

УДК 624.131.43(477-25)

ТЕХНОГЕННІ ДИНАМІЧНІ ВПЛИВИ НА ГЕОЛОГІЧНЕ СЕРЕДОВИЩЕ МІСТА (НА ПРИКЛАДІ м. КИЄВА)

За матеріалами наукового повідомлення
на засіданні Президії НАН України
8 жовтня 2014 року



КРІЛЬ

Тетяна Василівна —
кандидат геологічних наук,
науковий співробітник відділу
інженерної геології Інституту
геологічних наук НАН України,
kotkotmag@mail.ru

В умовах щільної міської забудови ґрунтові основи перебувають під впливом статичних і динамічних навантажень, що призводить до змін їх міцнісних властивостей, виникнення деформацій будівель і споруд та загрози для життя і діяльності людей. За розробленою методикою оцінки стану геологічного середовища міста і з використанням результатів проведених натурних спостережень побудовано схему розподілу динамічних навантажень за значенням питомого рівня вібрації та щільністю мереж магістралей з різною інтенсивністю руху. Це дозволило провести оцінку стійкості геологічного середовища м. Києва з виділенням найбільш уражених техногенними динамічними навантаженнями зон і створити основу для розроблення рекомендацій щодо необхідних заходів з нейтралізації або зниження негативного вібраційного впливу.

Ключові слова: ґрунти, інженерно-геологічні умови, техногенні динамічні навантаження, урбанізовані території, зонування.

Вступ

На урбанізованих територіях, які вже мають природні передумови просторової організації своєї геосистеми (геологічні, гідрогеологічні, геоморфологічні умови та ін.), є сформований своєрідний вібраційний фон. Під ним ми розуміємо поширення в геологічному середовищі вібраційних коливань від різних техногенних джерел. На урбанізованих територіях, тобто у великих містах, джерелами вібрацій є рух автомобільного, рейкового (трамвай, метрополітен, як наземний, так і підземний) транспорту, вібрації та удари під час проведення будівельних робіт нульового циклу (улаштування паль, ущільнення трамбуванням), об'єкти промисловості, на яких передбачено техногенні процеси з вібраційними впливами (формувальні машини, преси, турбоагрегати, центрифуги, молоти).

