



### ЩЕРБИНА СЕРГІЙ ВАЛЕНТИНОВИЧ

Кандидат фізико-математичних наук, старший науковий співробітник Інституту геофізики НАН України.

Основні напрямки наукової діяльності: розробка апаратури й програмного забезпечення для автоматичного наукового аналізу геофізичних параметрів областей зі складною тектонічною будовою з результатами, доступними для стандартної й науково-технічної інтерпретації серйозних сейсмічних подій. На основі нових результатів наукових досліджень в області мікросейсмічного аналізу розробляється й впроваджується нова технологія оцінок локальної й регіональної сейсмічної небезпеки, розробляються методи прогнозування землетрусів.

Автор 16 наукових праць і 8 геофізичних апаратів.

E-mail: nohup@ukr.net



### КРІЛЬ ТЕТЯНА ВАСИЛІВНА

Молодший науковий співробітник Відділу інженерної геології Інституту геологічних наук НАН України.

Основні напрямки наукової діяльності: вплив факторів динамічного характеру на зміну фізико-механічних властивостей ґрунтів, дослідження характеру розвитку інженерних та геодинамічних процесів під впливом динамічних навантажень, моделювання поведінки ґрунту в умовах вібрації.

Автор 7 опублікованих робіт.

E-mail: kotkotmag@mail.ru

УДК 624.131.55:550.34.016(477-25)

## АНАЛІЗ СПЕКТРАЛЬНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ВІБРАЦІЙ У ҐРУНТАХ НА ТЕРИТОРІЇ М. КИЄВА, СПРИЧИНЕНИХ РУХОМ ПОЇЗДІВ МЕТРОПОЛІТЕНУ

*Ключові слова: зв'язні ґрунти, одноплщинне зрушення, penetрація, кут внутрішнього тертя, питоме зчеплення, взаємозв'язок.*

*Проведено аналіз спектрального складу та амплітуд записів коливань, що поширюються при русі поїздів метрополітену. Дослідження проводились у Святошинському районі м. Києва біля ст. метро «Академмістечко». При проведенні експерименту застосовувався комплекс сейсмометричної апаратури «Гуралп» - СМГ40Т. Компоненти геологічного середовища представлені перешаруванням флювіогляціальних пісків, супісків та суглинків. Виділено мікросейсмічний сигнал техногенного походження, складено часові варіації спектральних характеристик вібрацій (техногенного шуму) від руху поїздів метрополітену*

*Проведен анализ спектрального состава и амплитуд записей колебаний, которые распространяются при движении поездов метрополитена. Исследования проводились в Святошинском районе г. Киева возле ст. метро «Академгородок». При проведении эксперимента применялся комплекс сейсмометрической аппаратуры «Гуралп» - СМГ40Т. Компоненты геологической среды представлены переслойкой флювиогляциальных песков, супесков и суглинков. Выделен микросейсмический сигнал техногенного происхождения, составлены временные вариации спектральных характеристик вибраций (техногенного шума) от движения поездов метрополитена*

*The analysis of spectral structure and amplitudes of records of vacillatings which extend at movement of trains of underground is carried out. Researches were spent in Svjatoshinsky neighbouring commune of Kiev near underground "Academgorodok" item. At experiment carrying out the complex of seismometric equipment "Guralp" - СМГ40Т was applied. Components geological environments are presented alternation of fluvio-glacial sand, sandy clay and loams. The microseismic signal of a technogenic origin is allocated, time variations of spectral characteristics of vibrations (technogenic noise) from movement of trains of underground are made*

1. ВСТУП

Вібраційне поле на територіях великих міст пов'язано із рухом різних видів транспорту на фоні загально-го рівня сейсмічності території. Серед них енергія коливань, збуджених рухом поїздів метро є найбільш потужною. Розповсюджуючись у ґрунтах, вони спричиняють зміни їх фізико-механічних властивостей, що веде до активізації небезпечних процесів на забудованих територіях (осідання ґрунтових товщ, додаткові нерівномірні деформації ґрунтових основ існуючих будівель). Припустимими значеннями рівня вібрації для ґрунтів основ будівель та споруд є 73 – 96 дБ (швидкість переміщення часток ґрунту 225-3160 10-6 м/с) [1, 5].

Як правило, лінії метрополітену, що знов прокладаються, проходять на невеликій глибині (3-4 м від поверхні землі), що дозволяє різко знизити вартість будівництва тунелів метрополітену, виконуючи їх відкритим способом, і збільшити масштаби підземної забудови. Рівень вібрації при русі поїздів метрополітену як процесу розповсюдження коливань визначається амплітудою коливань і спектральним складом. В інтервалі експлуатаційної швидкості руху потягів метро від 30 до 110 км/год. спектр вібрації, що передається у ґрунти, зосереджений у частотному діапазоні 10-250 Гц, однак основна енергія коливань зосереджена в більш вузькому діапазоні – 5-60 Гц.

Для оцінки стійкості ґрунтів урбанізованих територій при дії вібрації є інструментальні вимірювання силових та часових параметрів динамічних навантажень (амплітуд вібраційних хвиль, частот, тривалості дії) із використанням сейсмометричної апаратури.

Розповсюдження вібраційних коливань (техногенного шуму) розглядаємо як мікросейсмічний процес на земній поверхні. Під

ним ми розуміємо реакцію геологічного середовища на рух поїздів метрополітену. Особливість цих процесів полягає у тому, що вони мають часові зміни різної тривалості внаслідок температурних змін у верхніх шарах земної кори, змін напружено-деформаційного стану ґрунтів (привантаження від існуючих будівель та споруд, наявність підземних порожнин) та ін. Тому постає питання про сталість у часі мікросейсмічних сигналів при аналізі впливу техногенних вібрацій на ґрунти основ забудованих територій.

2. ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РАЙОНУ ДОСЛІДЖЕНЬ

Дослідження проводились у Святошинському районі м. Києва біля ст. метро «Академмістечко» (рис. 1). Ділянка розташована у межах зандрової рівнини. Поверхня ділянки рівна, абсолютні відмітки поверхні змінюються у межах 164–177 м. На досліджуваній території знаходяться адміністративні та житлові будівлі, підземні на наземні транспортні споруди. Виділені чотири інженерно-геологічні елементи ділянки представлені на рис. 2.

Ділянка в межах досліджуваної глибини складена четвертинними відкладами – флювіогляціальними пісками

Таблиця 1 Фізико-механічні характеристики ґрунтів.

Найменування ґрунту	Пісок маловологий	Супісок твердий	Суглинок тугопластичний
Щільність ґрунту, кН/м <sup>3</sup>	1,75	1,80	1,90
Коефіцієнт пористості	0,65	0,60	0,60
Кут внутрішнього тертя, °	30	24	22
Питоме зчеплення, МПа	0,0012	0,015	0,02
Модуль деформації, МПа	25	20	20
Коефіцієнт фільтрації, м/добу	6	1	0,5
Коефіцієнт бокового розширення	0,30	0,30	0,35

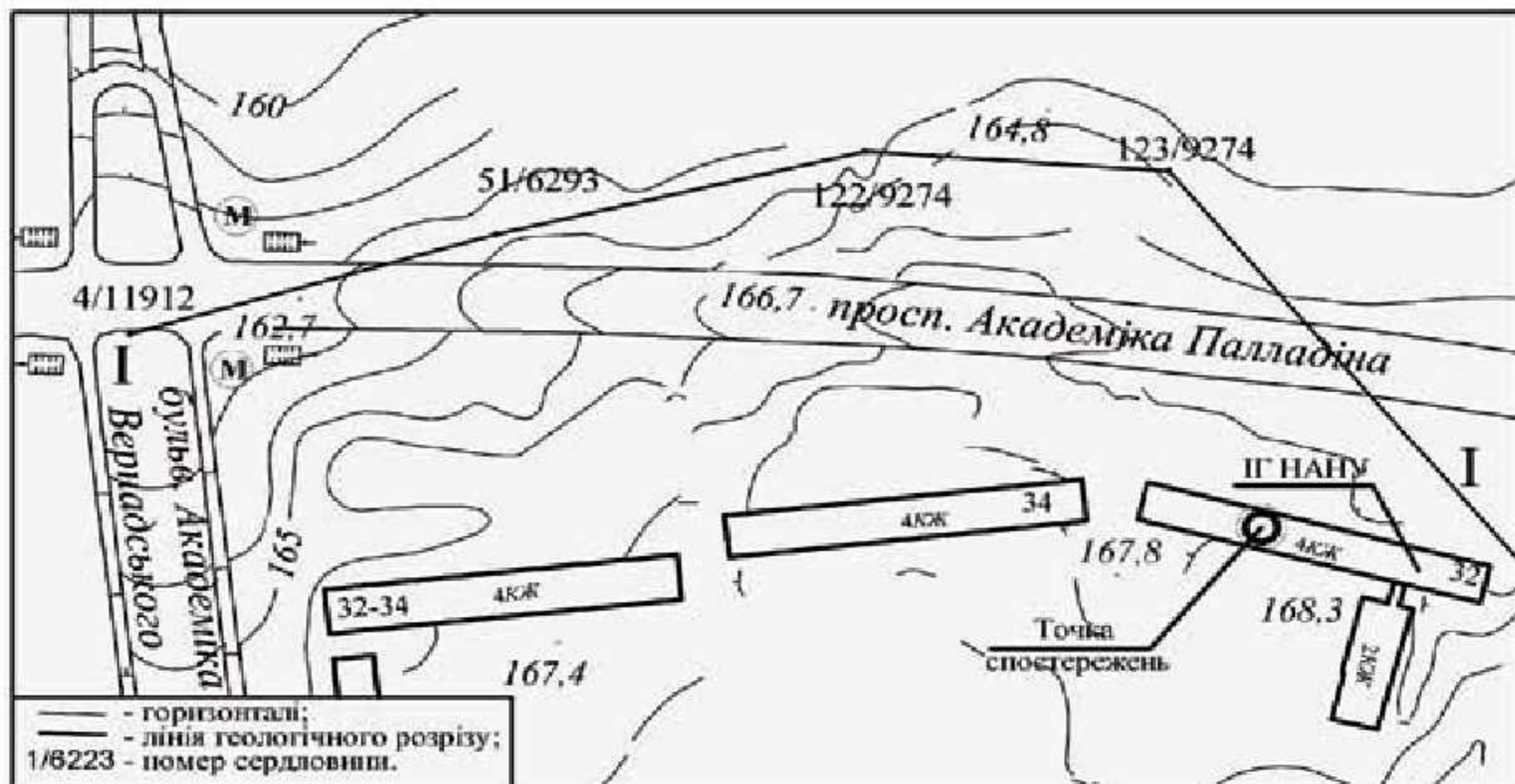


Рис. 1. Оглядова схема району досліджень.

сірувато-жовтого, жовтого, світло-сірого кольору з тонкими прошарками та лінзами супісків та суглинків; супісками світло-сірими, сірувато-жовтими з прошарками та лінзами піску; суглинком сірим, бурувато-сірим, місцями з прошарками та лінзами піску з галькою та гравієм, фізико-механічні характеристики яких наведено у таблиці 1. З поверхні відклади перекриті насипними та рослинними ґрунтами, представлені піском мілким, маловологим з уламками цегли, супіском пластичним та суглинком тугопластичним з потужністю 0,3-2 м. Гідрогеологічні умови характеризуються наявністю підземних вод на глибинах 5-13 м, що відповідає абсолютним позначкам Водовміщуючими ґрунтами є піски, супіски, суглинки. Територія не відноситься до підтоплюваних.

