

ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОВАЛЬНИХ ЯВИЩ В ІСТОРИЧНІЙ ЧАСТИНІ КИЄВА НА ТЕРИТОРІЇ НАЦІОНАЛЬНОГО ЗАПОВІДНИКА “СОФІЯ КИЇВСЬКА”

С.В. Щербіна¹, О.І. Бріцький², В.А. Ільєнко¹, І.Д. Белов³, В.В. Остапенко⁴, Ю.В. Лісовий¹,
О.А. Цубін², О.П. Дєдов³, П.Г. Пігулевський¹

¹Інститут геофізики ім. С.І. Субботіна НАН України, просп. Акад. Палладіна, 32, м. Київ, 03680, Україна, e-mail: pohup@ukr.net, lisovyi@ukr.net, hgy@yandex.ua

²Інститут проблем реєстрації інформації НАН України, вул. Шпака, 2, м. Київ, 03113, Україна, e-mail: britsky_ai@ukr.net, olan6590@gmail.com

³Київський національний університет будівництва і архітектури, просп. Повітрофлотський, 31, м. Київ, 03037, Україна, e-mail: vcbk@ukr.net

⁴Національний заповідник “Софія Київська”, вул. Володимирська, 24, м. Київ, 01001, Україна, e-mail: vladimir.v.ostapenko@gmail.com

Досліджено провальні явища на території Національного заповідника “Софія Київська”. Встановлено причини виникнення цих екзогенних процесів. Для реєстрації мікросейсмічності використано сертифікований сейсмометр GURALP CMG-40T. Побудовано карти зміни амплітуди та девіації короткочасних варіацій мікросейсмічних коливань для E-, N- та Z-каналів приладу. За цими картами виявлено аномалії у місцях просідань ґрунту, можливо, через руйнування стінок підземних споруджень (катакомб), зміну гідрологічного режиму на ділянці у зв'язку з частими поливами газону та будівельними роботами навколо території заповідника.

Ключові слова: мікросейсмічність, екзогенні процеси, просідання ґрунтів, короткочасні варіації мікросейсмічних коливань.

Вступ. У статті наведено результати дослідження небезпечних екзогенних процесів у ґрунтах (просідання та провали) в історичній частині м. Києва, на території Національного заповідника “Софія Київська”, в цілях збереження комплексу історичних споруд як історичного та культурного надбання країн.

Мета — дослідження небезпечних просідань ґрунту та провальних процесів шляхом вивчення короткочасних варіацій мікросейсмічних коливань заповідника на основі реєстрації та аналізу сейсмічних подій різного генезису та аналізу записів мікросейсмічності.

Завдання досліджень: розроблення методики проведення робіт; вимірювання короткочасних варіацій мікросейсмічності; аналіз експериментальних записів.

Територія досліджень знаходиться в історичній частині м. Києва на правому березі р. Дніпро в межах останця річкового плато, яке обмежене терасою річки, Хрещатим ярмом і низовиною історичного Подолу міста. Висота плато в точці заповідника становить 190 м над рівнем моря. На схід від заповідника в напрямку до р. Дніпро плато обривається. Така морфологія ландшафту зумовлює складну гідрогеологічну обстановку в районі дослідження [7].

Історично забудова цієї території розпочалась у XI ст. Центральна та найстаріша споруда заповідника, собор Святої Софії, була закладена, за

новими дослідженнями доктора історичних наук Н. Нікітенко, в 1011 р. Нинішній ансамбль споруд остаточно сформувався у XVII ст. У 1990 р. його занесено до Переліку всесвітньої спадщини ЮНЕСКО [3].

Майданчик, на якому проводили дослідження, знаходиться у північній частині заповідника між Софійським собором, Братським корпусом та будівлею Бурси (рис. 1). У цьому місці найінтенсивніше проявляються процеси просідання ґрунту (рис. 2), ймовірно, провального характеру. Слід підкреслити, що на карті підземних історичних об'єктів у межах майданчика нанесено штучні тунелі (рис. 3).

Методика робіт. Майданчик вимірювання було розбито на 40 точок (пікетів) з відстанню між ними 5,0 і 4,28 м (карта точок вимірювань у зоні провалу — <http://seismo.kiev.ua/GoogleMap/SophiaCathedral/>). Короткочасні варіації мікросейсмічних коливань тривалістю від 5 до 30 хв вимірювали за допомогою двох різних приладів — англійського сертифікованого трикомпонентного велосиметра GURALP CMG-40T [4] та однокомпонентного вертикального лазерного сейсмометра [5]. Обидва прилади синхронізували у часі шляхом удару кувалди по землі з фіксованої висоти, горизонтальні осі майданчика вимірювання (<http://seismo.kiev.ua/GoogleMap/SophiaCathedral/>) були орієнтовані вздовж його простягання.

