

**ВПЛИВ ВОЛОГОСТІ ҐРУНТУ НА СЕЗОННІ  
ВЕРТИКАЛЬНІ ДЕФОРМАЦІЇ ЗЕМНОЇ ПОВЕРХНІ**

Основними чинниками екзогенного походження, що спричиняють вертикальні рухи земної поверхні, є припливні деформації, атмосферні навантаження та гідротермічні впливи. Так, притягання Місяця та Сонця деформує рівневу поверхню Землі на величину до 51 см [7]. Але завдяки тому, що це явище має глобальний характер, його вплив на результати нівелювання не перебільшує 0.4 мм/км [8]. Сезонні варіації в атмосферному тиску можуть досягати 10 мбар і викликати вертикальні деформації земної поверхні величиною 5 мм. Під час проходження циклонів зміни атмосферного тиску інколи становлять 60 мбар, що призводить до опускання земної поверхні в центрі циклону на 25 мм [18]. Незважаючи на те, що опускання земної поверхні під дією атмосферних навантажень відбуваються одночасно на значних територіях, деяким авторам вдалось виявити їх вплив на результати прецизійного нівелювання, одержавши кореляцію між різницями прямих і обернених ходів з одного боку та змінами в атмосферному тиску вдовж ліній нівелювання з іншого [5, 20].

Гідротермічні рухи, під якими розуміють вертикальні переміщення верхнього шару ґрунту внаслідок змін його температури та вологості, мають чітко виражену річну періодичність [11]. Одні автори вважають, що основною причиною гідротермічних рухів є сезонні зміни температури ґрунту [2,9], інші пояснюють це явище сезонними змінами його вологості [3,21]. У лісових зонах виявлено залежність величини річного руху реперів від фізико-механічних властивостей ґрунтів та обезводнюючої дії на них кореневої системи дерев [14]. В умовах неглибокого залягання водоносного шару основною причиною зміни висот реперів можуть бути коливання рівня ґрунтових вод [22]. Незважаючи на широкий спектр причин гідротермічних вертикальних рухів земної поверхні, характер їх сезонних варіацій є практично незмінним. Влітку відбувається інтенсивне опускання верхнього шару землі, а взимку - підняття. Переважно, максимум у піднятті спостерігається весною, а в опусканні - восени. Діапазон амплітуд річних коливань реперів глибиною 0,8...2,5 м, які розташовані в кліматичних умовах України або їм подібних дуже різноманітний: від десятих часток мм до кількох десятків сантиметра (торфові ґрунти) [2, 12, 14, 19, 22]. З глибиною амплітуди сезонних вертикальних варіацій землі згасають.

З метою дослідження особливостей гідротермічних вертикальних рухів земної поверхні створено два комплексних геодинамічних мікрополігони: один на геофізичній станції "Судіївка", другий на території Полтавської гравіметричної обсерваторії. Відстань між полігонами 15 км. Полігон в Судіївці є невеликою за площею рівнинною ділянкою місцевості, на якій закладено групу реперів глибиною від 0,3 до 14 м [10]. Поверхневі репери глибиною до 1 м - це свердловини, заповнені бетоном. Глибші репери - трубчасті. Одна труба в них обсадна, жорстко скріплена зі стінками свердловини, а центральна - з її дном. На території станції знаходяться два нахиломірні шурфи глибинами 3 і 12 м, а також три свердловинні кварцові вертикальні деформографи з базою 4,5 м. Територія полігона покрита низькотравною рослинністю, ґрунт - темно-сірий суглинок. На геодинамічному мікрополігоні в Полтаві закладено поверхневі та глибинні репери, які розташовані у формі розімкненого нівелірного ходу завдовжки 0,5 км. Максимальний перепад висот на полігоні досягає 18 м. Крім цього, на полігоні розміщено нахиломірний шурф глибиною 7 м і три вертикальні деформографи [4]. Вільша частина нівелірного ходу

прокладена по рідкому фруктовому саду. Рослинність та ґрунти такі ж, як на полігоні в Судіївці. Метеорологічні дані, використані в цій статті, відносяться до метеомайданчика Полтавського гідрометбюро, який розміщений на відстані 0,5 км від геодинамічного полігона в Полтаві.

