

НАУКИ О ЗЕМЛЕ

УДК 528.2:521.28

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ГЕОДИНАМИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ, ПОЛУЧЕННЫХ ИЗ АСТРОНОМИЧЕСКИХ И GPS-НАБЛЮДЕНИЙ В ПОЛТАВЕ

DOI: 10.31618/ESU.2413-9335.2021.1.86.1383

Халявина Л.Я., Заливадный Н.М.

Полтавская гравиметрическая обсерватория НАН Украины
Мясоедова 27/29, Полтава, 36014, Украина

АННОТАЦИЯ

Функционирование GPS-станции и регулярные астрометрические наблюдения с призменной астролябией в Полтаве обеспечивают ряды локальных смещений земной коры и отвесной линии, обусловленных изменениями гравитационного поля. Проведен анализ N -компоненты движения земной коры на основе GPS-данных и смещения отвесной линии в направлении меридиана из наблюдений на астролябии для интервала 2002-2020 гг. Сравнение трендов рядов показало, что их смещения имеют противоположные направления. Отмечается движение пункта на север со скоростью $+0.3\text{mm/yr}$; а смещение отвесной линии – на юг, со скоростью -2.6mas/yr . Аналогично, скачкообразное смещение N -компоненты к северу на величину $+2\text{mm}$ на рубеже 2014 г., сопровождалось смещением отвеса к югу, приблизительно, на -50 mas . Эти факты находят объяснение в рамках гипотезы о существовании вблизи Полтавы глубинной структуры, где происходит значимое изменение массы. Спектры обоих рядов показывают наличие циклическостей с близкими периодами: около 3.2, 2.8, 1.0, 0.5 и 0.32 г. Гармоники с такими периодами года обнаруживаются во многих астрометрических рядах. Геодинамическая интерпретация представленных фактов требует дополнительного подтверждения в наблюдениях соседних GPS-станций, а также теоретического объяснения и обоснования.

ABSTRACT

The functioning of the GPS station and regular astrometric observations with a prismatic astrolabe in Poltava provides series of local displacements of the earth's crust and plumb line in time, characterizing the changes in the gravitational field. The analysis of the N -component of the earth's crust movement and the displacement of the meridional projection of the plumb line was carried out on the basis of GPS data and from observations on the astrolabe, respectively, for the period 2002-2020. Comparison of the trends of these series showed that their shifts occur in opposite directions. It is noted that the movement of the point occurs in the northern direction at a speed of $+0.3\text{mm/yr}$, and the displacement of the plumb line - to the south, at a speed of -2.6mas/year . Similarly, an abrupt displacement of the N -component to the north by $+2\text{mm}$ at the turn of 2014 was accompanied by a displacement of the plumb line to the south by approximately -50 mas . These facts can be explained within the framework of the hypothesis of the existence of a deep structure in the vicinity of Poltava, in which a significant change in mass occurs. The spectra of both series show the presence of cyclicalities with close periods: about 3.2, 2.8, 1.0, 0.5, and 0.3 yr . It is known that harmonics with those periods are present in many astrometric series. The geodynamic interpretation of the presented facts requires additional confirmation in observations of neighboring GPS stations, as well as a theoretical explanation and justification.

Ключевые слова: геодинамика, движения земной коры, вариации отвеса, gps-станция, астролябия

Keywords: geodynamics, the earth crust motion, plumb line variations, gps station, astrolabe

Введение. Комплексный подход и совмещение различных измерительных средств является важным условием при изучении геодинамических явлений, обусловленных изменениями гравитационного поля. Эта идея была практически воплощена Орловым А.Я. при создании Полтавской гравиметрической обсерватории на технологическом уровне XX века. Здесь накоплены многолетние ряды астрометрических наблюдений за вариациями широты, а также серии гравиметрических и наклономерных измерений. Массивы данных содержат информацию об изменениях гравитационного поля. Это относится и к астрономическим данным, поскольку астрометрические инструменты имеют в качестве опорной оси локальное направление силы тяжести. Использование астрометрических данных для изучения смещений отвесных линий стало

