

DOI: 10.32347/2076-815x.2024.86.426-436

УДК 528.3/622.8

д.т.н., професор **Куліковська О.Є.**,
kulikovskaja13@ukr.net, ORCID: 0000-0002-2168-1445,
Львівський національний університет природокористування

ПРО ВПЛИВ ЕКЗОГЕННИХ ПРОЦЕСІВ НА РЕЗУЛЬТАТИ ВИМІРЮВАННЯ ПЕРЕМІЩЕНЬ ГЕОДЕЗИЧНИХ ЗНАКІВ

Описано досвід дослідження впливу екзогенних процесів на зміщення геодезичних знаків, а отже, і на результати повторного нівелювання. Показано, що екзогенні процеси викликають конвертовані та незворотні деформації поверхневих шарів. Дослідженнями на деформаційних майданчиках локальних геодинамічних полігонів Криворізького регіону встановлено вплив температурного фактору на стійкість реперів: зміна температури атмосфери і стійкість реперів мають кореляційний зв'язок як у просторі, так і в часі. Практичний зміст позначається цільовим спрямуванням даного дослідження для спеціалістів геодезичної галузі і містобудування.

Ключові слова: повторне нівелювання; геодезичні знаки; вплив екзогенних процесів; кореляційний аналіз; зміщення реперів; температурний фактор.

Проблема і її зв'язок із науковими та практичними завданнями.

Види впливу екзогенних процесів на геодезичні знаки, а отже, і на результати повторного нівелювання різноманітні. Вони можуть бути систематизовані по глибині їх прояву, зворотності, розміру території розповсюдження, механізму (характеру) і періоду їх прояви. Встановлено, що екзогенні процеси викликають конвертовані та незворотні деформації поверхневих шарів, що зафіксовано в оборотних і необоротних зміщеннях земної поверхні [3].

Вплив екзогенних процесів на геодезичні знаки багатofакторні, і в сучасній практиці спостережень відсутня чітка науково обґрунтована система інженерно-геодезичного прогнозу неотектонічного впливу на результати повторного високоточного нівелювання, на підставі якого можна було б вирішувати питання стійкості глибинних, ґрунтових і скельних нівелірних знаків, а також моделювання механізму впливу екзогенних процесів на результати повторного нівелювання. Тому дослідження їх впливу є актуальною задачею досліджень.

Мета. Дослідження спрямовано на встановлення впливу екзогенних процесів на результати вимірювань переміщень геодезичних знаків під час спостережень на локальних геодинамічних полігонах Криворізького регіону.

Аналіз останніх публікацій. Роботи з узагальнення матеріалів

моніторингу екзогенних геологічних процесів (ЕГП) до недавнього часу ще здійснювалися відповідно до Постанови Кабінету Міністрів України «Про затвердження положення про державну систему моніторингу довкілля» від 30 березня 1998 р. № 391 із змінами [5]. Разом з тим, зміни у законодавстві відбулися. Верховною Радою України прийнято Закон України від 20 березня 2023 р. № 2973–ІХ «Про внесення змін до деяких законодавчих актів України щодо державної системи моніторингу довкілля, інформації про стан довкілля (екологічної інформації) та інформаційного забезпечення управління у сфері довкілля» (далі – Закон), який покликаний на створення та забезпечення функціонування державної системи моніторингу довкілля, вдосконалення правового регулювання інформації про стан довкілля (екологічної інформації) та механізмів забезпечення доступу до неї, визначення правових засад інформаційного забезпечення управління в галузі охорони навколишнього природного середовища [6]. І це дозволяє використовувати дані для продовження досліджень із оновленою інформацією.

Серед досліджень, які безпосередньо стосуються вивченню впливу ендегенних процесів на стійкість ґрунтів, земної поверхні або геодезичних знаків треба звернути увагу на [11]. Автори зазначають, що проведений експеримент показав цікаві результати. Науковці зазначають, що за наявності ненасиченого ґрунту сукупна кількість опадів викликає не малі зміни висоти поверхні ґрунту, досягаючи загальних зміщень поверхні до 10 см між літньою посухою та послідовними сезонами дощів. Репери, закріплені в ґрунті на глибині 0,3; 1; 2; 3,5 і 5 м, отримали значні диференціальні рухи, близько декількох міліметрів, із помітними переміщеннями з глибиною. Щоб уникнути інтерпретації простих зміщень як рухів, спричинених локальними змінами вмісту вологи в ґрунті, спричиненими опадами, доцільно брати до нівелірних мереж репери, які закладено, як мінімум, на глибині 1–2 м.