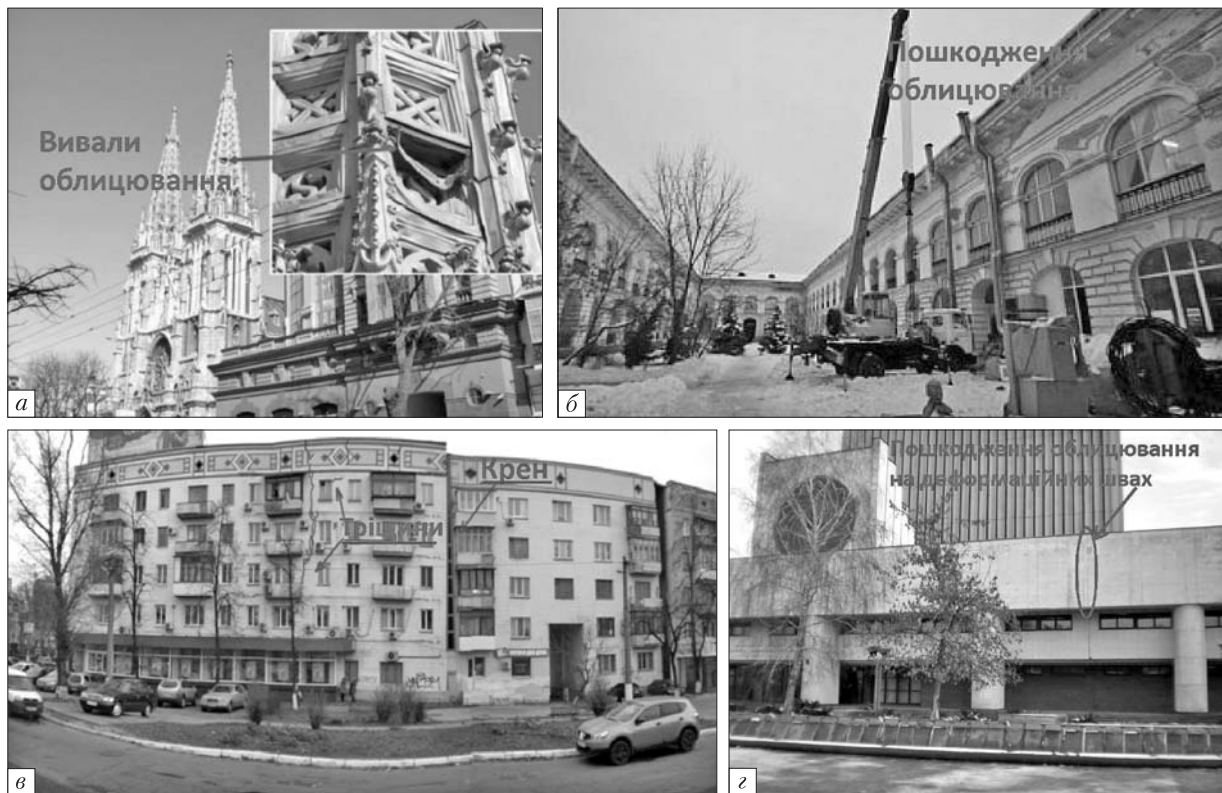


Рис. 1. Приклади пошкоджень будівель під впливом техногенних динамічних навантажень: *а* — костел Св. Миколая; *б* — Гостинний двір на Контрактовій площі; *в* — просп. Перемоги, 9; *г* — будівля Національної бібліотеки ім. В.І. Вернадського

Вібраційні коливання, що поширюються від таких джерел, передаються ґрунтам, впливаючи на їх міцнісні властивості, а потім — фундаментам будівель і споруд, призводячи до появи пошкоджень у їх конструкціях та виникнення несприятливих для людей умов у приміщеннях.

Є чимало прикладів негативного прояву дії техногенних динамічних навантажень на ґрунтові основи і споруди. У Києві техногенні вібрації підсилили, а в деяких випадках і спричинили, осідання та деформацію окремих будівель і споруд. Наведемо кілька прикладів.

На початку 80-х років під час прокладання лінії метрополітену вздовж вул. Велика Васильківська в конструкціях костелу Св. Миколая утворилися тріщини і спостерігалися висипання уламків бетону. Будівництво (з 2004 р.) офісного центру з підземним паркінгом у без-

посередній близькості (10–20 м) від костелу разом зі слабкими ґрунтами та вібрацією, що передається від роботи метрополітену, загрожувало руйнуванням фундаменту історичної споруди (рис. 1, *а*).

Під час реконструкції транспортної розв'язки з улаштуванням надземної естакади на Московській площі та будівництва метрополітену в бік Національного виставкового центру було зафіксовано появу тріщин на конструкціях будівлі Національної бібліотеки ім. В.І. Вернадського (рис. 1, *г*).

Загроза руйнування окремих об'єктів культурної спадщини на території Києво-Печерської лаври та Софії Київської може призвести до їх виключення зі Списку культурної спадщини ЮНЕСКО. Мозаїчне зображення під центральним куполом Софійського собору частково відшароване, тому достатньо навіть

незначних вібрацій, щоб спричинити його відслонення.

У 2008 р. на ділянці Куренівсько-Червоноармійської лінії метрополітену від ст. «Тараса Шевченка» до ст. «Мінська», прокладеній на глибині 5–8 м, динамічні навантаження на перезволожені алювіальні ґрунти спричинили осідання 100–180 мм. Через це було знижено швидкість руху поїздів до 50 км/год. Так само обмежено швидкість руху поїздів до 60 км/год на Сирецько-Печерській лінії від ст. «Позняки» до ст. «Харківська» та в районі ст. «Видубичі», прокладеної в обводнених алювіальних ґрунтах, де просідання сягало 150 мм.

Біля будівлі Гостинного двору на Контрактівій площі, де спостерігаються певні деформації та пошкодження, також знаходяться джерела динамічних навантажень (рис. 1, б).

