

Локальні вертикальні рухи земної поверхні за результатами 18-річних екстензометричних спостережень у Полтаві

В.Г. Павлик, А.М. Кутний, М.М. Заливадний, Т.М. Бабич, 2026

Полтавська гравіметрична обсерваторія Інституту геофізики
ім. С.І. Субботіна НАН України, Полтава, Україна
Надійшла 23 квітня 2026 р.

Представлено результати 18-річних спостережень за вертикальною складовою локальної динаміки земної поверхні за допомогою кварцового екстензометра Полтавської гравіметричної обсерваторії. Прилад, встановлений на геодинамічному полігоні у Полтаві, дає змогу здійснювати моніторинг вертикальних переміщень шару ґрунту на глибині 0,5 м від поверхні землі з точністю до 10^{-6} м для вивчення впливу зовнішніх чинників гідрометеорологічного походження на динаміку найбільш рухомого верхнього пласта ґрунту. Встановлено, що домінуючою складовою вертикальних рухів є сезонна компонента із середньорічною амплітудою $1,726 \pm 0,045$ мм, моментом максимального підняття земної поверхні, який припадає на $114,32 \pm 0,06$ день від початку року (24 квітня) і періодом $364,42 \pm 0,30$ днів. Залежно від кліматичних особливостей конкретного року спостережень величини періодичних локальних вертикальних переміщень змінюються в межах від 1,0 до 5,5 мм, а моменти максимального підняття земної поверхні відбуваються у період з 28 березня по 16 травня. Сезонні вертикальні рухи зумовлені насамперед періодичними варіаціями вологи середньосуглинкових ґрунтів полігону. Якщо вологість ґрунту перевищує його максимальну молекулярну вологоємність, то цей чинник перестає діяти на вертикальні переміщення. Коливання рівня ґрунтових вод хоча й відбувається синфазно з вертикальними рухами, але не є їх генератором. Показано, що аномально сухе літо 2024 р. у Полтаві зумовило найнижче вертикальне положення земної поверхні за весь період спостережень. Ігнорування вертикальних рухів гідрометеорологічного походження може призвести до невірної інтерпретації результатів вивчення тектонічних і техногенних деформацій земної поверхні.

Ключові слова: вертикальний екстензометр, локальні вертикальні рухи земної поверхні, коливання рівня ґрунтових вод, вологість ґрунту, атмосферні опади.

Вступ. Навколишнє середовище постійно діє на поверхню землі, викликаючи її безперервні деформації. Найбільший вплив зовнішніх чинників відбувається у радіальному напрямку і безпосередньо впливає на величини вертикальних рухів, які визначаються різними геодезичними методами: повторне нівелювання, GPS-нівелювання, інтерферометричний радар

із синтезованою апертурою (inSAR). Варіації гідрометеорологічних факторів здатні викликати вертикальні рухи поверхні землі внаслідок періодичних атмосферних і гідрологічних навантажень [Van Dam et al., 2001], коливання рівня ґрунтових вод [Argus et al., 2014], об'ємних деформацій ґрунтів, до складу яких входять глинисті компоненти, через зміну їхньої вологи

Citation: Pavlyk, V.G., Kutny, A.M., Zalyvadny, M.M., & Babych, T.M. (2026). Local vertical movements of the ground surface based on the results of 18-year extensometric observations in Poltava. *Geofizychnyi Zhurnal*, 48(3), 77–88. <https://doi.org/10.24028/gj.v48i3.358645>.

Publisher Subbotin Institute of Geophysics of the NAS of Ukraine, 2026. This is an open access article under the CC BY-NC-SA license (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>).

[Павлик, 2010; Vittuari et al., 2015]. Ігнорування цього чинника може призвести до невірної інтерпретації результатів вивчення геофізичних, геодинамічних і техногенних процесів, які відбуваються на земній поверхні [Szczerbowski, 2009; Lyon et al., 2018].

Експериментальне вивчення впливу гідрометеорологічних чинників на вертикальну компоненту динаміки земної поверхні здійснюється переважно методом повторного нівелювання, який лишається найточнішим інструментальним геодезичним способом. Це дає змогу на базі кількох десятків кілометрів отримати різниці висот з міліметровою точністю [Lyon et al., 2018], а на одній станції нівелювання — точніше ніж 0,1 мм [Черняга та ін., 2010]. Цей метод є доволі трудомістким і не дає ніякої інформації про досліджуване явище у проміжку між циклами спостережень.

Конкуренцію методу повторного нівелювання при дослідженні впливу екзогенних чинників на динаміку земної поверхні можуть скласти екстензометричні спостереження. Вони використовуються для моніторингу горизонтальних і вертикальних деформацій земної поверхні для вивчення земних припливів і внутрішньої будови Землі [Bán et al., 2018], нелінійної динаміки земної поверхні, обумовленої океанічними припливами [Amoruso, Crescentini, 2016], локальних тектонічних процесів [Mentes, Kiszely, 2019; Brimich et al., 2016], зсувів [Corominas et al., 2000], локальних гідрологічних, метеорологічних і біологічних процесів, що відбуваються в ґрунті [Jahr, 2018; Mentes, 2012]. Екстензометричні визначення порівняно з повторним нівелюванням мають низку переваг: значно вищу точність, неперервність моніторингу досліджуваного явища, меншу трудомісткість при тривалих спостереженнях. Основним недоліком цього методу є висока ступінь локальності, оскільки числові характеристики динаміки земної поверхні отримують лише для конкретного місця встановлення приладу. Тому найкращих результатів при вивченні впливу зовнішніх чинників на вертикальну компоненту динаміки земної

поверхні можна досягнути об'єднанням екстензометричних спостережень і методу повторного нівелювання.

Методика спостережень. Для вивчення локальних вертикальних рухів (ЛВР) гідрометеорологічного походження на території Полтавської гравіметричної обсерваторії (ПГО) створено геодинамічний полігон. Полігон розташований в районі з практично відсутніми тектонічними та техногенними рухами земної поверхні. Він є ідеальним місцем для вивчення впливу зовнішніх чинників на вертикальну динаміку ґрунту. На полігоні розміщено нівелірні реperi глибинами від 0,3 до 20 м, вертикальний екстензомер, виконуються спостереження за гідрометеорологічними чинниками, варіації яких здатні обумовити вертикальну складову динаміки земної поверхні [Павлик, 2012].