D. Dong, P. Fang, Y. Bock, M. K. Cheng, S. Miyazaki [7] підкреслюють, що дослідженнями доведено сезонні зміни положення об'єкта, які отримані на основі глобальних безперервних часових рядів GNSS за 4,5 роки за допомогою «пайрінгового» підходу. Пайрінг – це спосіб відобразити внесок порівняно відомих сезонних джерел та отримати уявлення про відносно маловідомі джерела, таких як: вплив ефектів полюсних припливів, навантаження океанських припливів, атмосферного навантаження, неприливної океанічної маси та навантаження ґрунтових вод. Результати виконаних досліджень показують, що близько 40% потужності річних вертикальних змін положення ділянок, що спостерігаються, можна пояснити

спільним внеском цих сезонних перерозподілів поверхневій масі. Після видалення цих сезонних ефектів із спостережень авторами також досліджувалися потенційні внески немодельованих ефектів вологої тропосфери, теплового розширення корінних порід, помилок у моделях зміни фазового центру та помилок в орбітальному моделюванні. Автори запропонували масштабований матричний аналіз чутливості для оцінки вкладу корелюючих параметрів. як спосіб покращити стабільність наземної системи відліку у сезонних часових масштабах.

У роботі [4] проаналізовано сучасні теоретичні уявлення про геолого-геоморфологічні системи, які розглядаються як динамічні, що нелінійно розвиваються у просторі та часі. Н.Ю. Букевич у своєму дослідженні [1] розглянув основні причини розвитку зсувних явищ, обґрунтував їх вплив на експлуатацію газотранспортних мереж, а також розробив рекомендації щодо попередження цих небезпечних геологічних процесів. У цій же роботі наведено класифікацію типів формування схилів та їх вплив на утворення зсувів, а також методи прогнозування і контролю розвитку обвальних явищ.

Автори [8, 9] зазначають, що екзогенні вертикальні переміщення гідрометеорологічного походження можуть бути викликані перемінами атмосферних та гідрологічних навантажень на поверхню Землі, об'ємними деформаціями ґрунту, які виникають внаслідок переміни його температури та вологості. Застосовуючи моделі атмосфери та розподілу води на континентальних ділянках Землі, науковці зазначають, що можна вирахувати навантаження на земну поверхню і одержати моделі зміщень земної поверхні глобального і регіонального масштабів. Lyon T. J., Filmer M. S., Featherstone W. E. доводять нелінійність впливу дії сезонних змін вологи ґрунту на вертикальні переміщення земної поверхні залежно від абсолютного значення вологості [10]. Практична значущість даної роботи полягає у можливості мінімізації впливу гідрометеорологічних чинників на результати високоточних спостережень за динамікою земної поверхні, отримані наслідки рекомендовано використовувати при високоточних спостереженнях за вертикальними рухами на геодинамічних полігонах та їх аналізу. Як показано у дослідженні [2], паралельно із геодезичними спостереженнями на геодинамічному полігоні виконували вимірювання вологості ґрунту абсолютним термогравіметричним методом до глибини 1 м через кожні 0,1 м для визначення її впливу на стійкість реперів.

Виклад матеріалу і результати. Під час організації деформаційних майданчиків локальних геодинамічних полігонів Криворізького регіону, виходячи з схеми закріплення глибинних і ґрунтових реперів, в якості робочої гіпотези приймалася стабільність (стійкість) глибинних реперів по відношенню

до дії екзогенних факторів і нерівномірність поступальних (довгоперіодичних) рухів погоризонтних і ґрунтових реперів.

Дані дослідження проводилися на спеціально обладнаних деформаційних майданчиках, технічна характеристика одного із них наведена в табл. 1, рис. 1.