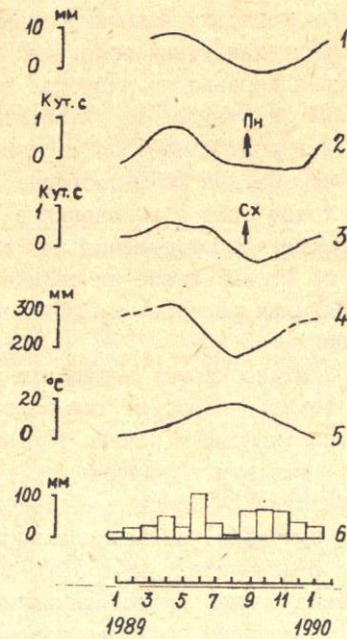


Рис.1. Сезонні варіації геодинамічних та метеорологічних параметрів на мікрополігоні в Судіївці:

- 1 - вертикальні рухи земної поверхні; 2 - нахили земної поверхні в напрямку Пн-Пд; 3 - нахили земної поверхні в напрямку Сх-Зх; 4 - запаси води в однометровому шарі ґрунту; 5 - температура ґрунту на глибині 1 м; 6 - кількість опадів.

У 1989 р. на полігоні в Судіївці розпочато регулярні спостереження за сезонними вертикальними рухами земної поверхні. З березня 1989 р. по січень 1990 р. проведено сім циклів повторних нівелювань. У цей же період у шурфі глибиною 12 м проводили нахиломірні спостереження. На рис.1 показані середні сезонні вертикальні рухи земної поверхні, одержані з нівелювання поверхневих реперів глибиною 0,8...1,0 м. На ньому також показані

річні варіації середньомісячних значень нахилів земної поверхні в напрямках Пн-Пд і Сх-Зх та метеорологічних параметрів. Наведений річний хід температури ґрунту відповідає глибині 1 м від поверхні землі. Графік вологості представляє зміни запасів води в міліметрах у верхньому шарі ґрунту завтовшки 1 м. Пунктирними лініями на графіку вологості показано її інтерпольовані значення, оскільки визначення вологості проводили лише в період вегетації рослин з березня по листопад включно. В 1991-1993 рр. на мікрополігоні в Полтаві також здійснювали повторні нівелювання реперів, які розташовані на місцевості з максимальним нахилом поверхні  $4^{\circ}$ . За два роки проведено 58 циклів спостережень з середньою частотою одне нівелювання в 12 днів. Одночасно проводили і нахиломірні спостереження на глибині 7 м. На рис.2 показані середні за місяць значення сезонних варіацій вертикальних рухів поверхневих реперів, нахилів земної поверхні та метеорологічних даних.

На рис.1, 2 видно хорошу кореляцію між вертикальними рухами, нахилами земної поверхні та вологістю ґрунту. У березні-квітні настає максимум річних варіацій цих величин, а у вересні-жовтні - мінімум. Сезонний хід температури ґрунту випереджає хід перелічених величин, що особливо помітно весною, і знаходиться в протифазі до вертикальних деформацій земної поверхні. Цікаво відзначити, що в 1970-1971 рр. на геофізичній станції "Судіївка" вже проводили нахиломірні спостереження і хід нахилу тоді був таким самим за напрямком, величиною та фазою, як і тепер [6].

Геодезичні спостереження на обох полігонах у періоди часу, крім зазначених вище, проводили епізодично, переважно в квітні та жовтні, що дало змогу визначити величини сезонних вертикальних варіацій земної поверхні в різні роки. Як видно з табл.1 значення річних змін у висоті поверхневих реперів з року в рік не залишаються постійними, а змінюються в широких межах. Дані табл.1 показують переважачу роль варіацій вологості ґрунту у виникненні сезонних змін у положенні земної поверхні на полігонах у Судіївці та Полтаві, оскільки виявляється дуже чітка залежність між значеннями вертикальних рухів та запасами води в ґрунті. Про це свідчить стабільність для різних років спостережень коефіцієнтів відношення цих величин. Чіткої кореляції між значеннями річних змін у положенні поверхневих реперів з одного боку та величинами сезонних змін температури з іншого не спос-

терігається. Коефіцієнт впливу вологості ґрунту на вертикальні деформації земної поверхні в Полтаві в два рази вищий, ніж у Судіївці, тобто в Полтаві вертикальні рухи реперів більші, ніж у Судіївці. Причина розходження величин періодичних деформацій верхнього шару поверхні землі на близько розміщених полігонах буде розглянута нижче.

