

УДК 528.481

## ОСОБЛИВОСТІ ВПЛИВУ СЕЗОННИХ ГІДРОТЕРМІЧНИХ ДЕФОРМАЦІЙ НА ВЕРТИКАЛЬНУ СКЛАДОВУ ДИНАМІКИ ЗЕМНОЇ ПОВЕРХНІ НА ПОЛІГОНІ У ПОЛТАВІ

**В. Павлик**

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

**Ключові слова:** гідротермічні вертикальні рухи земної поверхні, геодинамічний мікрополігон, повторне нівелювання.

### Постановка проблеми

Під гідротермічними рухами земної поверхні розуміють варіації у положенні верхніх шарів ґрунту внаслідок коливань гідрометеорологічних факторів. Основними чинниками, що зумовлюють цей вид екзогенних деформацій, є зволоженість ґрунту, атмосферні опади, температура повітря та ґрунту, швидкість випаровування та транспірації вологи з ґрунту. Величина гідротермічних рухів великою мірою залежить від механічного складу ґрунту (розміру та форми окремих його частинок). За несприятливих умов (тонкодисперсні ґрунти та істотні зміни гідрометеорологічних факторів) гідротермічні переміщення можуть досягати десятків міліметрів і створювати труднощі в інтерпретації результатів спостережень за вертикальними та горизонтальними рухами і нахилами земної поверхні та розташованими на ній фундаментами будівель та споруд.

### Аналіз останніх досліджень та публікацій, які стосуються вирішення цієї проблеми

З метою дослідження закономірностей та особливостей гідротермічних рухів земної поверхні Полтавська гравіметрична обсерваторія організувала декілька спеціальних геодинамічних мікрополігонів (ГМП), на яких виконуються регулярні спостереження за вертикальними рухами на різних глибинах, горизонтальними переміщеннями та нахилами земної поверхні, гідрометеорологічними чинниками (вологість і температура ґрунту, атмосферні опади, глибина промерзання та розмерзання ґрунту). Полігони розміщені на різних за гранулометричним складом ґрунтах [1].

На усіх ГМП гідротермічні переміщення земної поверхні мають сезонний характер, який зумовлений річним періодом коливань основних гідрометеорологічних факторів. У піщаних ґрунтах сезонні гідротермічні вертикальні рухи (СГВР) не перевищують 1 мм і викликані винятково коливаннями температури ґрунту. В ґрунтах, до складу яких входять глинисті компоненти, СГВР спричинені його об'ємними деформаціями внаслідок періодичних варіацій вологи [1, 2]. У середньосуглинистих ґрунтах СГВР на поверхні землі перевищують 10 мм, в глинистих – 30 мм [1, 3]. З глибиною амплітуди СГВР зменшуються за експоненціальним законом і на глибині 4 м не перевищують перших десятків часток міліметра [4]. Сезонний хід гідротермічних вертикальних переміщень порушу-

ється під час тривалих та значних опадів, а також в моменти замерзання та розмерзання зволоженого ґрунту [5, 6].

### Постановка завдання

Метою роботи є встановлення на основі експериментальних даних періодів року з мінімальним впливом СГВР на результати визначення вертикальної складової динаміки земної поверхні.

### Виклад основного матеріалу проблеми

Для вирішення поставленого завдання використано регулярні спостереження за вертикальними гідротермічними рухами земної поверхні на ГМП у Полтаві за період з квітня 2001 р. до лютого 2012 р. За цей час здійснено 564 цикли повторного геометричного нівелювання групи із семи реперів, які закладені на глибини 0,3 м, 1 м (два репери), 1,5 м, 2 м, 3 м і 6 м від поверхні землі. Репери глибиною до 1 м – це заповнені бетоном свердловини зі вставленою зверху латунною нівелірною маркою. Репери глибиною 1,5 м і більше – свердловинного типу з обсадними трубами. Конструкція цих нівелірних знаків дає змогу реєструвати вертикальні переміщення шарів ґрунту винятково на глибині розташування їх бетонної основи [7]. Вихідним репером, відносно якого визначався рух інших нівелірних знаків, був репер А1 завглибшки 6 м. Цей знак є одним із найстійкіших на полігоні у Полтаві [6]. Середня квадратична помилка одного перевищення між вихідним репером та кожним із досліджуваних не перевищує  $\pm 0,1$  мм. Вертикальні переміщення реперів на полігоні винятково гідротермічного походження.

