

## СЕЗОННІ ГІДРОТЕРМІЧНІ ВЕРТИКАЛЬНІ РУХИ ЗЕМНОЇ ПОВЕРХНІ В УМОВАХ РІЗНИХ ЗА ГРАНУЛОМЕТРИЧНИМ СКЛАДОМ ҐРУНТІВ

Наведено величини сезонних гідротермічних вертикальних рухів земної поверхні на різних глибинах для середньосуглинистих та піщаних ґрунтів. Досліджено основні гідрометеорологічні чинники, що спричиняють періодичні вертикальні переміщення земної поверхні.

**Ключові слова:** сезонні гідротермічні вертикальні рухи земної поверхні, гранулометричний склад ґрунту, вологість ґрунту, температура ґрунту.

### Вступ

Варіації гідротермічних факторів спричиняють складні коливання верхнього шару земної поверхні, які відображаються на результатах високоточних спостережень. Основні зусилля дослідників, які вивчають динаміку земної поверхні, спрямовані, переважно, на мінімізацію впливу приповерхових рухів. Тому основи геодезичних знаків та постаменти для встановлення геофізичних приладів, які є засобами геодинамічних досліджень, завжди закладають нижче від поверхні землі. Без сумніву, такий підхід дозволяє уникнути впливу значної частини гідротермічних збурень, притаманних земній поверхні. Але, з іншого боку, він не сприяє вивченню динаміки приповерхневих шарів порід та ґрунтів, що не дає змоги оцінити фон поверхневих ефектів на різних глибинах та їхній вплив на результати геодинамічних досліджень.

### Аналіз попередніх досліджень

Відомо, що ґрунти, до складу яких входять глинисті компоненти, змінюють свій об'єм внаслідок варіації вологості [Цитович, 1973]. Зміни об'єму ґрунту зумовлюють деформації земної поверхні, які впливають на результати спостережень за вертикальними та горизонтальними рухами і нахилами цієї поверхні. У роботі [Павлик, 1999] за даними дворічних спостережень в умовах поширення середньосуглинистих ґрунтів отримано величини сезонних гідротермічних вертикальних рухів земної поверхні (СГВРЗП) на різних глибинах та оцінено вплив варіацій запасів вологи і температури ґрунту на їхню генерацію. Можливість прогнозування СГВРЗП для середньосуглинистих ґрунтів за даними про атмосферні опади та особливостей сезонної евапотранспірації розглянуто у праці [Павлик, 2008].

### Постановка завдання

Метою роботи є встановлення експериментально величин СГВРЗП на різних глибинах від поверхні землі на геодинамічних мікрополігонах (ГМП), які відрізняються між собою гранулометричним складом ґрунту, а також дослідження причин, що їх зумовлюють.

### Особливості ГМП та методики спостережень

Дослідження динаміки найрухливішого верхнього шару порід та ґрунтів виконували на трьох

ГМП, де регулярно і тривалий час здійснюються спостереження за вертикальними рухами земної поверхні геодезичним (повторне геометричне нівелювання) та геофізичним (вертикальні екстензометри) методами. Паралельно виконується реєстрація основних гідрометеорологічних параметрів (температура та вологість ґрунту, атмосферні опади, рівень ґрунтових вод, глибина промерзання ґрунту). ГМП "Полтава" розташований у м. Полтаві на території Полтавської гравіметричної обсерваторії ІГФ НАН України (ІГО). На відстані 15 км у напрямку на південний захід від м. Полтави на території геофізичної станції ІГО в с. Судіївка розташовано ГМП "Судіївка". Третій полігон (ГМП "Степанівка") розташований в долині р. Коломак, на відстані 20 км на схід від ГМП "Полтава", на краю антенного поля радіотелескопу "УРАН-2" в с. Степанівка.

Для досягнення максимальної точності визначення перевишень між вихідним репером та досліджуваними, які закладені на різні глибини від поверхні землі, геодезичні спостереження здійснювались лише з однієї станції нівелювання. Для цього усі реperi на кожному з ГМП розташовані по колу, у центрі якого обладнано стаціонарну станцію нівелювання.

