

## Результати та аналіз земноприпливних спостережень із свердловинним нахиломіром у Полтаві

© А. М. Кутний, В. Г. Павлик, Т. М. Бабич, В. П. Плис, 2016

Полтавська гравіметрична обсерваторія Інституту геофізики НАН України, Полтава, Україна  
Надійшла 8 квітня 2016 р.

*Представлено членом редколегії В. І. Старостенко*

Приведены результаты гармонического анализа восьмилетних земноприливных наблюдений с помощью скважинного наклономера Полтавской гравиметрической обсерватории. Получены высокоточные параметры главных приливных волн и чисел Лява  $h$  и  $k$ , которые практически совпадают с аналогичными данными из наклономерных и гравиметрических наблюдений в 25 пунктах Украины. Не обнаружено азимутальное неравенство фактора  $\gamma$  в направлениях NS и EW. Резонансное влияние жидкого ядра Земли совпадает с рассчитанным теоретически.

**Ключевые слова:** скважинный наклономер, земные приливы, наклономерные наблюдения, гармонический анализ, приливные параметры, числа Лява, резонанс ядра Земли.

**Вступ.** До 1960 р. з метою визначення пружних параметрів Землі нахиломірні спостереження у світі виконували переважно у глибоких печерах, штольнях і шахтах за допомогою нахиломірів Репсольда–Левицького, Томашека–Еленбергера, Швейдара та ін., які сконструйовано на базі горизонтального маятника. Ці прилади не мали дистанційного керування, що призвело до певних незручностей, знижувало точність отриманих результатів та унеможливило спостереження у характерних місцях земної поверхні.

З появою нахиломірів конструкції Островського [Островский, 1961] та Мельхіора [Melchior, 1966] з дистанційним керуванням стало можливим виконувати спостереження у шурфах діаметром близько 1 м і завглибшки 10–15 м. Проте спостереження у шурфах пов'язані зі значними фінансовими затратами та залежністю від рівня ґрунтових вод. Нахиломіри Мельхіора хоча і забезпечені дистанційним керуванням, але їх установлювали лише у невеличких нішах шахт і штолень, де, як показано у статтях [Harrison, 1976; Хасилев, 1978], спостерігали значний і достатньо неконтрольований ефект порожнини.

У 1970 р. фірма «Асканія» сконструювала та випробувала [Flach, Rozenbach, 1981] свердловинний двокомпонентний нахиломір з дистанційним керуванням на базі вертикального маятника та фотоелектричного перетворювача малих переміщень. Як відомо, вертикальний маятник порівняно з горизонтальним має сут-

тєву перевагу завдяки можливості у декілька разів збільшити базу контакту з об'єктом спостережень. Крім того, стало можливим установлювати цей прилад у свердловинах на значних глибинах від земної поверхні, де вплив збурювальних гідротермічних факторів і ефекту порожнини практично відсутній.

Результати земноприливних спостережень з екземпляром свердловинного нахиломіра фірми «Асканія» на станції Полушкіно під Москвою показали його значні переваги перед нахиломірами системи Островського [Шировков, Анохина, 1975].

У Полтавській гравіметричній обсерваторії (ПГО) розроблено конструкцію та виготовлено екземпляр свердловинного двокомпонентного нахиломіра на базі вертикального маятника з дистанційним керуванням і можливістю використання його як для наукових, так і для інженерних цілей [Кутний, Овчинников, 1992].

**Результати та аналіз нахиломірних спостережень.** З 2008 р. на території ПГО розпочато регулярні спостереження за приливними та повільними нахилами земної поверхні у двох взаємно перпендикулярних напрямках, близьких до NS ( $350^\circ$  W) та EW ( $80^\circ$  E) за допомогою свердловинного нахиломіра конструкції ПГО. Прилад установлено у вертикальній свердловині на глибині 8,5 м, діаметр обсадної труби із нержавіючої сталі близько 100 мм. Орієнтування за азимутом виконано з точністю одного градуса дуги. Свердловина розташована на незначному північно-східному схилі у 200 м

від невеликої притоки р. Ворскла. Покази нахиломіра зі щогодинними п'ятихвилинними розривами реєстрували на фотострічці за чутливості у межах 100—300 мм/с дуги. В разі заміни фотоелементів на фоторезистори можлива реєстрація показів нахиломіра на самопис чи АЦП і комп'ютер з чутливістю до 1000 мм/с дуги. Живлення ланок фотоелектричних перетворювачів малих переміщень, регулювання положення маятників і контрольних імпульсів чутливості нахиломіра здійснювали від високоточних стабілізаторів напругою 9 В. Поточну обробку матеріалу спостережень виконано за схемою гармонічного аналізу Матвеева [Матвеев, 1966], що потребує 30-добових неперервних щогодинних даних та виділення амплітудних факторів  $\gamma$  і  $\Delta\phi$  п'яти найбільших добових і півдобових припливних хвиль.