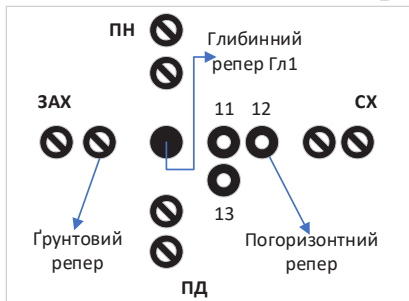


Рис. 1. Схема розміщення реперів

Стабільність глибинних реперів по відношенню до дії екзогенних процесів обґрунтовується наступними факторами: глибиною закладки реперів в кристалічних породах, що характеризуються високою щільністю і міцністю; глибиною знаходження марки репера від поверхні землі.

Таблиця 1

Технічні параметри деформаційного майданчика ДМ-1

Всього пунктів	Назва груп реперів	Відстань від глибинного репера, м	Глибина закладки, м	Глибина закладки марки від поверхні землі, м	Довжина реперних труб і залізобетонних пілонів розмірами 20x20 см
12	Гл 1		59,2	0,80	1,80-31,5
	11, 12, 13	1, 12	2,22	1,02	1,80
	ПД	8, 20	2,00	0,20	1,80
	СХ	9, 10	2,10	0,30	1,80
	ЗАХ	7, 20	2,10	0,30	1,80
	СХ	7, 55	2,20	0,40	1,80

Температурний фактор має періодичний характер і тому його вплив на стійкість реперів також закономірно змінюється в часі: лінійно змінюється в інтервалі часу березень-травень і вересень-листопад, синусоїдально в червні-серпні, якщо поділити на окремі частини. Хоча, в цілому, зміну температури можна описати синусоїдою (рис. 2).

Аналіз результатів вимірювань температури атмосфери на деформаційних майданчиках і середньомісячних температур по Кривому Рогу за даними метеослужби дозволив встановити взаємозв'язок між зміною температури атмосфери та часовими межами спостережень (рис. 3), який може бути виражений через середньомісячні екстремальні температури формулою

$$\Delta t_0 = a + b \sin \frac{\pi}{\tau} , \tag{1}$$

де a – мінімальна середньомісячна температура початкової фази (січень місяць: $a = -4,8^\circ$); b – максимальна середньомісячна температура (липень місяць: $b = +30,3^\circ$); π/τ – фази зміни температури.

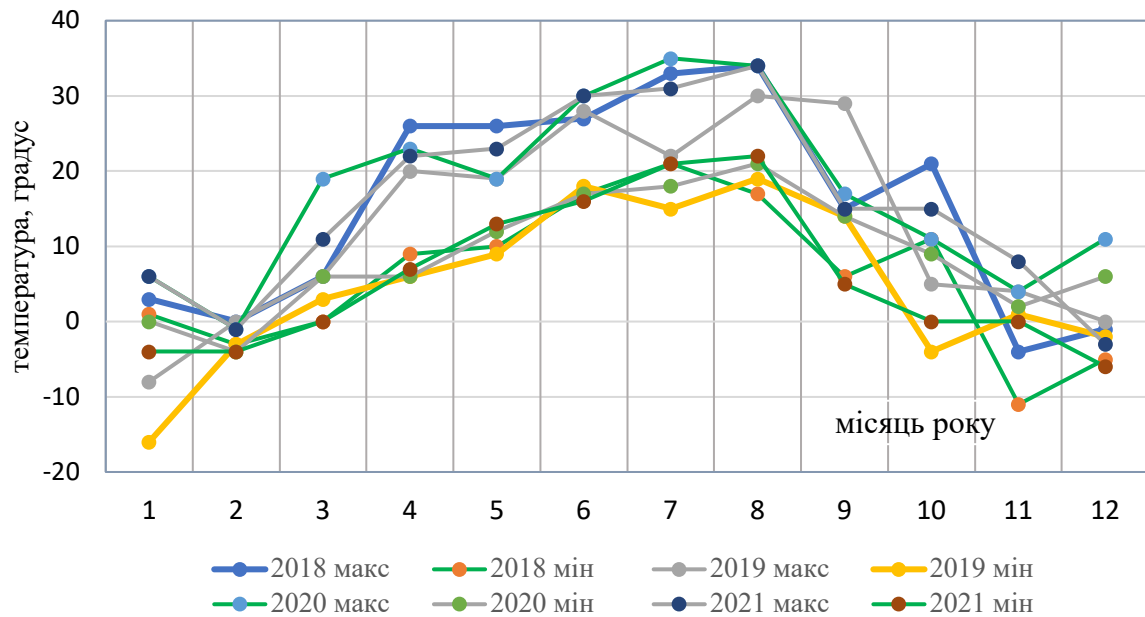


Рис. 2. Графік коливань температури атмосфери за даними метеослужби

Результати обчислень Δt_0 за формулою (1) в інтервалі часу від 0 до π наведені в табл. 2, показані на рис. 3.