Вертикальний екстензомер розташований на рівнинній ділянці фруктового саду з трав'янистою рослинністю, ґрунти — середньосуглинисті за гранулометричним складом. Середній вміст у верхньому 1-метровому шарі ґрунту різних за розміром фракцій такий: піщані (більше 0,05 мм) — 37,3 %, пилуваті (0,05—0,005 мм) — 44,6 %, глинисті (менше 0,005 мм) — 11,1 %, органіка — 7,0 %. Ґрунтові води у місці розташування екстензомера знаходяться на глибині близько 8 м від поверхні землі.

Метою досліджень є визначення параметрів домінуючої на геодинамічному полігоні (ГП) у Полтаві сезонної складової ЛВР за даними 18-річних неперервних спостережень з вертикальним екстензомером, дослідження їх часової динаміки, а також вивчення впливу окремих гідрометеорологічних чинників, таких як коливання рівня ґрунтових вод (РГВ), вологість ґрунту, атмосферні опади, на вертикальну компоненту деформацій земної поверхні.

Для встановлення наявності періодичних складових у результатах спостережень використано розкладання в ряд Фур'є, параметри сезонних варіацій ЛВР і гідрометеорологічних чинників визначались на основі лінійного та нелінійного методів найменших квадратів, дослідження сто-

частичних зв'язків між вимірними величинами здійснювалось із застосуванням кореляційного аналізу.

Конструкція вертикального екстензометра. Вертикальний кварцовий екстензометр було розроблено у ПГО [Кутный и др., 1992], де й надалі здійснювалася його модернізація. Як вертикальну штангу екстензометра використано кварцову трубу (1) завдовжки 3 м діаметром 40 мм (рис. 1). Її нижній кінець за допомогою спеціального хвостовика з нержавіючої сталі (2) жорстко скріплений з бетонним постаментом (3) завдовжки 1,7 м на дні свердловини діаметром 180 мм. Кварцова штанга (1) розміщена всередині обсадної труби (4), яка зцементована зі стінками свердловини. Це запобігає безпосередньому контакту штанги екстензометра зі стінками свердловини. Верхній кінець кварцової штанги закінчується спеціальним фланцем з різьбою (5), у який вкручено регулювальний гвинт (6) з лампочкою (9), яка освітлює фотоеlementи (10). Верхня чутлива система екстензометра закрыта металевим стаканом (8) з кришкою (11), який жорстко з'єднаний цементним розчином (7) з досліджуваным шаром ґрунту на глибині 0,5 м від поверхні землі.

Принцип роботи приладу наступний. Під дією вертикальних рухів земної поверхні верхній відсік екстензометра з фотоеlementами, який розташований на глибині 0,5 м, здійснює переміщення відносно нерухомої лампочки, яка з'єднана з постаментом на дні свердловини завдовжки 5,5 м. Це призводить до зміни електричного сигналу у вигляді напруги постійного струму, який реєструється аналого-цифровим перетворювачем, що під'єднаний до персонального комп'ютера. У рухомій частині екстензометра закладено нівелірну марку (12), яка дає змогу незалежним методом повторного нівелювання визначати вертикальні переміщення рухомої частини екстензометра. Таким чином, проводиться неперервний моніторинг динаміки вертикальної складової шару ґрунту на глибині 0,5 м відносно постаменту, низ якого розташований на глибині 5,5 м.

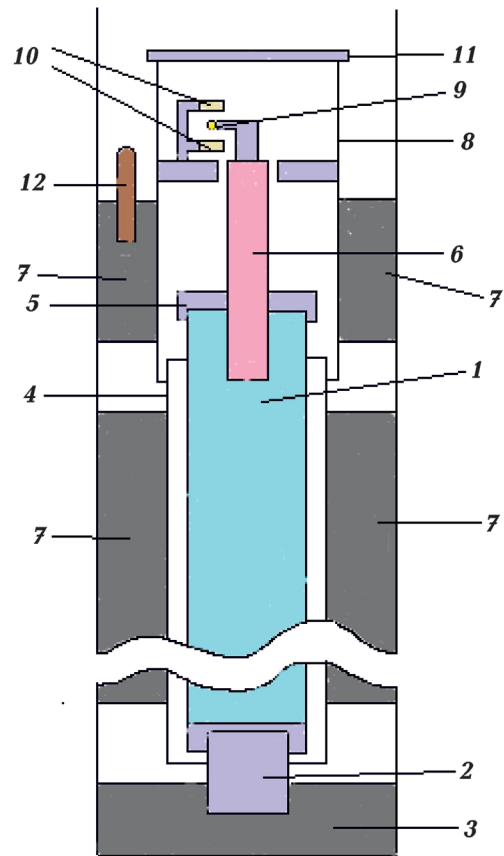


Рис. 1. Схема вертикального екстензометра Полтавської гравіметричної обсерваторії.

Fig. 1. Scheme of the vertical extensometer of the Poltava Gravimetric Observatory.

Калібрування приладу здійснювалось за допомогою регулювального гвинта (6) з точно відомим значенням кроку різьби, а також періодичним високоточним повторним нівелюванням марки (12), реєстрація динаміки ЛВР — із годинним інтервалом з точністю 10^{-6} м.