Інтервал спостережень між черговими циклами повторного нівелювання коливався у межах від 1 до 25 діб. Повторні геодезичні визначення виконувались здебільшого з тижневою періодичністю (з інтервалом між черговими циклами нівелювання 6–8 днів виконано 76 % спостережень, 1–2 дні – 2 %, понад 16 днів – 2 %). Інтервал між черговими визначеннями зменшували, коли відбувались аномальні гідрометеорологічні явища, щоб виявити збурення вертикальної складової динаміки земної поверхні. Збільшення інтервалу було зумовлено неможливістю внаслідок різних об'єктивних причин здійснити спостереження у тижневий термін.

За гранулометричним складом ґрунту на полігоні у Полтаві середньосуглинисті. Тому гідротермічні рухи шарів ґрунту на глибині встановлення реперів викликані переважно варіаціями їх вологи [1]. На рис. 1 представлено середньомісячні значення вертикальних переміщень нівелірних знаків за період з квітня 2001 р. до лютого 2012 р.

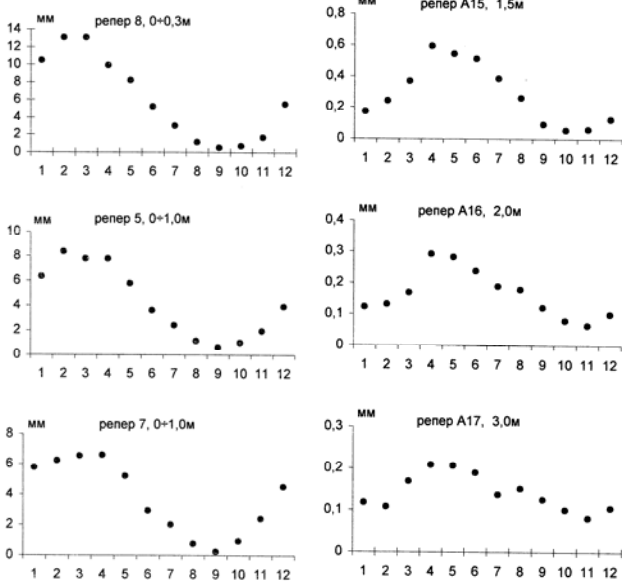


Рис. 1. Середньомісячні значення гідротермічних вертикальних рухів шарів ґрунту на різних глибинах за 2001–2012 рр.

Кожне із середньомісячних значень вертикального положення реперів, яке показано на рис. 1, отримане в результаті усереднення близько 50 окремих значень перевищень. На різних глибинах від поверхні землі вертикальні переміщення мають чітко виражений сезонний характер, який зумовлений, в основному, середніми багаторічними варіаціями гідрометеорологічних чинників. Середня квадратична помилка одного значення висотного положення реперів на рис. 1 становить приблизно 0,014 мм.

На рис. 2 подано результати спостережень за вертикальними переміщеннями досліджуваних реперів з усіх циклів повторного нівелювання, які згруповано за місяцями року. За наявності лінійного тренду в масивах переміщень нівелірних знаків він вилучався. Причиною дрейфу є власні повільні рухи реперів внаслідок їхніх періодичних гідротермічних коливань [6].

На рис. 2 видно систематичні та випадкові складові у переміщенні шарів ґрунту на різних глибинах. Систематичні – це середні багаторічні рухи, які відбуваються з річною періодичністю і чітко визначаються до глибини 1,5 м від поверхні землі включно. Нижче від цієї глибини їх величина не перевищує кількох десятків часток міліметра і тому визначається гірше. Рис. 1 ілюструє саме систематичну складову вертикальних рухів різних шарів ґрунту. Випадкові переміщення реперів на полігоні у Полтаві зумовлені аномальними метеорологічними подіями (значні атмосферні опади, різкі зміни температури ґрунту), які раптово змінюють кількість води в ґрунті або її агрегатний стан. До випадкової складової слід зарахувати і СГВР, які відмінні від їхніх систематичних багаторічних значень, що зображені на рис. 1. Також до випадкових змін у вертикальному положенні різних шарів ґрунту зараховано випадкові помилки самого нівелювання, значення яких одного порядку з величинами вертикальних коливань на глибинах 2–3 м від поверхні.