Таблиця 2

Результати обчислення Δt_0

Номер фази	π/τ	$\sin \pi/\tau$	$b \sin \pi/\tau$	Δt_0	Коефіцієнти
1	15 (165)	0,259	7,838	3,038	$a = -4,8$
2	30 (150)	0,500	15,143	10,343	$b = +30,3$
3	45 (135)	0,707	21,417	16,617	
4	60 (120)	0,866	26,233	21,433	
5	75 (105)	0,966	29,262	24,462	
6	90	1,000	30,300	25,500	

Періодичні зміни температури атмосфери викликають теплові деформації гірських порід, які в силу відмінності теплофізичних властивостей і температурного режиму порід мають складну диференційовану структуру в просторі і в часі, що проявляється в неоднорідних вертикальних зсувах реперів, в основі яких залягають ці породи.

Як видно з графіка (рис. 3), зміни температури в атмосфері відбуваються закономірно, що дозволяє прогнозувати вертикальні зміщення ґрунтових реперів. Штриховою лінією показана лінія тренду для середньомісячних температур, яка побудована за формулою

$$\Delta t = 0.035n^4 - 0.9344n^3 + 7.4294n^2 - 15.762n + 7.7268$$

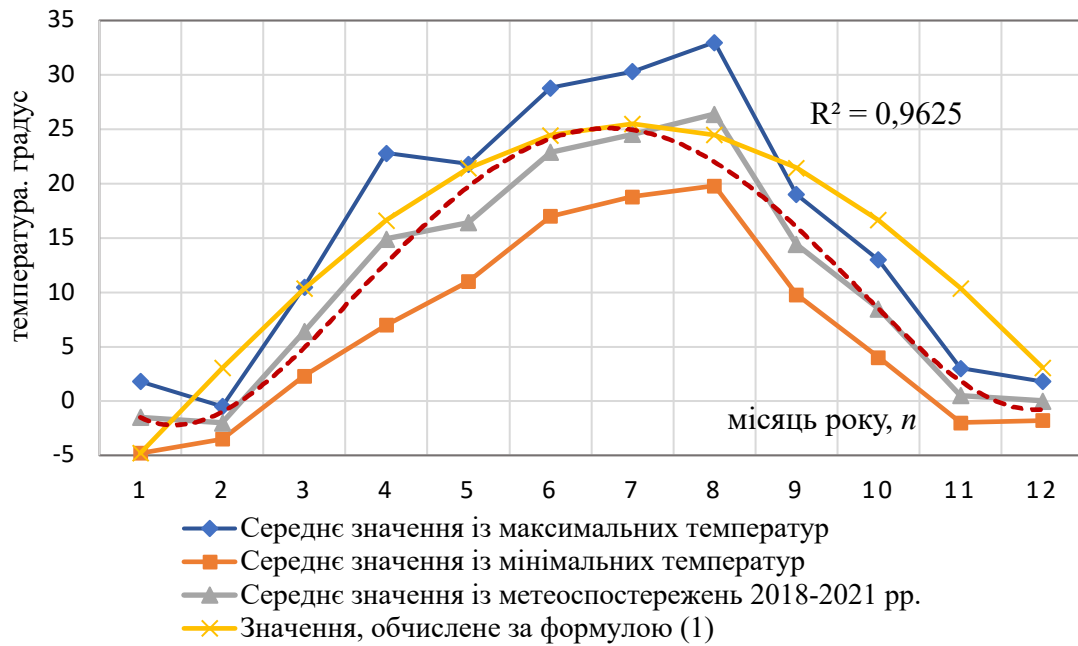


Рис. 3. Графік середньомісячних коливань температури атмосфери

Кореляційний аналіз змін температури Δt і Δh на деформаційних майданчиках ДМ-1 і ДМ-2 виявив наявність лінійного зв'язку між досліджуваними факторами (табл. 3).