Аналіз результатів вимірювання мікросейсмічних коливань у зоні провалів. Процес вимірювань мікросейсмічних коливань у 40 точках зони провалу



Рис. 1. 3D зображення території Національного заповідника "Софія Київська" та майданчика, на якому проводили вимірювання

Fig. 1. 3D image of the National Reserve "Sophia" and platform within which the measurements were carried out



Рис. 2. Просідання ґрунту, що відбулось у 2015 р. (накрите та огорожене з метою безпеки), в межах майданчика досліджень

Fig. 2. Photo subsidence of soil, which took place in 2015 (covered and fenced for security purposes) within the platform on which the work was conducted

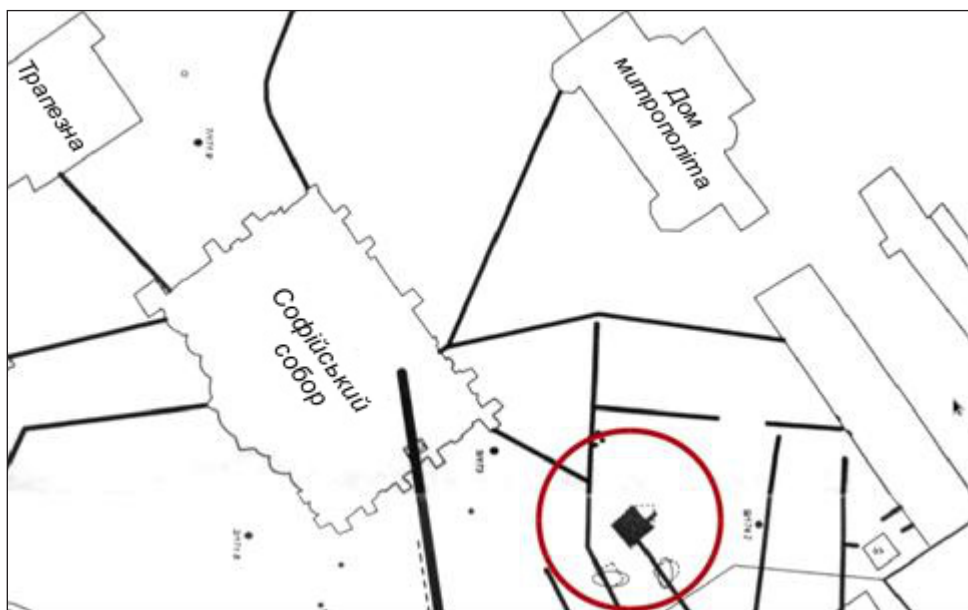


Рис. 3. Карта з нанесеними просіданнями ґрунту та відомими підземними тунелями, червоним колом показано ділянку просідань

Fig. 3. Map of the deposited soil subsidence and famous underground tunnels red circle indicated prosidan region

(карта точок вимірювань в зоні провалу – <http://seismo.kiev.ua/GoogleMap/SophiaCathedral/>) складався з таких етапів:

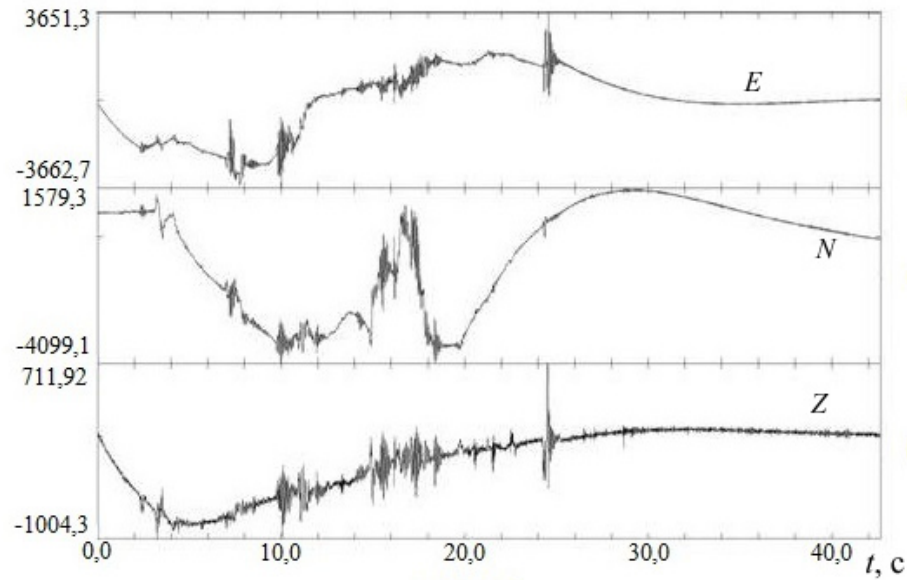
1) розташування апаратури у належному місці, яке відмічено знаком з окремим номером – від 11 до 58. Така нумерація необхідна для точного визначення пункту вимірювань матричним методом;

2) після підготовки апаратури до початку реєстрації здійснювали удар кувалдою по землі на відстані приблизно 1 м від точки спостережень;