Більшість пошкоджень житлового будинку за адресою просп. Перемоги, 9 (крен споруди й тріщини на стінах) спричинені не лише слабкістю ґрунтів, а й вібраційними коливаннями від багатьох джерел динамічних навантажень (рис. 1, в). Будівля знаходиться над перегінним тунелем метро, на поверхні на відстані 50 м проходять два швидкісних трамвайних маршрути, ще через 100 м — розгалуження залізничних колій. У 2008–2010 рр. на відстані 400 м від будівлі почалися роботи зі зведення висотного офісного центру на пальових фундаментах, для улаштування яких використовують віброзанурювачі та вдавливальні пристрої. На просп. Перемоги спостерігається інтенсивний автомобільний рух. Крім того, вібрації передаються ґрунтам мостовими опорами Повітрофлотського шляхопроводу. Рівень вібраційних коливань у геологічному середовищі від такої кількості джерел за віброприскоренням можна порівняти зі слабкими землетрусами в 1–2 бали.

На фоні природних мікросейсм, що є результатом або віддалених осередків землетрусів, або геодинамічної активності цієї території, вібрації від перелічених джерел поширюються у ґрунтовому середовищі переважно у верхній частині товщі до 10–15 м, передаючись на фундаменти і конструкції будівлі. При цьому від автомобільного та рейкового транспорту

генерується рівень вібрацій у діапазоні 10–120 дБ, що ініціює зміщення часточок ґрунту зі значними швидкостями (від 6 до 200 мкм/с). Зміщення часточок ґрунту призводить до їх переукладання, змінюються міцнісні показники: зчеплення, кут внутрішнього тертя, модуль деформації, що може проявитися у змінах фазового стану ґрунтів (розрідження, ущільнення), які спричинять додаткові нерівномірні осідання фундаментів чи крен будівлі. Якщо частоти коливань від одного або кількох джерел увійдуть у резонанс із частотами власних коливань товщі ґрунтових основ чи фундаментів будівлі, то амплітуди зміщень можуть зрости у 10–12 разів, що зумовить додаткове розширення тріщин або збільшення їх кількості в конструкціях будівлі.

Проблема негативного впливу техногенних динамічних навантажень на зміни властивостей компонентів геологічного середовища урбанізованих територій є на сучасному етапі однією з найважливіших у інженерній геології. Головною метою тут є встановлення та організація умов безпечного проживання і діяльності людини в містах, що зазнають зростаючого впливу техногенних динамічних навантажень, розроблення ефективних заходів інженерної підготовки та інженерного захисту від вібраційного впливу.

У рамках вирішення цієї проблеми було проведено дослідження вібраційного фону. Роботи здійснювали на території м. Києва на ділянках з різним складом ґрунтових товщ. Результати досліджень апробовано і впроваджено в Інституті геофізики НАН України, Науково-дослідному інституті будівельних конструкцій, Науково-дослідному і проектному інституті містобудування, про що є відповідні акти та довідки. Під час досліджень використано матеріали з вивчення геологічного середовища території м. Києва і досвід встановлення основних характеристик джерел динамічних навантажень та їх впливу на зміни властивостей ґрунтів, накопичений у попередні роки багатьма українськими вченими.

Більшість публікацій, присвячених вивченню вібраційних впливів, мають технічне та гео-

технічне спрямування, в них розв'язуються частотні задачі, вирішуються завдання, пов'язані з організацією безпечної експлуатації рейкових та автомобільних шляхів, використанням матеріалів і конструкцій дорожнього покриття, рухомого складу. Рідше трапляються роботи, в яких розглядають питання збереження будівель і споруд, запобігання неприпустимо високим рівням вібрації від ліній метро неглибокого закладання. І практично відсутні роботи з дослідження динамічних систем, пов'язаних із геологічним середовищем.

Дослідження проводили на основі розробленої нами методики оцінки стану геологічного середовища міста, яка, на відміну від інших, враховує не тільки диференціювання на ділянки з різним рівнем вібраційного впливу, а й типологічне зонування геологічного середовища за вразливістю його компонентів до динамічних навантажень з виділенням трьох типів середовища за ступенем ураженості від вібраційних впливів.