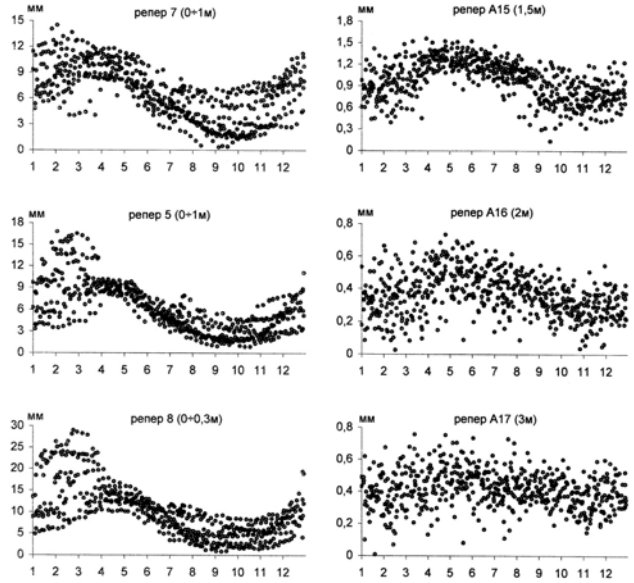


Рис. 2. Згруповані за місяцями року вертикальні гідротермічні рухи реперів на полігоні у Полтаві за період 2001–2012 рр.

Вплив гідротермічних рухів на вертикальну динаміку земної поверхні залежить від величини їх систематичної та випадкової дії. Чим меншою вона буде, тим менше будуть спотворені результати спостережень за вертикальними рухами земної поверхні гідротермічними чинниками.

Визначимо на основі спостережень за СГВР реперів на ГМП у Полтаві у 2001–2012 рр. значення їх систематичної та випадкової дії. З усіх масивів вихідних даних (рис. 2) за методом найменших квадратів для кожного календарного місяця року отримано величини лінійних вертикальних переміщень кожного з реперів  $\sigma_j$ , де  $j$  – місяць року.  $\sigma_j$  є систематичною лінійною складовою гідротермічних вертикальних рухів і вказує на величини цих рухів за інтервал часу тривалістю один місяць. Для того, щоб одержати випадкову складову гідротермічних вертикальних рухів, спочатку з місячних масивів переміщень реперів вилучимо їх систематичну складову  $\sigma_j$ :

$$(\Delta h_i)_{j_{вил.}} = (\Delta h_i)_j - \sigma_j \frac{D_i}{N_j}, \quad (1)$$

де  $(\Delta h_i)_{j_{вил.}}$  – масив вертикальних рухів конкретного репера за певний місяць року з вилученою систематичною складовою їх переміщень за місяць  $j$ ;  $(\Delta h_i)_j$  – масив вертикальних рухів конкретного репера за певний місяць року  $j$  ( $i = 40 \div 50$ ,  $j = 1, \dots, 12$ );  $D_i$  – порядковий день місяця року  $j$  певного циклу повторного нівелювання;  $N_j$  – кількість днів календарного місяця  $j$ .

Потім знайдемо стандартне відхилення  $\eta_j$  для кожного з отриманих вище масивів  $(\Delta h_i)_{j_{вил.}}$ :

$$\eta_j = \pm \sqrt{\frac{\left( (\Delta h_i)_{j_{вил.}} - (\overline{\Delta h_i})_{j_{вил.}} \right)^2}{n-1}}, \quad (2)$$

де  $(\overline{\Delta h_i})_{j_{вил.}}$  – середнє значення масиву  $(\Delta h_i)_{j_{вил.}}$ ;  $n$  – довжина масиву ( $n=40 \div 50$ ).

Отримане стандартне відхилення  $\eta_j$  характеризуватиме випадкову величину гідротермічних вертикальних рухів використаних нами нівелірних знаків.