Поверхневі реperi – це бетонні циліндри завдовжки від 0,3 м до 1,25 м з нівелірною маркою посередині. Ці знаки фактично реєструють інтегральні значення вертикальних рухів верхнього шару ґрунту, товщина якого відповідає довжині конкретного репера. Реperi глибиною 1,5 м і нижче – свердловинного типу з обсадними трубами. Конструкція цих знаків виключає вплив на них деформацій, розташованих вище від їх основи шарів ґрунту і дозволяє фіксувати рухи ґрунту винятково на глибині їх закладки. Детальний опис ГМП у Полтаві та Судіївці, засобів та методів спостережень наведено у роботах [Павлик і др., 1992; Павлик та ін., 1996; Кутный і др., 1992].

### Гранулометричний склад ґрунту на ГМП

Гранулометричний склад ґрунтів на всіх трьох ГМП визначався через кожні 0,1 м від поверхні до глибини 1,0 м методами, які вказані у відповідних державних стандартах [ДСТУ..., 1996; ГОСТ..., 1979а; ГОСТ..., 1979б; ГОСТ..., 1986]. За результатами досліджень ґрунту на ГМП у Полтаві та Судіївці зараховано до середньосуглинистих.

У табл. 1 і 2 наведено відсотковий вміст фракцій різного розміру у ґрунтах на ГМП у Полтаві та Судіївці. Розмір піщаних фракцій – більше 0,05 мм, пилюватих – 0,05–0,005 мм, глинистих – менше 0,005 мм.

Таблиця 1  
Гранулометричний склад ґрунту на ГМП “Полтава”

Глибина м	Вміст фракцій у %			Вміст органіки %
	піщані	пилюваті	глинисті	
0-0,1	42,0	34,4	10,2	13,4
0,1-0,2	48,5	31,5	9,1	10,9
0,2-0,3	51,0	31,4	9,1	8,5
0,3-0,4	33,8	50,6	9,1	6,5
0,4-0,5	30,0	47,4	17,0	5,6
0,5-0,6	40,0	42,6	11,3	6,1
0,6-0,7	35,2	48,4	11,3	5,1
0,7-0,8	40,0	43,8	11,4	4,8
0,8-0,9	30,6	52,2	12,4	4,8
0,9-1,0	22,0	63,7	10,1	4,2
<b>Середнє</b>	<b>37,3</b>	<b>44,6</b>	<b>11,1</b>	<b>7,0</b>

Таблиця 2  
Гранулометричний склад ґрунту на ГМП “Судіївка”

Глибина м	Вміст фракцій у %			Вміст органіки %
	піщані	пилюваті	глинисті	
0-0,1	43,0	39,5	14,0	3,5
0,1-0,2	50,0	29,0	14,0	7,0
0,2-0,3	39,0	41,2	9,1	10,7
0,3-0,4	39,0	46,3	9,1	5,6
0,4-0,5	28,0	55,7	11,0	5,3
0,5-0,6	32,0	49,3	12,0	6,7
0,6-0,7	29,0	51,7	15,0	4,3
0,7-0,8	35,0	48,3	11,5	5,2
0,8-0,9	37,0	39,3	18,0	5,7
0,9-1,0	42,0	35,2	20,5	2,3
<b>Середнє</b>	<b>37,4</b>	<b>43,6</b>	<b>13,4</b>	<b>5,6</b>

З табл. 1 і 2 видно, що гранулометричний склад ґрунтів у верхньому 1-метровому шарі ґрунту на обох полігонах дуже подібний. Варто відзначити, що на ГМП “Судіївка”, починаючи з глибини 0,8 м, вміст глинистих фракцій істотно зростає порівняно з Полтавою. Цілком можливо, що ця тенденція зберігається і на більшій глибині від поверхні землі.

На ГМП у Степанівці ґрунт піщаний (пісок середньої крупності) і однорідний в усій досліджуваній товщі, про що свідчать дані табл. 3. Під час закладання реперів на ГМП “Степанівка” встановлено, що піщані ґрунти на полігоні простягаються до глибини не менше ніж 3,5 м.

