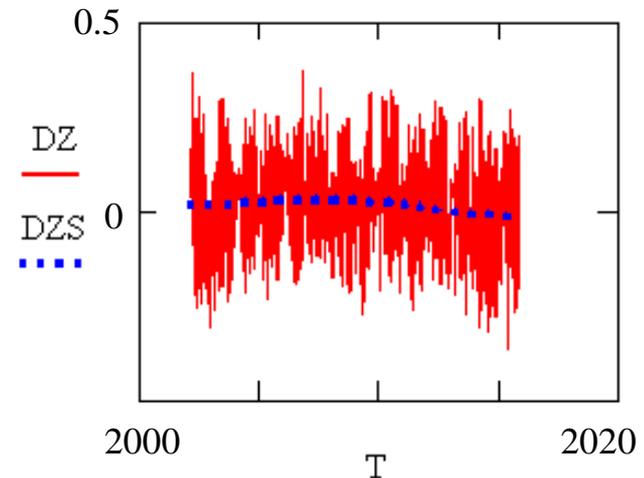
(mm)



$dw=0.522$

DZ-смещение зенита в меридиане

(asec)



$dw=1.645$

Рис.4

$dw$ - статистика Durbin-Watson показывает наличие систематической компоненты в массивах: VN - на уровне 99%, DZ - 95% .

$DZS=ksmooth(T,DZ,6.0)$ ;  $VNS=ksmooth(T,VN,3.0)$

# Сопоставление медленных смещений зенита (DZS) и локального движения земной коры (VNS) в направлении юг-север (2002-2013.5)\*

\* В 2013 смена антенны GPS-приемника

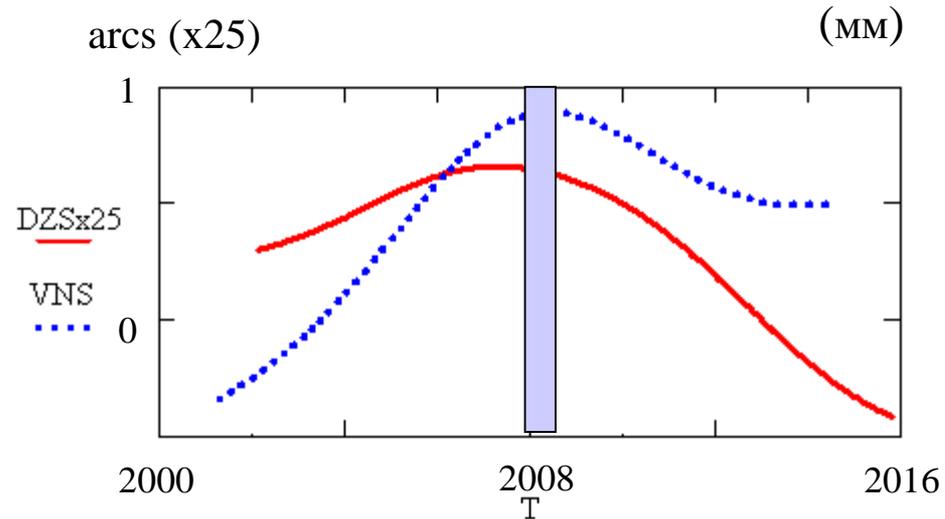


Рис.5

$$FN = a_0 + a_1(T-T_0) + a_2(T-T_0)^2, \quad T_0=2008$$

$F_i = a_i^2 / \text{sig}_i^2$  – критерий Фишера

Ряд	$a_0$	$F_0$	$a_1$	$F_1$	$a_2$	$F_2$
VN	0.916	270.5	<b>+0.087</b>	78.5	<b>-0.033</b>	128.3
DZx25	0.743	97.5	<b>-0.022</b>	2.3	<b>-0.025</b>	52.0

Линейные тренды рядов DZ и VN имеют противоположные знаки; для квадратичных членов знаки коэффициентов совпадают и статистически значимы ( $F > 6.8$ ,  $n > 200$ ,  $\alpha = 0.005$ ).

Квадратичный член смещений зенита DZS – совпадает с фрагментом «солнечной волны» (рис.3а) на интервале, который охватывает 2-ю часть 23 цикла (2002-2009) и первую 24-го (2009-2016).

Поведение нелинейных смещений зенита DZS и движения земной коры VNS в направлении меридиана можно интерпретировать как реакцию на некоторые геодинамические возмущения, возможно гравитационной природы, имеющие отношение к солнечной активности.