У табл. 1 наведено систематичні  $\sigma_j$  та випадкові  $\eta_j$  складові вертикальних рухів поверхневих реперів, які розміщені в зоні сезонного промерзання ґрунту. В табл. 2 подано ті самі характеристики, але для шарів ґрунту, розміщених нижче від зони промерзання. Додатний знак  $\sigma_j$  відповідає підняттю нівелірних знаків, а від’ємний – їх опусканню.

Табл. 1 і 2 дають змогу встановити найсприятливіші періоди виконання високоточного нівелювання. Адже найменші значення  $\sigma_j$  і  $\eta_j$  відповідають мінімальному впливу вертикальних гідротермічних рухів на динаміку земної поверхні.

Таблиця 1

**Систематичні  $\sigma_j$  та випадкові  $\eta_j$  складові гідротермічних вертикальних рухів верхнього 1-метрового шару ґрунту, мм**

Місяць року	Репер 7 (0÷1 м)		Репер 5 (0÷1 м)		Репер 8 (0÷0,3 м)		Середнє для реперів 5, 7 і 8 (0÷1 м)	
	$\sigma_j$	$\eta_j$	$\sigma_j$	$\eta_j$	$\sigma_j$	$\eta_j$	$\sigma_j$	$\eta_j$
січень	2,33	2,53	4,40	3,11	6,49	6,67	4,41	4,10
лютий	0,73	2,81	2,49	4,21	4,86	7,29	2,69	4,77
березень	0,33	2,35	-0,09	2,82	-3,20	5,88	-0,99	3,68
квітень	-0,77	1,61	-0,55	0,64	-1,79	2,33	-1,04	1,53
травень	-2,47	1,72	-2,44	0,98	-2,15	1,87	-2,35	1,52
червень	-1,76	1,53	-1,52	0,78	-2,86	1,84	-2,05	1,38
липень	-0,83	1,72	-1,02	1,36	-2,71	2,61	-1,52	1,90
серпень	-1,74	1,84	-1,36	1,24	-1,85	2,62	-1,65	1,69
вересень	0,31	1,88	0,11	1,08	0,88	2,14	0,43	1,70
жовтень	0,49	2,20	0,36	1,36	-0,15	2,54	0,23	2,03
листопад	2,18	1,76	1,38	1,42	1,56	2,14	1,71	1,77
грудень	1,94	2,16	2,70	2,00	6,41	3,42	3,68	2,53

Визначимо величини та моменти часу, коли відбуваються найбільші зміни у вертикальному положенні досліджуваних реперів. Для цього отримаємо середньодобові швидкості вертикальних гідротермічних рухів на різних глибинах від поверхні землі  $v_i$  за даними повторних спостережень кожного з нівелірних знаків:

$$v_i = \frac{\Delta h_i}{\Delta T_i}, \quad (3)$$

де  $\Delta h_i$  – перевищення між вихідним репером А1 і досліджуваним, яке отримано із чергових циклів повторного нівелювання  $i+1$  та  $i$ ;  $\Delta T_i$  – кількість діб між циклами нівелювання  $i+1$  та  $i$ ;  $i$  – порядковий номер циклу повторного нівелювання ( $i=1, \dots, 563$ ).

Таблиця 2

**Систематичні  $\sigma_j$  та випадкові  $\eta_j$  складові гідротермічних вертикальних рухів шарів ґрунту на глибині 1,5–3,0 м, мм**

Місяць року	Репер А15 (1,5 м)		Репер А16 (2 м)		Репер А17 (3 м)		Середнє для реперів А15, А16 і А17 (1,5÷3,0 м)	
	$\sigma_j$	$\eta_j$	$\sigma_j$	$\eta_j$	$\sigma_j$	$\eta_j$	$\sigma_j$	$\eta_j$
січень	0	0,22	0,08	0,13	0,09	0,13	0,06	0,16
лютий	0,16	0,26	0,04	0,14	0,17	0,13	0,12	0,18
березень	0,24	0,24	0,05	0,14	-0,06	0,13	0,08	0,17
квітень	0,07	0,12	0,12	0,13	0,12	0,14	0,10	0,13
травень	-0,02	0,12	0,02	0,12	0	0,12	0	0,12
червень	-0,04	0,12	0,05	0,10	-0,06	0,12	-0,02	0,11
липень	-0,06	0,14	0,02	0,12	0,06	0,12	0,01	0,13
серпень	-0,03	0,20	-0,07	0,10	0,03	0,09	-0,02	0,13
вересень	-0,08	0,24	-0,09	0,10	-0,04	0,09	-0,07	0,14
жовтень	-0,13	0,19	-0,14	0,08	-0,15	0,09	-0,14	0,12
листопад	0	0,19	0,05	0,11	0,09	0,10	0,05	0,13
грудень	0,11	0,20	0	0,08	-0,03	0,10	0,03	0,13