Таблиця 1

Величини сезонних варіацій вертикальних рухів поверхневих реперів, запасів води та температуру ґрунту на геодинамічних мікрополігонах у Полтаві та Судіївці

Дати визначення	Геодезичні спостереження		Метеорологічні спостереження		Коефіцієнт відношен- ня сезонних вертика- льних рухів до	
	Кіль- кість репе- рів	Величини сезонних рухів, мм	Різниця запасів вологи, мм	Різниця темпер. ґрунту, °С	різниця запасів вологи	різниця температур ґрунту
ПОЛТАВА						
04.90-10.91	21	10,65	104	- 6,6	0,102	-1,61
04.92-10.91	21	4,85	41	- 8,0	0,118	-0,62
04.92-09.92	8	6,48	67	-10,8	0,097	-0,60
04.93-09.92	8	11,69	153	-13,0	0,076	-0,90
СУДІЇВКА						
04.89-10.89	12	8,46	184	- 6,3	0,046	-1,34
04.91-10.92	12	4,17	97	- 8,3	0,043	-0,50
04.91-10.91	12	7,36	117	- 7,9	0,063	-0,93
04.92-10.91	8	2,58	59	- 8,0	0,044	-0,32

Залежність сезонних деформацій земної поверхні від змін вологості ґрунту виявлена на основі повторного нівелювання поверхневих реперів, що залягають на глибині до 1 м. На полігоні в Полтаві в 1991-1993 рр. крім поверхневих реперів спостерігались і глибші. На рис.3 показано рухи реперів, закладених на глибині 1,5; 2; 3; 4 і 5 м від поверхні землі відносно репера глибиною 6 м. Як видно, з глибиною величини сезонних деформацій зменшуються. До глибини 3 м хід деформацій за формою нагадує вертикальні рухи поверхневих реперів (рис.2), а амплітуда зменшується в 25 разів. Починаючи з глибини 4 м характер сезонних варіацій перевищень більше нагадує річні зміни температури. Точність середньомісячних значень відносних рухів реперів, показаних на рис.3, дорівнює 0,04 мм.

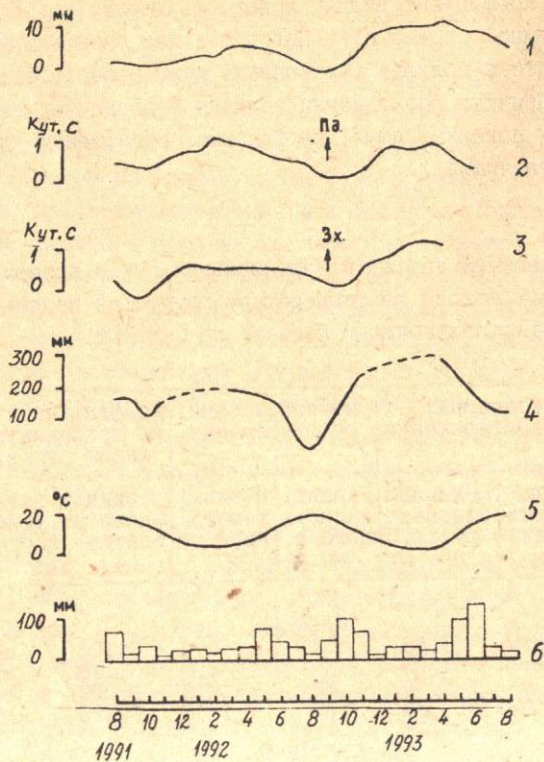


Рис.2. Сезонні варіації геодинамічних та метеорологічних параметрів на мікрополігоні в Полтаві. (Порядок розташування графіків такий як і на рис.1).

Пояснимо механізм впливу варіацій вологості ґрунту на вертикальні деформації земної поверхні з погляду фізики ґрунтів. Ґрунти складаються з твердого, рідкого та газоподібного компонентів. Тверді частинки різних розмірів та форми становлять "скелет" ґрунту. Пори між частинками з'єднані і заповнені водою та повітрям. Кількість води, яку здатний увібрати в себе ґрунт, значною мірою залежить від його фізико-механічних властивостей, тобто від величини та форми частинок, що його складають. Об'єм пор різних ґрунтів коливається в межах 26...47% [16]. Співвідношення між об'ємами води та повітря в порах постійно змінюється з чітко вираженим річним періодом. Основними елементами, що спричиняють збільшення вологості, є опади, талі