Таблиця 3  
Гранулометричний склад ґрунту на ГМП “Степанівка”

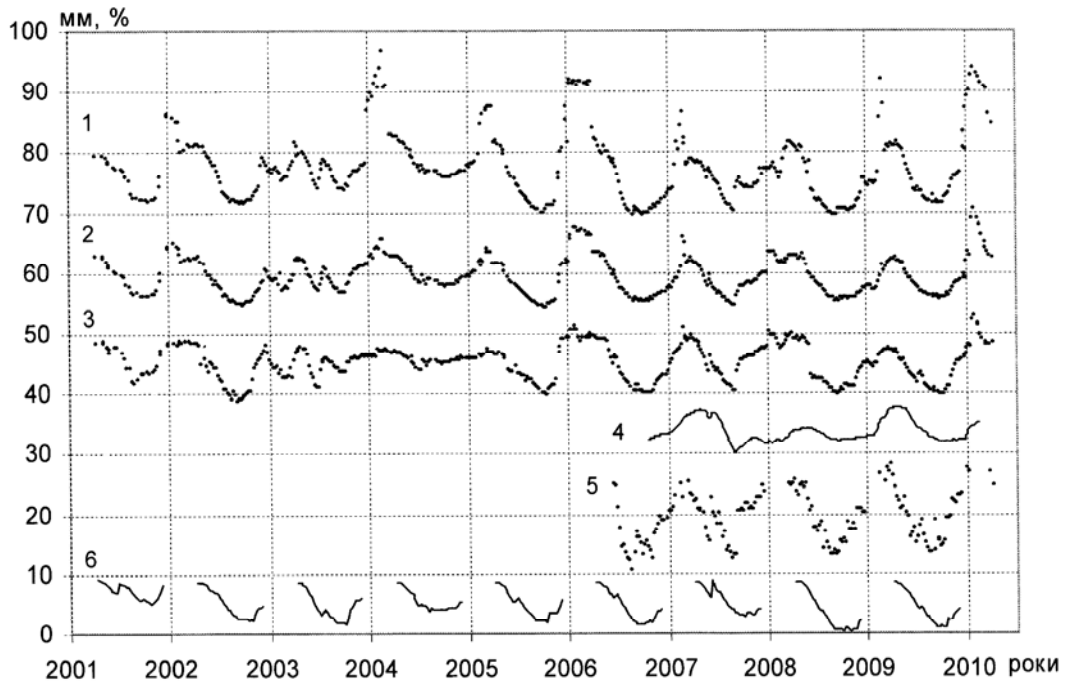
Глибина м	Вміст фракцій у %			
	більше 0,5мм	0,5-0,25мм	0,25-0,1мм	менше 0,01мм
0-0,1	7,6	62,3	24,9	5,2
0,1-0,2	10,6	63,0	20,8	5,6
0,2-0,3	9,7	64,0	20,0	6,3
0,3-0,4	7,2	65,0	22,8	5,0
0,4-0,5	6,5	62,1	24,9	6,5
0,5-0,6	7,2	60,3	25,2	7,3
0,6-0,7	7,6	63,0	23,0	6,4
0,7-0,8	5,3	62,1	28,7	3,9
0,8-0,9	4,2	67,0	26,4	2,4
0,9-1,0	5,8	64,6	26,0	3,6
<b>Середнє</b>	<b>7,1</b>	<b>63,4</b>	<b>24,3</b>	<b>5,2</b>