На рис. 3 показано середньодобові швидкості вертикальних гідротермічних рухів на глибинах від 0,3 м до 3 м за 2001–2012 рр., які враховані за формулою (3) і згруповані за календарними місяцями року. Середньодобові швидкості наведено у мм за добу; час – у місяцях календарного року.

У верхньому 30-сантиметровому шарі ґрунту швидкості вертикальних гідротермічних рухів на полігоні у Полтаві не перевищують  $\pm 1,5$  мм за добу, а в 1-метровому –  $\pm 1$  мм. Найбільші швидкості властиві зимовому періоду і зумовлені процесами замерзання та розмерзання вологого ґрунту. Влітку найбільші швидкості вертикальних рухів викликають сильні опади, які збільшують вологість ґрунту, що призводить до різкого підняття земної поверхні [5].

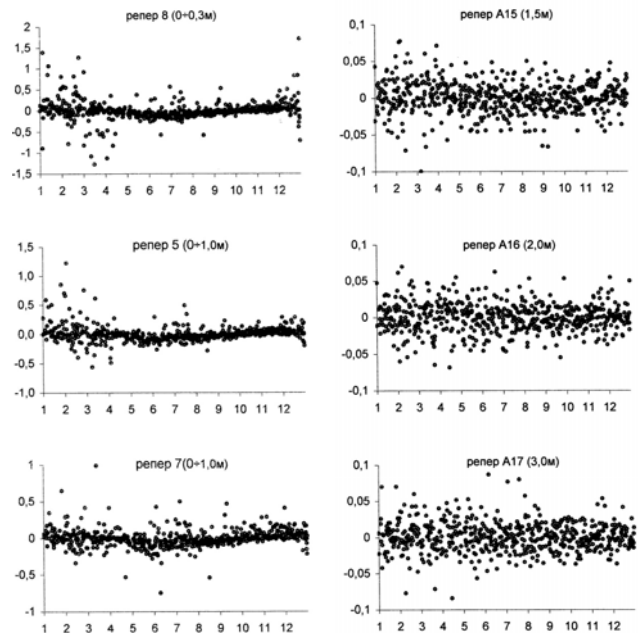


Рис. 3. Середньодобові швидкості гідротермічних вертикальних рухів на різних глибинах за даними спостережень на полігоні у Полтаві в 2001–2012 рр. залежно від місяців року, мм за добу

На глибинах 1,5–3 м від поверхні середньодобові швидкості не перевищують  $\pm 0,1$  мм. Рівномірніший характер розподілу отриманих швидкостей свідчить про відсутність різких змін у вертикальному положенні шарів ґрунту на цих глибинах. Також зазначаємо, що значення середньодобових змін у зміщенні реперів А15, А16 і А17 та їх помилки є величинами одного порядку. Адаже сезонні гідротермічні вертикальні рухи шарів ґрунту на глибинах 1,5–3 м у десятки разів менші, ніж верхнього однометрового шару (рис. 1). Для того, щоб помилки визначення швидкостей не перевищували їх величин, на коротких інтервалах часу ( $\Delta T_i = 1-2$  дні) середньодобові вертикальні зміни реперів А15, А16 і А17 не визначались і на рис. 3 не відображались.

### Висновки

Найменші гідротермічні вертикальні рухи верхнього однометрового шару ґрунту відбуваються у вересні–жовтні. Тому цей період є найсприятливішим для виконання високоточних спостережень за висотним положенням земної поверхні та розташованих на ній об'єктів чи споруд. Цей час є також оптимальним для здійснення повторних спостережень з метою вивчення повільних та довгоперіодичних вертикальних рухів. Найнесприятливішим періодом року є зимові місяці. В грудні–лютому систематична складова вертикальних гідротермічних рухів на порядок більша, ніж у вересні–жовтні, а випадкова – більш ніж удвічі.