Фактор  $\gamma = 1+k-h$  — це відношення амплітуди реальної припливної хвилі до її теоретичного аналогу, обчисленого за умови абсолютної твердості Землі, що пов'язано з числами Лява  $h$  і  $k$ . Фактор  $\Delta\phi$  є різницею між фазами, отриманою зі спостережень та обчисленою теоретично для відповідної припливної хвилі. Точність отриманих параметрів  $\gamma$  і  $\Delta\phi$  виявилась невисокою, у середньому близько 1—2 % для  $\gamma$  та 2—3 градуса дуги для  $\Delta\phi$ , унаслідок гідротермічних збурень, що генеруються у поверхневому шарі та передаються на значні глибини Землі [Nakano, 1963]. З появою методики обробки експериментального матеріалу, яка дає змогу виключити вплив аномальних гідротермічних збурень [Кутний та ін., 2013], було переоброблено ряди восьмирічних спостережень за допомогою свердловинного нахиломіра конструкції ПГО. Отримані при цьому щорічні середньовагові параметри  $\gamma$  і  $\Delta\phi$  та їх середні квадратичні помилки після введення поправок за еталонування нахиломіра [Багмет, Кутний, 1973], за приведення до напрямків NS і EW [Матвеев, 1966], за вплив океанічних і морських припливів [Перцев, 1967], за вплив інерційних сил [Парийский, Перцев, 1980], за еліпсоїдну нормаль [Wensel, 1974] та нутацію Землі [Молоденский, 1980] для кожного року і всього періоду спостережень наведено для головних припливних хвиль і напрямків NS і EW у табл. 1 і 2.

У табл. 1, 2 також подано інформацію про кількість місячних серій, які отримані у кожному році, та середні теоретичні амплітуди головних припливних хвиль  $R_T$ .

Під час осереднення результатів по окремих хвилях у межах кожного року за ваги було взя-

то величини, обернено пропорційні квадрату суми середньоквадратичних помилок та абсолютних відхилень від середнього арифметичного. Для всього періоду спостережень вважали, що ваги, крім того, пропорційні числу місячних серій спостережень.

Як бачимо, для всіх припливних хвиль, за винятком хвилі  $K_1$  у напрямках NS і EW, незважаючи на значну відмінність їх амплітуд, отримано в середньому для всього періоду спостережень практично збіжні результати параметрів  $\gamma$  і  $\Delta\phi$ , хоча помилки їх визначень, особливо для добових хвиль  $O_1$  і  $K_1$  напрямку NS, суттєво різняться і обернено пропорційні амплітудам наведених хвиль.

Параметри найбільшої припливної хвилі  $M_2$  для напрямків NS і EW у межах відповідних помилок майже збігаються, що свідчить про незалежність фактора  $\gamma$  у певному пункті від азимута спостережень. Збільшення фактора  $\gamma$  хвилі  $K_1$  порівняно з аналогічним фактором хвилі  $O_1$  пов'язане із резонансним впливом рідкого ядра Землі [Wahr, 1981; Dehant, 1987; Mathews et al., 1995] і для найімовірніших моделей Землі становить у середньому 0,042. За даними свердловинного нахиломіра ПГО різниця амплітудних факторів хвиль  $K_1$  і  $O_1$  у середньому дорівнює  $0,0460 \pm 0,0018$ , що відповідає аналогічним даним на 20 пунктах України [Кутний та ін., 2015].

Якщо вилучити резонансний вплив рідкого ядра Землі із фактора  $\gamma$  хвилі  $K_1$ , то отриманий результат практично збігатиметься з параметрами інших хвиль і може бути використаний під час загального осереднення результатів спостережень за напрямками NS і EW. За ваги для такого осереднення взято величини, пропорційні амплітудам припливних хвиль та обернено пропорційні квадрату суми середньоквадратичних помилок і абсолютних відхилень від середньоарифметичного значення відповідно для факторів  $\gamma$  та  $\Delta\phi$ .

З урахуванням поправок за еталонування для Полтави отримано:  $\gamma = 0,6922 \pm 0,0015$ ,  $\Delta\phi = 1,68 \pm 0,23$  градуса дуги.