На території міста виявлено джерела вібраційних та імпульсних впливів, описані за характером дії, механізмом збудження коливань і основними показниками, що характеризують фізичний процес поширення вібраційних хвиль у ґрунтовому середовищі (частотами, віброшвидкістю та віброприскоренням). Аналіз просторових і частотних характеристик джерел динамічних навантажень показує, що на урбанізованих територіях основними і постійно діючими джерелами є рухомі транспортні засоби: автомобільний (пікові частоти коливань — 20 Гц) та рейковий транспорт (пікові частоти коливань — 45–70 Гц), рівень вібрації за віброприскоренням — від 56 до 135 дБ. Вони мають домінуючий вплив на території міста порівняно з об'єктами промисловості та будівництва, де вібраційний рівень коливань за віброприскоренням може також досягати високих значень — 75–110 дБ. При цьому середній рівень вібрації в м. Києві було оцінено у 40–60 дБ. Санітарні норми допускають такий рівень для промислових і житлових об'єктів, але не для дитячих установ і лікарень, де граничний рівень не повинен перевищувати

35 дБ. Розрахунок значень віброшвидкості на поверхні ґрунту поблизу перегінних тунелів метрополітену неглибокого закладання свідчить про перевищення нормативного рівня на 4,9–18,6%.

На основі вперше проведених нами натурних спостережень з використанням спеціальних віброметричних приладів (СМ-3, «Гуралп» — СМГ40Т та ін.) та зібраних нами статистичних даних про інтенсивність руху за 2008–2012 рр. було здійснено поквдратну оцінку території за рівнем динамічного впливу і побудовано картосхему м. Києва за інтегральними величинами динамічних навантажень — середньодобова інтенсивність руху транспорту і щільність транспортних мереж, будівельних майданчиків та об'єктів промисловості в межах одиничного квадрата (рис. 2). Встановлено, що 52% території міста піддаються динамічним навантаженням незначного рівня (IV категорія) — до неї входять рекреаційні та сельбищні зони; 36% території зазнають помірно середніх та середніх рівнів вібрацій (III категорія — 20%, II категорія — 16%); 15% території м. Києва (I категорія) перебуває під впливом значних рівнів динамічних навантажень, що перевищують 96 дБ, — це місця поблизу залізничних колій або там, де одночасно функціонує кілька джерел динамічних навантажень.

Виконано типізацію ґрунтових відкладів на території м. Києва за чутливістю до вібраційного впливу з використанням даних про їх реакцію на вплив динамічних навантажень та за показниками фізико-механічних властивостей (розрахунковий опір зрушенню, кут внутрішнього тертя, питоме зчеплення та модуль деформації). Аналіз компонентів геологічного середовища в межах урбанізованої території показує, що вібраційний вплив зумовлює зміни фізико-механічних властивостей ґрунтів і провокує виникнення небезпечних процесів — зсувів, провалів, просідань. Під впливом динамічних навантажень фізичні явища, що виникають у ґрунті, спричиняють залежно від літологічного складу зменшення кута внутрішнього тертя на 0,5–16%, зчеплення — на 3–14%, модуля деформації — на 0,5–25%. Основним