Поле вібраційних навантажень створюється рухомими транспортними засобами на просп. Акад. Палладіна та бульв. Акад. Вернадського, з інтенсивністю руху відповідно 11 808 та 10 152 тр.од./год., а також вібрацій від руху поїздів метрополітену.

**3. РЕЗУЛЬТАТИ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ**

Для замірів мікросейсмічних коливань застосовувалась апаратура сейсмічного типу – «Гуралп» – СМГ40Т [6, 9]. Такі сейсмодатчики мають пропускну смугу частот від 0,03 до 50 Гц. Прилад встановлений на відстані не менше 300 м від просп. Акад. Палладіна і не менше 500 м від ст. метро «Академмістечко». Записи коливань сейсмічного датчика були співставлені з розкладом прибуття і вибуття поїздів на станції метро (таблиця 2), на яких виділено мікросейсмічний сигнал техногенного походження (рис. 3). На записах можна бачити, що відстань у часі між максимальними імпульсами однакова, що підтверджує техногенну генерацію записаних

мікросейсмічних коливань.

Техногенні динамічні навантаження з однаковими відстанями у часі провокують потужні коливання ґрунту та зміни їх фізико-механічних властивостей. Під впливом інженерно-господарської діяльності ґрунти переходять у неврівноважений стан, і можуть деформуватися навіть при порівняно слабких землетрусах. Яскравим прикладом цього є урбанізовані території, для яких характерно підняття рівнів ґрунтових вод та підтоплення фундаментів споруд, що разом із постійною дією навантажень динамічного характеру різко знижує інженерно-сейсмічну стійкість геологічного середовища таких територій [3, 2]. Тому, для урбанізованих територій, зокрема м. Києва, необхідно проводити перерахунок можливого прояву сейсмічної інтенсивності за шкалою MSK-64.

Для розрахунку збільшення бальності при техногенному вібраційному впливі використовується відношення спектрів мікросейсмічного шуму, що вимірюється за допомогою сейсмометра [4, 7, 8]. Одним з важливих напрямків таких вимірів може бути вимір тимчасових варіацій збільшення бальності.

Якщо досліджувана тектонічна зона стабільна за своєю геологічною будовою й не піддається істотним деформаціям, то зміни бальності в часі повинні бути незначними. Основним параметром змін у такому варіанті досліджень є помилка виміру параметрів спектра для розрахунку збільшення бальності.

Розглянемо спектральні характеристики мікросейсмічних сигналів. На рис. 4 приведені записи мікросейсмічних коливань місця розміщення сейсмічної станції із відсутнім (запис 1) та присутнім (запис 2) вібраційним впливом від руху поїздів метрополітену, які вимірюються по одиницях ЦП (цифрового процесора). Довжина у часі записів на рис. 4 — не перебільшує 50 секунд.

На записі 2 (рис. 4) добре видно технічно збільшені амплітуди техногенних мікросейсмічних коливань (запис 2) - вони у чотири рази перевищують рівень мікросейсмічних природних коливань - (запис 1). Абсолютне значення амплітуди з впливом транспорту на записі (2) — (39970+34122=74092). Без неї на записі (1) — (9518+9279=18798). Їх відношення розраховано наступним чином: 74092/18798 = 4 рази.

При простому аналізі спектрів мікросейсмічних записів (рис. 5), видно, що основна техногенна частота коливань досліджуваної тектонічної області перебуває в межах від 8 до 12 Гц.

Для подальшого виміру інтенсивності техногенних мікросейсмічних впливів було виконано розрахунок відношень спектрів технічних і природних струсів у точці спостереження, результати якого наведено у таблиці 3. Аналіз показує, що техногенні струси досліджуваної області досить інтенсивні. Нелогарифмоване відношення бальності має істотно мінливий у часі розкид – від 0.74 до 1.18. Це обу-

Таблиця 2 Зафіксований час руху поїздів метрополітену.

№ п/п	Час фіксування	Напрямок руху*	№ п/п	Час фіксування	Напрямок руху*
1.	14:49:01	PL	23.	15:06:37	YL
2.	14:48:04	PP	24.	15:06:42	YP
3.	14:48:56	YP	25.	15:08:01	PP
4.	14:49:28	YL	26.	15:09:40	YP
5.	14:50:59	PP	27.	15:09:59	PL
6.	14:52:26	YP	28.	15:10:28	YL
7.	14:52:40	PL	29.	15:11:59	PP
8.	14:53:25	YL	30.	15:13:23	YP
9.	14:54:34	PP	31.	15:13:59	PL
10.	14:55:52	YP	32.	15:14:24	YL
11.	14:56:28	PL	33.	15:15:59	PP
12.	14:56:59	YL	34.	15:16:54	YP
13.	14:58:25	PP	35.	15:17:17	PL
14.	14:59:53	PL	36.	15:17:54	YL
15.	15:00:04	YP	37.	15:19:22	PP
16.	15:00:21	YL	38.	15:20:09	YP
17.	15:01:55	PP	39.	15:20:47	PL
18.	15:02:38	YP	40.	15:21:17	YL
19.	15:03:17	PL	41.	15:23:03	PP
20.	15:04:05	YL	42.	15:23:45	PL
21.	15:06:00	PP	43.	15:24:06	YP
22.	15:06:09	PL	44.	15:24:19	YL

\*PL - прийшов лівий (напрямок депо)- час повної зупинки; YL - пішов лівий (напрямок депо)- рушив; PP - прийшов правий (напрямок Хрещатик)- час повної зупинки; YP - пішов правий (напрямок Хрещатик)- рушив.