У результаті багаторічних рядів гравіметричних спостережень у Полтаві отримано високоточний фактор  $\delta = 1 + h - \frac{3}{2}k = 1,1583 \pm 0,0004$  [Кутний та ін., 2015], тому без жодних припущень можна знайти числа Лява  $h$  і  $k$ , які характеризують фізичні властивості Землі і є основою вибору її достовірної теоретичної моделі. Для Полтави значення цих чисел виявились такими:  $k = 0,2990 \pm 0,0031$ ;  $h = 0,6069 \pm 0,0046$ .

Наведені вище значення в межах помилок

**Таблиця 1.** Параметри припливних хвиль на ГМП у Полтаві (з урахуванням поправок за еталонування, приведення до напрямку NS, морські припливи, вплив інерційних сил, еліпсоїдну нормаль, нутацію Землі). Напрямок NS

| Рік спостережень/<br>кількість місячних серій | Вид осереднення      | Параметри припливних хвиль |                |                    |                 |                    |                 |                    |                 |                    |                 |
|---|----------------------|----------------------------|----------------|--------------------|-----------------|--------------------|-----------------|--------------------|-----------------|--------------------|-----------------|
|   |                      | $O_1 (R_T=1,02)$           |                | $K_1 (R_T=1,44)$   |                 | $N_2 (R_T=1,49)$   |                 | $M_2 (R_T=7,80)$   |                 | $S_2 (R_T=3,63)$   |                 |
|   |                      | $\gamma$                   | $\Delta\phi$   | $\gamma$           | $\Delta\phi$    | $\gamma$           | $\Delta\phi$    | $\gamma$           | $\Delta\phi$    | $\gamma$           | $\Delta\phi$    |
| 2008<br>4                                     | Середнє арифметичне  | 0,6737±<br>±0,0075         | 8,2±<br>±0,78  | 0,7191±<br>±0,0103 | -4,69±<br>±0,81 | 0,6835±<br>±0,0084 | -1,8±<br>±0,45  | 0,6894±<br>±0,0029 | -1,32±<br>±0,18 | 0,6982±<br>±0,0097 | -1,39±<br>±0,16 |
|   | Середнє вагове       | 0,6764±<br>±0,0122         | 7,84±<br>±0,88 | 0,7239±<br>±0,0081 | -4,42±<br>±0,54 | 0,6817±<br>±0,0076 | -1,72±<br>±0,67 | 0,6893±<br>±0,0016 | -1,32±<br>±0,14 | 0,6917±<br>±0,0038 | -1,38±<br>±0,33 |
| 2009<br>10                                    | Середнє арифметичне. | 0,6652±<br>±0,0070         | 8,38±<br>±0,58 | 0,7393±<br>±0,0096 | -2,87±<br>±0,86 | 0,6908±<br>±0,0093 | -2,3±<br>±1,12  | 0,6828±<br>±0,0022 | -1,15±<br>±0,10 | 0,6852±<br>±0,0027 | -1,13±<br>±0,34 |
|   | Середнє вагове       | 0,6700±<br>±0,0068         | 7,86±<br>±0,50 | 0,7419±<br>±0,0052 | -2,33±<br>±0,34 | 0,6853±<br>±0,0060 | -1,47±<br>±0,53 | 0,6831±<br>±0,0011 | -1,18±<br>±0,10 | 0,6856±<br>±0,0020 | -0,56±<br>±0,18 |
| 2010<br>12                                    | Середнє арифметичне  | 0,6958±<br>±0,0073         | 8,12±<br>±0,52 | 0,7245±<br>±0,0057 | -3,67±<br>±0,43 | 0,7059±<br>±0,0064 | -0,34±<br>±0,81 | 0,6938±<br>±0,0011 | -1,10±<br>±0,08 | 0,6893±<br>±0,0035 | -0,77±<br>±0,17 |
|   | Середнє вагове       | 0,6922±<br>±0,0066         | 8,10±<br>±0,47 | 0,7231±<br>±0,0043 | -3,69±<br>±0,29 | 0,7085±<br>±0,0048 | -0,85±<br>±0,40 | 0,6940±<br>±0,0009 | -1,05±<br>±0,08 | 0,6894±<br>±0,0019 | -0,89±<br>±0,17 |