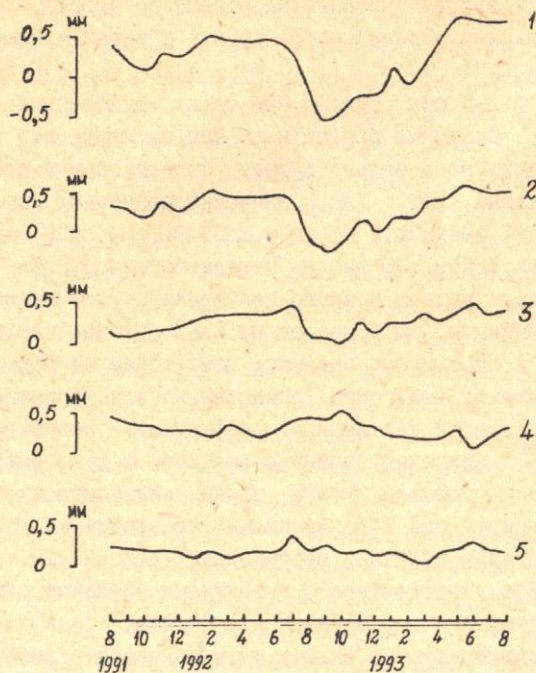


Рис.3. Вертикальні рухи глибинних реперів на мікрополігоні в Полтаві:

- 1 - репер глибиною 1,5 м; 2 - репер глибиною 2 м;
- 3 - репер глибиною 3 м; 4 - репер глибиною 4 м;
- 5 - репер глибиною 5 м.

води, підтік з ґрунтових вод, поверхневий приплив вологи, якщо ділянка розташована на схилі, внутрішньогрунтовий приплив води, конденсація в ґрунті пари, що надходить з атмосфери. Витрати вологи здійснюються внаслідок випаровування її з поверхні землі, транспірації (випаровування води рослинами), просочування вологи в ґрунтові води, поверхневого стоку при вираженому схилі та внутрішньогрунтового стоку. Взимку запаси вологи поповнюються через внутрішньогрунтове пересування її під дією кристалізації в процесі промерзання ґрунту, а також при накопиченні талих вод під час відлиг. Весною кількість води в ґрунті досягає максимуму. З початком вегетації рослин та посиленням сонячної радіації вологість ґрунту починає зменшуватись. Незначне поповнення вологи в цей період відбувається завдяки опадам. Річний

мінімум запасів вологи припадає на кінець вегетації, тобто на осінь. Такий річний хід вологості ґрунту є характерним для території України [17].

Переважає більшість ґрунтів при зміні запасів вологи змінює свій об'єм. Величина варіацій об'єму залежить від механічного та мінералогічного складу ґрунту, його густини, вологості, швидкості висихання [15]. Так, звичайні чорноземи України при повному висиханні зменшують об'єм у шарі 0...10 см в середньому на 15 %, а в шарі 20...30 см - в середньому на 8,5 % [13]. У реальних природних умовах повного висихання ґрунту практично не буває. Якщо прийняти, що в метровому шарі сезонні варіації вологості ґрунту в середньому змінюють його об'єм на 3 % і зміни об'єму відбуваються ізотропно (однаково в усіх напрямках), то вони повинні викликати вертикальні деформації поверхні землі величиною 10 мм. Звичайно, такий розрахунок є дуже наближеним, лише лабораторним способом можна точно визначити коефіцієнт зміни об'єму ґрунту при його висиханні чи зволоженні. Але він показує, що порядок величини вертикальних деформацій, обчисленої таким способом, збігається з величинами реальних рухів земної поверхні одержаних з нівелювання. Це якраз і свідчить про можливість безпосереднього впливу змін вологості ґрунту на сезонні вертикальні деформації земної поверхні.

Таблиця 2

Залежність величини сезонних вертикальних рухів поверхневих реперів від нахилу місцевості на полігоні в Полтаві

Величина нахилу місцевості, градуси	Кількість реперів	Середня величина сезонних вертикальних рухів, мм за період		А/В
		04.90-10.91 А	04.92-10.91 Б	
0...2	7	5,67	2,44	2,32
2...5	9	10,58	4,51	2,35
5...25	5	17,96	8,18	2,20

Як було зазначено вище, нівелірний полігон у Полтаві розташований на горбистій місцевості, максимальний нахил якої становить 25°. Виявилось, що величина сезонних рухів поверхневих реперів залежить також від рельєфу місцевості. Для місцевості з



більшим нахилом поверхні характерні більші значення вертикальних деформацій протягом року і навпаки (див.табл.2). Так, величина сезонних змін вертикальних рухів для ділянок з нахилом поверхні  $5...25^{\circ}$  у три рази більша, ніж для ділянок з нахилом  $0...2^{\circ}$ . Пояснити це можна тим, що на схилах варіації запасів вологи протягом року є більшими, ніж на рівнинній місцевості. Адже на схилі порівняно з рівниною, є додатковий чинник, що спричиняє надходження вологи в ґрунт, а саме - поверхневий приплив води, завдяки якому певна ділянка землі може увібрати в себе не лише ту воду, яка на неї випала у вигляді дощу чи снігу, а й вологу інших ділянок, що переноситься на неї внаслідок нахилу місцевості. Цією причиною можна пояснити і те, що вертикальні рухи на полігоні в Полтаві у два рази більші, ніж у Судіївці. Адже полігон у Судіївці розташований на рівнинному майданчику, а в Полтаві - на місцевості зі значними перепадами висот.