Дивись рисунки 2-7 на стор. 3 обкладенки

Таблиця 3 Розподіл не логарифмованих і логарифмованих збільшень бальності за час спостережень.

N	Час спостережень (з - до)	Нелогарифмоване відношення спектрів	Логарифм відношень спектрів
1	15:00:04 - 15:02:38	1.10	0.04
2	15:03:17 - 15:06:09	1.18	0.07
3	15:06:37 - 15:09:40	1.16	0.06
4	15:09:59 - 15:13:23	1.03	0.01
5	15:13:59 - 15:16:54	0.94	-0.03
6	15:17:17 - 15:20:09	0.74	-0.13

мовлено взаємодією техногенних джерел різної потужності в досліджуваній області (одночасний рух легкових та вантажних транспортних засобів на просп. Акад. Палладіна та бульв. Акад. Вернадського).

Для підтвердження техногенної природи зареєстрованих штучних струсів розглянемо відношення спектральних характеристик досліджуваної області за тривалий період часу. Фільтровані записи вектора спостережних сейсмічних записів представлені на рис. 6.

Вектори мікросейсмічних записів, представлених на рис. 5 були відфільтровані в смузі частот від 0.01 до 1.0 Гц. Такий діапазон визначається методологіями мікросейсмічних спостережень [8, 6]. На рисунку ми бачимо досить інтенсивні імпульси струсів землі на ділянці спостережень безсумнівно техногенного походження, а не породжені далекими землетрусами. Певна періодичність їхніх повторень наведена в таблиці 2.

Для з'ясування рівня інтенсивності техногенних струсів зроблено розрахунок збільшення бальності, результати якого представлені на рис. 7.

Розрахунок лінійної регресії, застосований до відношення спектрів показав, що їх не логарифмоване відношення становить 1.16. Це більше, ніж усереднене значення не логарифмованих відношень спектрів для записів, що зроблені при відсутності транспортних навантажень, що дорівнює 1.02.

Проте, загальний аналіз цих величин показує, що інтенсивність техногенних струсів досліджуваної геофізичної точки досить висока. Безперервний транспортний вплив такої інтенсивності на геологічне середовище може спричинити активізацію негативних інженерно-геологічних процесів при сумісному додатковому впливі інших факторів, наприклад підтоплення. Очевидно, що перевірку стабільності стану технічно перевантажених ділянок м. Києва необхідно проводити в різних діапазонах частот при мікросейсмічних спостереженнях. Вибір певних частотних діапазонів мікросейсмічного сигналу покаже динаміку процесів зміни стану досліджуваної техногенно перевантаженої зони.

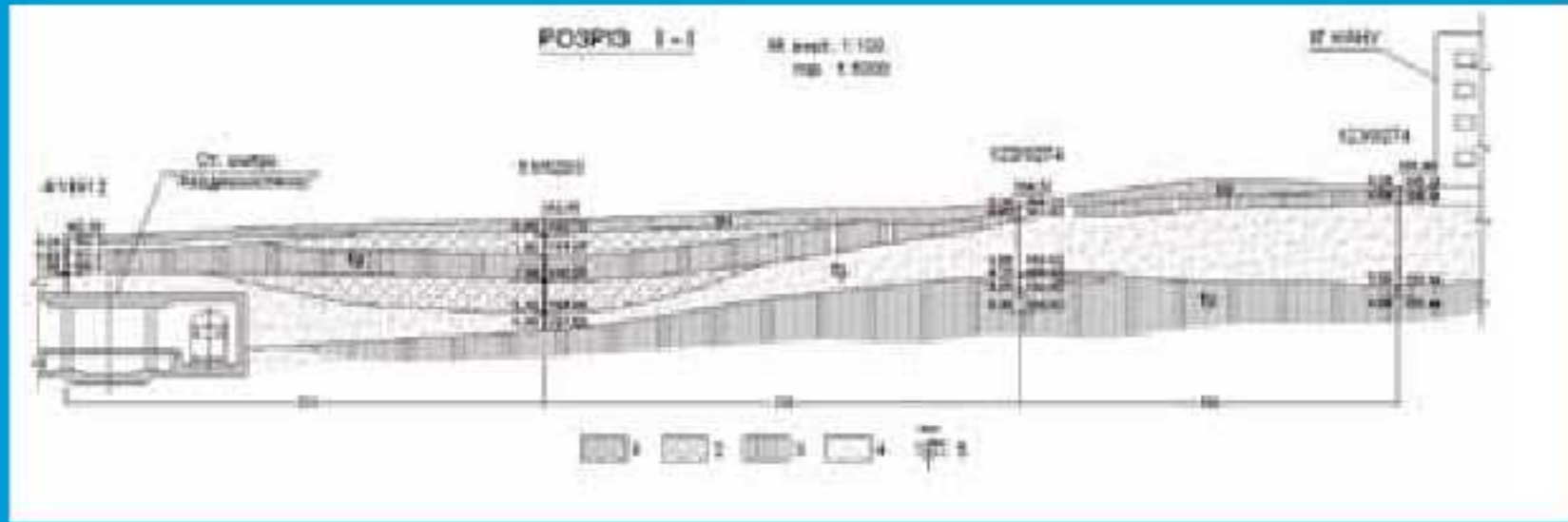
**ВИСНОВКИ:**

Зростання інтенсивності техногенних динамічних навантажень на урбанізованих територіях ставить необхідність подальших методичних розробок для здійснення інженерних та вібраційних досліджень на території міст; важливим значенням оцінки стійкості геологічного середовища для визначення оптимальних рівнів динамічних навантажень, режиму використання урбанізованих територій при їх дії; необхідністю вдосконалення інженерного захисту будівель та споруд на урбанізованих територіях від небезпечних природно-техногенних процесів, спричинених вібраційним впливом, попередження та ліквідації негативних наслідків, розробки муніципальних програм, реконструкції міста та Генплану.