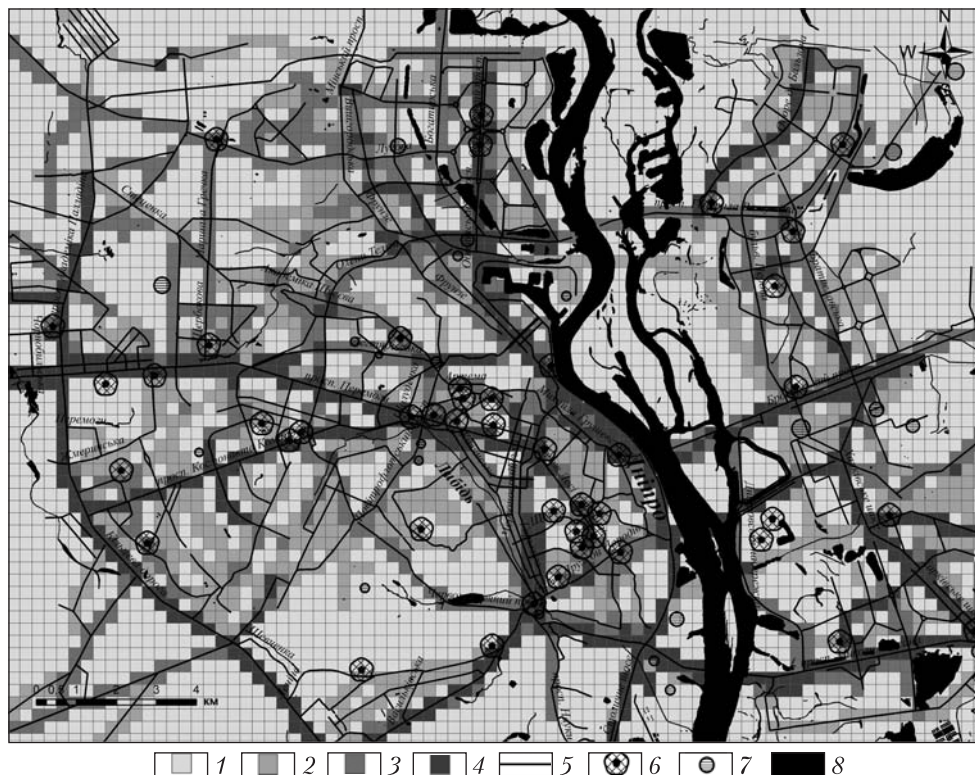


Рис. 2. Схема розподілу динамічних навантажень: 1 – низький рівень (<46 дБ); 2 – середній рівень (46–53 дБ); 3 – вібраційний рівень 53–73 дБ; 4 – високий рівень (73–96 дБ); 5 – вулиці та магістралі міста; 6 – будівництво; 7 – промисловість; 8 – гідрографічна мережа

фактором, що визначає величини змін сил зчеплення й кута внутрішнього тертя, є щільність, яка характеризується коефіцієнтом пористості та ступенем вологості ґрунтів.

На схемі поширення ґрунтових відкладів території м. Києва за чутливістю до динамічних навантажень (рис. 3) виділено чотири зони за ступенем стійкості. До першої зони міцних ґрунтових основ (16% території) належать райони алювіальних (необводнених) відкладів, на лівобережжі – різнозерністі піски, на правобережжі – ділянки водно-льодовикових відкладів, представлених пісками, супісками та суглинками. До другої зони віднесено техногенні відклади та ділянки, укріплені інженерними заходами (40%), – житлові масиви Оболонь, Воскресенка, Райдужний, Троєщина, розташовані на намивних ґрунтах, та ділянки з площинною засипкою і насипами в районах ве-

ликих яружно-балкових систем – Хрещатицької, Голосіївської, Скомороха, Бабиного яру. Третя зона відносно чутливих ґрунтів включає території поширення обводнених ґрунтів (32%). Четверта зона (12%) – слабкі просідаючі ґрунти – леси та лесоподібні суглинки, ґрунти з особливим складом (біогенні).

У картосхемі взято до уваги наявність зон геодинамічної активності, оскільки зони вузлів перетину основних розломів є місцями додаткового потенційного зниження міцнісних властивостей ґрунтів. При цьому вперше використано дані мікросейсмічного районування та сейсмічних спостережень для уточнення чутливості ґрунтів до техногенних навантажень.

За розробленою нами методикою оцінки стану геологічного середовища міста та складання карт створено низку тематичних картосхем. Було проведено їх логічне підсумовування на

