

УДК 521.93:520.256: 528.2

DOI: <https://doi.org/10.24028/gj.v47i2.322574>

Геодинамічні дослідження в Полтавській гравіметричній обсерваторії за даними астрометричних і GPS-спостережень

Л.Я. Халявіна, 2025

Полтавська гравіметрична обсерваторія Інституту геофізики
ім.С.І. Субботіна НАН України, Полтава, Україна

Розглянуто принципи вивчення змін гравітаційного поля за даними сумісних астрометричних і GPS-спостережень. Проведено аналіз таких спостережень на пункті «Полтава» за період 2001,5—2021,8 років, а саме: горизонтальних зміщень земної поверхні в системі ETRF2014 за даними GPS-моніторингу і дрейфу лінії локального виска, отриманого із спостережень зірок на призмовій астролябії. Тренди меридіанних проєкцій — N -компоненти зміщень земної кори і DZ — дрейфу лінії виска протилежні за напрямком. Визначено зміщення пункту на північ зі швидкістю $+0,29$ мм/рік, а дрейфу лінії виска — на південь зі швидкістю $-0,9$ мсд/рік. Погодження цих параметрів можливе в рамках гіпотези щодо глибинного ($h \sim 30$ км) нарощування маси в зоні Полтавського рифтогенного вузла, викликаного магматичною активністю. Джерело аномальної маси, за оцінкою моделі гравітаційного поля EGM2008, має координати $\lambda=34,5^\circ \text{E}$ і $\varphi=49,85^\circ \text{N}$ і розміщується на відстані $27,5$ км на північ від Полтави. Оцінки збурень гравітаційного поля становлять на пункті «Полтава» в напрямку глибинної аномалії $dg \approx 4$ мкГл/рік, а на поверхні над фокусом аномалії — $dg \approx 8$ мкГл/рік.

Ключові слова: гравітаційне поле, лінія виска, деформації земної кори, GPS-моніторинг, астролябія.

Citation: Khalyavina, L.Ya. (2025). Geodynamic studies at the Poltava Gravimetric Observatory based on astrometric and GPS observations. *Geofizychnyi Zhurnal*, 47(2), 339—343. <https://doi.org/10.24028/gj.v47i2.322574>.

Publisher S. Subbotin Institute of Geophysics of NAS of Ukraine, 2025. This is an open access article under the CC BY-NC-SA license (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>).

Вступ. Комплексний підхід і суміщення різних засобів вимірювання є важливою умовою при вивченні геодинамічних явищ, обумовлених змінами гравітаційного поля. Ця ідея була фактично втілена А.Я. Орловим при створенні в 1926 р. Полтавської гравіметричної обсерваторії (ПГО) на технологічному рівні початку ХХ ст. У ПГО нагромаджені багатолітні ряди астрономічних спостережень за варіаціями широти, а також серії гравіметричних і нахиломірних вимірювань. Ці масиви даних містять інформацію про зміни гравітаційного поля. Спочатку завданням астрономічних спостережень було визначення змін широти для вивчення руху полюса. Проте астрометричні інструменти мають як опорну вісь локальний напрямок сили тяжіння — лінію виска. Астрономічний зеніт в ідеалі збігається з напрямком лінії виска. Локальний висок є характеристикою гравітаційного поля. Вивчення змін лінії виска з часом з астрометричних спостережень стало можливим на рубежі ХХІ ст., коли з'явилися високоточні зоряні каталоги (HIPPARCOS, ARHIP, Tycho-2) і вдосконалені моделі: обертання Землі (IAU2000), руху полюса (C04, C01 IERS) і тектоніки плит (NUVEL-1A). Низькочастотні неполярні зміщення зеніту, отримані при обробці астрометричного ряду з урахуванням указаних ефектів, прийнято вважати локальними варіаціями лінії виска. Реконструкцію багатолітніх зміщень лінії виска з аналізу широтних рядів спостережень зірок, що виконувались в ПГО на призмовій астролябії та зеніт-телескопах, описано в статті [Халявіна, 2014].

У 2001 р. у ПГО розпочала діяти GPS-станція. Вона забезпечує крім багатьох інших вимірів дані щодо локальних деформацій земної кори, які також можуть містити інформацію про зміни гравітаційного поля.

Колокація різних типів засобів вимірювань розширює можливості геодинамічних досліджень. Приклади сумісних астрометричних і гравіметричних спостережень для відстеження локального гравітаційного поля наведено в публікаціях [Tyshchuk, Pavlyuk, 2010; Yang et al., 2013].