возможным на рубеже XXI века, когда появились точные звездные каталоги (HIPPARCOS, ARIHIP, Tycho-2) и новые модели: вращения Земли (IAU2000), движения полюсов (C04, C01 IERS) и тектоники плит (NUVEL-1A). Низкочастотные неполярные смещения зенита, полученные при обработке астрометрического ряда с учетом этих эффектов, принято считать локальными вариациями отвесной линии. Реконструкция многолетних смещений отвеса на пункте Полтава из анализа двух рядов наблюдений звезд, выполненных на призменной астролябии и зенит-телескопе, приведена, например, в работе [1].

Информация о вариациях отвеса в сочетании с измерениями силы тяжести используется для изучения изменений гравитационного поля [2-4]. Масштабный проект реализуется в Китае [3]. Значения вариаций отвесной линии, полученные из

астрометрических наблюдений, сопоставляются с изменениями горизонтального градиента силы тяжести по данным наземной сети гравиметров, размещенных на обширной территории. Такой анализ позволяет: 1) повысить надежность данных об изменениях гравитационного поля; 2) локализовать область активных смещений масс; 3) прогнозировать геофизические последствия значимых процессов в недрах (землетрясения, миграция подземных флюидов и т.д.).

Не менее информативным является совмещение астрометрических и GPS-наблюдений [5-7].

С 2001 года в Полтаве начала работу GPS-станция, которая обеспечила высокоточные данные о локальных, «внутриплитных» движениях земной коры (N-, E-, U-компонент) [8]. Наблюдения на призменной астролябии, которые продолжались до 2019.85, дали ряды локальных вариаций отвесной линии. Продолжительность совместных наблюдений превышает 18 лет. Ряды этих геодинамических параметров отображают изменения локального гравитационного поля. Может ли совместный анализ данных о деформациях земной коры и смещениях отвеса уточнить характер геодинамических процессов?

Для интерпретации изменений указанных параметров можно принять такую рабочую модель. Предположим, что изменения гравитационного поля обусловлены аномальными перемещениями масс. Тогда деформации земной коры будут направлены в сторону наращивания массы. Направление же смещения отвесной линии будет зависеть от локализации аномалии. Если

возмущение возникло на внешнем контуре, то смещение отвеса и деформации земной коры будут иметь одинаковые направления. Аномальное перераспределение **глубинных** масс приведет к противоположным смещениям отвеса и земной коры. Это соотношение выполняется как при локальном наращивании массы, так и при разуплотнении недр.

Характеристики рядов геодинамических параметров

Проведено сравнение рядов меридиональных проекций смещений земной коры и зенита Полтавы для интервала 2002.0 – 2019.8 гг. Это – массивы: $\{VN\}$ – ежесуточных значений N-компоненты из GPS-наблюдений по данным EUREF Permanent GNSS Network (EPN) [8] и $\{DZ\}$ – мгновенных значений неполярных вариаций широты из наблюдений 2-часовых групп звезд на равных высотах с призменной астролябией. Изменения величин $\{VN\}$ и $\{DZ\}$ со временем представлены на рис. 1 (а, б).

Основные статистические характеристики массивов: размерность рядов; дисперсии величин; значения статистик Durbin-Watson, показывающих значимость систематических компонент в рядах; коэффициенты линейного тренда приведены в таблице 1. Значения статистики Durbin-Watson [9] говорят о наличии значимых систематических компонент: для массива $\{VN\}$ на уровне 1%, а для $\{DZ\}$ – 5%. Это подтверждает высокое качество регистрируемых GPS-станцией горизонтальных смещений пункта, их статистическую достоверность и реальность.