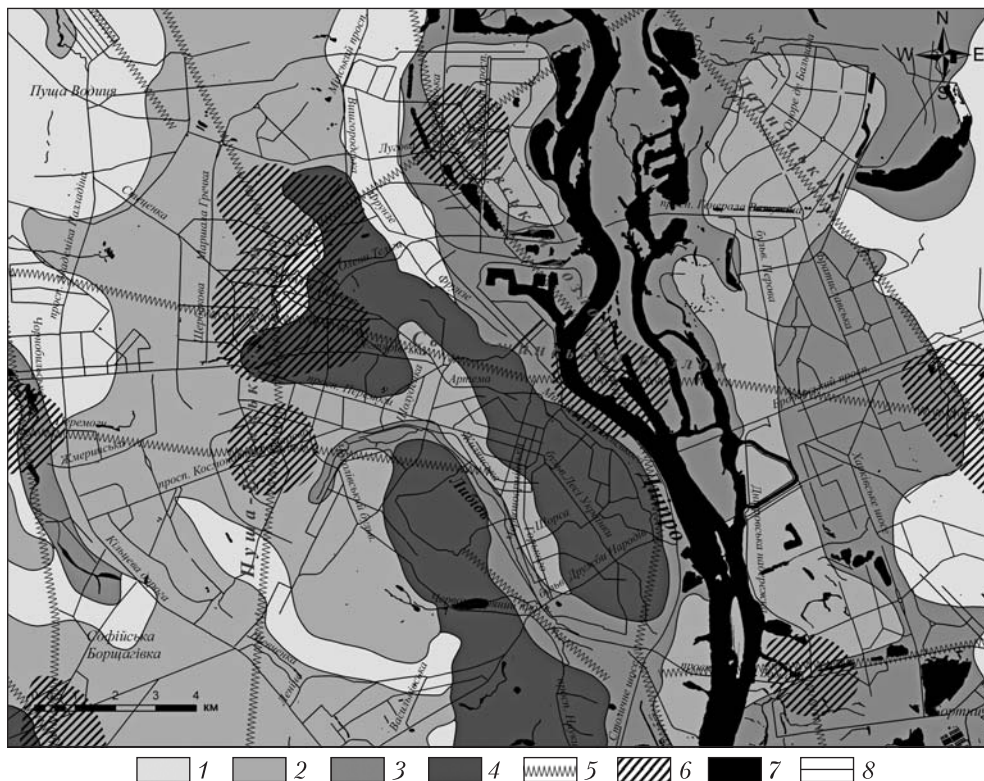


Рис. 3. Схема поширення ґрунтів за чутливістю до впливу динамічних навантажень: 1 – не чутливі, зона міцних ґрунтів; 2 – відносно чутливі, зона техногенних відкладів, а також укріплених інженерними заходами; 3 – відносно чутливі, зона обводнених ґрунтів; 4 – чутливі, зона слабких просідаючих ґрунтів, ґрунтів з особливим складом; 5 – розломні порушення різних порядків; 6 – зони можливого послаблення міцнісних властивостей ґрунтів; 7 – гідрографічна мережа; 8 – вулиці та магістралі міста

основі створеного нами геоінформаційного банку даних за природними та техногенними показниками у програмному продукті ArcGIS. У результаті вперше побудовано результуючу картосхему території за ступенем ураженості геологічного середовища Києва від техногенних динамічних навантажень (рис. 4), яка може бути використана для подальших досліджень і як практичний засіб у міському плануванні та будівництві.

У цій картосхемі зонування території міста виділено найбільш уражені техногенними вібраційними впливами ділянки геологічного середовища. Залежно від визначеного типу (I – 16%, II – 56%, III – 28%), кожна ділянка характеризується набором параметрів (від найслабших до міцних відносно динамічно-

го впливу) природних факторів (тип відкладів, характер рельєфу, рівень ґрунтових вод тощо).

Ураженість геологічного середовища техногенними динамічними навантаженнями пов'язана з поняттям вібраційної небезпеки, під якою розуміють такий стан геологічного середовища, за якого під впливом техногенних вібрацій перебувають на стадії активізації або стають потенційно активними окремі негативні інженерно-геологічні процеси (розрідження, ущільнення, просідання), що становить загрозу життю людей або може спричинити пошкодження інженерних споруд.

До I типу належать території, складені ґрунтами з високими міцнісними властивостями, з глибиною залягання підземних вод понад 3 м,