| 2011<br>12                                    | Середнє арифметичне  | 0,6827±<br>±0,0106         | 7,88±<br>±0,82 | 0,7196±<br>±0,0086 | -3,78±<br>±0,67 | 0,7009±<br>±0,0093 | -1,9±<br>±0,74  | 0,6972±<br>±0,0020 | -2,17±<br>±0,35 | 0,6933±<br>±0,0037 | -1,97±<br>±0,46 |
|   | Середнє вагове       | 0,6772±<br>±0,0097         | 8,01±<br>±0,69 | 0,7160±<br>±0,0068 | -3,70±<br>±0,46 | 0,6939±<br>±0,0057 | -0,94±<br>±0,49 | 0,6969±<br>±0,0011 | -1,03±<br>±0,09 | 0,6927±<br>±0,0021 | -1,03±<br>±0,18 |
| 2012<br>9                                     | Середнє арифметичне  | 0,6721±<br>±0,0112         | 8,00±<br>±1,56 | 0,7183±<br>±0,0142 | -4,61±<br>±0,62 | 0,6780±<br>±0,0155 | 0,81±<br>±0,90  | 0,6955±<br>±0,0015 | -0,69±<br>±0,32 | 0,6838±<br>±0,0040 | -1,10±<br>±0,42 |
|   | Середнє вагове       | 0,6712±<br>±0,0111         | 9,20±<br>±0,80 | 0,7071±<br>±0,0072 | -4,43±<br>±0,49 | 0,6723±<br>±0,0068 | 1,2±<br>±0,61   | 0,6928±<br>±0,0012 | -0,28±<br>±0,11 | 0,6822±<br>±0,0025 | -0,73±<br>±0,22 |
| 2013<br>12                                    | Середнє арифметичне  | 0,6902±<br>±0,0109         | 8,35±<br>±0,67 | 0,7269±<br>±0,0060 | -2,47±<br>±0,45 | 0,7004±<br>±0,0041 | -0,06±<br>±0,60 | 0,6927±<br>±0,0014 | -0,83±<br>±0,11 | 0,6847±<br>±0,0025 | -0,99±<br>±0,15 |
|   | Середнє вагове       | 0,6923±<br>±0,0092         | 8,37±<br>±0,65 | 0,7277±<br>±0,0057 | -2,94±<br>±0,38 | 0,7018±<br>±0,0061 | 0,0±<br>±0,52   | 0,6933±<br>±0,0011 | -0,83±<br>±0,10 | 0,6835±<br>±0,0023 | -0,97±<br>±0,20 |
| 2014<br>12                                    | Середнє арифметичне  | 0,6624±<br>±0,0106         | 8,63±<br>±1,03 | 0,7124±<br>±0,0051 | -5,47±<br>±0,68 | 0,6820±<br>±0,0168 | -0,38±<br>±0,60 | 0,6888±<br>±0,0028 | -0,70±<br>±0,24 | 0,6913±<br>±0,0039 | -1,26±<br>±0,37 |
|   | Середнє вагове       | 0,6609±<br>±0,0122         | 8,52±<br>±0,90 | 0,7141±<br>±0,0073 | -5,17±<br>±0,49 | 0,7009±<br>±0,0071 | -0,53±<br>±0,61 | 0,6885±<br>±0,0014 | -0,6±<br>±0,12  | 0,6892±<br>±0,0031 | -1,18±<br>±0,14 |
| 2015<br>7                                     | Середнє арифметичне  | 0,6868±<br>±0,0106         | 8,62±<br>±0,62 | 0,7261±<br>±0,0083 | -3,97±<br>±1,09 | 0,6918±<br>±0,0058 | -1,01±<br>±4,14 | 0,6917±<br>±0,0012 | -0,79±<br>±0,10 | 0,6795±<br>±0,0035 | -0,53±<br>±0,24 |
|   | Середнє вагове       | 0,6884±<br>±0,0113         | 8,70±<br>±0,80 | 0,7292±<br>±0,0066 | -3,19±<br>±0,44 | 0,6929±<br>±0,0064 | -0,79±<br>±0,56 | 0,6919±<br>±0,0011 | -0,81±<br>±0,10 | 0,6810±<br>±0,0024 | -0,60±<br>±0,21 |
| Загальне середньовагове                       |                      | 0,6779±<br>±0,0060         | 8,24±<br>±0,34 | 0,7233±<br>±0,0033 | -3,69±<br>±0,24 | 0,6931±<br>±0,0041 | -0,76±<br>±0,32 | 0,6919±<br>±0,0011 | -0,90±<br>±0,09 | 0,6868±<br>±0,0019 | -0,92±<br>±0,12 |

Примітка. Тут і в табл. 2  $R_T$  — в мілісекундах дуги,  $\Delta\phi$  — у градусах дуги.

збігаються з регіональними значеннями чисел Лява для України [Кутний та ін., 2015].