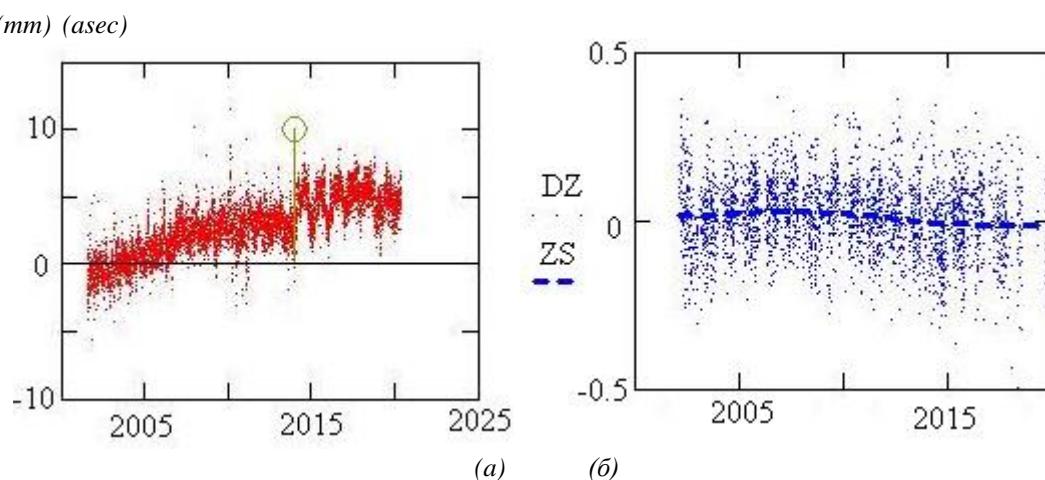


Рисунок 1. Ряды локальных параметров: (а) - n-компоненты смещения станции; (б) – неполярных вариаций широты Полтавы из наблюдений на астролябии

Таблица 1.

Статистические характеристики рядов геодинамических параметров

Ряды данных	Размерность массива	Дисперсия	DW-статистика	Коэффициент линейного тренда
VN	6721	1.1mm	0.64	+0.3 mm/год
DZ	3117	0.105"	1.67(1.76)	-0.0026"/год

Медленные смещения N-компоненты движения земной коры и меридиональной проекции отвесной линии

Изменения медленных компонент серий $\{VN\}$ и $\{DZ\}$ могут служить индикаторами устойчивых процессов перемещения глубинных масс. В первом

приближении, такие долгосрочные возмущения характеризуются линейными трендами рядов. Из табл. 1 следует, что тренды рядов $\{VN\}$ и $\{DZ\}$ имеют противоположные направления: пункт смещается на север со скоростью $+0.3 \text{ mm/god}$, а отвесная линия – на юг со скоростью $-0.0026''/\text{год}$. Эти характеристики можно объяснить в рамках упомянутой модели о наращивании глубинных масс, локализованных к северу от Полтавы, или заметного разуплотнения недр в южном направлении. Многолетнее значение радиальной U -компоненты деформаций земной коры для пункта Полтава, равно -0.2 mm/yr [8], что говорит, скорее, о наращивании притягивающих глубинных масс.

Кандидатом на роль такой структуры может быть северный участок Полтавского рифтогенного узла, описанного в [10, с. 56-57]. Глубинное

сейсмическое зондирование показывает, что севернее Полтавы наблюдается куполовидное поднятие линии Мох до глубины всего лишь 30 км, увеличиваясь на периферии до 40-45 км. Также под этой территорией в верхней мантии отмечается поднятие на 20 км слоя пониженных скоростей: с 70 до 50 км. Это признаки внедрения под земную кору мантийного плюма, где может происходить активная транспортировка масс со значительных мантийных глубин.

Низкочастотные составляющие N -компоненты движения земной коры (VNS) и локального отвеса (ZS), полученные слаживанием массивов с окнами - 3 года для ряда $\{VN\}$ и 6 лет для ряда $\{DZ\}$, приведены на рис. 2(а). Квазициклические компоненты обоих рядов, полученные после удаления соответствующих линейных трендов, изображены на рис. 2(б).