Екстензометричні спостереження за ЛВР. Неперервний моніторинг ЛВР за даними екстензометричних спостережень проводився впродовж 18 років з 2006,81 по 2024,87 р. На рис. 2 представлено вертикальні рухи земної поверхні на глибині 0,5 м за даними екстензометричних спостережень та результати повторного нівелювання марки екстензометра з приблизно тижневою періодичністю відносно свердловинного репера А1 завглибшки 6 м,

який є одним із найстійкіших геодезичних знаків на ГП у Полтаві і знаходиться на відстані 30 м від екстензометра. Глибина репера А1 практично збігається з глибиною встановлення нерухомої вертикальної штанги екстензометра. Коефіцієнт кореляції між обома масивами ЛВР становить 0,99, а середнє квадратичне відхилення — 0,30 мм. Незначні розбіжності між екстензометричними та геодезичними даними можна пояснити похибками нівелювання, похибками калібрування екстензометра, ймовірними відмінностями вертикальних рухів на глибині встановлення постаментів екстензометра та вихідного репера, різницею між лінійними температурними розширеннями кварцової труби екстензометра та сталеві труби репера А1.

Повільні вертикальні рухи за весь 18-річний період незначні і не перевищують 1,5 мм. Натомість сезонні вертикальні коливання ґрунту є домінуючою складовою динаміки земної поверхні.

На рис. 2 також представлено варіації РГВ, вологи ґрунту, атмосферних опадів, моніторинг яких здійснювався паралельно з ЛВР.

На рис. 3 показано амплітудний спектр розкладання в ряд Фур'є ЛВР за даними екстензометричних спостережень, які вказують на відсутність будь-якої періодичності, крім річної, у діапазоні низьких і середніх частот.

У табл. 1 наведено параметри сезонної періодичності ЛВР на глибині 0,5 м за період 2006,81—2024,87 рр., а також параметри сезонної складової ЛВР за даними повторного нівелювання з тижневою періодичністю за той самий період поверхневого репера 7 і свердловинного А17. Репер 7 відображає інтегральний вертикальний рух верхнього 1-метрового шару ґрунту, а репер А17 — вертикальні рухи на глибині 3 м. Обидва реperi розміщені поряд на відстані близько 33 м від вертикального екстензометра в однакових зовнішніх умовах.

Параметри сезонної компоненти динаміки ЛВР визначалися нелінійним методом найменших квадратів, який дає змогу здійснювати одночасне оцінювання амплітуди,

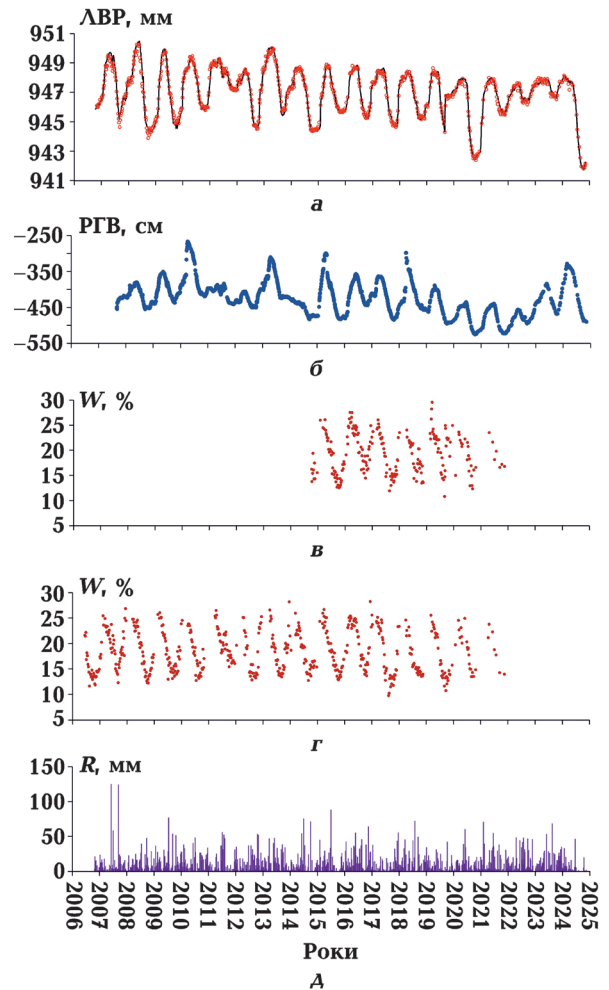


Рис. 2. Динаміка локальних вертикальних рухів на глибині 0,5 м і гідрометеорологічних чинників на геодинамічному полігоні у Полтаві впродовж 2006,81—2024,87 рр.: а — локальні вертикальні рухи за результатами екстензометричних спостережень (суцільна лінія) і повторного нівелювання (крапки); б — коливання рівня ґрунтових вод, в — вологість шару ґрунту на глибині 0,5—1,0 м поблизу розташування екстензометра; г — вологість шару ґрунту на глибині 0,5—1,0 м поблизу розташування репера 7; д — атмосферні опади.

Fig. 2. Dynamics of local vertical movements at a depth of 0.5 m and hydrometeorological factors at the geodynamic polygon in Poltava during 2006.81—2024.87: а — local vertical movements based on the results of extensometric observations (solid line) and repeated leveling (dots); б — fluctuations in the ground water level, в — soil layer moisture at a depth of 0.5—1.0 m near the location of the extensometer; г — soil layer moisture at a depth of 0.5—1.0 m near the location of benchmark 7; д — precipitation.

фази та періоду досліджуваного ряду методом Проні [Marple, 2019].

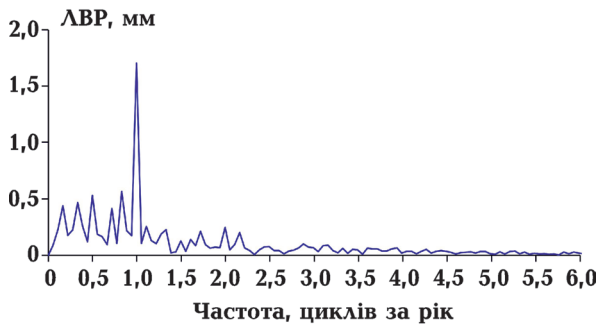


Рис. 3. Амплітудний спектр локальних вертикальних рухів за результатами спостережень з вертикальним екстензометром за період 2006,81—2024,87 рр.

Fig. 3. Amplitude spectrum of local vertical movements based on observations with a vertical extensometer for the period 2006.81—2024.87.