**СГВРЗП на полігонах**

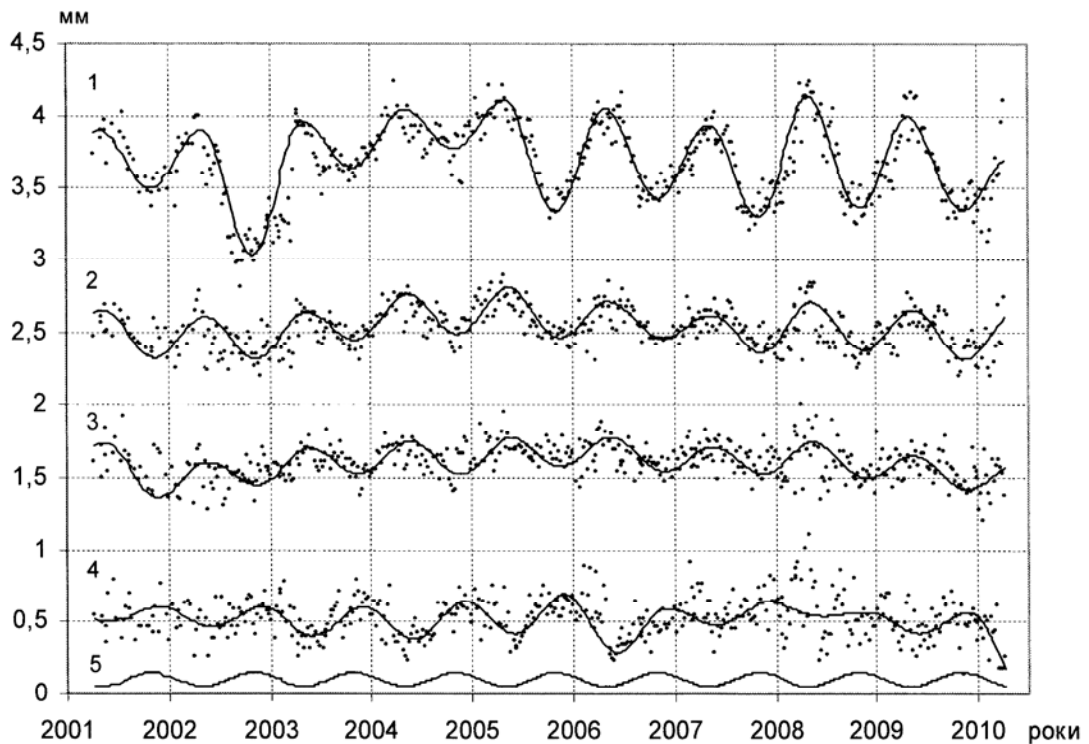
**СГВРЗП на ГМП “Полтава”.** Спостереження за СГВРЗП здійснюються з тижневою періодичністю, починаючи з весни 2001 р. На рис. 1 показано сезонний хід вертикальних рухів приповерхневих шарів ґрунтів у Полтаві за 2001–2010 рр. на глибинах 0÷0,3 м, 0÷1,0 м за результатами повторного екстензометричних спостережень у 2006–2010 рр.

На цьому самому рисунку показано середні значення вологи верхнього 1-метрового шару ґрунту (за винятком зимових місяців), який визначався термостатно-ваговим методом, а також прогнозовані СГВРЗП на глибині 0÷1,0 м за методикою, викладеною у роботі [Павлик, 2008]. Потрібно зазначити, що на початку зими 2003–2004 рр. бетонний моноліт одного з досліджуваних поверхневих реперів (репер 8) був розірваний на глибині 0,3 м від поверхні підйимальною силою навколишнього замерзаючого ґрунту (крива 1 на рис. 1). Тому вважаємо, що до кінця 2003 р. глибина цього репера становила 1,0 м, а з початку 2004 р. – 0,3 м.

На рис. 2 подано СГВРЗП за цей самий період на глибинах відповідно 1,5 м, 2,0 м, 3,0 м і 5,0 м, а також сезонний хід вертикальних рухів винятково температурного походження на глибині 5,0 м відносно вихідного репера. Вертикальні рухи, зумовлені сезонними температурними варіаціями ґрунту, розраховані за формулами, які отримав В.В. Попов під час розв’язання квазістаціонарної двовимірної термопружної задачі для однорідного напівпростору у разі нерівномірного нагрівання земної поверхні [Попов, 1960]. При цьому ми обмежились лише тепловим членом формули і задали довжину температурної хвилі, яка відповідає її сезонному ходу на поверхні Землі. Теплофізичні характеристики ґрунту прийнято такими, які наведені у вказаній роботі, за винятком коефіцієнта лінійного температурного розширення ґрунту, який взято априорі  $\alpha = 2 \cdot 10^{-5} T^{-1}$ .