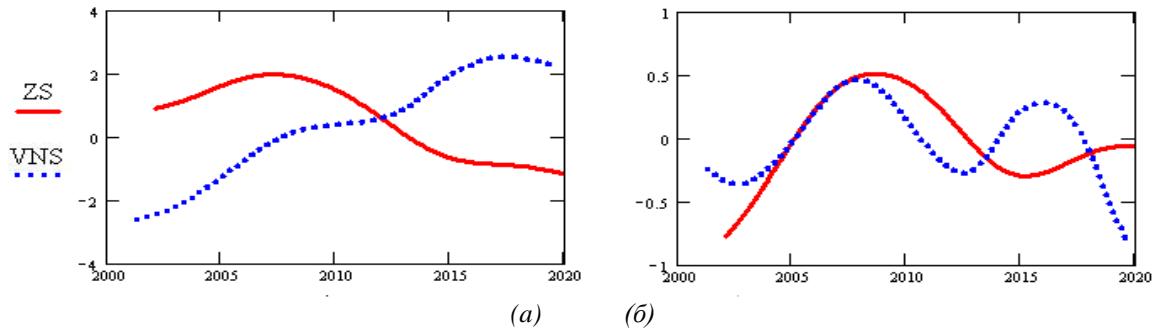


Рисунок 2. Медленные смещения N -компоненты GPS-станции и зенита Полтавы из наблюдений на астролябии:
(а) - полные; (б) нелинейные тренды.

Кривая VNS на рис. 2 представлена в реальном масштабе (в mm), а кривая ZS (в asec) на графике 2(а) нормирована коэффициентом 75; на графике 2(б) - коэффициентом 45.

Предварительные результаты сравнения рядов $\{VN\}$ и $\{DZ\}$ для интервала 2002-2013 гг., где N -компоненты были определены в системе ETRF2000, производной от реализации международной системы отсчета IGB08, были представлены в работе [7]. Здесь анализируется массив $\{VN\}$, полученный после переобработки рядов GPS-наблюдений в системе ETRF2014 (2017 EUREF Resolution No.1). Это объясняет расхождение нелинейной части тренда VNS , приведенного в работе [7].

На рис. 2(б) можно видеть, что квазициклические кривые VNS и ZS изменяются синхронно в 2002-2010 гг., что совпадает с результатами [7]. С 2010 по 2013 гг. изменения VNS стали опережать кривую ZS . После 2014 г. нелинейные изменения исследуемых параметров VNS и ZS приобрели, скорее, противоположную направленность, что нивелирует вывод [7], об общем характере и источнике нелинейных возмущений параметров.

О природе скачка N -компоненты смещения пункта в 2014 году

На рис. 1(а) специально отмечен момент скачкообразного увеличения систематической

части N -компоненты более чем на 2 mm в начале 2014 г. Направление скачка совпадает с направлением линейного тренда VNS . Есть несколько объяснений причин такого явления.

1) Замена антенны или приемника. Как показывают исследования [11], замена приемника или антенны может вызывать не только смещения в положении станции, но и изменение в ее скорости. Смещения координат учитываются достаточно уверенно. Замена антенны GPS-станции в Полтаве была проведена в начале 2013 г., почти за 10 месяцев до скачка N -компоненты, и учтена в решении [8].

2) Внедрение новой системы отсчета ETRF2014. Если скачок в серии $\{VN\}$ - результат обновления системы отсчета, то он должен проявиться и в рядах горизонтальных смещений других Европейских GPS-станций. Но беглый обзор поведения N -компонент для подавляющего большинства близлежащих пунктов EPN не обнаружил явных скачков для указанного момента. Исключением могут служить данные для Николаевской GPS-станции, где отмечено резкое смещение к югу на $\approx 5 \text{ mm}$ вблизи момента 2013.75 [12]. При этом отсутствуют сведения о каких-либо технических мероприятиях для станции Николаев задолго до скачка и после него, вплоть до 2016 г. Тем не менее, нельзя исключать возможность скачкообразных изменений локальных координат

GPS-станций в результате изменения системы отсчета, что должно стать предметом специального исследования.