Еспоненціальне зменшення величини сезонних вертикальних рухів з глибиною свідчить про те, що основа екстензометра та постаменту вихідного нівелірного знака А1 є стабільними в часі, а зареєстровані деформаційні процеси виникають на глибині розміщення рухомої частини екстензометра та досліджуваних реперів.

На рис. 4 представлено динаміку амплітуди та моментів максимального підняття сезонної компоненти ЛВР, отримані на основі лінійного методу найменших квадратів за умови, що період відповідає календарному року. Такий підхід часто використовується дослідниками для визначення параметрів річної складової вертикальних рухів [Szczerbowski, 2009; Lyon et al., 2018].

Сезонна періодичність ЛВР на глибині встановлення рухомої частини екстензометра властива всім без винятку рокам спостережень. Амплітуди річної складової вертикальних рухів коливаються в межах від 0,5 до 2,7 мм, а моменти максимального

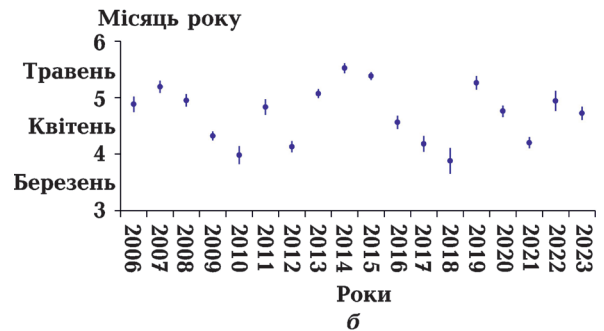
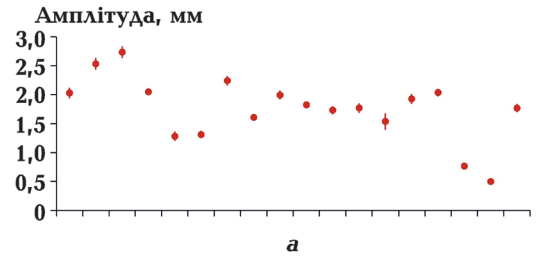


Рис. 4. Динаміка параметрів сезонних локальних вертикальних рухів за 18-річний період спостережень на геодинамічному полігоні у Полтаві: а — амплітуди сезонних вертикальних рухів, б — моменти максимального підняття ґрунту. Вертикальні лінії — середні квадратичні похибки визначення параметрів сезонних вертикальних рухів.

Fig. 4. Dynamics of parameters of seasonal local vertical movements over an 18-year observation period at the geodynamic polygon in Poltava: а — amplitudes of seasonal vertical movements, б — moments of maximum soil uplift. Vertical lines — mean square errors of determination of parameters of seasonal vertical movements.

підняття припадають на період з 28 березня по 16 травня.

Вплив РГВ на ЛВР. Коливання РГВ реєструвалося у спеціальній свердловині, розташованій у підвалі головного корпусу ПГО, який знаходиться на відстані близько 80 м від екстензометра. Цей гідрологічний параметр має також чітко виражений сезонний характер (див. рис. 2). Параметри сезонної періодичності цього чинника,

Т а б л и ц я 1. Параметри сезонної періодичності ЛВР за результатами екстензометричних і геодезичних спостережень на ГП у Полтаві

Глибина ЛВР, м	Амплітуда, мм	Момент максимального підняття земної поверхні в днях відносно початку року	Період, дні
0—1	3,983±0,089	58,19±0,06 (27 лютого)	366,49±0,20
0,5	1,726±0,046	114,32±0,06 (24 квітня)	364,42±0,30
3	0,089±0,006	135,57±0,12 (14 травня)	364,57±0,47

визначені нелінійним методом найменших квадратів за період 2007,67—2024,87 рр., наведено в табл. 2.

Таблиця 2. Параметри сезонної періодичності у коливаннях РГВ на ГП у Полтаві

Амплітуда, м	Момент максимального підняття РГВ в днях відносно початку року	Період, дні
0,404±0,16	130,09±0,08 (9 травня)	364,57±0,47

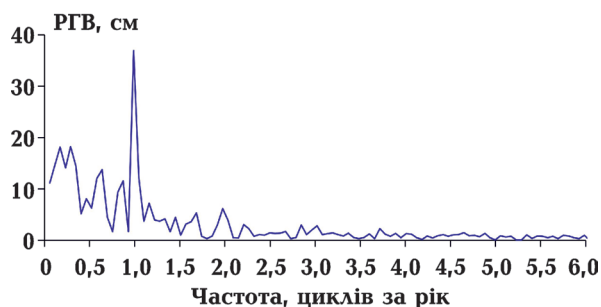


Рис. 5. Амплітудний спектр коливання рівня ґрунтових вод на ГП у Полтаві за період 2007,67—2024,87 рр.

Fig. 5. Amplitude spectrum of ground water level fluctuations in Poltava for the period 2007.67—2024.87.

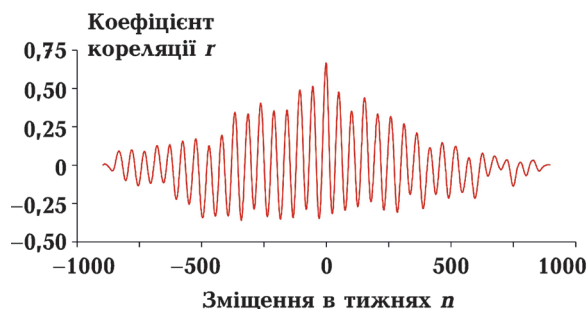


Рис. 6. Крос-кореляційна функція між вертикальними рухами і коливанням рівня ґрунтових вод, інтервал зміщення становить 7 діб.

Fig. 6. Cross-correlation function between vertical movements and ground water level fluctuations. The offset interval is 7 days.

Як і у випадку з ЛВР, річна компонента є єдиною періодичністю у варіаціях РГВ на ГП у Полтаві, що підтверджує рис. 5, на якому зображено амплітудний спектр розкладання в ряд Фур'є коливань РГВ за вказаний вище період спостережень.

На рис. 6 наведено крос-кореляційну функцію між ЛВР і РГР.