**Рис.1.** СГВРЗП та вологість ґрунту на ГМП “Полтава”: 1 – на глибині 0÷0,3 м від денної поверхні (2004–2010 рр.); на глибині 0÷1,0 м (2001–2003 рр.); 2, 3 – на глибині 0÷1,0 м за даними різних реперів; 4 – на глибині 0,4÷0,5 м за даними вертикального екстензометра; 5 – вологість ґрунту верхнього 1-метрового шару ґрунту у відсотках; 6 – прогнозовані СГВРЗП верхнього 1-метрового шару ґрунту за методикою [Павлик, 2008]



**Рис.2.** СГВРЗП на ГМП “Полтава”: 1 – на глибині 1,5 м; 2 – на глибині 2,0 м; 3 – на глибині 3,0 м; 4 – на глибині 5,0 м; 5 – сезонні вертикальні рухи температурного походження на глибині 5,0 м. (на графіках 1–4 крапками показано виміряні значення СГВРЗП, суцільною лінією – апроксимація синусоїдою з річним періодом)

Усі наведені на рис.1 і 2 СГВРЗП визначались відносно репера глибиною 6.0 м, який відзначається високою стабільністю в часі. Його зміщення відносно найглибшого репера полігону глибиною 20.0 м не перевищують помилок нівелювання. У разі наявності лінійного тренду в СГВРЗП він вилучався з графіків, наведених на рисунках.

Рис. 1 і 2 вказують на чіткий сезонний характер вертикальних рухів у всьому діапазоні глибин. Лише на глибині 5.0 м від поверхні землі СГВРЗП відсутня кореляція з варіаціями вологи ґрунту. Періоди максимального підняття та опускання земної поверхні у верхньому 1-метровому шарі припадають на березень-квітень та вересень-жовтень відповідно. У зимовий період, особливо на глибині 0÷0.3 м, часто відбуваються аномально різкі підняття та опускання поверхні землі, які зумовлені процесами промерзання та розмерзання ґрунту. На глибинах 1.5 м, 2.0 м і 3.0 м моменти екстремумів СГВРЗП зміщені порівняно з верхнім шаром на 1–1.5 місяця. На глибині 5 м зафіксовано зміну фази сезонної хвилі вертикальних рухів на протилежну, яка є близькою до теоретично розрахованих температурних вертикальних коливань ґрунту на даній глибині.

Зауважимо, що сезонні зміни температури ґрунту викликають крім безпосередніх вертикальних рухів термічного походження і фіктивні, які зумовлені періодичними лінійними температурними розширеннями реперів. Вплив цих двох факторів температурного походження на СГВРЗП відповідно розрахунків є приблизно однаковий за величиною, але протилежний за фазою. Але, як видно з експериментальних даних, компенсації цих двох чинників термічного походження на результати спостережень СГВРЗП, принаймні на глибинах 4–5 м не відбувається. Вертикальні рухи земної поверхні, спричинені сезонними температурними деформаціями ґрунту, переважають періодичні лінійні температурні деформації тіла реперів.

СГВРЗП на ГМП “Судіївка”. Регулярне повторне нівелювання на ГМП в Судіївці виконується з 2002 р. з періодичністю 6–8 разів на рік. Вихідним репером використано стійкий репер глибиною 10,0 м. Характер сезонного ходу вертикальних переміщень земної поверхні дуже подібний до СГВРЗП у Полтаві. Результати спостережень за допомогою вертикального екстензометра повністю відповідають геодезичним даним. У табл. 4 наведено середні значення величин СГВРЗП на різних глибинах у Судіївці порівняно з Полтавою. З цих даних видно, що величини СГВРЗП на ГМП “Судіївка” є систематично більшими, ніж у Полтаві. Якщо на глибинах 0,3 м і 1,0 м від поверхні землі вертикальні рухи на обох полігонах мало відрізняються між собою, то на глибинах 1,5–3,0 м – у 2–4 рази. Вміст у ґрунті глинистих фракцій, які у разі зміни вологості зумовлюють об’ємні деформації ґрунту і, як

наслідок, його вертикальні переміщення, на ГМП у Судіївці є трохи більший, ніж у Полтаві (табл. 1 і 2).

Таблиця 4

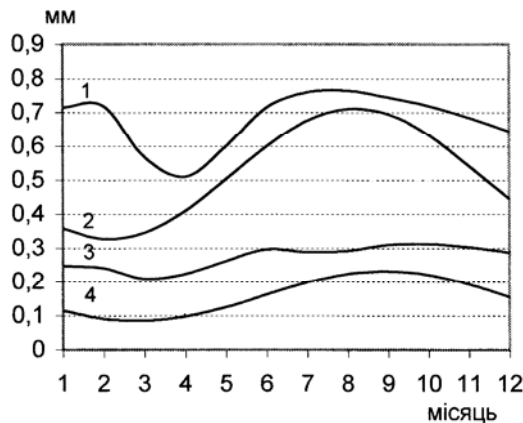
Середні значення величини СГВРЗП на різних глибинах на ГМП у Полтаві та Судіївці за 2002–2009рр.