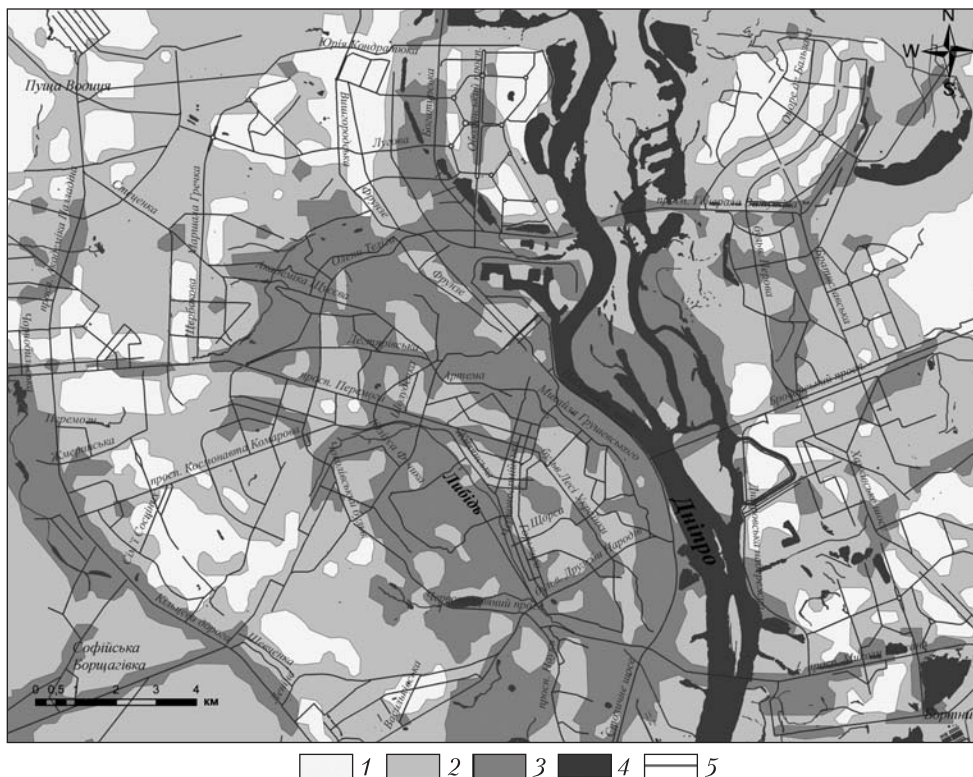


Рис. 4. Карта-схема геологічного середовища території м. Києва за ступенем ураженості від впливу динамічних навантажень: 1 – зона I типу геологічного середовища; 2 – зона II типу; 3 – зона III типу; 4 – гідрографічна мережа; 5 – вулиці та магістралі міста

рівною донною поверхнею. Таке геологічне середовище витримує навіть високі рівні вібраційних коливань без появи незворотних втрат у міцності, а також незначні динамічні впливи, наприклад вулиці з інтенсивністю руху менш як 150 тр. од./год. Це сельбищні райони біля Жулян, Біличі, Південна Борщагівка (вздовж вул. Симиренка), рекреаційні зони за Лісовим масивом та ін.

II тип – ділянки з відносно помірною вібраційною небезпекою. До нього віднесено території, де можуть поєднуватися ґрунтові основи 1-го і 2-го типів та навантаження I категорії (Пуца-Водиця, Червоний Хутір – біля Харківської площі, Троещина – вздовж вул. Оноре де Бальзака), що знижує міцнісні інженерно-геологічні умови до II типу геологічного середовища, і, навпаки, можуть поєднуватися ґрунти 3-го типу та низькі вібраційні впливи

(о. Муромець, південна частина Гідропарку, ділянки навколо Троещини).

III тип – зони зі значним рівнем небезпеки від впливу динамічних навантажень – представлено 12-кілометровим відрізком просп. Перемоги, який за інтенсивністю транспортних навантажень належить до I категорії. Тут є всі типи геологічного середовища, що пов'язано з мінливістю інженерно-геологічних умов (обводнені піщані породи, піски, суглинки, лесоподібні породи та техногенні товщі). Уздовж майже всієї Кільцевої дороги динамічні навантаження I категорії разом із чутливими ґрунтовими умовами (2-го і 3-го типу – навколо р. Борщагівка) підвищують ступінь ураженості геологічного середовища до III типу. Ділянки з незначними за інтенсивністю динамічних навантажень, але слабкими ґрунтовими умовами (3–4-й типи за схемою на рис. 3) також відне-

сено до цього типу (Солом'янка з чутливими ґрунтами, Труханів острів, який територіально припадає на вузол перетину розломів, та ін.).

Схема за ступенем ураженості геологічного середовища від техногенних динамічних навантажень (рис. 4) практично відповідає схемі приросту сейсмічної бальності, що дає можливість використовувати дані мікросейсмічного районування для оцінки техногенних динамічних навантажень при попередньому зонуванні території міста та перевірки достовірності проведення таких типізацій.

Оцінюючи територію м. Києва з точки зору можливих наслідків впливу динамічних навантажень, слід мати на увазі, що різні негативні явища та процеси, пов'язані з цим впливом, найбільш вірогідні там, де спостерігається поєднання високого рівня динамічного впливу з вразливим геологічним середовищем. Така ситуація характерна для центру міста (рис. 4) з інтенсивним трамвайним та автомобільним рухом і значною потужністю пухких обводнених техногенних відкладів.

Окреслення за розробленою методикою зон з однорідними інженерно-геологічними умовами дозволяє перейти до розроблення рекомендацій щодо заходів зі зниження або нейтралізації негативного вібраційного впливу на території міста, тобто вирішення завдань раціонального використання та охорони геологічного середовища міст.