**Висновки.** 1. Згідно з даними земнопри-

пливних спостережень за допомогою свердловинного нахиломіра конструкції ПГО для Полтави після вилучення з експерименталь-

Т а б л и ц я 2. Параметри припливних хвиль на ГМП у Полтаві (з урахуванням поправок за еталонування, приведення до напрямку EW, морські припливи, вплив інерційних сил, еліпсоїдну нормаль, нутацію Землі). Напрямок EW

| Рік спостережень/<br>кількість місячних серій | Вид осереднення     | Параметри припливних хвиль |                |                    |                 |                    |                |                    |                |                    |                 |
|---|---------------------|----------------------------|----------------|--------------------|-----------------|--------------------|----------------|--------------------|----------------|--------------------|-----------------|
|   |                     | $O_1 (R_T=1,02)$           |                | $K_1 (R_T=1,44)$   |                 | $N_2 (R_T=1,49)$   |                | $M_2 (R_T=7,80)$   |                | $S_2 (R_T=3,63)$   |                 |
|   |                     | $\gamma$                   | $\Delta\phi$   | $\gamma$           | $\Delta\phi$    | $\gamma$           | $\Delta\phi$   | $\gamma$           | $\Delta\phi$   | $\gamma$           | $\Delta\phi$    |
| 2008<br>4                                     | Середнє арифметичне | 0,6915±<br>±0,0045         | 3,00±<br>±0,11 | 0,7374±<br>±0,0036 | 4,10±<br>±0,13  | 0,6887±<br>±0,0058 | 0,81±<br>±0,49 | 0,6961±<br>±0,0030 | 1,65±<br>±0,17 | 0,7215±<br>±0,0014 | -0,05±<br>±0,85 |
|   | Середнє вагове      | 0,6943±<br>±0,0027         | 3,05±<br>±0,21 | 0,7405±<br>±0,0015 | 4,07±<br>±0,12  | 0,6819±<br>±0,0066 | 0,78±<br>±0,54 | 0,6959±<br>±0,0014 | 1,54±<br>±0,12 | 0,7214±<br>±0,0037 | -0,26±<br>±0,29 |
| 2009<br>40                                    | Середнє арифметичне | 0,6815±<br>±0,0011         | 3,92±<br>±0,25 | 0,7347±<br>±0,0026 | 4,57±<br>±0,16  | 0,6889±<br>±0,0107 | 1,10±<br>±0,87 | 0,6854±<br>±0,0019 | 2,61±<br>±0,25 | 0,6924±<br>±0,0055 | -0,51±<br>±0,49 |
|   | Середнє вагове      | 0,6799±<br>±0,0041         | 3,80±<br>±0,35 | 0,7333±<br>±0,0029 | 4,50±<br>±0,22  | 0,6888±<br>±0,0112 | 1,07±<br>±0,92 | 0,6854±<br>±0,0020 | 2,61±<br>±0,16 | 0,6936±<br>±0,0038 | -0,38±<br>±0,32 |
| 2010<br>8                                     | Середнє арифметичне | 0,6868±<br>±0,0030         | 3,65±<br>±0,26 | 0,7328±<br>±0,0013 | 4,81±<br>±0,38  | 0,6632±<br>±0,0101 | 2,25±<br>±0,72 | 0,6886±<br>±0,0019 | 2,32±<br>±0,10 | 0,6857±<br>±0,0100 | -0,57±<br>±0,23 |
|   | Середнє вагове      | 0,6861±<br>±0,0021         | 3,57±<br>±0,17 | 0,7317±<br>±0,0014 | 4,42±<br>±0,12  | 0,6691±<br>±0,0061 | 2,70±<br>±0,52 | 0,6887±<br>±0,0013 | 2,30±<br>±0,10 | 0,6966±<br>±0,0025 | -0,46±<br>±0,20 |
| 2011<br>12                                    | Середнє арифметичне | 0,6862±<br>±0,0024         | 3,31±<br>±0,23 | 0,7397±<br>±0,0024 | 3,93±<br>±0,12  | 0,7062±<br>±0,0058 | 2,42±<br>±0,68 | 0,6972±<br>±0,0009 | 2,13±<br>±0,09 | 0,7088±<br>±0,0035 | -0,33±<br>±0,19 |
|   | Середнє вагове      | 0,6865±<br>±0,0019         | 3,17±<br>±0,16 | 0,7405±<br>±0,0013 | 3,95±<br>±0,10  | 0,7117±<br>±0,0025 | 1,70±<br>±0,38 | 0,6974±<br>±0,0009 | 2,06±<br>±0,07 | 0,7093±<br>±0,0018 | -0,23±<br>±0,15 |
| 2012<br>10                                    | Середнє арифметичне | 0,6851±<br>±0,0029         | 3,01±<br>±0,27 | 0,7378±<br>±0,0018 | 4,06±<br>±0,22  | 0,6892±<br>±0,0111 | 2,17±<br>±0,59 | 0,6955±<br>±0,0012 | 2,06±<br>±0,15 | 0,7074±<br>±0,0033 | -1,06±<br>±0,36 |
|   | Середнє вагове      | 0,6877±<br>±0,0027         | 3,03±<br>±0,23 | 0,7373±<br>±0,0018 | 3,91±<br>±0,14  | 0,6995±<br>±0,0072 | 2,08±<br>±0,58 | 0,6965±<br>±0,0013 | 2,05±<br>±0,10 | 0,7093±<br>±0,0024 | -0,15±<br>±0,20 |
| 2013<br>11                                    | Середнє арифметичне | 0,6906±<br>±0,0017         | 3,63±<br>±0,23 | 0,7355±<br>±0,0008 | 4,10±<br>±0,13  | 0,6910±<br>±0,0073 | 3,52±<br>±0,34 | 0,6937±<br>±0,0012 | 2,29±<br>±0,18 | 0,7098±<br>±0,0025 | -0,45±<br>±0,35 |
|   | Середнє вагове      | 0,6898±<br>±0,0021         | 3,59±<br>±0,17 | 0,7364±<br>±0,0013 | 4,18±<br>±0,10  | 0,6925±<br>±0,0050 | 3,47±<br>±0,41 | 0,6933±<br>±0,0009 | 2,40±<br>±0,07 | 0,7086±<br>±0,0017 | -0,57±<br>±0,14 |
| 2014<br>12                                    | Середнє арифметичне | 0,6887±<br>±0,0025         | 3,46±<br>±0,19 | 0,7385±<br>±0,0022 | 3,84±<br>±11,21 | 0,7109±<br>±0,0049 | 1,87±<br>±0,52 | 0,6955±<br>±0,0016 | 1,49±<br>±0,14 | 0,7106±<br>±0,0039 | -0,30±<br>±0,30 |
|   | Середнє вагове      | 0,6893±<br>±0,0013         | 3,77±<br>±0,17 | 0,7374±<br>±0,0013 | 4,05±<br>±0,10  | 0,7097±<br>±0,0048 | 1,62±<br>±0,38 | 0,6944±<br>±0,0009 | 1,50±<br>±0,07 | 0,7077±<br>±0,0018 | -0,48±<br>±0,15 |
| 2015<br>8                                     | Середнє арифметичне | 0,6829±<br>±0,0022         | 3,61±<br>±0,23 | 0,7343±<br>±0,0034 | 3,90±<br>±0,19  | 0,6917±<br>±0,0102 | 0,60±<br>±0,90 | 0,6795±<br>±0,0023 | 1,92±<br>±0,10 | 0,6953±<br>±0,0046 | -0,75±<br>±0,21 |
|   | Середнє вагове      | 0,6825±<br>±0,0028         | 3,61±<br>±0,23 | 0,7313±<br>±0,0016 | 4,04±<br>±0,13  | 0,6941±<br>±0,0058 | 1,88±<br>±0,47 | 0,6799±<br>±0,0011 | 1,97±<br>±0,09 | 0,6966±<br>±0,0022 | -0,76±<br>±0,18 |
| Загальне середньовагове                       |                     | 0,6872±<br>±0,0014         | 3,50±<br>±0,15 | 0,7365±<br>±0,0012 | 4,10±<br>±0,08  | 0,6937±<br>±0,0038 | 1,84±<br>±0,28 | 0,6928±<br>±0,0017 | 2,05±<br>±0,06 | 0,7073±<br>±0,0024 | -0,43±<br>±0,11 |