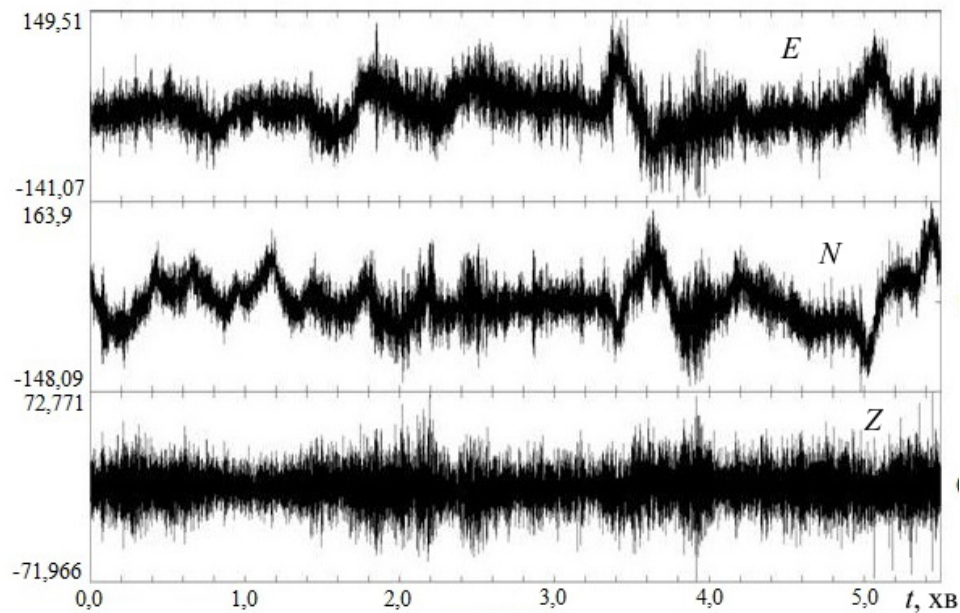
імпульсна форма зовнішнього сигналу дає змогу оцінити частотні властивості цієї точки, а також зафіксувати її реакцію на удар;

3) після короточасного впливу на точку вимірювань записували мікросейсмічні коливання впродовж 6–30 хв.

Відповідно до аналізу результатів вимірювань мікросейсмічного шуму двома зазначеними приладами на 40 точках (пікетах) майданчика, зона провалу є небезпечною.



a



б

Рис. 4. Початкові частини записів горизонтальних (E , N) і вертикальної (Z) компонент швидкості поширення значних мікросейсмічних коливань точки 31 після удару кувалдою (а) та збільшений фрагмент запису цих компонент у певному інтервалі часу (б)

Fig. 4. Records of the initial two horizontal (E , N) and vertical (Z) velocity components macroseismic significant fluctuations picket 31 points after hitting a sledgehammer (a) and two horizontal (E , N) and vertical (Z) components of speed records at the point of macroseismic fluctuations picket 31 (b)

Під час первинного аналізу експериментальних результатів двох етапів вимірювань у кожній точці (пикеті) було встановлено, що реакція кожної точки спостережень на зовнішній вплив складається з двох основних частин (рис. 4): а) відгуку зони вимірювань на зовнішній імпульсний сигнал; б) виникнення мікросейсмічних коливань різного походження.

Ці коливання могли бути відображені як продовження записів зменшених за амплітудою процесів тривалих звичайних коливань зони спостережень або як записи транспортного шуму чи природних

мікросейсмічних коливань, що поширюються у приповерхневому шарі [2].

На рис. 4 показано початкову частину записів вертикальних коливань сейсмометром GURALP CMG-40T [4] у точці 31, тобто поблизу одного з провалів. Найвищі значення швидкості поширення коливань у цій точці спостерігаються саме на каналі N , напрямком якого збігається з основним простяганням зони досліджень (карта точок вимірювань у зоні провалу – <http://seismo.kiev.ua/GoogleMap/SophiaCathedral/>). Амплітуда швидкості поширення