Незважаючи на те, що крос-кореляційна функція вказує на подібність обох процесів (максимальне значення коефіцієнта кореляції дорівнює 0,67) та їх синфазність (запізнення коливань РГВ відносно вертикальних рухів становить один тиждень), періодичні зміни РГВ не можуть бути генератором сезонних ЛВР на ГП у Полтаві. Одним із доказів цього твердження є значна диференціація величини сезонних вертикальних рухів від глибини. На поверхні землі річна складова ЛВР майже у 50 разів більша ніж на глибині 3 м (див. табл. 1), чого не повинно бути у випадку її генерації варіаціями РГВ.

Причиною подібності сезонного ходу вертикальних рухів та РГВ є вплив інших гідрологічних чинників, які одночасно діють на обидві досліджувані величини (вологість ґрунту, атмосферні опади, евапотранспірація).

Вплив вологості ґрунту на ЛВР. На рис. 2 показано динаміку зміни вологи шару ґрунту в діапазоні глибин 0,5—1 м поблизу репера 7 і безпосередньо біля екстензометра. Вологість ґрунту визначалася щотижнево гравітаційним (термостатно-ваговим) методом, який є доволі трудомістким, але абсолютним і найточнішим з існуючих [Грушка, 2005]. Він дає змогу отримувати відсотковий вміст води відносно маси сухого ґрунту конкретно взятої проби. У період, коли ґрунт перебував у мерзломому стані, вологість не визначалась. Значний розкид окремих значень вологи ґрунту пояснюється тим, що методика гравітаційного способу передбачає взяття проб щоразу в іншому місці в околі досліджуваного пункту. Тому на отримані значення вологи ґрунту впливають локальні особливості місця взяття кожної проби (мікрорельєф, транспірація рослин, випаровування, механічний та мінералогічний склад ґрунту тощо). Оскільки вологість ґрунту поблизу екстензометра визначалася нетривалий період часу порівняно з моніторингом ЛВР, до аналізу було залучено результати спостережень за вологою, які

виконувались поблизу репера 7 впродовж 15 років. Правомірність цієї дії підтверджується результатами визначення коефіцієнтів кореляції між ЛВР і вологістю ґрунту поблизу екстензометра (W_E) та репера 7 (W_7), які наведено у табл. 3.

Таблиця 3. Коефіцієнти кореляції між ЛВР та вологістю ґрунту двох локацій на ГП у Полтаві (в дужках вказано обсяг вибірки)

Параметр	ЛВР	W_E	W_7
ЛВР	1	0,74 (234)	0,75 (556)
W_E	0,74 (234)	1	0,81 (217)
W_7	0,75 (556)	0,81 (217)	1

Середнє квадратичне відхилення отриманих коефіцієнтів кореляції не перевищує 0,03. Наявність тісного кореляційного зв'язку підтверджується *t*-критерієм Стьюдента для значущості не гірше 0,001.

Вплив вологи на вертикальні рухи не відбувається лінійно. Якщо вологість ґрунту перевищує його максимальну молекулярну вологоємність, то подальше збільшення вологи не впливає на його деформації, а отже і на ЛВР, а інфільтрація води здійснюється лише завдяки дії гравітаційних сил. Раніше експериментальним шляхом встановлено, що максимальна молекулярна вологоємність ґрунту на ГП у Полтаві

становить 24 % [Павлик та ін., 2019]. Це підтверджується даними табл. 4, де отримані коефіцієнти кореляції вказують на відсутність впливу вологи ґрунту, яка перевищує його максимальну молекулярну вологоємність, на вертикальні рухи.

Таблиця 4. Коефіцієнти кореляції між ЛВР і вологістю ґрунту, яка перевищує його максимальну молекулярну вологоємність (в дужках вказано обсяг вибірки)

Параметр	ВР	W_E	W_7
ВР	1	0,05 (32)	-0,29 (59)
W_E	0,05 (32)	1	—
W_7	-0,29 (59)	—	1

Відсутність спостережень за вологою ґрунту у зимово-весняний період унеможливили отримання неперервних рядів цього параметра. М'які зими 2006—2007 та 2015—2016 рр. дали можливість створити два масиви даних протяжністю більше одного року.

На рис. 7 представлено взаємні кореляційні функції між ЛВР і вологістю ґрунту для обох масивів даних, які вказують на тісний кореляційний зв'язок між досліджуваними величинами (коефіцієнти кореляції за періоди 23.10.2006—17.12.2007 і 10.03.2015—11.01.2017 дорівнюють відповідно 0,78 і 0,85), а запізнення ЛВР віднос-

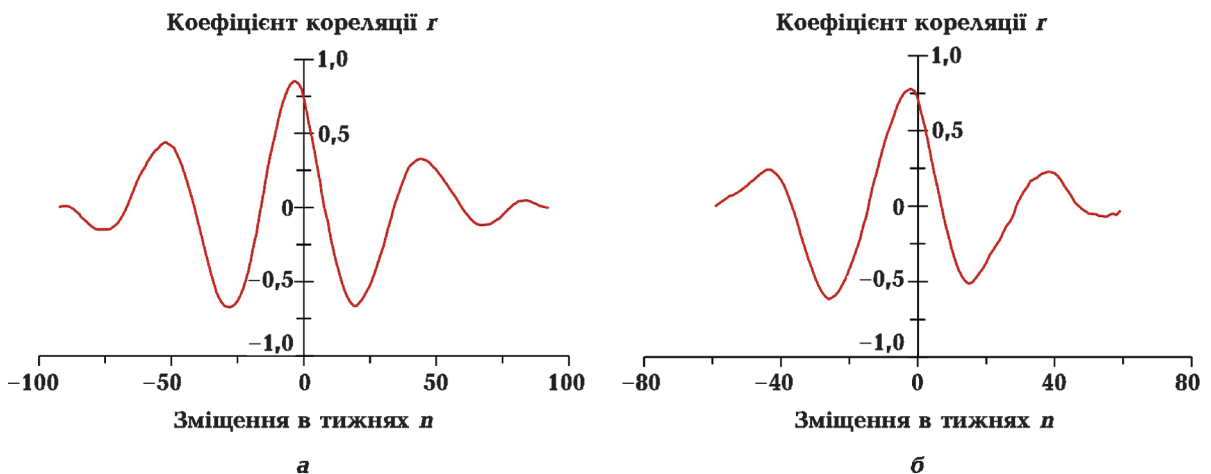


Рис. 7. Взаємні кореляційні функції між локальними вертикальними рухами та вологістю ґрунту: *a* — біля екстензометра, *б* — біля репера 7.