Захист від негативного впливу джерел динамічного навантаження потрібно проводити з урахуванням типу геологічного середовища, визначеного за критеріями стійкості до вібраційного впливу, в таких напрямках: запобігання чи зниження рівня вібрації в її джерелі; віброізоляція або конструктивні рішення будівель і споруд; раціональна забудова і застосування планувальних рішень.

Питання проектування та експлуатації інженерних споруд в умовах впливу динамічних навантажень пов'язані з проблемами вразливості

компонентів геологічного середовища, прогнозом резонансних частот, визначенням шляху передавання вібраційних коливань у системі геологічне середовище — джерело динамічного навантаження — інженерні об'єкти впливу.

У практичному плані розроблена методика оцінки вразливості геологічного середовища урбанізованої території м. Києва може бути використана для інших великих міст, що знають значного впливу динамічних навантажень. Картосхеми диференціювання динамічних навантажень можуть стати корисними для розроблення генеральних планів міст, обґрунтування оптимальних планувальних рішень, а також організації моніторингу геологічного середовища.

Наостанок слід зазначити, що негативний прояв впливів динамічних навантажень, зокрема явища резонансу, в умовах урбанізованих територій може здаватися незначним, і його не завжди враховують, однак він існує і за дії певних додаткових факторів (підтоплення, особливостей будови ґрунтового масиву, наявності схилених ділянок, нестійких ґрунтів) може стати помітним. Тут ще багато невирішених завдань, які потребують подальших досліджень.

У рамках проблеми негативного впливу техногенних динамічних навантажень можна окреслити такі завдання на майбутнє: уточнення рівня вібраційного впливу на вже виділених небезпечних ділянках; визначення рівня загасань вібраційних коливань із глибиною, що є важливим для геологічного середовища; у містах зі щільною забудовою і активним зміненням рівня ґрунтових вод необхідно встановити внесок у цей процес поширення вібраційних хвиль. Основним завданням, на нашу думку, є обґрунтування допустимих величин техногенних динамічних навантажень на геологічне середовище міста, оскільки величин допустимих рівнів вібрації для різних типів ґрунтів у нормативних документах практично немає.

Т.В. Криль

Институт геологических наук НАН Украины
ул. О. Гончара, 55-б, Киев, 01601, Украина

ТЕХНОГЕННЫЕ ДИНАМИЧЕСКИЕ ВОЗДЕЙСТВИЯ НА ГЕОЛОГИЧЕСКУЮ СРЕДУ ГОРОДА (НА ПРИМЕРЕ г. КИЕВА)

В условиях плотной городской застройки грунтовые основы находятся под воздействием статических и динамических нагрузок, что приводит к изменениям их прочностных свойств и возникновению деформаций зданий и сооружений, а также угроз для жизни и деятельности людей. По разработанной методике оценки состояния геологической среды города и с использованием результатов проведенных натурных наблюдений построена схема распределения динамических нагрузок по значению удельного уровня вибрации и плотности сетей магистралей с разной интенсивностью движения. Это позволило провести оценку устойчивости геологической среды г. Киева с выделением наиболее чувствительных к техногенным динамическим нагрузкам зон и создать основу для разработки рекомендаций относительно необходимых мер по нейтрализации или снижению негативного вибрационного влияния.

Ключевые слова: грунты, инженерно-геологические условия, техногенные динамические нагрузки, урбанизированные территории, зонирование.

T.V. Kril

Institute of Geological Sciences of National Academy of Sciences of Ukraine
55-b O. Gonchara St., Kyiv, 01601, Ukraine

INFLUENCE OF TECHNOGENIC DYNAMIC LOADINGS ON GEOLOGICAL ENVIRONMENT OF CITY (ON EXAMPLE OF KYIV)

In the conditions of dense city building soil bases are under action of static and dynamic loadings, that results in changes of their strength properties and eruption of deformations of buildings, and also threats to life and activity of people. By the developed technique of estimation of condition of the geological environment of city and with use of results of the natural supervision it is constructed a scheme of distribution of dynamic loadings. It has allowed to conduct the estimation of stability of geological environment of Kyiv with the selection of the most sensible to the technogenic dynamic loadings areas and to provide a basis for development of recommendations in relation to necessary measures on neutralization or decline of negative oscillation influence.

Keywords: soils, engineering-geological conditions, technogenic dynamic loadings, urbanized territories, zoning.