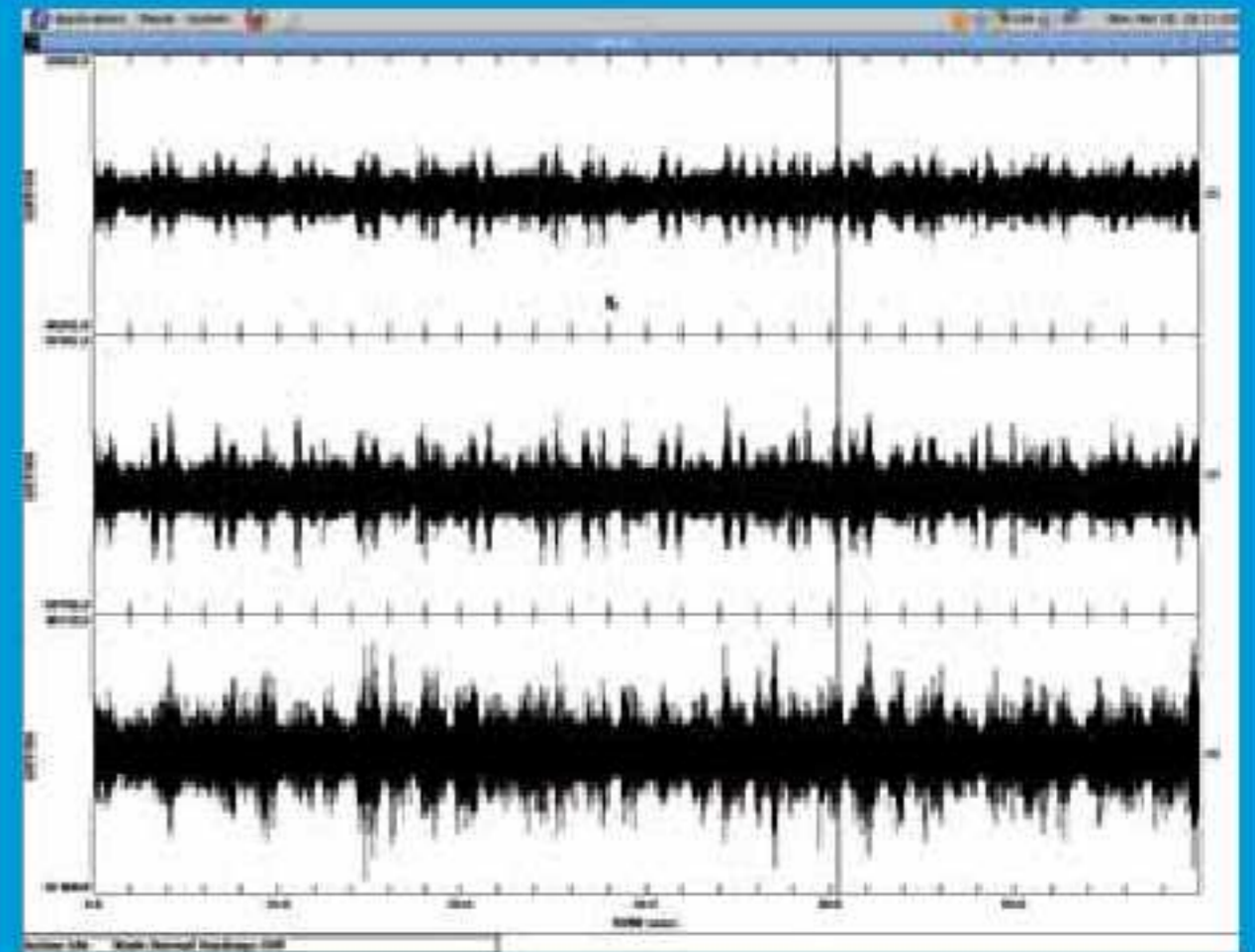
**СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ**

1. Баркан Д.Д. Динамика оснований и фундаментов. – М.; Л.: Стройвоенмориздат. 1948. –412 с.
2. Демчишин М.Г. Техногенез и сейсмичность территории Украинской ССР / М.Г. Демчишин, В.Ф. Краев // Тез. докл. Всесоюз. науч. конф., посвященной 80-летию акад. АН УзССР Г.А. Мавлянова (Ташкент, 4-6 июня 1990 г.). – Ташкент: ФАН, 1990. – С. 26-28.
3. Кріль Т.В. Вібраційний вплив на геологічне середовище міст // Геологічний журнал. – 2008, – №2. – С. 91–99.
4. Маковичка Д. Влияние вибраций, возникающих при эксплуатации метро, на окружающую застройку. / Строительная механика и расчет сооружений. – 1985, – №1. – С. 78 – 80.
5. Савинов О.А. Современные конструкции фундаментов под машины и их расчет. – Л.; М.: Стройиздат, 1972. – 279 с.
6. Щербина С.В. Образцы некоторых цифровых сейсмических регистраторов Института геофизики НАН Украины. / Геофизический журнал. – 2008. – №2, Т. 30. – С. 71 – 78.
7. Щербина С.В. Программное обеспечение телеметрической системы сбора и обработки микросейсмических данных в режиме он-лайн. / С.В. Щербина, Ю.В. Лесовой // Геодинаміка. – 2008. – №.1(7). – С. 110 – 115.
8. Щербина С.В. Цифровые сейсмические регистраторы и их калибровка. / Геофизический журнал. – 2011. – №2, Т. 33. – С. 156 – 160.
9. <http://www.guralp.com>

