## ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОВАЛЬНИХ ЯВИЩ В ІСТОРИЧНІЙ ЧАСТИНІ КИЄВА НА ТЕРИТОРІЇ НАЦІОНАЛЬНОГО ЗАПОВІДНИКА "СОФІЯ КИЇВСЬКА"

С.В. Щербіна<sup>1</sup>, О.І. Бріцький<sup>2</sup>, В.А. Ільєнко<sup>1</sup>, І.Д. Бєлов<sup>3</sup>, В.В. Остапенко<sup>4</sup>, Ю.В. Лісовий<sup>1</sup>, О.А. Цубін<sup>2</sup>, О.П. Дєдов<sup>3</sup>, П.Г. Пігулевський<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Інститут геофізики ім. С.І. Субботіна НАН України, просп. Акад. Палладіна, 32, м. Київ, 03680, Україна, e-mail: nohup@ukr.net, lisovyi@ukr.net, hgy@yandex.ua <sup>2</sup>Інститут проблем реєстрації інформації НАН України, вул. Шпака, 2, м. Київ, 03113, Україна, e-mail: britsky\_ai@ukr.net, olan6590@gmail.com <sup>3</sup>Київський національний університет будівництва і архітектури, просп. Повітрофлотський, 31, м. Київ, 03037, Україна, e-mail: vcbk@ukr.net <sup>4</sup>Національний 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 грунту, 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 грунту 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 яром 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 Софіївським 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 в межах майданчика нанесено штучні тунелі (рис. 3).





*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 грунту, що відбулося у 2015 р. (накритого та огородженого 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

Методика робіт. Майданчик вимірювання було розбито на 40 точок (пікетів) з відстанню між ними 5.0 м i 4.28 (карта точок вимірювань зоні провалу М y 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 землі фіксованої висоти, горизонтальні oci майданчика вимірювання по 3 (http://seismo.kiev.ua/GoogleMap/SophiaCathedral/) були орієнтовані вздовж його.

Аналіз результатів вимірювання мікросейсмічних коливань у зоні провалів. Процес вимірювань мікросейсмічних коливань у 40 точках зони провалу (карта точок вимірювань в зоні провалу – http://seismo.kiev.ua/GoogleMap/SophiaCathedral/) складався з таких етапів:

1) розташування апаратури у належному місці, яке відмічене знаком з

особливим номером – від 11 до 58. Така нумерація необхідна для точного визначення пункту вимірювань матричним методом;

2) після підготовлення 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 короткочасного 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.

Під час первинного аналізу експериментальних результатів двох етапів вимірювань у кожній точці (пікеті) 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 коливань у цій точці спостерігаються саме на каналі *N*, напрямок якого збігається з основним простяганням зони досліджень (карта точок вимірювань у зоні провалу – http://seismo.kiev.ua/GoogleMap/SophiaCathedral/). Амплітуда швидкості 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





a

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

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



*Рис. 5.* Записи значного за амплітудою мікроземлетрусу, що стався в точці спостережень 31, вертикальним лазерним сейсмометром (*a*), 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 ( $\delta$ ) occurred at the point of observation 31. The maximum value of its 12.6 mm/sec channel Z

**Інтерпретація результатів досліджень.** За результатами вимірювань короткочасних варіацій мікросейсмічних коливань трикомпонентним велосиметром GURALP CMG-40T побудовано карти варіації мікросейсмічних коливань. 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 просідання за часом і значне за об'ємом відбулося між пікетами 34, 35, 44 та 45. Ця зона простежується на картах короткочасних 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).



Е-канал, девіація

E-channel deviation



*E*-канал, середня амплітуда *E*-channel average amplitude



*E*-канал, максимальне значення *E*-channel maximum value



Е-канал, мінімальне значення

E-channel minimum value



*N*-канал, девіація

N-channel deviation



N-канал, середня амплітуда N-channel hannel 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 короткочасних 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

Незначні просідання біля пікета 34 закартовано для *Е*-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 короткочасних 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 короткочасних варіацій мікросейсмічних коливань *Z*-каналу (рис. 6).

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

**Висновки.** При обробці та інтерпретації інформації, отриманої за вимірювань короткочасних 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:

- 1) обвали підземних тунелів і погребів, наявних на майданчику досліджень;
- полив газону у саду заповідника "Софія Київська" автоматичною системою, що призвело до просочування води у пустоти катакомб із збільшенням гідрологічного навантаження на останні;
- зміна гідрогеологічного режиму ділянки спостережень через будівництвом 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 грунтів, яке, у свою чергу, викликає значні деформації у зонах пустот, поверхня над якими з часом провалюється.