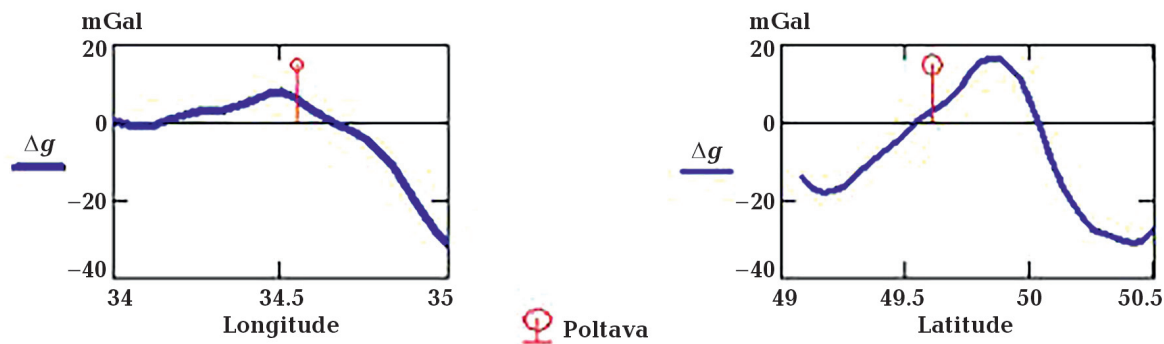
Дослідження вікових геодинамічних параметрів за результатами астрометричних спостережень широти і GPS-спостережень було виконано в обсерваторії «Казань» [Мубаракшина и др., 2021]. Втім, у Казані регулярні астрометричні спостереження завершилися в 2006 р., а GPS-моніторинг розпочався з 2008 р. У Полтаві ж сумісні спостереження виконувались близько 20 років: з 2001 по 2021 р. Це дає можливість вивчати не тільки повільні (вікові) параметри, а й спорадичні геодинамічні сигнали як глобального, так і локального походження.

Робота є продовженням досліджень зі сумісного вивчення результатів астрометричних і GPS-спостережень на пункті «Полтава» [Khalyavina, Bulatsen, 2021; Халявіна, Заливадный, 2021].

Дані аналізу. Вихідні дані для аналізу — ряди меридіональних проєкцій локальних зміщень земної кори і зеніту пункту «Полтава». Це масиви: 1) $\{VN\}$ — щоденних значень N -компоненти за даними GPS-спостережень у системі ETRF2014 в мережі EUREF Permanent GNSS Network (EPN) (<https://www.epncb.oma.be>) для станції Полтава (ідентифікатор — POLV00); 2) $\{DZ\}$ — миттєвих значень неполярних варіацій широти, отриманих із спостережень 2-годинних груп зірок на рівних висотах за допомогою призмової астролябії. Основні характеристики рядів для інтервалу 2002,0—2019,8 рр. описані в роботах [Khalyavina, Bulatsen, 2021; Халявіна, Заливадный, 2021].

У нинішньому дослідженні ряди емпіричних даних зазнали деяких змін. Так, ряд $\{VN\}$ продовжено до 2022 р. При цьому середня швидкість зміщення N -компоненти зменшилась лише на 0,01 мм/рік і дорівнює +0,29 мм/рік.

Ряд $\{DZ\}$ було відкориговано з метою виключення атмосферних збурень, які описані в роботі [Khalyavina, Zalizadny, 2023]. Було виявлено виникнення стійких режимів атмосферної циркуляції тривалістю від 1 до 5 міс. При цьому під час спостережень групи зірок виявлено значущі зміщення рефракційного зеніту в



Значення аномалій Δg уздовж профілів WE ($\lambda=34\div35^\circ\text{E}$ при $\varphi=49,604^\circ\text{N}$) і SN ($\varphi=49\div50,5^\circ\text{N}$ при $\lambda=34,547^\circ\text{E}$) відповідно моделі EGM2008.

Gravity anomaly values along the WE ($\lambda=34\div35^\circ\text{E}$ at $\varphi=49.604^\circ\text{N}$) and SN ($\varphi=49\div50.5^\circ\text{N}$ at $\lambda=34.547^\circ\text{E}$) profiles according to EGM2008 model.