Глибина м	Середні величини СГВРЗП в мм	
	Полтава	Судіївка
0÷0,3	11,1	12,9
0÷1,0	6,3	8,9
1,5	0,7	2,9
2,0	0,3	1,2
2,5	-	0,9
3,0	0,2	0,4
4,0	-	0,2
5,0	0,2	0,3

Гранулометричний склад ґрунту на ГМП визначався лише до глибини 1,0 м. Але у Судіївці чітко проявляється тенденція до різкого збільшення глинистих часток з глибиною. Якщо в шарі ґрунту 0,7÷0,8 м вміст глинистих фракцій на обох полігонах практично однаковий, то в шарі 0,8÷0,9 м відсоток найдрібніших частинок на ГМП “Судіївка” в 1,4 раза більший, ніж у Полтаві, а на глибині 0,9÷1,0 м – уже в 2 рази. Цілком можливо, що ця закономірність існує і нижче 1 м від поверхні, що й пояснює відмінності величин СГВРЗП на обох полігонах. На глибинах 4 м і 5 м СГВРЗП у Судіївці, як і на ГМП “Полтава”, корелюють з вертикальними рухами, зумовленими періодичними сезонними температурними деформаціями ґрунтів.

СГВРЗП на ГМП “Степанівка”. Повторне нівелювання на ГМП “Степанівка” виконується з 2004 р. з періодичністю 6–8 разів на рік. У зв’язку з незначною поки що кількістю спостережень та малою величиною СГВРЗП на полігоні усі нівелірні знаки поділені на дві групи. До першої групи увійшло чотири репери з глибинами від 0÷0,5 м до 0÷1,25 м (середня глибина 0÷0,9 м), до другої – три репери з глибинами відповідно 1,5 м, 2,0 м і 2,6 м (середня глибина 2,0 м). Вихідним нівелірним знаком, відносно якого визначились сезонні рухи, є найглибший репер полігону глибиною 3,5 м. На рис. 3 показано середні сезонні рухи за весь період спостережень на глибинах 0÷0,9 м та 2,0 м, а також розраховані вказаним вище способом річні вертикальні коливання температурного походження з прийнятим априорі коефіцієнтом лінійного температурного розширення ґрунту  $\alpha = 1 \cdot 10^{-5} T^{-1}$ . Середні величини СГВРЗП на ГМП “Степанівка” становлять лише 0,3 мм у верхньому 0÷0,9 м шарі і 0,1 мм на глибині 2,0 м.

Характер вертикальних варіацій земної поверхні також істотно відрізняється порівняно з полігонами у Полтаві та Судіївці. Максимальне підняття у Степанівці відбувається восени, а опускання – весною. Також відсутня кореляція сезонних рухів з варіаціями вологи ґрунту.



**Рис. 3.** Середні за період 2004–2009 рр. СГВРЗП на ГМП у Степанівці: 1 – на середній глибині  $0\pm 0,9$  м; 2 – температурного походження, розраховані для глибини  $0\pm 0,9$  м; 3 – на середній глибині 2,0 м; 4 – температурного походження, розраховані для глибини 2,0 м

Натомість, хід вертикальних переміщень на полігоні дуже подібний до можливих рухів, які зумовлені сезонними температурними деформаціями ґрунту. Причиною цього, на нашу думку, є особливості гранулометричного складу ґрунту на полігоні. Адже, ґрунти у Степанівці піщані; вміст глинистих фракцій, які здатні змінювати свій об'єм при змінах вологості вологи, мізерний. Деякі розбіжності між зафіксованими за даними спостережень вертикальними рухами у зимовий період на глибині  $0\pm 0,9$  м, та рухами термічної природи, розрахованими теоретично, можна пояснити процесами замерзання та розмерзання верхнього шару вологого ґрунту.