3) Усиление геодинамического фактора, который вызывает систематическое смещение пункта в северном направлении. Подтвердить геодинамическую природу скачка можно, используя астрометрические данные.

Скачок N -компоненты для момента ≈ 2014.0 приходится на зимний период. Невысокая плотность астрономических наблюдений в зимний сезон и относительно высокая дисперсия широтных данных из-за сильного влияния атмосферных флюктуаций на астрооптические наблюдения не позволяют определить точный момент скачка в смещении отвесной линии. По этой причине достоверные оценки смещений отвеса получают только в низкочастотной области спектра с периодами более 500 дней (≈ 1.4 г.) [13].

Рассмотрим в деталях неполярные смещения зенита Полтавы из наблюдений на астролябии на интервале 2013.0-2015.0. На рис. 3 изображены кривые $ZS1$ и $ZS2$, которые получены сглаживанием ряда $\{DZ\}$ с окнами 0.1 и 0.25 г., соответственно. Их изменения отражают, в значительной степени, сезонное влияние атмосферных и инструментальных искажений. Кривая $ZS1$ отображается только для моментов реальных наблюдений, что наглядно показывает их плотность и интервалы пропусков в наблюдениях. Можно видеть, что флюктуации положения зенита в 2013 г. незначительны. Заметные снижения значений $ZS1$ в окрестностях моментов 2013.8 и 2014.1, помечены прямоугольниками. Более гладкая кривая $ZS2$ показывает на интервале 2013.8-2014.15 снижение, примерно, на 20 mas. Т.е. можно констатировать, что на рубеже 2014 года отмечается смещение зенита Полтавы к югу.

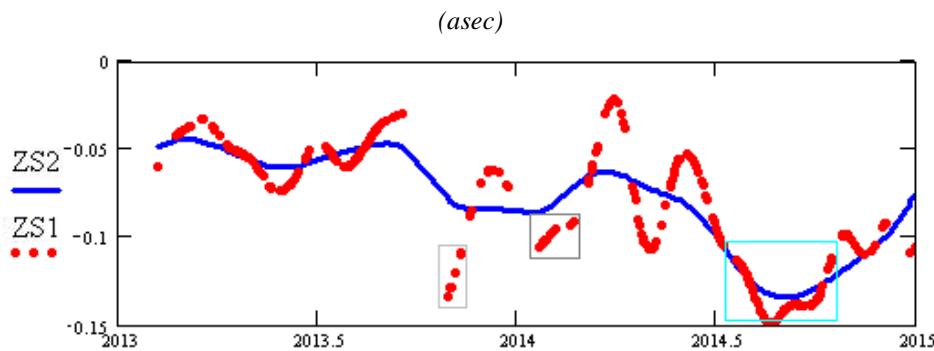


Рис.3. Высокочастотные смещения зенита Полтавы из наблюдений на астролябии в 2013-2015 гг.

Но наиболее достоверно оно проявляется для интервала 2014.5-2014.85, где плотность массива $\{DZ\}$ очень высокая. Таким образом, рис. 3 демонстрирует, что в течение 2014 г. происходило безусловное смещение зенита к югу.

В первом приближении смещения локального отвеса для указанного интервала характеризует кривая ZAO , изображенная на рис. 4(а). Она получена сглаживанием ряда $\{DZ\}$ с окном 1.5 г. Минимум кривой ZAO приходится на 2014.5 г. Он достигает значения около -50 mas относительно кривой ZAO для предшествующего периода 2012-2013 гг. Таким образом, смещение зенита на

протяжении 2014 года согласуется с явлением скачка N -компоненты в рамках гипотезы о нарастании аномалии глубинных масс в геологической структуре, расположенной к северу от Полтавы. При этом, как для N -компоненты, так и для локального отвеса направление скачков совпадают линейными трендами VNS и ZS , соответственно.