Fig. 7. Cross-correlation functions between local vertical movements and soil moisture: *a* — near the extensometer, *б* — near the benchmark 7.

но вологи ґрунту становить 2—3 тижні. Це запізнення можна пояснити тим, що ЛВР визначаються на глибині 0,5 м, а вологість відповідає середньому значенню шару ґрунту 0,5—1,0 м від поверхні землі.

Виконані раніше дослідження динаміки реперів на ГП у Полтаві показали, що механічний склад ґрунту задає потенційні можливості до його вертикальних переміщень. А величина та сезонний характер переміщень залежать від гідрометеорологічних факторів, що впливають на варіації вологи ґрунту [Павлик, 2010]. Саме таким є механізм генерації та сезонних ЛВР за даними екстензометричних спостережень. Зміни гідрологічного режиму ґрунту, до складу якого входять глинисті компоненти, спричинює його об'ємні деформації і, як наслідок, вертикальні переміщення.

Вплив атмосферних опадів на ЛВР. На рис. 2 представлено сумарну кількість щотижневих опадів за період виконання екстензометричних спостережень. Інформацію про атмосферні опади отримано зі спостережень на метеорологічній станції Полтавського обласного центру з гідрометеорології, яка знаходиться на відстані 1,2 км від місця розташування екстензометра [Метеопост, 2025]. Опади на ГП у Полтаві є єдиним джерелом прихідної частини водного балансу ґрунту. Вони безпосередньо не впливають на динаміку земної поверхні, а зумовлюють зміни вологи ґрунту та коливання РГВ, здатні генерувати вертикальні рухи.

На рис. 8 зображено автокореляційні функції ЛВР та атмосферних опадів, які свідчать про відсутність будь-яких часових періодичностей у ряді опадів.

Опади накопичуються в ґрунті і задають характер евапотранспірації впродовж календарного року, яка є основною витратною складовою водного балансу ґрунту на полігоні і задає сезонні зміни його вологи. Тривалі дощі та сильні зливи можуть викликати стрибкоподібні підняття земної поверхні на ГП у Полтаві навіть на глибині 3 м [Павлик, 2011].

Тривала відсутність опадів зменшує вологість ґрунту і призводить до опускання

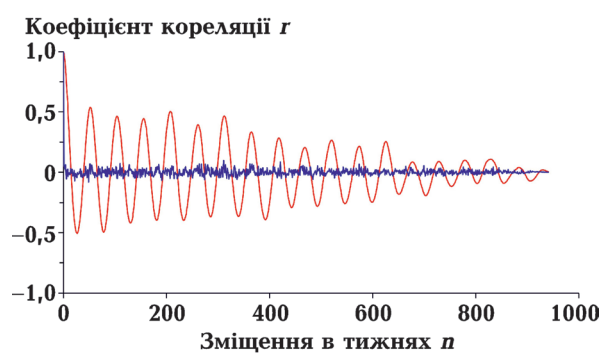


Рис. 8. Автокореляційні функції ЛВР (червона крива) та атмосферних опадів (синя крива).

Fig. 8. Autocorrelation functions of vertical motions (red curve) and precipitation (blue curve).

земної поверхні. Літо 2024 р. виявилось найпосушливішим за весь період метеорологічних спостережень у Полтаві. З 25 червня по 7 жовтня (загалом 103 дні) у Полтаві взагалі не було опадів. Це зумовило найнижче опускання земної поверхні за даними екстензометричних визначень за 18-річний період спостережень (див. рис. 2).

Висновки. Розроблений і виготовлений у ПГО кварцовий екстензометр зарекомендував себе як надійний та високоточний прилад для вивчення ЛВР земної поверхні.

ЛВР на глибині 0,5 м від поверхні землі за даними екстензометричних визначень на ГП у Полтаві мають чітко виражений сезонний характер упродовж усього 18-річного періоду спостережень. Залежно від кліматичних особливостей конкретного року величини сезонних вертикальних переміщень змінюються в межах від 1,0 до 5,5 мм, а моменти максимального підняття земної поверхні припадають на період часу з 28 березня по 16 травня.

Річна періодичності ЛВР зумовлена сезонними коливаннями вологи ґрунту. Якщо вологість ґрунту перевищує його максимальну молекулярну вологоємність, то його деформації не відбуваються і ЛВР не генеруються цим чинником.

Аномально посушливе літо 2024 р. спричинило найбільше опускання земної поверхні за весь період екстензометричних спостережень.

Для надійної інтерпретації результатів високоточних геодинамічних досліджень

слід враховувати ймовірні ЛВР гідрометеорологічного походження.