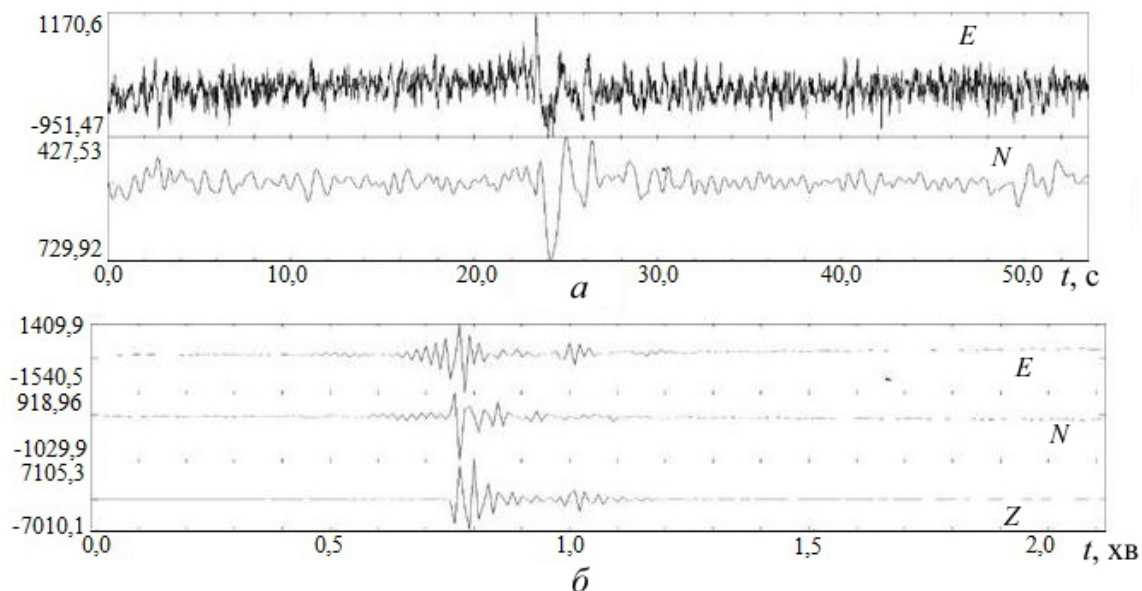


Рис. 5. Записи значного за амплітудою мікроземлетрусу, що стався в точці спостережень 31, вертикальним лазерним сейсмометром (а) та велосиметром (б). Максимальне значення коливань 12,6 мм/с на каналі Z

Fig. 5. Records of significant amplitude micro earthquake that made vertical laser seismometer (a) and velosymetr (b) occurred at the point of observation 31. The maximum value of its 12.6 mm/sec channel Z

коливань у цій точці на каналі N дорівнює 1,5 мм/с, максимальне значення сягає майже 4,6 мм/с, що вказує на панування процесу тривалої повзучості часточок ґрунту у точці спостережень.

Застосування вертикального лазерного сейсмометра сучасної розробки [5] дало змогу вимірювати зміщення (в нанометрах) будь-якої точки спостережень під час коливань ґрунту у зоні провалів. Такий сейсмометр забезпечує вимірювання горизонтальних переміщень починаючи з нульових частот. За цифрової інфрачастотної фільтрації забезпечується вимірювання нахилів із роздільною здатністю 10^{-4} секунди. На рис. 5 показано записи значного мікроземлетрусу в центральній точці спостережень.

Інтерпретація результатів досліджень. За результатами вимірювань короточасних варіацій мікросейсмічних коливань трикомпонентним велосиметром GURALP CMG-40T побудовано карти цих варіацій. На кожній точці спостереження виділено мінімальні, середні та максимальні значення амплітуд та девіації і побудовано карти для E-, N- та Z-каналів.

Візуально на поверхні майданчика досліджень виявлено п'ять зон просідань у різний час, останнє за часом і значне за об'ємом просідання відбулося між пікетами 34, 35, 44 та 45. Ця зона простежується на картах короточасних варіацій мікросейсмічних коливань пониженими аномаліями значень девіації, середніми і максимальними для E-каналу, на пікеті 44 зафіксовано аномалію з підвищеними значеннями девіації, середніми та максимальними для N-каналу (рис. 6).

Незначні просідання біля пікета 34 закартовано для E-каналу пониженими значеннями аномалій,

середніми та максимальними, на пікеті 32 – підвищеними середніми та мінімальними значеннями (рис. 6).

Просідання між пікетами 23, 24 позначено на всіх картах короточасних варіацій мікросейсмічних коливань різними підвищеними аномаліями; на пікеті 13 на картах середніх значень N-каналу та середніх і максимальних значень девіації Z-каналу спостерігаємо підвищені аномалії.

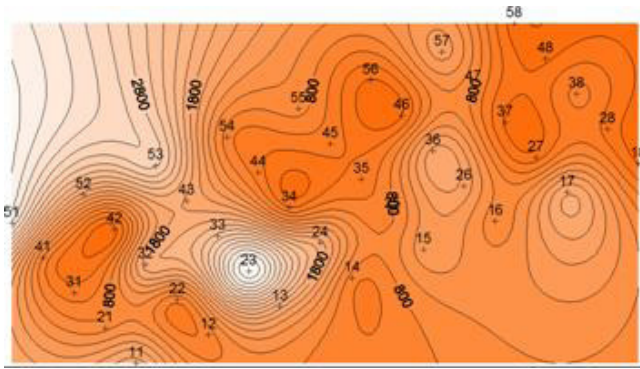
Просідання на пікеті 46 (біля місця поливу) простежено за пониженими аномаліями значень девіації, середніх і максимальних для E-каналу, та середніх і максимальних значень короточасних варіацій мікросейсмічних коливань Z-каналу (рис. 6).

Давнє просідання між пікетами 36 та 37 на картах чітко не виділяється.