С другой стороны, наблюдаемое поведение зенита можно объяснить влиянием солнечной активности. Это следует из многолетней закономерности, представленной на рис. 4(б) [7].

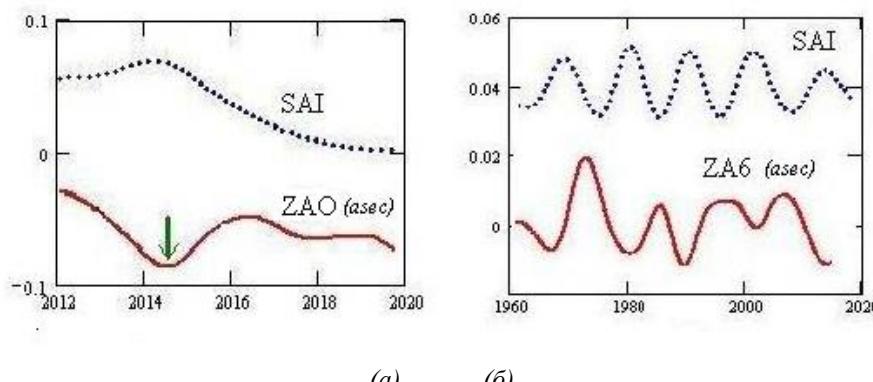


Рисунок 4. Соотношение смещений отвесной линии, полученных из наблюдений на астролябии в Полтаве (ZAO и $ZA6$) и индекса главного цикла солнечной активности (SAI).

Здесь - **ZA6** неполярные смещения зенита Полтавы по данным наблюдений на астролябии, сглаженные с окном 6 лет; **SAI** – нормированные вариации индекса солнечной активности. Изменения **ZA6** и **SAI** асинхронны для всего интервала наблюдений, который охватывает 5 циклов солнечной активности.

В 2014 г. отмечались всплески солнечной активности, обозначившие максимум 24 цикла. При этом ее интенсивность была весьма умеренной по сравнению с наблюдаемой активностью в 21-23 циклах.

Известно, что солнечная и геомагнитная активность проявляется как в глобальных геодинамических процессах, определяющих изменения скорости вращения и движения полюсов Земли [14], так и в колебаниях локальных отвесных

линий [15]. Поэтому этот фактор следует принимать во внимание при моделировании перемещений масс в верхней мантии в гипотетической структуре.

Таким образом, вероятной причиной скачка **N**-компоненты в 2014 г. является геодинамический фактор.

Сравнение спектрального состава рядов геодинамических параметров

Проведен структурный анализ 19-летнего ряда **N**-компоненты **{VN}** и 55-летнего ряда **{DZ}** - неполярных вариаций широты Полтавы из наблюдений на призменной астролябии. После удаления медленных компонент ряды были сглажены с окном 0.1 г. Оценки амплитудно-частотных характеристик рядов, полученные методом Фурье-анализа, приведены в таблице 2.

Таблица 2

Спектральные характеристики рядов геодинамических параметров

Спектр N-компоненты		Спектр смещений зенита	
Период (года)	Амплитуда (mm)	Период (года)	Амплитуда (mas)
6.27	.187	6.65	18
3.13	.167	3.19	14
2.69	.192	2.82	18
1.34	.215		
1.04	.326	1.18	
.94	.369	0.90	10
.48	.267	0.50	12
.32	.165	0.31	
.24	.123		6

Можно видеть, что большинство цикличностей, обнаруженных в **N**-компоненте, имеют «двойников» в спектре неполярных смещений зенита. Периоды межгодовых гармоник в диапазоне 2-6 лет разнятся на 0.1 - 0.4 г., что объясняется относительно короткой продолжительностью ряда **N**-компоненты. Высокочастотные же гармоники с периодами, которые не превышают 1 год, согласуются с точностью от 0.01 до 0.04 г.