Список літератури

- Грушка І.Г. Методи і засоби вимірювань вологості матеріалів та середовищ. *Наукові праці УкрНДГМІ*. 2005. Вип. 254. С. 169—187.
- Кутный А.М., Булацен В.Г., Бродский Б.И., Состин А.А. Сквжинный экстензометр Полтавской гравиметрической обсерватории. В кн.: *Вращение и приливные деформации Земли*. Киев: Наук. думка, 1992. С. 104—109.
- Метеопост. Архів метеоданих. Режим доступу: <https://meteorpost.com/weather/archive/> (дата звернення 15.03.2025).
- Павлик В.Г. Вплив атмосферних опадів на вертикальні рухи земної поверхні. *Геодинаміка*. 2011. № 1(10). С. 31—37. <https://doi.org/10.23939/jgd2011.01.031>.
- Павлик В.Г. Результати дослідження власних повільних вертикальних рухів реперів на геодинамічних мікрополігонах Полтавської гравиметричної обсерваторії. *Сучасні досягнення геодезичної науки та виробництва*. 2012. Вип. 1(23). С. 60—65.
- Павлик В.Г. Сезонні гідротермічні вертикальні рухи земної поверхні в умовах різних за гранулометричним складом ґрунтів. *Геодинаміка*. 2010. № 1(9). С. 22—27. <https://doi.org/10.23939/jgd2010.01.022>.
- Павлик В.Г., Кутный А.М., Кальник О.П. Особливості впливу сезонних варіацій вологи ґрунту на вертикальні рухи земної поверхні. *Геодинаміка*. 2019. № 2(27). С. 16—23. <https://doi.org/10.23939/jgd2019.02.016>.
- Черняга П.Г., Янчук О.Є., Ішутіна Г.С. Розрахунок точності геометричного нівелювання на геодинамічних полігонах. *Геодинаміка*. 2010. № 1(9). С. 10—21. <https://doi.org/10.23939/jgd2010.01.010>.
- Amoruso, A., & Crescentini, L. (2016). Nonlinear and minor ocean tides in the Bay of Biscay from the strain tides observed by two geodetic laser strainmeters at Canfranc (Spain). *Journal of Geophysical Research: Oceans*, 121(7), 4435—5392. <https://doi.org/10.1002/2016JC011733>.
- Argus, D., Fu, Yu., & Landerer, F. (2014). Seasonal variation in total water storage in California inferred from GPS observations of vertical and motion. *Geophysical Research Letters*, 41(6), 1971—1980. <https://doi.org/10.1002/2014GL059570>.
- Ban, D., Mentés, G., Kis, M., & Koppan, A. (2018). Observation of the Earth Liquid Core Resonance by Extensometers. *Pure and Applied Geophysics*, 175(4), 1631—1642. <https://doi.org/10.1007/s00024-017-1724-6>.
- Brimich, L., Bednárík, M., Bezák, V., Kohút, I., Bán, D., Eper-Pápai, I., & Mentés, G. (2016). Extensometric observation of Earth tides and local tectonic processes at the Vyhne station, Slovakia. *Contributions to Geophysics and Geodesy*, 46(2), 75—90. <https://doi.org/10.1515/congeo-2016-0006>.
- Corominas, J., Moya, J., Lloret, A., Gili, J.A., Angeli, M.G., Pasuto, A., & Silvano, S. (2000). Measurement of landslide displacements using a wire extensometer. *Engineering Geology*, 55(3), 149—166. [https://doi.org/10.1016/S0013-7952\(99\)00086-1](https://doi.org/10.1016/S0013-7952(99)00086-1).
- Jahr, Th. (2018). Non-tidaltilt and strain signals recorded at the Geodynamic Observatory Moxa, Thuringia/Germany. *Geodesy and Geodynamics*, 9(3), 229—236. <https://doi.org/10.1016/j.geog.2017.03.015>.
- Lyon, T.J., Filmer, M.S., & Featherstone, W.E. (2018). On the use of repeat leveling for the determination of vertical land motion: artifacts, aliasing, and extrapolation errors. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, 123(8), 7021—7039. <https://doi.org/10.1029/2018JB015705>.
- Marple, S.L. (2019). *Digital Spectral Analysis with Applications*. 2nd ed. Mineola, New York: Dover Publications, 432 p.
- Mentés, G. (2012). A new borehole wire extensometer with high accuracy and stability for observation of local geodynamic processes. *Review*

- of Scientific Instruments*, 83(1), 015109. <https://doi.org/10.1063/1.3676652>.
- Mentes, G., & Kiszely, M. (2019). Local tectonic deformations measured by extensometer at the eastern foothills of the Alps at the Sopronbánfalva Geodynamic Observatory, Hungary. *Contributions to Geophysics and Geodesy*, 49(3), 373—390. <https://doi.org/10.2478/congeo-2019-0019>.
- Szczerbowski, Z. (2009). Toward the reliability of geodetic surveys in study of geodynamics — a problem of influence of seasonal variations. *Acta Geodynamica et Geomaterialia*, 6(3), 253—263.
- Van Dam, T., Wahr, J., Milly, P.C.D., Shmakin, A.B., Blewitt, G., Lavallée, D., & Larson, K.M. (2001). Crustal displacements due to continental water loading. *Geophysical Research Letters*, 28(4), 651—654. <https://doi.org/10.1029/2000gl012120>.
- Vittuari, L., Gottardi, G., & Tini, M.A. (2015). Monumentations of control points for the measurement of soil vertical movements and their interactions with groundwater contents. *Geomatics, Natural Hazards and Risk*, 6(5-7), 439—453. <https://doi.org/10.1080/19475705.2013.873084>.

Local vertical movements of the ground surface based on the results of 18-year extensometric observations in Poltava

V.G. Pavlyk, A.M. Kutny, M.M. Zalyvadny, T.M. Babych, 2026

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

The results of 18-year observations of the vertical component of local ground surface dynamics using a quartz extensometer of the Poltava Gravimetric Observatory are presented. The instrument is installed at a geodynamic polygon in Poltava and allows monitoring of vertical displacements of the soil layer at a depth of 0.5 m from the surface with an accuracy of 10^{-6} m in order to study the influence of external factors of hydrometeorological origin on the dynamics of the most mobile upper soil layer. It was established that the dominant component of vertical movements is the seasonal component with an average annual amplitude of 1.726 ± 0.045 mm, the moment of maximum elevation of the ground, which falls on 114.32 ± 0.06 days from the beginning of the year (April 24) and a period of 364.42 ± 0.30 days. Depending on the climatic features of a particular year of observations, the magnitude of periodic local vertical displacements varies from 1.0 mm to 5.5 mm, and the moments of maximum elevation of the ground occur in the period from March 28 to May 16. Seasonal vertical movements are primarily caused by periodic variations in the moisture of medium loamy soils of the polygon. If the soil moisture exceeds its maximum molecular moisture capacity, this factor ceases to action vertical movements. Fluctuation sing round waterlevels are not the cause of vertical movements, although they occur in phase with them. It is shown that the abnormally dry summer of 2024 in Poltava caused the lowest vertical position of the ground surface for the entire observation period. Ignoring vertical movements of hydrometeorological origin can lead to incorrect interpretation of the results of the study of tectonic and technogenic deformations of the ground surface.