них даних аномальних гідротермічних збурень і врахування поправок за еталонування, вплив океанічних і морських припливів, приведення до напрямків NS і EW, вплив інерційних сил, еліпсоїдну нормаль та нутацію

Землі не виявлено азимутальної нерівності фактора  $\gamma$  у напрямках NS і EW. Для найбільшої хвилі  $M_2$  різниця  $\gamma_{NS} - \gamma_{EW} = 0,0003 \pm 0,0020$ , що не перевищує її середньої квадратичної помилки.

2. Фактор  $\gamma$  та числа Лява  $h$  і  $k$  для Полтави відповідають аналогічним даним, що раніше отримані з результатів нахиломірних та гравіметричних спостережень на 25 станціях України [Кутний, та ін., 2015]. Різниця фактора  $\gamma$  для добових хвиль  $O_1$  і  $K_1$  підтверджує вплив рідкого ядра Землі на деформацію її кори. Ця різниця практично збігається з аналогічними

експериментальними даними [Melchior, 1966; Кутний та ін., 2015] і розрахованими теоретично для ймовірних моделей внутрішньої будови Землі [Wahr, 1981; Dehant, 1987; Mathews et al., 1995]. Отже, свердловинний нахиломір конструкції ПГО є надійним і за його допомогою можна вирішувати відповідні наукові та інженерні завдання.