Підсумовуючи викладене вище, можна впевнено стверджувати, що сезонні вертикальні рухи і нахили земної поверхні на полігонах у Полтаві та Судіївці викликані, головним чином, періодичними варіаціями об'єму верхніх шарів ґрунту внаслідок зміни їх вологості, що досягає максимуму весною, а мінімуму - восени. Цей висновок підтверджують нахиломірні дані, одержані по профілю Київ-Артемівськ [1], де екстремальні значення сезонного нахилу припадають на періоди максимальної та мінімальної вологості ґрунту.

1. Баленко В.Г. Исследования наклонов земной поверхности по профилю Киев-Артемовск. К., 1980.
2. Волков В.И. Об оценке влияния метеорологических факторов на современные движения земной поверхности // Современ. движения зем. коры на геодинамических полигонах. 1983. С.150-153.
3. Выходил П.В. Некоторые результаты исследований современных движений земной коры на полигонах СССР // Современ. движения зем. коры. 1973. N 5. С.123-130.
4. Исследование медленных изменений силы тяжести и наклонов земной поверхности с целью учета возмущающих факторов и оценки закономерностей их проявления // Отчет Полтавской гравиметрической обсерватории АН Украины. 1990. N 01890074355. С.145
5. Леонтьев Г.И. Временные атмосферные и водные нагрузки земной поверхности и их влияние на высокоточное нивелирование в Нижнем Поволжье // Современ. движения зем. коры. 1963. N 1. С.112-117.
6. Матвеев П.С., Островский А.Е., Годубицкий В.Г. и др. Накло-

- номерные наблюдения в Судиевке // Вращение и прилив. деформации Земли. 1973. Вып. 5. С. 11-16. 7. Мельхиор П. Земные приливы. М., 1968. 8. Павлив П.В., Мельничук Н.А. О степени влияния лунно-солнечных приливов на результаты высокоточного нивелирования // Геодезия, картография и аэрофотосъемка. 1987. N 45. С. 77-82. 9. Павлив П.В., Мельничук Н.А. Сопоставление влияний поверхностного температурного эффекта и рефракции на результаты высокоточного нивелирования // Геодезия, картография и аэрофотосъемка. 1989. N 50. С. 79-83. 10. Павлык В.Г., Кутный А.М., Булацен В.Г. и др. Геодинамический микрополигон вблизи Полтавы. Первые результаты исследований // Вращение и приливные деформации. К., 1992. С. 61-66. 11. Русанов Б.С. Гидротермические движения земной поверхности. М., 1961. 12. Седюков Е.И. О влиянии геодинамических факторов на устойчивость высотных знаков // Особенности высокоточного нивелирования на геодинамических полигонах. Таллин, 1988. С. 44-45. 13. Семихненко П.Г., Кондратьев В.И., Ризер А.Н. Расход влаги на испарение в зависимости от обработки почвы // Почвоведение. 1977. N 12. С. 111-117. 14. Стоянов Б. Върху някои резултати от изследванията за движенията на реперите в горски почви // Геод. картограф. землеустр. 1971. N 2. С. 3-5. 15. Фельдман Г.М. Передвижение влаги в талых и промерзающих грунтах. Новосибирск, 1989. 16. Хэнкс Р.Дж., Ашкрофт Дж.Л. Прикладная физика почв. Влажность и температура почвы. Л., 1985. 17. Чирков Ю.И. Агрометеорология. Л., 1979. 18. Rabbel W., Zschau J. Static deformations and gravity changes at the earth's surface due to atmospheric loading // J. Geophys. 1985. Vol. 56. N 2. P. 81-99. 19. Sylvester A. Leveling precision and bench mark motions, Pinon Flat Observatory, California // J. of Geophys. Res. 1984. Vol. 89. No. B9. P. 7949-7956. 20. Vyskocil P. Erforschung der ausseren Einflusse auf das Präzisionsnivellement in der CSSR // Geod. und Geoph. Veroff. 1973. N 29. P. 115-123. 21. Vyskocil P. Roci kolisani nivelacnich bodu a jeho du sledky // Geod. a kartogr. obz. 1973. N 11. P. 309-311. 22. Zurovski A. Uwagi na temat stalosci pewnych znakow wysokosciowych na terenie Zulaw Wislanych // Prz. geod. 1971. 43. N 2. P. 507-509.