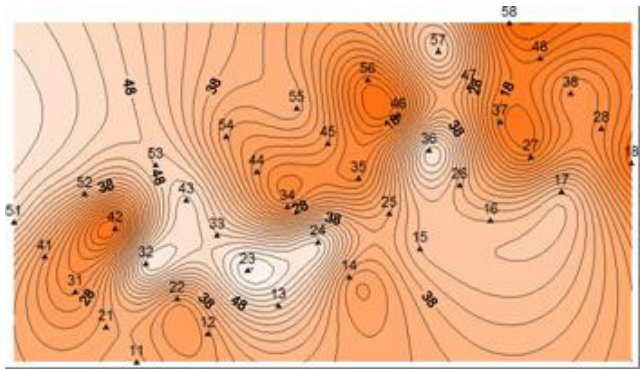
Висновки. При обробці та інтерпретації інформації, отриманої за вимірювань короточасних варіацій мікросейсмічності, виділено п'ять аномальних зон. Чотири з них корелюють з уже відомими зонами просідання ґрунту, на пікеті 13 виділено нову аномалію, ймовірно, зону, в якій у майбутньому можливе просідання ґрунту.

Причинами досліджуваного явища просідання ґрунту, що протягом тривалого часу спостерігається на території саду Національного заповідника “Софія Київська”, можуть бути:

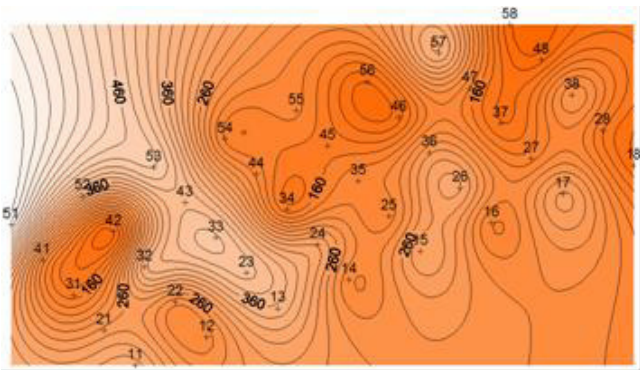
- обвали підземних тунелів і погребів, наявних на майданчику досліджень;
- полив газону у саду заповідника “Софія Київська” автоматичною системою, що призвело до просочування води у порожнечі катакомб із збільшенням гідрологічного навантаження на останні;



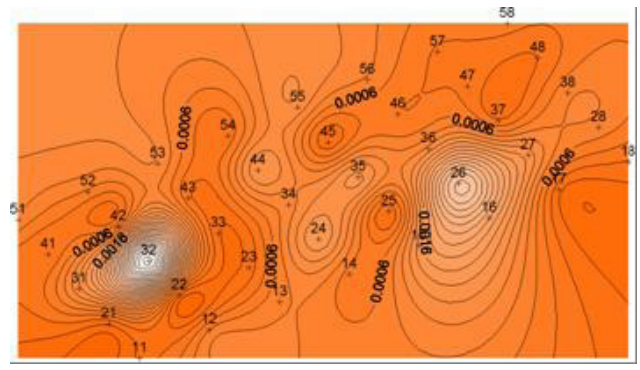
E-канал, девіація
E-channel deviation



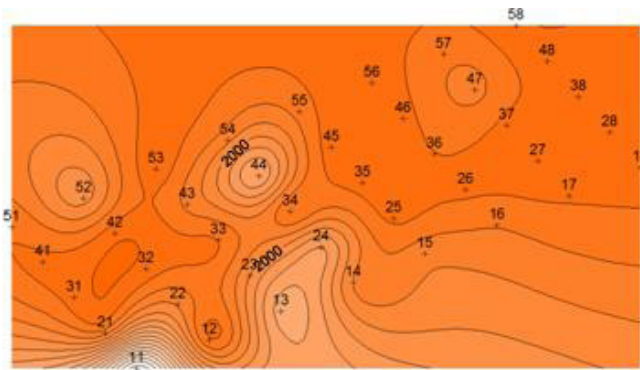
E-канал, середня амплітуда
E-channel average amplitude



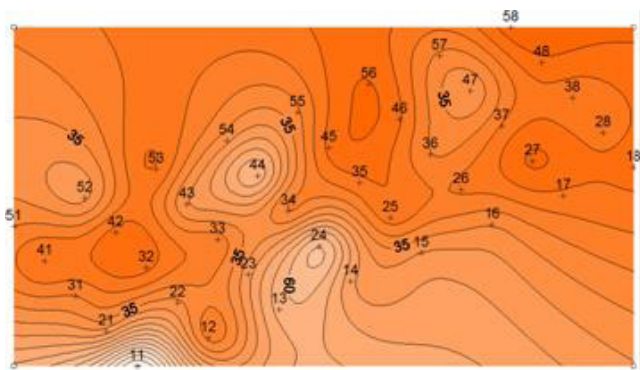
E-канал, максимальне значення
E-channel maximum value