Таблиця 3

Результати кореляційного аналізу

Назва майданчику	Кількість вимірювань	r	$\sigma(\Delta h)$	$\sigma(\Delta t)$	$\sigma(r)$	Примітка
ДМ-1	55	0,40	3,87	10,25	0,11	за формулою Романовського В.І.
$ r \geq 3\sigma(r); 0,33 < 0,40$						
ДМ-2	45	0,40	2,78	10,03	0,15	по критерію Фішера
$z=0,42$	$0,27 \leq z \leq 0,57$					
	$0,27 \leq z \leq 0,64$					
	$0,27 \leq z \leq 0,40$					

Для прогнозу вертикальних змішень ґрунтових реперів, обумовлених періодичними змінами температури атмосфери, може бути рекомендована формула

$$\Delta H_t = \alpha_0 h \Delta t_0 \sin \frac{\pi}{T} \tag{2}$$

де h – довжина (розмір) репера; α_0 – коефіцієнт лінійного розширення матеріалу репера (сталь, бетон); Δt_0 – температурний параметр, обчислений за формулою (1).

У табл. 4 наведено результати розрахунку зміщення ґрунтових реперів довжиною від 2 до 8 м в інтервалі через 1 м, а на рис. 4 графічно представлено

результати. Середню квадратичну похибку прогнозування нестійкості ґрунтових реперів $m_{\Delta H}$ можна розрахувати за формулою

$$m_{\Delta H t} = \alpha_0 h \sin \frac{\pi}{T} m_{\Delta t_0}, \quad (3)$$

де $m_{\Delta t_0}$ – середня квадратична похибка вимірювання температури у часі, при якій забезпечується стійкість реперів, яка прийнята $\pm 4,3^\circ$, що складає середню величину відхилення екстремальних температур від середнього.

Таблиця 4

Результати розрахунку зміщення ґрунтових реперів

Періоди спостереження, місяць року	Глибина закладки репера, м						
	2	3	4	5	6	7	8
1	0,02	0,02	0,03	0,04	0,05	0,05	0,06
2	0,10	0,15	0,20	0,25	0,30	0,36	0,41
3	0,23	0,35	0,46	0,58	0,69	0,81	0,92
4	0,36	0,55	0,73	0,91	1,09	1,27	1,46
5	0,46	0,69	0,93	1,16	1,39	1,62	1,85
6	0,50	0,75	1,00	1,25	1,50	1,75	2,00
$m_{\Delta t_0}$, мм	$\pm 0,02$	$\pm 0,06$	$\pm 0,12$	$\pm 0,18$	$\pm 0,24$	$\pm 0,29$	$\pm 0,33$

Отже, аналіз отриманих даних дозволив встановити, що зона впливу змін температури атмосфери на стійкість реперів поширюється на глибину до 8 м і за екстремальних значень температури ($t = 50^\circ\text{C}$) може призвести до зміщення реперів до 2,0 мм.