Key words: vertical extensometer, local vertical movements of the ground surface, fluctuations in ground water level, soil moisture, precipitation.

References

- Grushka, I.G. (2005). Methods and means of measuring the humidity of materials and environments. *Naukovi pratsi UkrNDHMI*, (254), 169—187 (in Ukrainian).
- Kutnyi, A.M., Bulatsen, V.G., Brodsky, B.I., & Sos-tin, A.A. (1992). Borehole extensometer of the Poltava gravimetric observatory. In *Rotation and deformation of the Earth* (pp. 97—104). Kiev: Naukova Dumka (in Russian).
- Meteopost. Weather data archive. (2025). Retrieved from <https://meteopost.com/weather/archive/> (in Ukrainian).
- Pavlyk, V.G. (2011). The influence of atmospheric precipitation on vertical movements of the ground. *Geodynamics*, (10), 31—37. <https://doi.org/10.23939/jgd2011.01.031> (in Ukrainian).
- Pavlyk, V.G. (2012). Results of the study of the own slow vertical movements of benchmarks on geodynamic micro-polygons of the Poltava Gravimetric Observatory. *Modern achievements of geodetic science and production*, (1), 60—65 (in Ukrainian).
- Pavlyk, V.G. (2010). Seasonal hydrothermal vertical movements of the ground in conditions of soils with different grain size composition. *Geodynamics*, (1), 22—27. <https://doi.org/10.23939/jgd2010.01.022> (in Ukrainian).
- Pavlyk, V.G., Kutnyi, A.M., & Kalnyk, O.P. (2019). Features of the influence of seasonal variation of soil moisture on vertical movements of the earth's surface. *Geodynamics*, (2), 16—23. <https://doi.org/10.23939/jgd2019.02.016> (in Ukrainian).
- Cherniaha, P.H., Yanchuk, O.Ye., & Ishutina, H.S. (2010). Calculation of the accuracy of geometric leveling on geodynamic polygons. *Geodynamics*, (1), 10—21. <https://doi.org/10.23939/jgd2010.01.010> (in Ukrainian).
- Amoruso, A., & Crescentini, L. (2016). Nonlinear and minor ocean tides in the Bay of Biscay from the strain tides observed by two geodetic laser strainmeters at Canfranc (Spain). *Journal of Geophysical Research: Oceans*, 121(7), 4435—5392. <https://doi.org/10.1002/2016JC011733>.
- Argus, D., Fu, Yu., & Landerer, F. (2014). Seasonal variation in total water storage in California inferred from GPS observations of vertical and motion. *Geophysical Research Letters*, 41(6), 1971—1980. <https://doi.org/10.1002/2014GL059570>.
- Bán, D., Mentés, G., Kis, M., & Koppán, A. (2018). Observation of the Earth Liquid Core Resonance by Extensometers. *Pure and Applied Geophysics*, 175(4), 1631—1642. <https://doi.org/10.1007/s00024-017-1724-6>.
- Brimich, L., Bednárík, M., Bezák, V., Kohút, I., Bán, D., Eper-Pápai, I., & Mentés, G. (2016). Extensometric observation of Earth tides and local tectonic processes at the Vyhne station, Slovakia. *Contributions to Geophysics and Geodesy*, 46(2), 75—90. <https://doi.org/10.1515/congeo-2016-0006>.
- Corominas, J., Moya, J., Lloret, A., Gili, J.A., Angeli, M.G., Pasuto, A., & Silvano, S. (2000). Measurement of landslide displacements using a wire extensometer. *Engineering Geology*, 55(3), 149—166. [https://doi.org/10.1016/S0013-7952\(99\)00086-1](https://doi.org/10.1016/S0013-7952(99)00086-1).
- Jahr, Th. (2018). Non-tidaltilt and strain signals recorded at the Geodynamic Observatory Moxa, Thuringia/Germany. *Geodesy and Geodynamics*, 9(3), 229—236. <https://doi.org/10.1016/j.geog.2017.03.015>.
- Lyon, T.J., Filmer, M.S., & Featherstone, W.E. (2018). On the use of repeat leveling for the determination of vertical land motion: artifacts, aliasing, and extrapolation errors. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, 123(8), 7021—7039. <https://doi.org/10.1029/2018JB015705>.
- Marple, S.L. (2019). *Digital Spectral Analysis with Applications*. 2nd ed. Mineola, New York: Dover Publications, 432 p.
- Mentés, G. (2012). A new borehole wire extensometer with high accuracy and stability for observation of local geodynamic processes. *Review of Scientific Instruments*, 83(1), 015109. <https://doi.org/10.1063/1.3676652>.
- Mentés, G., & Kiszely, M. (2019). Local tectonic deformations measured by extensometer at the eastern foothills of the Alps at the Sopronbánfalva Geodynamic Observatory, Hungary.

- Contributions to Geophysics and Geodesy*, 49(3), 373—390. <https://doi.org/10.2478/con-geo-2019-0019>.
- Szczerbowski, Z. (2009). Toward the reliability of geodetic surveys in study of geodynamics — a problem of influence of seasonal variations. *Acta Geodynamica et Geomaterialia*, 6(3), 253—263.
- Van Dam, T., Wahr, J., Milly, P.C.D., Shmakin, A.B., Blewitt, G., Lavallée, D., & Larson, K.M. (2001). Crustal displacements due to continental water loading. *Geophysical Research Letters*, 28(4), 651—654. <https://doi.org/10.1029/2000gl012120>.
- Vittuari, L., Gottardi, G., & Tini, M.A. (2015). Monumentations of control points for the measurement of soil vertical movements and their interactions with groundwater contents. *Geomatics, Natural Hazards and Risk*, 6(5-7), 439—453. <https://doi.org/10.1080/19475705.2013.873084>.