Набор цикличностей, присущий неполярным вариациям зенита Полтавы, присутствует также в астрометрических наблюдениях многих других обсерваторий (Пулково, Китаб, Казань, Иркутск) [6,16-18]. В работе [17] отмечено, что наличие близких по периоду гармонических компонент в неполярных вариациях координат станций, разнесенных на большие расстояния, указывает на существование крупномасштабных физических явлений, формирующих эти возмущения. В работе [16] также указано, что аналогичный спектральный состав имеют температурные колебания, зафиксированные во время наблюдений в Пулково.

Как следует из табл. 2, подобные возмущения проявляются и в результатах GPS-измерений в Полтаве. Подобие спектров геодинамических параметров может свидетельствовать о влиянии общих геофизических факторов, как атмосферного, так и гравитационного характера.

Выводы

Сравнение вариаций локального отвеса из наблюдений на астролябии и **N**-компоненты движения земной коры из GPS-данных в Полтаве показало противоположную направленность как долгосрочных, так скачкообразных смещений этих параметров. Этот факт можно объяснить в рамках гипотезы о наличии в окрестностях Полтавы глубинной структуры (предположительно, локализованной в северной части Полтавского рифтогенного узла), где происходит значимое изменение массы. Не исключено, что интенсивность этого процесса может быть обусловлена геодинамическими процессами, управляемыми солнечной активностью.

Вариации геодинамических параметров имеют близкий спектральный состав. Примечательно, что цикличности в высокочастотной области спектра (диапазон 0.24 - 1.0 год) обнаружены во многих астрометрических рядах, что подтверждает объективность и универсальность природных ритмов, генерирующих наблюдаемые возмущения.

Разумеется, что наша интерпретация приведенных фактов не является исчерпывающей и требует теоретического объяснения и обоснования, а также дополнительного подтверждения в наблюдениях соседних GPS-станций.