### Список літератури

- Багмет А. Л., Кутний А. М. Эталонирование наклономеров с фотоэлектрическим увеличением на малых углах наклона. *Вращение и приливные деформации Земли*. 1973. Вып. 5. С. 50—56.
- Кутний А. М., Павлик В. Г., Булацен В. Г., Голубицкий В. Г., Богдан І. Ю., Корба П. С., Бабич Т. М., Плис В. П. Результати та аналіз земноприливних спостережень на території України. *Геофиз. журн.* 2015. Т. 37. № 2. С. 57—73.
- Кутный А. М., Овчинников В. А. Скважинный наклономер Полтавской гравиметрической обсерватории. *Вращение и приливные деформации Земли*. 1992. Вып. 24. С. 109—117.
- Кутний А. М., Павлик В. Г., Бабич Т. М. Моделювання та роздільне виключення збурень земноприливних спостережень. *Геофиз. журн.* 2013. Т. 35. № 2. С. 157—162.
- Матвеев П. С. Гармонический анализ месячной серии наблюдений земных приливов. В кн.: *Земные приливы*: Киев: Наук. думка, 1966. С. 54—93.
- Моложенский С. М. Влияние вынужденной нутации Земли на результаты приливных наблюдений. В кн.: *Изучение земных приливов*. Москва: Наука, 1980. С. 36—41.
- Моложенский М. С., Крамер М. В. Земные приливы и нутация Земли. Москва: Изд-во АН СССР, 1961. 40 с.
- Островский А. Е. Наклономер с фотоэлектрической регистрацией. В кн.: *Изучение земных приливов*. Москва: Изд-во АН СССР, 1961. С. 41—75.
- Парийский Н. Н., Перцев Б. П. Влияние инерционных сил на наблюдения приливных изменений силы тяжести и наклонов. В кн.: *Изучение земных приливов*. Москва: Наука, 1980. С. 22—35.
- Перцев Б. П. Оценка влияния морских приливов на земные в пунктах, удаленных от океанов. В кн.: *Земные приливы и внутреннее строение Земли*. Москва: Наука, 1967. С. 10—22.
- Хасилев А. Е. Эффект полости в штольнях некоторых сечений. *Вращение и приливные деформации Земли*. 1978. Вып. 10. С. 22—30.
- Широков И. А., Анохина К. М. О сравнительных наблюдениях приливных наклонов скважинным наклономером «Аскания» и наклономерами Островского. *Вращение и приливные деформации Земли*, 1975. Вып. 7. С. 21—24.
- Dehant V., 1987. Tidal parameters for an inelastic Earth. *Phys. Earth Planet. Int.* 49, 97—116.
- Flach Von D., Rozenbach O., 1981. Der Ascanis Bohrlloch Neigungsmesster (Gezeitenpendel) nach A. Graf auf der Test-station Zellerfeld-Muh-lenhone. *Obs. Roy. Belg. BIM* 60, 2934—2944.
- Harrison J. C., 1976. Cavity and topographic effects in tilt and strain measurement. *J. Geophys. Res.* 81(2), 319—328.
- Mathews P. M., Buffett B. A., Shapiro I. I., 1995. Love numbers for diurnal tides: Relation to wobble admittances and resonance expansions. *J. Geophys. Res.* 100, 9935—9948.
- Melchior P., 1966. The earth tides. Edinburch. New York. Paris. Frankfurt. Oxford. London: Pergamon press., 458 p.
- Nakano S., 1963. The effect of surface temperature on the crustal deformations. *Bull. Disaster. Prev. Res. Inst. Kyoto Univ.*, 6—15.
- Wahr J. M., 1981. Body tides on an elliptical, rotating, elastic, and oceanless Earth. *Geophys. J. Roy. Astron. Soc.* 64, 677—703.
- Wensel H. G., 1974. The correction of tidal development to ellipsoidal normal. *BIM.* (68), 37—90.

## Results and analysis of earth tide observations with the borehole tiltmeter in Poltava

© A. M. Kutnyy, V. G. Pavlyk, T. M. Babych, V. P. Plys, 2016

Results of harmonic analysis of eight years earth tides observations with the borehole tiltmeter of the Poltava Gravimetric Observatory are presented. High-precision parameters of the main tidal waves and Love's numbers  $h$  and  $k$  which practically coincide with similar data from tiltmetric and gravimetric observations in 25 stations of Ukraine are received. The azimuthal inequality of a factor  $\gamma$  in the NS and EW directions isn't revealed. Resonant influence of the liquid core of Earth coincides with calculated theoretically.