#### Список бібліографічних посилань

- Глобальне потепління і наслідки для України. URL: http://ua.textreferat.com/referat-5405-2.html (дата звернення 28.06.2016).
- Здещиц В.М., Калініченко О.А., Пігулевський П.Г., Рибалко Б.І., Щербіна С.В. Дослідження мікросейсмічних явищ техногенного походження. Геофизический журнал. 2015. Т. 37, № 5. С. 132–142.
- 3.
   Софіївський
   собор
   (Київ).
   URL:

   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) (дата звернення 19.05.2016).
   WRL:
- Güralp 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).
- 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-inamerica-1900-2015-maps-geological-data/ (Accessed: 24.06.2016).

Надійшла до редакції 29.12.2016 р.

# ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОВАЛЬНЫХ ЯВЛЕНИЙ В ИСТОРИЧЕСКОЙ ЧАСТИ КИЕВА НА ТЕРИТОРИИ НАЦИОНАЛЬНОГО ЗАПОВЕДНИКА "СОФИЯ КИЕВСКАЯ"

С.В. Щербина<sup>1</sup>, А.И. Брицкий<sup>2</sup>, В.А. Ильенко<sup>1</sup>, И.Д. Белов<sup>3</sup>, В.В. Остапенко<sup>4</sup>, Ю.В. Лесовой<sup>1</sup>, О.А. Цубин<sup>2</sup>, О.П. Дедов<sup>3</sup>, П.И. Пигулевский<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Институт 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 <sup>2</sup>Институт проблем регистрации информации НАН Украины, ул. Шпака, 2, г. Киев, 03113, Украина, e-mail: britsky\_ai@ukr.net, olan6590@gmail.com

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

<sup>4</sup>Национальный заповедник "София Киевская", ул. Владимирская, 24, г. Киев, 01001, Украина, e-mail: <u>vladimir.v.ostapenko@gmail.com</u>

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.

## RESEARCH FAILURE PHENOMENONS IN HISTORICAL PART OF KYIV IN THE NATIONAL RESERVE "SOPHIA KYIV"

S.V. Shcherbina<sup>1</sup>, O.I. Briczkyj<sup>2</sup>, V.A. Ilyenko<sup>1</sup>, I.D. Byelov<sup>3</sup>, V.V. Ostapenko<sup>4</sup>, Yu.V. Lisovyi<sup>1</sup>, O.A. Czubin<sup>2</sup>, O.P. Dyedov<sup>3</sup>, P.I. Pigulevskiy<sup>1</sup>

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

<sup>2</sup>Institute for information recording of Ukraine National Academy of Science, 2, Shpak Str., Kiev, 03113, Ukraine, e-mail: britsky\_ai@ukr.net, olan6590@gmail.com

<sup>3</sup>Kyiv National University of Construction and Architecture, 31, Povitroflotsky Ave., Kiev-037, 03680, Ukraine, e-mail: vcbk@ukr.net

<sup>4</sup>National reserve "Sophia Kyiv", 24, Vladimirskaya Str., Kiev, 01001, Ukraine,

e-mail: vladimir.v.ostapenko@gmail.com

**Purpose.** In this article we consider the study of phenomena flops in the National Reserve "Sophia." The purpose of the study of dangerous subsidence of the soil and of failed processes by studying temporal variations microseismic fluctuations in the study area of the National Reserve "Sophia" based on registration and analysis of seismic events of different genesis, collecting and analyzing records microseismic phenomena caused by a failure on the reserve. Objectives of research: development of methods of work, measuring temporal variations microseismic, analysis of experimental records.

**Design/methodology/approach.** The study took place by recording temporal variations micro seismic fluctuations. To register micro seismic certified used seismometer GURALP CMG-40T.

**Findings.** according to him were built maps of maximum, medium and minimum values the amplitude deviation temporal variations microseismic vibrations for E, N and Z channels. For maps of microseismic temporal variations of vibrations detected an anomaly in the field subsidence soil.

**Practical value/implications.** The causes which could be destruction of the walls of underground dispute to the reserve (the catacombs), change the hydrological regime in the area due to the frequent watering of lawns and construction work around the reserve. With or interpreting the information obtained during the measurement of temporal variations microseismic was allocated five anomalous zones. Four of them are correlated with the known zones of subsidence soil on the picket released 13 new anomaly likely area in which future possible subsidence of the soil.

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

### **References:**

- Hlobal'ne poteplinnya i naslidky dlya Ukrayiny. Available at: http://ua.textreferat.com/referat-5405-2.html (Accessed 28 June 2016) [in Ukrainian].
- Zdeshchyts 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.
   Sofiyivs'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) (Accessed 5 May 2016) [in Ukrainian].
- 4. Güralp 40T. Operator's guide. Issue E, 2016. Available at: https://www.guralp.com/documents/MAN-040-0001.pdf (Accessed 01 May 2016).
- Modern laser devices for integrated geophysical observations. Available at: http://seismo.kiev.ua/Lasers/lasers.html (Accessed 01 June 2016).
- 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).

 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-inamerica-1900-2015-maps-geological-data/ (Accessed 24 June 2016).

Received 29/12/2016