#### Висновки

У середньосуглинистих за гранулометричним складом ґрунтах сезонні гідротермічні вертикальні рухи денної поверхні перевищують 10 мм. З глибиною величина СГВРЗП різко зменшується за експоненціальним законом до величини десятих часток міліметра на глибині 3 м від поверхні. До цієї глибини періодичні варіації вологості ґрунту є основним чинником, що зумов-

лює сезонні вертикальні переміщення земної поверхні. На глибині 4–5 м від поверхні СГВРЗП становлять кілька десятих часток міліметра і зумовлені винятково періодичними температурними деформаціями ґрунту.

У піщаних ґрунтах СГВРЗП не перевищують десятих часток міліметра і зумовлені винятково деформаціями ґрунтів внаслідок сезонних коливань температури.

#### Література

- ГОСТ 12536-79. Ґрунти. Методи лабораторного определения гранулометрического (зернового) и микроагрегатного состава / <http://www.info-build>.
- ГОСТ 237410-79. Ґрунти. Методи лабораторного определения содержания органических веществ / <http://www.info-build>.
- ГОСТ 5180-84. Ґрунти. Методи лабораторного определения физических характеристик / <http://www.info-build>.
- ДСТУ Б В.2.4-2-96. Ґрунти. Класифікація / <http://www.info-build>.
- Кутный А.М., Булацен В.Г., Бродский Б.И., Состин А.А. Скважинный экстензометр Полтавской гравиметрической обсерватории. // Вращение и приливные деформации Земли. – К.: Наук. думка. – 1992. – С. 104–109.
- Павлик В.Г. Дослідження сезонних гідротермічних деформацій земної поверхні на різних глибинах. // Геодезія, картографія та аерофотознімання. – Львів. – 1999. – №59. – С. 19–23.
- Павлик В.Г. Результати прогнозування сезонних гідротермічних вертикальних рухів земної поверхні в Полтаві // Сучасні досягнення геодезичної науки та виробництва. – 36. наук. праць Західного Геодез. т-ва. – Львів. – 2008. – №16. – С. 75–81.
- Павлик В.Г., Кутный А.М., Криптова В.В., Тищук М.Ф. Вплив вологості ґрунту на сезонні вертикальні деформації земної поверхні // Геодезія, картографія та аерофотознімання. – Львів. – 1996. – №57. – С. 55–64.
- Павлык В.Г., Кутный А.М., Булацен В.Г. Геодинамический микрополигон вблизи Полтавы. Первые результаты исследований // Вращ. и прил. деформ. Земли. – К.: Наук. думка. – 1992. – С. 61–66.
- Попов В.В. О температурных деформациях земной поверхности // Изв. АН СССР. Серия геофиз. – М.: Изд-во АН СССР. – 1960. – №7. – С. 914–927.
- Цытович Н.А. Механика ґрунтов. – М.: Высш. шк., 1973. – 280 с.

**СЕЗОННЫЕ ГИДРОТЕРМИЧЕСКИЕ ВЕРТИКАЛЬНЫЕ ДВИЖЕНИЯ  
ЗЕМНОЙ ПОВЕРХНОСТИ В УСЛОВИЯХ РАЗЛИЧНЫХ  
ПО ГРАНУЛОМЕТРИЧЕСКОМУ СОСТАВУ ПОЧВ**

**В.Г. Павлык**

Приведены величины сезонных гидротермических вертикальных движений земной поверхности на разных глубинах для среднесуглинистых и песчаных почв. Исследованы основные гидрометеорологические факторы, вызывающие периодические вертикальные перемещения земной поверхности.

**Ключевые слова:** сезонные гидротермические вертикальные движения земной поверхности; гранулометрический состав почвы; влажность почвы; температура почвы.

**SEASONAL HYDROTHERMAL VERTICAL MOVEMENTS OF EARTH'S SURFACE  
IN CONDITIONS OF DIFFERENT BY GRANULOMETRIC STRUCTURE SOIL**

**V.G. Pavlyk**

Values of seasonal hydrothermal vertical movements of earth's surface on different depths for mean loamy soil and sand are given. The main hydrometeorological factors causing periodic vertical movements of earth's surface are investigated.

**Key words:** seasonal hydrothermal vertical movements of earth's surface; granulometric structure of soil; moisture of soil; temperature of soil.

---

*Полтавська гравіметрична обсерваторія ІГФ НАН України, м. Полтава*

Надійшла 4.11.2010