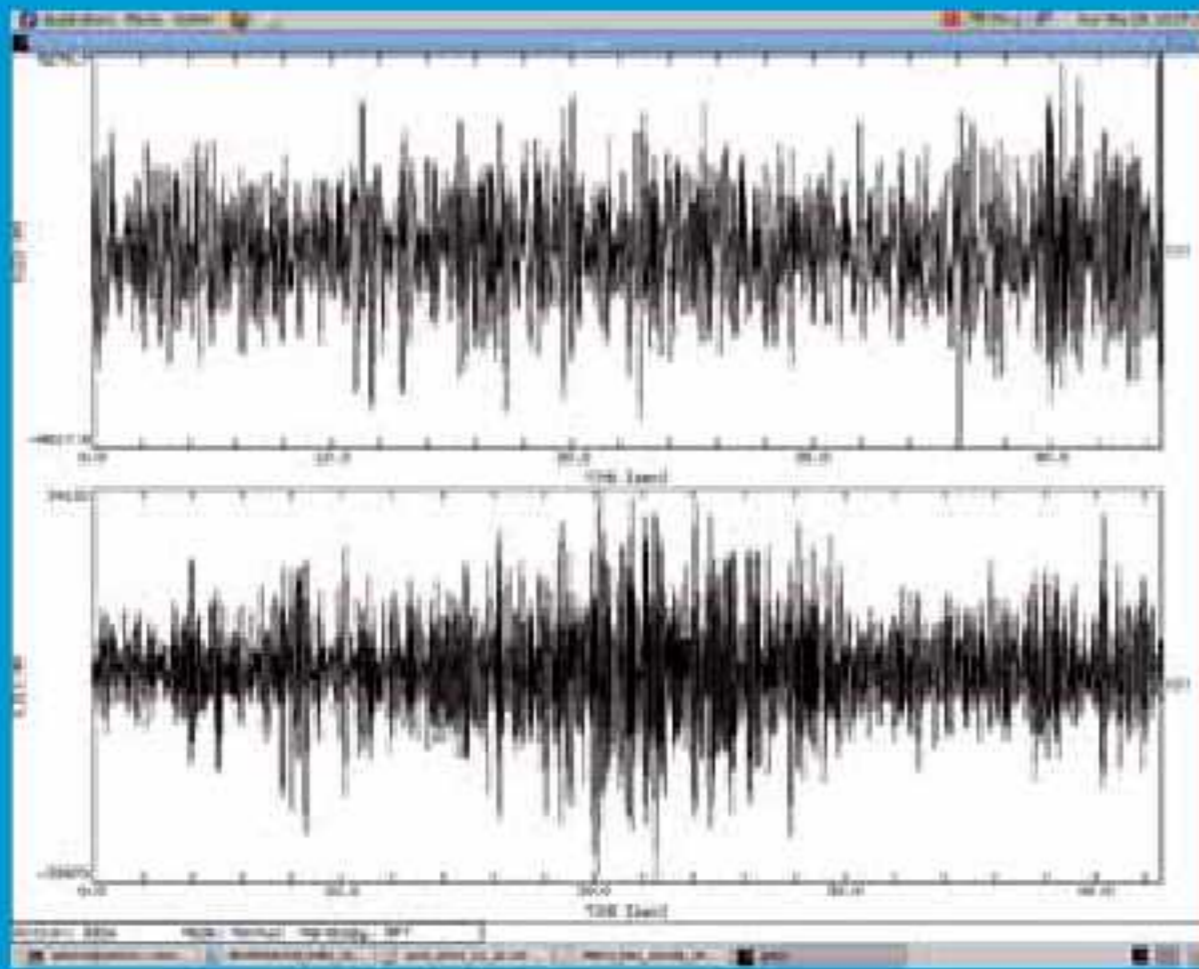
**РИСУНКИ ДО СТАТТІ ЩЕРБИНА С.В., КРІЛЬ Т.В. «АНАЛІЗ СПЕКТРАЛЬНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ВІБРАЦІЙ У ҐРУНТАХ НА ТЕРИТОРІЇ М. КИЄВА, СПРИЧИНЕНИХ РУХОМ ПОЇЗДІВ МЕТРОПОЛІТЕНУ»**