Литература

- Халявина Л.Я. Декадные смещения локального отвеса на пункте Полтава по данным

- астрометрических наблюдений широты // Апробация. 2014. № 10. С. 98 –103. [Khalyavina L. Ya. Decade displacements of the local plumb line at the Poltava point according to astrometric observations of latitude. Approbation. 2014. (25): 98 –103 (in rus)].
2. C. Ron, V. Štefka, J. Vondrak. The Deflection of Local Vertical from the New CCD Zenith Tube at Ondrejov observatory// Geophysical Reserch Abstracts. 2009. Vol.11. EGU2009-12883,
3. Yongzhang Yang, Jinsong Ping, Zhengxin Li Plumb Line Variations (PLV) at China and Their Relation with Earthquakes and Underground Materials Changes // Open Journal of Geology. 2013. N3. P. 38-40.
4. Tyshchuk M., Pavlyk V. Searching of plumb-line variations in the astrometric and gravimetric data of Poltava // The study of the Earth as a planet by methods of geophysics, geodesy and astronomy. The 6th Orlov conference proceedings. Kiev: Akademperiodyka – 2010. – P. 167-170.
5. Ya. Chapanov, Tz. Darakchiev Secular plate drift in north direction determined by astrometrical latitude observations at observatory Plana // Proc. of the VII Bulgarian-Serbian astronomical conference, Chepelare, 1-4 June, 2010. – Belgrad, 2012. – P.351-358.
6. Мубаракшина Р.Р., Нefедьев Ю.А., Лапаева В.В. и др. Анализ геодинамических параметров на основе данных спутниковых навигационных систем и широтных наблюдений // Изв. ГАО в Пулково. 2018. №225. С.85-90. [Mubarakshina R.R., Nefedyev Y.A., Lapaeva V.V. et.al. Analysis of geodynamical parameters using the data from satellite navigational systems and latitude observations // Izv. GAO in Pulkovo. 2018. (225) 85-90 (in rus)].
7. Халиянина Л.Я., Заливадный Н.М. Некоторые результаты изучения длительных рядов астрооптических наблюдений в Полтаве // Известия ГАО в Пулково. 2018. №225. С.123-128. [Khalyavina L.Ya., Zalivadny N.M. Some results of the study of long-term series of astrooptic observations in Poltava // Izv. GAO v Pulkovo. 2018. (225): 123-128 (in rus)].
8. EUREF Permanent GNSS Network/Website of EUREF Permanent GNSS Network URL: http://epnccb.oma.be/_productsservices/timeseries/index.php?station=POLV00UKR
9. Durbin S., Watson G.S. Testing for correlation in least squares regression.// Biometrika. - 1951.- 38.- P. 159- 178.
10. Коболев В.П., Оровецкий Ю.П. Проблемы эндогенных углеводородов рифтогенных узлов Земли. // Геология и полезные ископаемые мирового океана – 2005. №2.- С. 53-68 [V.P. Kobolev, Yu. P. Orovetskiy Problems of endogenous hydrocarbons of rift nodes of the Earth // **Geology and Mineral Resources of World Ocean** (Ua) 2005. V.1. N2: 53-68 (rus)]
11. Горшков В.Л., Щербакова Н.В. О согласованности скоростей станций с несколькими ГНСС-приёмниками // Изв. ГАО в Пулково. 2016. №223 – С.97-102. [V. Gorshkov, N. Shcherbakova. About Consistency of Stations Velocities with Multiple GNSS-receivers // Izv. GAO v Pulkovo. 2016. (223): 97-102 (in rus)]
12. EUREF Permanent GNSS Network / Website of EUREF Permanent GNSS Network URL: http://www.epnccb.oma.be/_productsservices/timeseries/index.php?station=MIKL00UKR
13. Ya. Chapanov A global gravity oscillation determined by superconducting gravimetry measurements and astronomical latitude observations. Kinematics & Physics of celestial bodies Suppl.N5, 2005.- P.347-350.
14. 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. - P.944-952.
15. Y. Chapanov, P. Popesku, O. Badesku Interconnection between periodical variations of Earth Gravity and magnetic field // The 6th Orlov conference proceedings. Kiev: Akademperiodyka – 2010. – P. 190-193.
16. Прудникова Е.Я. Результаты наблюдений на ЗТЛ-180 в Пулкове за период 1967-1990 гг. 2002. Изв. ГАО в Пулково №216. – С.257-268. [Prudnikova E.Ja. The results of the observations obtained with ZTL-180 at Pulkovo during 1967-1990. Izv. GAO v Pulkovo. 2002. (216):257-268 (in rus).]
17. Витязев В.В., Прудникова Е.Я. Спектральный анализ неравномерно распределенного ряда наблюдений. Изучение Земли как планеты методами геофизики, геодезии и астрономии. Труды II Орловской конференции. 1988. С. 226-229. [Vityazev V.V., Prudnikova T.Ya. Spectral Analysis of anObservating Set with Irregular Step. The Study of the Earth as a Planet by Methods of Geophysics, Geodesy and Astronomy. Proc. Of the 2nd Orlov Conference. 1988: 226-229 (in rus)]
18. Сергиенко С.А., Сергиенко В.И., Овчинкина Г.К. Анализ результатов параллельных наблюдений на астролябиях Данжона в Иркутске. Изучение Земли как планеты методами геофизики, геодезии и астрономии. Труды II Орловской конференции. 1988. С. 137-139. [Sergienko S.A., Sergienko V.I., Ovchinkina G.K. Analysis of Synchronous Observation Results with Danjon Astrolabes in Irkutsk. The Study of the Earth as a Planet by Methods of Geophysics, Geodesy and Astronomy. Proc. Of the 2nd Orlov Conference. 1988: 136-139 (in rus)]