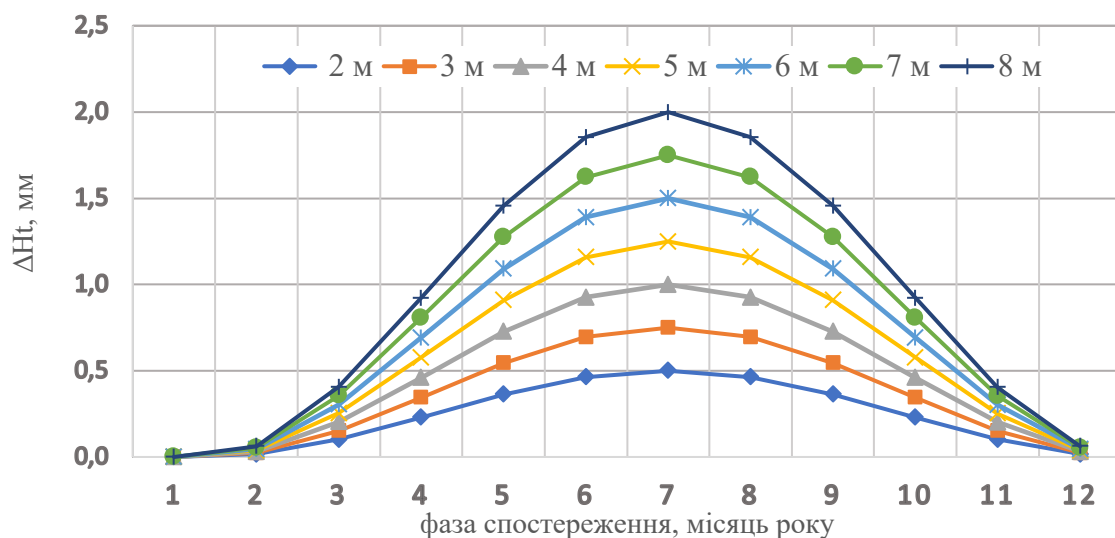


Рис. 4. Зміщення ґрунтових реперів за фазами спостереження

Виявлені закономірні зв'язку температурного фактору і обумовлена цим фактором нестійкість реперів дозволили прогнозувати її величину і

рекомендувати схему тимчасових періодів польових вимірів у повторних циклах (табл. 5).

Таблиця 5

Схема рекомендованих часових періодів польових спостережень
в повторних циклах вимірювань

Перший цикл спостереження, місяць											
I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Повторний цикл спостереження, місяць											
I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
	XII	IX	X	IX	VIII	VII	VI	V	IV	III	II

Висновки. Дослідженнями показано ступінь впливу зміни температури атмосфери на точність результатів високоточного повторного нівелювання. Виявлені закономірності зв'язку температурного фактору і обумовлена цим нестійкість реперів дозволяють прогнозувати її величину і рекомендувати схему часових періодів польових вимірів у повторних циклах. Встановлений лінійний кореляційний зв'язок, але слід зазначити, він може бути порушеним накладенням більш сильного фактору, що визначає динаміку руху реперів. Не спостерігається чіткого зв'язку між змінами температури Δt і перевищень Δh в інтервалі часу травень – липень. Інтенсивному зростанню температури відповідає опускання ґрунтових реперів, що не узгоджується з загальною теорією їх стійкості. Зсув по фазі становить більше двох місяців, що свідчить про вплив на стійкість ґрунтових реперів іншого, більш сильнішого фактору, ніж температурний.

Список літератури

1. Букевич Н. Аналіз розвитку зсувів у гірських районах та заходи стосовно їх попередження із врахуванням інженерно-геологічних умов. Розвідка та розробка нафтових і газових родовищ. 2010. № 4(37). С. 34–38. URL: <https://core.ac.uk/download/pdf/84122489.pdf> (дата звернення: 16.04.2024).
2. Грушка І. Методи і засоби вимірювань вологості матеріалів та середовищ. Наукові праці УкрНДГМ. 2005. I, № 254. С. 169–187. URL: https://uhmi.org.ua/pub/np/254/13_Metod_Grushka.pdf (дата звернення: 18.04.2024).
3. Калинич І., Каблак Н., Скаандрі С. Динаміка розвитку зсувних процесів на території Закарпатської області. Містобудування та територіальне планування. 2017. № 64. С. 535–543.
4. Павлик В.Г. Сезонні гідротермічні вертикальні рухи земної поверхні в умовах різних за гранулометричним складом ґрунтів. Геодинаміка. 2010. № 1(9). С. 22–27. URL: <http://dspace.nbuv.gov.ua/handle/123456789/60553> (дата звернення: 21.04.2024).
5. Про внесення зміни до постанови Кабінету Міністрів України від 30 березня 1998 р. N 383 : Постанова Каб. Міністрів України від 16.11.2002 р. № 1745 : станом на 18 черв. 2013 р. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1745-2002-p#Text> (дата звернення: 21.04.2024).