Найменші СГВР на глибині 1,5–3 м відбуваються у травні–серпні. У цей період вони у 10–20 разів менші, ніж у верхньому 1-метровому шарі у вересні–жовтні.

Максимальна середньодобова швидкість вертикальних гідротермічних рухів у Полтаві змінюється в межах від  $\pm 1,5$  мм до  $\pm 0,1$  мм у діапазоні глибин відповідно від 0,3 м до 3 м.

Виявлені на ГМП у Полтаві закономірності СГВР можна поширити на ту частину території України, де переважають ґрунти з глинистими компонентами (це майже 90 % території України). Адаже клімат України, за винятком півдня Криму, помірно континентальний і характер сезонних змін гідротермічних чинників для різних регіонів схожий. Величини ж сезонних гідротермічних вертикальних рухів земної поверхні залежатимуть від механічного складу ґрунту та амплітуд річних коливань гідротермічних факторів у конкретному регіоні.

### Література

1. Павлик В.Г. Сезонні гідротермічні вертикальні рухи земної поверхні в умовах різних за гранулометричним складом ґрунтів / В.Г. Павлик // Геодинаміка. – 2010. – № 1(9). – С. 22–27.
2. Павлик В.Г. Вплив вологості ґрунту на сезонні вертикальні деформації земної поверхні / В.Г. Павлик, А.М. Кутний, В.В. Криптова, М.Ф. Тишук // Геодезія, картографія та аерофотознімання. – Львів. – 1996. – № 57. – С. 55–64.

3. Вередя В.С. О современных вертикальных движениях земной коры в Донецком бассейне / В.С. Вередя // Геофиз. б. – 1972. – Вып. 45. – С. 61–66.
4. Павлик В.Г. Дослідження сезонних гідротермічних деформацій земної поверхні на різних глибинах / В.Г. Павлик // Геодезія, картографія та аерофотознімання. – Львів, 1999. – № 59. – С. 19–23.
5. Павлик В.Г. Вплив атмосферних опадів на вертикальні рухи земної поверхні / В.Г. Павлик // Геодинаміка. – 2011. – № 1(10). – С. 31–37.
6. Павлик В.Г. Результаты дослідження власних повільних вертикальних рухів реперів на геодинамічних мікрополігонах Полтавської гравіметричної обсерваторії / В.Г. Павлик // Сучасні досягнення геодезичної науки і виробництва. – 2012. – Вип. 1(23). – С. 60–65.
7. Павлык В.Г. Геодинамический микрополигон вблизи Полтавы. Первые результаты исследований / В.Г. Павлык, А.М. Кутный, В.Г. Булацен // Вращение и приливные деформации Земли. – К.: Наук. думка, 1992. – С. 61–66.

### Особенности влияния сезонных гидротермических деформаций на вертикальную складову динаміки земної поверхні на полігоні в Полтаві

В. Павлик

На основі тривалих спостережень на геодинамічному мікрополігоні у Полтаві встановлено періоди року з мінімальним впливом гідротермічних чинників на вертикальну складову динаміки земної поверхні. Визначено середньодобові швидкості гідротермічних вертикальних рухів на різних глибинах.

### Особенности влияния гидротермических деформаций на вертикальную составляющую динамики земной поверхности на полигоне в Полтаве

В. Павлык

На основании длительных наблюдений на геодинамическом микрополигоне в Полтаве установлены периоды года с минимальным влиянием гидротермических факторов на вертикальную составляющую динамику земной поверхности. Определены среднесуточные скорости гидротермических вертикальных движений на разных глубинах.

### Features of influence of seasonal hydrothermal deformations on vertical component of dynamics of earth's surface in the polygon in Poltava

V. Pavlyk

On the basis of long observation on the geodynamic micropolygon in Poltava the periods of year with the minimum influence of hydrothermal factors on a vertical component of dynamics of earth's surface are determined. Daily average velocities of hydrothermal vertical movements on various depths are defined.