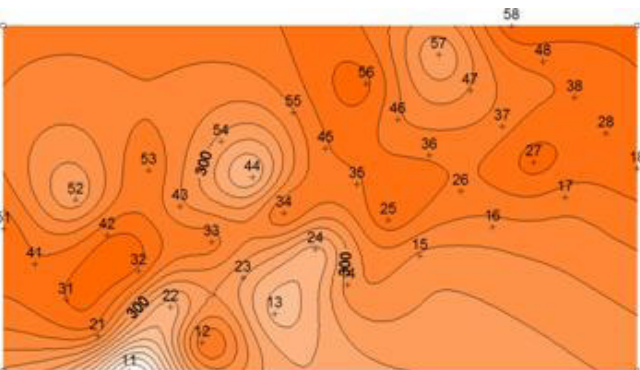
E-канал, мінімальне значення
E-channel minimum value



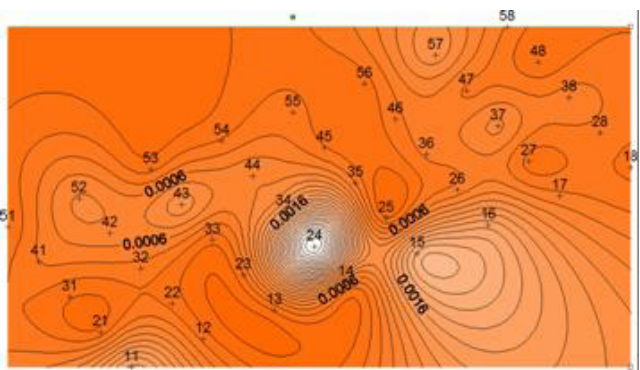
N-канал, девіація
N-channel deviation



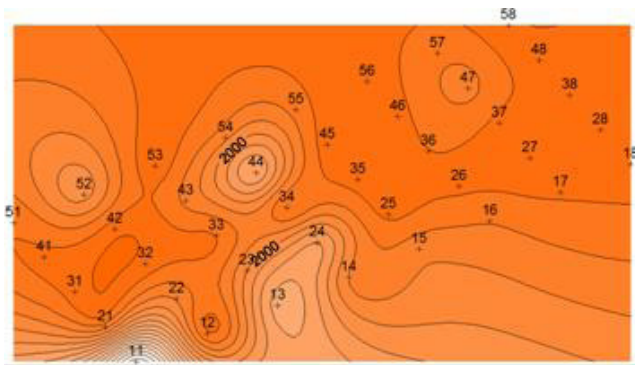
N-канал, середня амплітуда
N-channel average amplitude



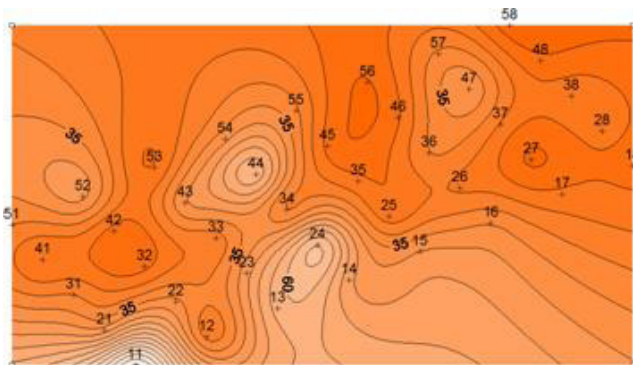
N-канал, максимальне значення
N-channel maximum value



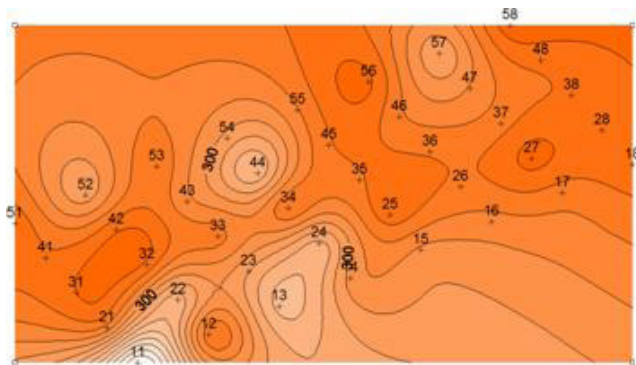
N-канал, мінімальне значення
N-channel minimum value



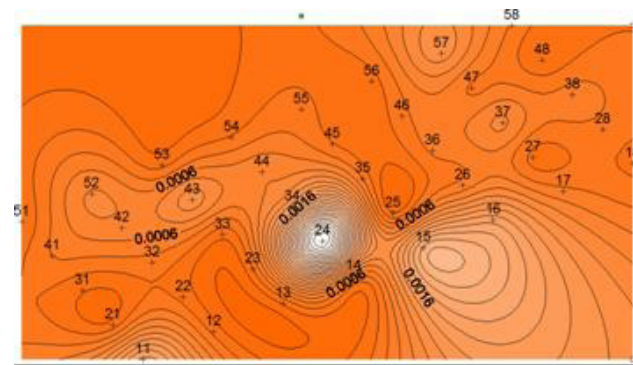
Z-канал, девіація
Z-channel deviation



Z-канал, середня амплітуда
Z-channel average amplitude



Z-канал, максимальне значення
Z-channel maximum value



Z-канал, мінімальне значення
Z-channel minimum value

Рис. 6. Карти максимальних, середніх і мінімальних значень амплітуди та короточасних варіацій мікросейсмічних коливань (мм/с) для *E*-, *N*- та *Z*-каналів сейсмометра GURALP CMG-40T