6. Про затвердження Положення про державну систему моніторингу довкілля : Постанова Каб. Міністрів України від 30.03.1998 р. № 391 : станом на 21 черв. 2023 р. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/391-98-п#Text> (дата звернення: 21.04.2024).
7. Anatomy of apparent seasonal variations from GPS-derived site position time series / D. Dong et al. *Journal of geophysical research: solid earth*. 2002. Vol. 107, B4. P. ETG 9–1–ETG 9–16. URL: <https://doi.org/10.1029/2001jb000573> (date of access: 21.04.2024).
8. Bitelli G., Bonsignore F., Unguendoli M. Levelling and GPS networks to monitor ground subsidence in the Southern Po Valley. *Journal of geodynamics*. 2000. Vol. 30, no. 3. P. 355–369. URL: [https://doi.org/10.1016/s0264-3707\(99\)00071-x](https://doi.org/10.1016/s0264-3707(99)00071-x) (date of access: 23.04.2024).
9. Bos M.S., Bastos L., Fernandes R.M.S. The influence of seasonal signals on the estimation of the tectonic motion in short continuous GPS time-series. *Journal of geodynamics*. 2010. Vol. 49, no. 3-4. P. 205–209. URL: <https://doi.org/10.1016/j.jog.2009.10.005> (date of access: 23.04.2024).
10. Lyon T.J., Filmer M.S., Featherstone W.E. On the use of repeat leveling for the determination of vertical land motion: artifacts, aliasing, and extrapolation errors. *Journal of geophysical research: solid earth*. 2018. URL: <https://doi.org/10.1029/2018jb015705> (date of access: 21.04.2024).
11. Pavlyk V.G., Kutnyi A.M., Kalnyk O.P. *Geodynamics*. 2019. Т. 2019, № 2(27). С. 16–23. URL: <https://doi.org/10.23939/jgd2019.02.016> (дата звернення: 21.04.2024).
12. Spitsa R. Principles, methods and criteria in discovery of the neotectonically active faults. *Ukrainian geographical journal*. 2013. Т. 2013, № 2. С. 40–47. URL: <https://doi.org/10.15407/ugz2013.02.040> (дата звернення: 21.04.2024).
13. Vittuari L., Gottardi G., Tini M.A. Monumentations of control points for the measurement of soil vertical movements and their interactions with ground water contents. *Geomatics, natural hazards and risk*. 2014. Vol. 6, no. 5-7. P. 439–453. URL: <https://doi.org/10.1080/19475705.2013.873084> (date of access: 21.04.2024).

Doctor of Technical Sciences, Professor **Kulikovska Olga**,
Lviv National Environmental University

ON THE INFLUENCE OF EXOGENEOUS PROCESSES ON THE RESULTS OF MEASURING MOVEMENTS OF GEODESIC MARKINGS

The influence of exogenous processes on geodetic marks is multifactorial, and in modern observation practice there is no clear scientifically based system of engineering and geodetic forecasting of neotectonics influence on the results of repeated high-precision leveling, on the basis of which it would be possible to solve the issues of stability of depth, soil and rock leveling marks, as well as modeling the mechanism of influence of exogenous processes on the results of repeated leveling. Therefore, the study of their influence is an urgent task. The study is aimed at determining the influence of exogenous processes on the results of measurements of geodetic marks displacements during observations at local geodynamic polygons in the Kryvyi Rih region. The work performed has shown that the temperature factor is periodic in nature and therefore its influence on the stability of the reps also naturally varies over time: it changes linearly in the time interval March-May and September-

November, sinusoidally in June-August, if divided into separate parts. Although, in general, the temperature change can be described as a sinusoid.

A linear correlation has been established, but it should be noted that it can be broken by the imposition of a stronger factor that determines the dynamics of the movement of the rappers. There is no clear connection between temperature changes Δt and exceedances Δh in the time interval May-July. The intensive increase in temperature corresponds to the lowering of soil references, which is inconsistent with the general theory of their stability. The phase shift is more than two months, which indicates the influence of another, stronger factor than temperature on the stability of soil references. Periodic changes in atmospheric temperature cause thermal deformations of rocks, which, due to differences in thermal properties and temperature conditions of rocks, have a complex differentiated structure in space and time, which is manifested in heterogeneous vertical displacements of the references underlying these rocks.

The revealed regularities of the temperature factor and the instability of the references caused by this factor made it possible to predict its value and recommend a scheme of time periods for field measurements in repeated cycles.

Key words: repeated leveling; geodetic marks; influence of exogenous processes; correlation analysis; displacement of benchmarks; temperature factor.