меридіані, переважно в одному напрямку: $\text{sign}(d\varphi/dt)=\text{const}$. Це явище спричинює систематичні спотворення окремих фрагментів масиву $\{DZ\}$. На інтервалі 2001—2018,5 виявлено декілька таких фрагментів. Найчастіше вони трапляються під час максимумів сонячної активності (2012—2015 рр.), причому для цього періоду характерні зміщення рефракційного zenіту в південному напрямку ($d\varphi/dt < 0$). Відповідно, зменшувались значення $\{DZ\}$. Як наслідок, швидкість лінійного дрейфу zenіту зростала в південному напрямку і сягала $-2,6$ мсд/рік (мсд $\equiv$ мілісекунди дуги), що майже в 5 разів перевищує значення, отримане для повного інтервалу спостережень на астролябії 1962—2021 рр. [Khalyavina, Bulatsen, 2021]. Було оцінено вплив рефракційних збурень для виявлених фрагментів широтного ряду за методикою, прийнятою для обчислення поправок, що забезпечують стабільність інструментальної системи призмової астролябії. Після введення відповідних поправок у масив $\{DZ\}$, оцінка швидкості дрейфу zenіту для інтервалу 2001—2021 становила $-0,9$ мсд/р.

Результати досліджень. Зміни повільних компонент серій $\{VN\}$ і $\{DZ\}$ можуть слугувати індикатором процесів переміщення глибинних мас. У роботі [Khalyavina, Bulatsen, 2021] наведено модель, яка пояс-

нює поведінку параметрів. Протилежний напрямок їх зміщень може бути наслідком зростання аномальної глибинної маси, яка перебуває поблизу пункту. Деформації земної кори, як і рух «підземного» кінця лінії виска, відбуватимуться в напрямку аномалії, а зовнішній кінець виска, спрямований в zenіт, — у протилежному напрямку.

Вибір меридіанних проєкцій параметрів вимірювань обумовлений існуванням на північ від Полтави особливої геологічної структури — Полтавського рифтогенного вузла, де наявні ознаки проникнення під земну кору мантійного плюму і можливе активне транспортування мас із значних мантійних глибин до лінії Мохо, що існує на глибині 30 км [Коболєв, Оровецкий, 2005]. Зроблено спробу визначити місцезонавання аномальної маси. Якщо в околі пункту «Полтава» існує локація, де відбувається нарощування маси, то в указаній точці слід очікувати максимального значення прискорення сили тяжіння Δg відносно сусідніх точок. Для виявлення локального максимуму Δg застосовано дані моделі гравітаційного поля EGM2008 [<http://earth-info.nga.mil/GandG/wgs84/gravitymod/egm2008/>]. На рисунку показано зміни гравітаційних аномалій щодо геоїда WGS84 уздовж профілів WE (захід—схід) і SN (південь—північ), що проходять через пункт «Полтава». Координати точки

максимального Δg : $\lambda=34,5^\circ \text{E}$ и $\varphi=49,85^\circ \text{N}$; $\Delta g=+20$ мГл. Вона знаходиться на відстані 27,5 км від пункту «Полтави».

За даними щодо дрейфу zenіту і розташування фокуса аномалії оцінено збурення гравітаційного поля на пункті та над фокусом аномалії за схемою, наведеною в роботі [Khalyavina, Bulatsen, 2021]. За швидкості дрейфу zenіту $\varepsilon=-0,9$ мсд/рік гравітаційне збурення на пункті «Полтава» в напрямку на аномалію дорівнює: $dg=\sin(\varepsilon)\times g_0=4,3$ мкГл/рік. Відстань від пункту спостережень до глибинної маси

— близько 42 км. Очікуване збільшення Δg на земній поверхні фокуса аномалії становитиме $dg\approx 8$ мкГл/рік.

Висновки. Колокація GPS-станції та астрометричних інструментів дає можливість ефективно відстежувати зміни локального гравітаційного поля та підвищує достовірність їх інтерпретації. Аналіз сумісних астрометричних та GPS-спостережень на пункті «Полтава» свідчить на користь гіпотези про зростання магматичної активності в окремих зонах Полтавського рифтогенного вузла.

Список літератури

- Коболев В.П., Оровецкий Ю.П. Проблемы эндогенных углеводородов рифтогенных узлов Земли. *Геология и полезные ископаемые мирового океана*. 2005. № 2. С. 53—68.
- Мубаракшина Р.Р., Лапаева В.В., Кашеев Р.А., Загретдинов Р.В., Нефедьев Ю.А., Андреев А.О. Анализ широтных наблюдений и данных спутниковых навигационных систем с целью определения геодинимических параметров. *Астроном. журн.* 2021. Т. 98. № 3. С. 255—264. <https://doi.org/10.31857/S0004629921030014>.
- Халявина Л.Я. Декадные смещения локального отвеса на пункте Полтава по данным астрометрических наблюдений широты. *Анробация*. 2014. № 10. С. 98—103.
- Халявина Л., Заливадный Н. Сравнительный анализ геодинимических параметров, полученных из астрономических и GPS-наблюдений в Полтаве. *Eurasian Union Scientists*. 2021. С. 11—16. <https://doi.org/10.31618/ESU.2413-9335.2021.1.86.1383>.
- Khalyavina, L., & Zalivadny, N. (2023). About dynamic and wave processes in the atmosphere according to astrometry observations with a prism astrolabe. *XVII Int. sc. conf. EAGE «Monitoring of geological processes and ecological condition of the environment of 7—10 November 2023*. <https://doi.org/10.3997/2214-4609.2023520132>.
- Khalyavina, L.Ya, & Bulatsen, V.G. (2021). Application of observation data of the Poltava gravimetric observatory in the problems of depth geodynamics. *Geophysics and Geodynamics: Predictions and Monitoring of Geological Medium, Lviv* (pp. 21—24).
- Tyshchuk, M., & Pavlyk, V. (2010). 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* (pp. 167—170).
- Yang, Y.Z., Ping, J.S., & Li, Z.X. (2013). Plumb Line Variations (PLV) at China and Their Relation with Earthquakes and Underground Materials Changes. *Open Journal of Geology*, (3), 38—40. <https://doi.org/10.4236/ojg.2013.32B009>.