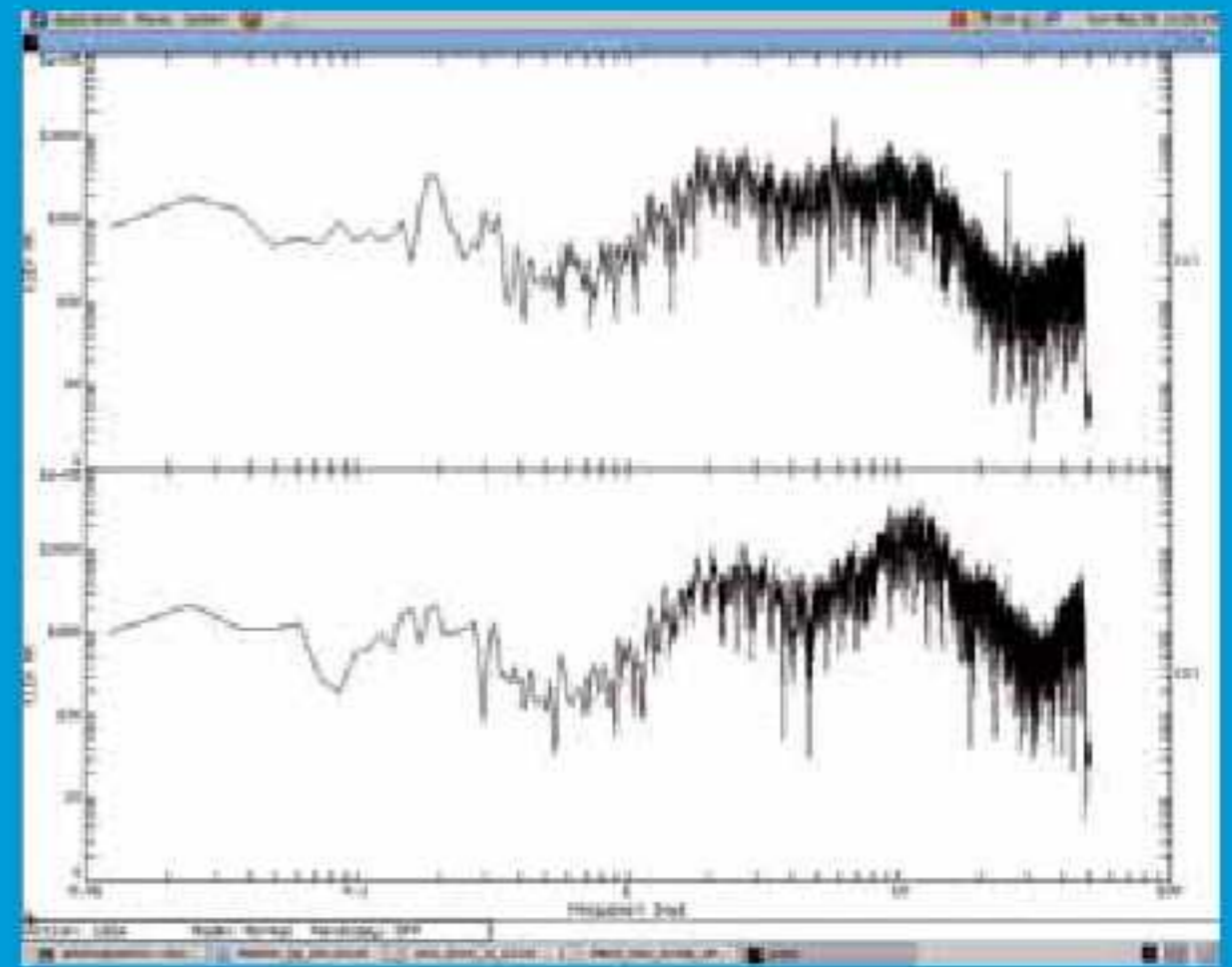
**Рис. 2.** Схематичний геологічний розріз: 1 - насипні ґрунти - супісок бурий, буро-жовтий, неоднорідний, з уламками будівельного сміття; 2 - супісок жовтувато-бурий, бурий, червонувато-бурий, легкий; 3 - суглинок бурий, червонувато-бурий, легкий піщанистий; 4 - пісок жовтий, бурувато-жовтий, середній та дрібний з тонкими прошарками супісків; 5 - свердловини із номером відповідно звітної документації (над сверд. абс. відмітки поверхні, (м), справа від сверд. потужність порід, (м), зліва від сверд. абс. відмітки підшви, (м).



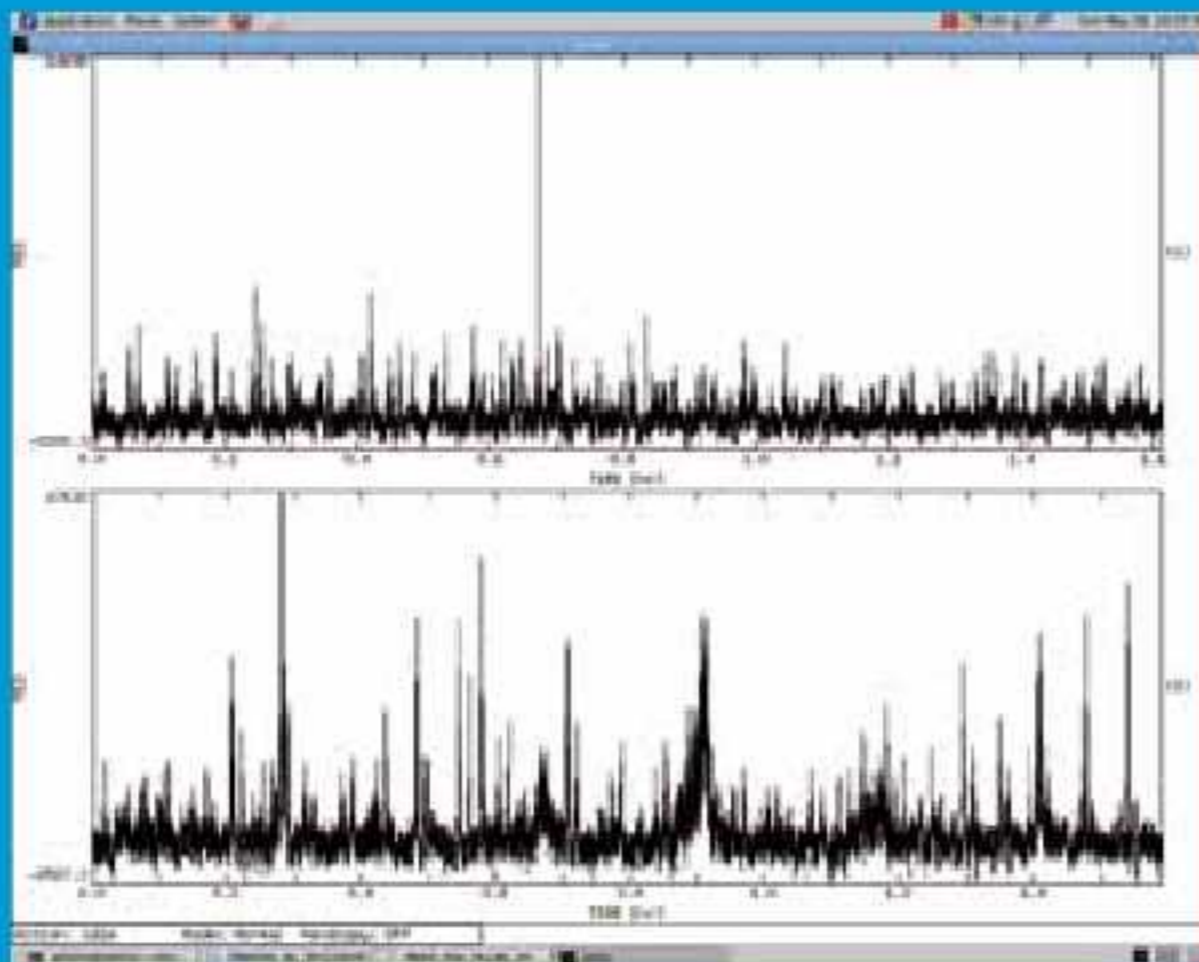
**Рис. 3.** Запис техногенного шуму на земній поверхні протягом години