Fig. 6. Maps of maximum, medium and minimum values the amplitude deviation temporal variations microseismic fluctuations (mm/sec) for *E*-, *N*- and *Z*-channels seismometer GURALP CMG-40T

– зміна гідрогеологічного режиму ділянки спостережень через будівництво споруд з підземними гаражами, наявність яких може змінити та перекрити рух води і накопичення її в пустотах катакомб [6];

– зміна кліматичних режимів [1], що може призводити до розширення поверхні ґрунтів, яке, у свою чергу, викликає значні деформації у зонах пустот, поверхня над якими з часом провалюється.

Список бібліографічних посилань

1. Глобальне потепління і наслідки для України. URL: <http://ua.textreferat.com/referat-5405-2.html> (дата звернення 28.06.2016).
2. Здешиц В.М., Калініченко О.А., Пігулевський П.Г., Рибалко Б.І., Щербіна С.В. Дослідження мікросейсмічних явищ техногенного походження. *Геофізический журнал*. 2015. Т. 37, № 5. С. 132–142.
3. Софійський собор (Київ). URL: <https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%A1%D0%BE%D1%84%D1%96%D>

0%B9%D1%81%D1%8C%D0%BA%D0%B8%D0%B9_%D1%81%D0%BE%D0%B1%D0%BE%D1%80_(%D0%9A%D0%B8%D1%97%D0%B2) (дата звернення 19.05.2016).

4. Guralp 40T. Operator's guide. Issue E, 2016. URL: <https://www.guralp.com/documents/MAN-040-0001.pdf> (дата звернення 01.05.2016).
5. Modern laser devices for integrated geophysical observations. URL: <http://seismo.kiev.ua/Lasers/lasers.html> (дата звернення 01.06.2016).
6. Oosthuizen A.C., van Rooy J.L. Hazard of sinkhole formation in the Centurion CBD using the Simplified Method of Scenario Supposition. *Journal of the South African Institution of Civil Engineering* 2015. V. 57, no. 2. URL: http://www.scielo.org.za/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1021-20192015000200008 (дата звернення 01.05.2016).
7. Sinkholes and Karst Terrain Regions in America 1900–2015: Maps, Geological Data. URL: <https://americaninfomaps.wordpress.com/2015/03/18/sinkholes-and-karst-terrain-regions-in-america-1900-2015-maps-geological-data/> (Accessed: 24.06.2016).

Надійшла до редакції 29.12.2016 р.

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОВАЛЬНЫХ ЯВЛЕНИЙ В ИСТОРИЧЕСКОЙ ЧАСТИ КИЕВА НА ТЕРРИТОРИИ НАЦИОНАЛЬНОГО ЗАПОВЕДНИКА “СОФИЯ КИЕВСКАЯ”

С.В. Щербина¹, А.И. Брицкий², В.А. Ильенко¹, И.Д. Белов³, В.В. Остапенко⁴, Ю.В. Лесовой¹,
О.А. Цубин², О.П. Дедов³, П.И. Пигулевский¹

¹Институт геофизики им. С.И. Субботина НАН Украины, просп. Акад. Палладина, 32, г. Киев, 03680, Украина, e-mail: nohup@ukr.net, hgy@yandex.ua, lisovyi@ukr.net

²Институт проблем регистрации информации НАН Украины, ул. Шпака, 2, г. Киев, 03113, Украина, e-mail: britsky_ai@ukr.net, olan6590@gmail.com

³Киевский национальный университет строительства и архитектуры, просп. Воздухофлотский 31, г. Киев, 03037, Украина, e-mail: vcbk@ukr.net

⁴Национальный заповедник “София Киевская”, ул. Владимирская, 24, г. Киев, 01001, Украина, e-mail: vladimir.v.ostapenko@gmail.com

Исследованы провальные явления на территории Национального заповедника “София Киевская”. Установлены причины этих экзогенных процессов. Для регистрации микросейсмичности использовался сертифицированный сейсмометр GURALP CMG-40T. Построены карты максимальных, средних, минимальных значений амплитуды и девиации кратковременных вариаций микросейсмических колебаний для E-, N- и Z-каналов. На картах кратковременных вариаций микросейсмических колебаний выделены аномалии на местах просадок почвы, которые могли быть вызваны разрушением стенок подземных сооружений (катакомб), изменением гидрологического режима в связи с частыми поливами газона, а также строительными работами вокруг территории заповедника.