Geodynamic studies at the Poltava Gravimetric Observatory based on astrometric and GPS observations

L.Ya. Khalyavina, 2025

Poltava Gravimetric Observatory of the S. Subbotin Institute of Geophysics
of National Academy of Sciences of Ukraine, Poltava, Ukraine

The principles of studying changes in the gravitational field based on joint astrometric and GPS observations are considered. Joint observations at Poltava in 2001.5—2021.8 were analysed (namely, horizontal deformations of the Earth's surface in the ETRF2014 system based on GPS monitoring and the local vertical line drift based on observations of stars with a prismatic astrolabe). The trends of the meridional projections — the N -components of crustal displacements and the DZ -drift of the vertical line have opposite directions. The observation point shifts to the north at +0.29 mm/yr, and the vertical line drifts to the south at -0.9 mas/yr. The agreement of these parameters is possible supposing ($h \sim 30$ km) a mass build-up in the Poltava rift node zone caused by magmatic activity. According to the EGM2008 gravity field model, the coordinates of anomaly mass are $\lambda = 34.5^\circ \text{E}$ and $\varphi = 49.85^\circ \text{N}$. It lies 27.5 km north of Poltava. Estimates of gravity field disturbances are: at the «Poltava» observation point in the direction of the anomaly $dg \approx 4 \mu\text{G}/\text{yr}$, on the surface above the anomaly source — $dg \approx 8 \mu\text{G}/\text{yr}$.

Key words: gravitational field, vertical line, deformations of the Earth's crust, GPS monitoring, astrolabe.

References

- Kobolev, V.P., & Orovetskiy, Yu.P. (2005). Problems of endogenous hydrocarbons of rift nodes of the Earth. *Geology and Mineral Resources of World Ocean*, (2), 53—68 (in Russian).
- Mubarakshina, R.R., Nefedyev, Y.A., Lapaeva, V.V., Kashcheev, R.A., Zagretidinov R.V., & Andreev, A.O. (2021). Analysis of latitude observations and data of satellite navigational systems to determine geodynamic parameters. *Astronomicheskii Zhurnal*, 98(3), 255—264. <https://doi.org/10.31857/S0004629921030014> (in Russian).
- Khalyavina, L.Ya. (2014) Decade displacements of the local plumb line at the Poltava point according to astrometric observations of latitude. *Approbation*, (10), 98—103 (in Russian).
- Khalyavina, L., & Zalivadnyj, N. (2021). Comparative analysis of geodynamic parameters obtained from astronomical and GPS observations in Poltava. *Eurasian Union Scientists*, 11—16. <https://doi.org/10.31618/ESU.2413-9335.2021.1.86.1383> (in Russian).
- Khalyavina, L., & Zalivadny, N. (2023). About dynamic and wave processes in the atmosphere according to astrometry observations with a prism astrolabe. *XVII Int. sc. conf. EAGE «Monitoring of geological processes and ecological condition of the environment of 7—10 November 2023*. <https://doi.org/10.3997/2214-4609.2023520132>.
- Khalyavina, L.Ya., & Bulatsen, V.G. (2021). Application of observation data of the Poltava gravimetric observatory in the problems of depth geodynamics. *Geophysics and Geodynamics: Predictions and Monitoring of Geological Medium*, Lviv (pp. 21—24).
- Tyshchuk, M., & Pavlyk, V. (2010). 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 (pp. 167—170).
- Yang, Y.Z., Ping, J.S., & Li, Z.X. (2013). Plumb Line Variations (PLV) at China and Their Relation with Earthquakes and Underground Materials Changes. *Open Journal of Geology*, (3), 38—40. <https://doi.org/10.4236/ojg.2013.32B009>.