REFERENCES

1. Bukeych N. Analiz rozvytku zsuviv u hirskykh raionakh ta zakhody stosovno yikh poperedzhennia iz vrakhuvanniam inzhenerno-heolohichnykh umov. Rozvidka ta rozrobka naftovykh i hazovykh rodovyshch. 2010. № 4(37). S. 34–38. URL: <https://core.ac.uk/download/pdf/84122489.pdf> (data zvernennia: 16.04.2024). {In Ukrainian}
2. Hrushka I. Metody i zasoby vymiriuvan volohosti materialiv ta seredovyshch. Naukovi pratsi UkrNDHM. 2005. I, № 254. S. 169–187. URL: https://uhmi.org.ua/pub/np/254/13_Metod_Grushka.pdf (data zvernennia: 18.04.2024). {In Ukrainian}
3. Kalynych I., Kablak N., Skakandri S. Dynamika rozvytku zsvnykh protsesiv na terytorii Zakarpatskoi oblasti. Mistobuduvannia ta terytorialne planuvannia. 2017. № 64. S. 535–543. {In English}
4. Pavlyk V.H. Sezonnii hidrotermichni vertykalni rukhy zemnoi poverkhni v umovakh riznykh za hranulometrychnym skladom gruntiv. Heodynamika. 2010. № 1(9). S. 22–27. URL: <http://dspace.nbu.gov.ua/handle/123456789/60553> (data zvernennia: 21.04.2024). {In Ukrainian}
5. Pro vnesennia zminy do postanovy Kabinetu Ministriv Ukrainy vid 30 bereznia 1998 r. N 383 : Postanova Kab. Ministriv Ukrainy vid 16.11.2002 r. № 1745

: stanom na 18 cherv. 2013 r. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1745-2002-п#Text> (data zvernennia: 21.04.2024). {In Ukrainian}

6. Pro zatverdzhennia Polozhennia pro derzhavnu systemu monitorynhu dovkillia : Postanova Kab. Ministriv Ukrainy vid 30.03.1998 r. № 391 : stanom na 21 cherv. 2023 r. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/391-98-п#Text> (data zvernennia: 21.04.2024). {In Ukrainian}

7. Anatomy of apparent seasonal variations from GPS-derived site position time series / D. Dong et al. *Journal of geophysical research: solid earth*. 2002. Vol. 107, B4. P. ETG 9–1–ETG 9–16. URL: <https://doi.org/10.1029/2001jb000573> (date of access: 21.04.2024). {In English}.

8. Bitelli G., Bonsignore F., Unguendoli M. Levelling and GPS networks to monitor ground subsidence in the Southern Po Valley. *Journal of geodynamics*. 2000. Vol. 30, no. 3. P. 355–369. URL: [https://doi.org/10.1016/s0264-3707\(99\)00071-x](https://doi.org/10.1016/s0264-3707(99)00071-x) (date of access: 23.04.2024). {In English}.

9. Bos M.S., Bastos L., Fernandes R.M.S. The influence of seasonal signals on the estimation of the tectonic motion in short continuous GPS time-series. *Journal of geodynamics*. 2010. Vol. 49, no. 3-4. P. 205–209. URL: <https://doi.org/10.1016/j.jog.2009.10.005> (date of access: 23.04.2024). {In English}.

10. Lyon T.J., Filmer M.S., Featherstone W.E. On the use of repeat leveling for the determination of vertical land motion: artifacts, aliasing, and extrapolation errors. *Journal of geophysical research: solid earth*. 2018. URL: <https://doi.org/10.1029/2018jb015705> (date of access: 21.04.2024). {In English}.

11 Pavlyk V.G., Kutnyi A.M., Kalnyk O.P. OsoblivostI vplivu sezonnih varIatsIy vologi Gruntu na vertikalnI ruhi zemnoYi poverhnI. *Geodynamics*. 2019. T. 2019, # 2(27). S. 16–23. URL: <https://doi.org/10.23939/jgd2019.02.016> (data zvernennya: 21.04.2024). {In Ukrainian}

12. Spitsa R. Principles, methods and criteria in discovery of the neotectonically active faults. *Ukrainian geographical journal*. 2013. T. 2013, № 2. S. 40–47. URL: <https://doi.org/10.15407/ugz2013.02.040> (data zvernennia: 21.04.2024). {In Ukrainian}

13. Vittuari L., Gottardi G., Tini M.A. Monumentations of control points for the measurement of soil vertical movements and their interactions with ground water contents. *Geomatics, natural hazards and risk*. 2014. Vol. 6, no. 5-7. P. 439–453. URL: <https://doi.org/10.1080/19475705.2013.873084> (date of access: 21.04.2024). {In English}.