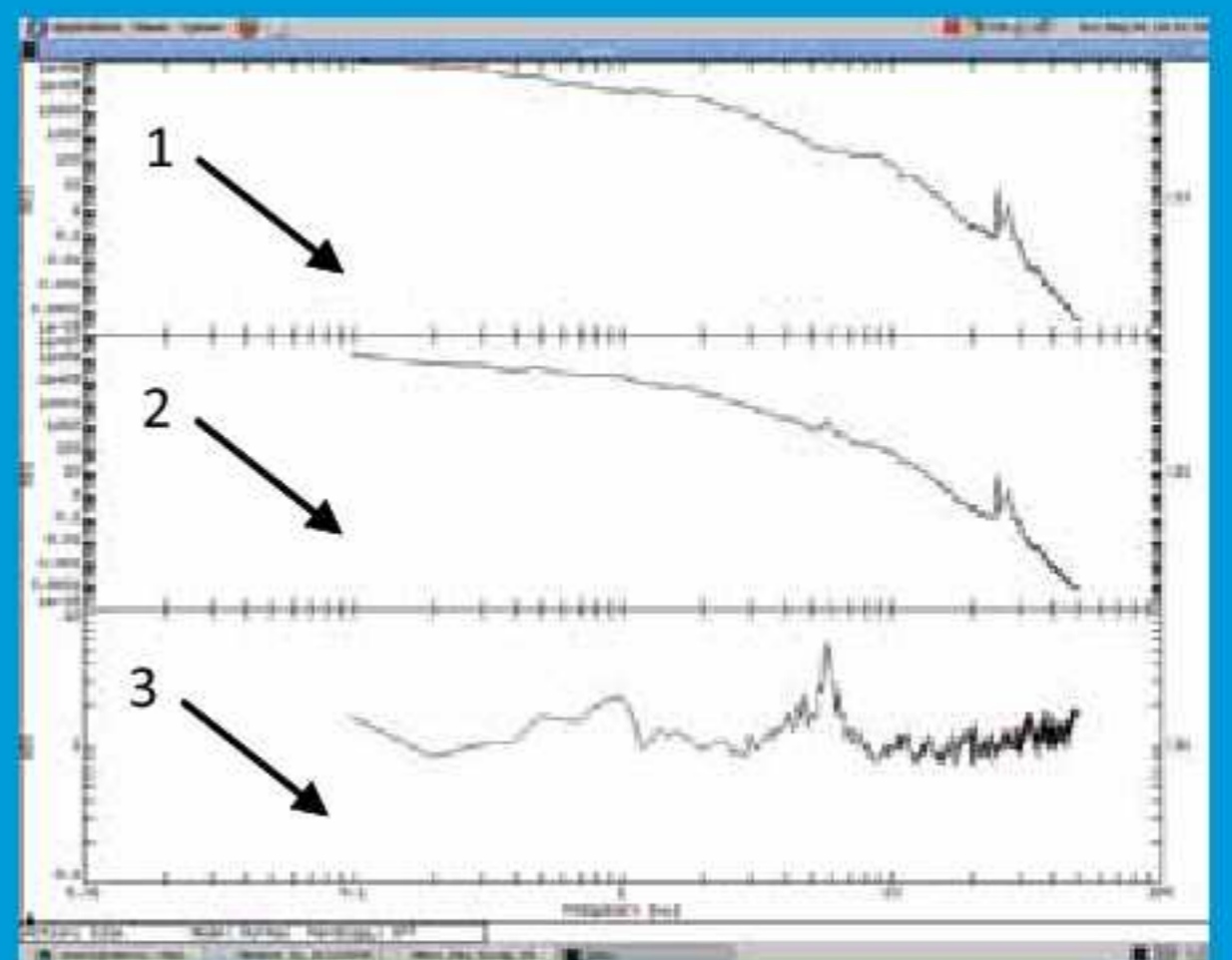
**Рис. 4.** Записи мікросейсмічних коливань на досліджуваній ділянці при впливі метро (2) та без нього (1)



**Рис. 5.** Спектри записів мікросейсмічних коливань досліджуваної області із впливом метро (2) та без впливу (1)



**Рис. 6.** Вектори відфільтрованих мікросейсмічних записів за різні інтервали часу



**Рис. 7.** Спектри потужності для векторів мікросейсмічних записів, представлених на рис. 6: графік 3 - відношення спектра потужності 2 до спектра потужності 1