**Key words:** borehole tiltmeter, earth tides, tiltmetric observations, harmonic analysis, tidal parameters, Love's numbers, resonance of the Earth's core.

### References

- Bagmet A. I., Kutnyy A. M., 1973. Standartization of tiltmeters from the photo-electric increase on small tilt angles. *Vrashcheniye i prilivnye deformatsii Zemli* (is. 5), 50—56 (in Russian).
- Kutnyy A. M., Pavlyk V. G., Bulatsen V. G., Golubitskiy V. G., Bogdan I. Yu., Korba P. S., Babych T. M., Plys V. P., 2015. Results and analysis of the Earth's tidal observations in the territory of Ukraine. *Geofizicheskiy zhurnal* 37(2), 56—72 (in Ukrainian).
- Kutnyy A. M., Ovchinnikov V. A., 1992. The borehole tiltmeter of Poltava Gravimetric Observatory. In: *Rotation and tidal deformations of Earth*. Kiev: Naukova Dumka, P. 109—117 (in Russian).
- Kutnyy A. M., Pavlyk V. G., Babych T. M., 2013. Modeling and separate exception of disturbance of Earth's tidal observations. *Geofizicheskiy zhurnal* 35(2), 157—162 (in Ukrainian).
- Matveev P. S., 1966. Harmonic analysis of monthly series of the Earth's tidal observations. In: *Earth tides*. Kiev: Naukova Dumka, P. 54—93 (in Russian).
- Molodenskiy C. M., 1980. Effect of forced nutation of the Earth on the results of tidal observations. In: *Study of the Earth tides*. Moscow: Nauka, P. 36—41 (in Russian).
- Molodenskiy M. C., Kramer M. V., 1961. Earth tides and nutation of the Earth. Moscow: Publ. House of the USSR Academy of Sciences, 40 p. (in Russian).
- Ostrovskiy A. E., 1961. Tiltmeter with photoelectric recording. In: *Study of the Earth tides*. Moscow: Publ. House of the USSR Academy of Sciences, P. 41—75 (in Russian).
- Pariyskiy N. N., Pertsev B. P., 1980. Effect of inertial forces on the observations of tidal gravity changes and tilts. In: *Study of the Earth tides*. Moscow: Nauka, P. 22—35 (in Russian).
- Pertsev B. P., 1967. Estimation of influence of sea tides on the earth tides at points remote from the oceans. In: *Earth tides and internal structure of the Earth*. Moscow: Nauka, P. 10—22 (in Russian).
- Khasilev L. E., 1978. Effect of cavity in adits of some sections. *Vrashcheniye i prilivnye deformatsii Zemli* (is.10), 22—30 (in Russian).
- Shirokov I. A., Anokhina K. M., 1975. About comparative observations of tidal tilts with borehole Askaniya tiltmeter and Ostrovsky's tiltmeters. *Vrashcheniye i prilivnye deformatsii Zemli* (is.7), 21—24 (in Russian).
- Dehant V., 1987. Tidal parameters for an inelastic Earth. *Phys. Earth Planet. Int.* 49, 97—116.
- Flach Von D., Rozenbach O., 1981. Der Ascanis Bohrloch Neigungsmesster (Gezeitenpendel) nach A. Graf auf der Test-station Zellerfeld-Muh-lenhone. *Obs. Roy. Belg. BIM* 60, 2934—2944.
- Harrison J. C., 1976. Cavity and topographic effects in tilt and strain measurement. *J. Geophys. Res.* 81(2), 319—328.
- Mathews P. M., Buffett B. A., Shapiro I. I., 1995. Love numbers for diurnal tides: Relation to wobble admittances and resonance expansions. *J. Geophys. Res.* 100, 9935—9948.
- Melchior P., 1966. The earth tides. Edinburch. New York. Paris. Frankfurt. Oxford. London: Pergamon press., 458 p.
- Nakano S., 1963. The effect of surface temperature on the crustal deformations. *Bull. Disaster. Prev. Res. Inst. Kyoto Univ.*, 6—15.
- Wahr J. M., 1981. Body tides on an elliptical, rotating, elastic, and oceanless Earth. *Geophys. J. Roy. Astron. Soc.* 64, 677—703.
- Wensel H. G., 1974. The correction of tidal development to ellipsoidal normal. *BIM.* (68), 37—90.