Ключевые слова: микросейсмичность, экзогенные процессы, просадки почв, кратковременные вариации микросейсмических колебаний.

INVESTIGATION INTO SOIL SUBSIDENCE IN HISTORICAL PART OF KYIV IN THE NATIONAL RESERVE “SOPHIA OF KYIV”

S.V. Shcherbina¹, O.I. Bricz'kyj², V.A. Ilyenko¹, I.D. Byelov³, V.V. Ostapenko⁴, Yu.V. Lisovyi¹,
O.A. Czubin², O.P. Dyedov³, P.G. Pigulevskiy¹

¹Institute of Geophysics, NAS of Ukraine, 32, Palladin Ave., Kyiv, 03680, Ukraine, e-mail: nohup@ukr.net, hgy@yandex.ua, lisovyi@ukr.net

²Institute for Information Recording of Ukraine, NAS of Ukraine, 2, Shpak Str., Kiev, 03113, Ukraine, e-mail: britsky_ai@ukr.net, olan6590@gmail.com

³Kyiv National University of Construction and Architecture, 31, Povitroflotsky Ave., Kiev, 03037, Ukraine, e-mail: vcbk@ukr.net

⁴National Reserve “Sophia of Kyiv”, 24, Vladimirska Str., Kiev, 01001, Ukraine, e-mail: vladimir.v.ostapenko@gmail.com

The purpose of the article is to investigate instances and processes of dangerous soil subsidence by studying temporal variations in micro seismic fluctuations in the area of the National Reserve “Sophia”. The research is based on the registered and analyzed seismic events of different genesis, and the collected records of micro seismic phenomena caused by a soil faults of the Reserve. The research is aimed at developing methods to conduct works, measure temporal micro seismic variations, and analyze the experimental records.

Design/methodology/approach. The study was carried out by recording temporal variations in micro seismic fluctuations. To register micro seismicity, we used a certified seismometer GURALP CMG-40T.

Findings. Based on the readings of the seismometer, we have built maps of maximum, medium, and minimum values of the amplitude and deviation in temporal variations of micro seismic vibrations for E, N, and Z channels. The maps of micro seismic temporal variations of vibrations have shown an anomaly in the area of soil subsidence.

Practical value/implications. The subsidence could be caused by the destruction of the walls of the Reserve underground catacombs, the change in the hydrological regime in the area due to frequent watering of the lawns, and the construction works under way around the Reserve. In interpreting the information obtained while measuring temporal variations in micro seismicity, five anomalous zones were detected. Four of them are correlated with the known zones of soil subsidence. On the picket 13, a fresh anomaly has occurred, which is likely to be the area of future instances of soil subsidence.

Keywords: micro seismic, exogenous processes, soil subsidence, temporary variations micro seismic fluctuations.

References:

1. Hlobal'ne poteplinnya i naslidky dlya Ukrayiny. Available at: <http://ua.textreferat.com/referat-5405-2.html> (Accessed 28 June 2016) [in Ukrainian].
2. Zdeschchys V.M., Kalinichenko O.A., Pihulevs'kyy P.H., Rybalko B.I., Shcherbina S.V. Investigation of micro-seismic phenomena of anthropogenic origin. *Geofizicheskiy zhurnal*, 2015, vol. 37, no. 5, pp. 132-142 [in Ukrainian].
3. Sofiys'kyy sobor (Kyiv). Available at: [https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%A1%D0%BE%D1%84%D1%96%D0%B9%D1%81%D1%8C%D0%BA%D0%B8%D0%B9_%D1%81%D0%BE%D0%B1%D0%BE%D1%80_\(%D0%9A%D0%B8%D1%97%D0%B2\)](https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%A1%D0%BE%D1%84%D1%96%D0%B9%D1%81%D1%8C%D0%BA%D0%B8%D0%B9_%D1%81%D0%BE%D0%B1%D0%BE%D1%80_(%D0%9A%D0%B8%D1%97%D0%B2)) (Accessed 5 May 2016) [in Ukrainian].
4. Guralp 40T. Operator's guide. Issue E, 2016. Available at: <https://www.guralp.com/documents/MAN-040-0001.pdf> (Accessed 01 May 2016).
5. Modern laser devices for integrated geophysical observations. Available at: <http://seismo.kiev.ua/Lasers/lasers.html> (Accessed 01 June 2016).
6. Oosthuizen A.C., van Rooy J.L. Hazard of sinkhole formation in the Centurion CBD using the Simplified Method of Scenario Supposition. *Journal of the South African Institution of Civil Engineering*, 2015, vol. 57, no. 2. URL: http://www.scielo.org.za/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1021-20192015000200008 (Accessed 01 May 2016).
7. Sinkholes and Karst Terrain Regions in America 1900 – 2015: Maps, Geological Data. Available at: <https://americaninfomaps.wordpress.com/2015/03/18/sinkholes-and-karst-terrain-regions-in-america-1900-2015-maps-geological-data/> (Accessed 24 June 2016).

Received 29/12/2016