## Выводы

1. На основе многолетних рядов астрометрических наблюдений за вариациями широты в Полтаве реконструировано поведение декадных изменений НСТ.
2. В неполярных смещениях зенита Полтавы по наблюдениям с призменной астролябией проявляется связь как 12-летней цикличности, так и декадной компоненты с индексом солнечной активности соответствующего диапазона.
3. Особенность поведения НСТ в Полтаве – их подобие изменениям полярной проекции движения полюса на меридиан Полтавы. В декадной области реакция НСТ опережает полярные смещения более, чем на 8 лет. Источник возмущений связан с солнечной активностью, механизм воздействия которого описан в [12].
4. Сопоставление смещений НСТ в меридиане и горизонтального движения земной коры по данным GPS-станции на п. Полтава подтверждает наличие общего источника возмущений.
5. Повышенный отклик на глобальные геодинамические возмущения в окрестностях Полтавы обусловлен особенностями геологического строения земной коры так называемого Полтавского рифтогенного узла [16].

## Литература

1. Vondrak J., Pesek I, Ron C., Сеpec A., 1998, «Earth orientation parameters 1899-1992 in the ICRS based on the HIPPARCOS reference frame», Publ. Astr. Inst. Acad. Science of Czech Rep. № 87, 56 p.
2. Миллер Н.О. Тонкая структура и параметры чандлеровского движения полюса // Известия ГАО в Пулково, №220. - 2013.- С.125-130.
3. Горшков В.Л. Исследование шестилетних вариаций скорости вращения Земли// Известия ГАО в Пулково, №219. - 2009.- С.67-72.
4. Hui hu, Rongia Kan, Rui Wang *et al.* A method for predicting a strong earthquakes by means of astronomic observations.// *Astron. and Astrophys.*- 1989.- **224**, N`-2.- P.321-322.
5. Литвиненко Е.А. Аномальные изменения широты и их связь с землетрясениями, по наблюдениям на фотографической зенитной трубе.// Сб. "Астрофотография в исследованиях Вселенной". С.Петербург, 1992, с.312-314.
6. Ермакова Л.Г., Залуцкий В.Т., Ковалева Л.И. Выявление предвестниковых признаков землетрясений в зоне озера Байкал по аномалиям в результатах регулярных астроопределений в Иркутске // Труды III Орловской конференции. – Киев,1994.- С.232-236.
7. Han Yanben, Ma Lihua, Wong Rui et al. Application of astronomic time-latitude residuals in Earthquake prediction // *Earth, Moon and Planets*, 2007.- V.100, N1-2. – P. 125-135.
8. Djurovič D., Paquet P. The common oscillations of solar activity, the geomagnetic field and the Earth's rotation // *Solar Physics*. 1996. 167, 427 – 439.

9. V.L. Gorschkov, N.O. Miller, and M.V. Vorotkov Manifestation of Solar and Geodynamic Activity in the Dynamics of the Earth's Rotation // Geomagnetism and Aeronomy, 2012, Vol. 52, N7, pp.944-952.
10. Zalivadnyi N.M., Khalyavina L.Ya., Borisyuk T.Ye. Search of traces of geophysical phenomena in series of determinations of latitude changes with a Danjon astrolabe in Poltava. // Odessa astr. publ. – 2007. – vol. 20, part 1. – P. 233– 234.
11. Y. Chapanov, P. Popesku, O. Badesku Interconnection between periodical variations of Earth Gravity and magnetic field // The 6th Orlov conference proceedings. Kiev: Akadempriodyka – 2010. – P. 190-193.
12. . Chapanov Ya., J. Vondrák, and C. Ron, Oscillations of the local verticals due to solar activity cycles, EGU 2010, Vienna, 02-07 May 2010.  
<http://meetingorganizer.copernicus.org/EGU2010/EGU2010-6514-1.pdf>
13. Lili Tian, Jinyun Guo, Yanben Han et al. Digital Zenith telescope prototype China//China Science Bull. 2014, vol.59, is. 1983.
14. C. Ron, V. Stefka, J. Vondrak. The Deflection of Local Vertical from the New CCD Zenith Tube at Ondrejov observatory// Geophysical Reserch Abstracts, Vol.11, EGU2009-12883, 2009.
15. Халявина Л.Я. Интерпретация смещений отвесной линии в меридиане Полтавы по данным астрометрических наблюдений// Известия ГАО в Пулково, №220. - 2013.- С.155-160.

16. Халявина Л..Я. Декадные смещения локального отвеса на пункте Полтава по данным астрометрических наблюдений широты // Апробация – 2014. – N 10(25). – С. 98 –103
17. Горшков В.Л. Связь низкочастотных вариаций полюса Земли с Северо-Атлантическим колебанием. // Астрон. Вестник.-2007.- **41**, №1.- С.70-76.
18. [ww.epncb.oma.be/\\_dataproducs/timeseriesanalysis/](http://ww.epncb.oma.be/_dataproducs/timeseriesanalysis/)
19. Zhengxin Li. New role of ground astrometry in space era // Repot, Kiev. - July 17, 2014,