

ГЛИБИННО-ФУНКЦІОНАЛЬНА СХЕМА ГЕОЛОГІЧНОГО СЕРЕДОВИЩА ДЛЯ ОСВОЄННЯ ПІДЗЕМНОГО ПРОСТОРУ УРБАНІЗОВАНИХ ТЕРИТОРІЙ

THE DEEP-FUNCTIONAL SCHEME OF GEOLOGICAL ENVIRONMENT FOR THE DEVELOPMENT OF UNDERGROUND SPACE IN URBANIZED TERRITORIES

Т.В. Кріль

Tetiana V. Kril

Institute of Geological Sciences, NAS of Ukraine, 55-b O. Honchara St., Kyiv, Ukraine, 01601 (kril@nas.gov.ua)

Нестача вільних міських територій, прагнення населення до благоустрою, покращення та раціонального використання оточуючого середовища міста вимагає більшого застосування підземного простору. Ефективне та раціональне розміщення в ньому численних споруд транспортного, енергетичного, господарчого, комунального, соціального призначення і створення масштабної інженерної інфраструктури ставить завдання стратегічного планування розвитку підземного простору мегаполісів. Розміщення підземних споруд у містах відбувається ярусами, на різних глибинах (від кількох до сотень метрів). Наведено аналіз впливу підземних виробок при їх утворенні та експлуатації на розвиток небезпечних процесів у геологічному середовищі урбанізованих територій, загрози виникнення надзвичайних ситуацій – провалів, зсувів, пошкодження наземних об'єктів. Розглянуто підземні споруди, утворені на кількох рівнях, в різних стратиграфічних горизонтах та в різних функціональних зонах міст. На першому від поверхні рівні це інженерні мережі водогону, тепломережі, каналізація, на другому – підземні переходи, торгівельно-складські приміщення, паркінги. До третього віднесено транспортні споруди глибокого закладання, четвертий рівень пов'язаний з експлуатацією підземних вод. Виділено особливості інженерно-геологічних умов для різних рівнів розміщення інженерних споруд, що можуть бути причинами надзвичайних ситуацій. Розроблено схему глибинно-функціонального розрізу геологічного середовища на основі виділення характерних надзвичайних ситуацій та особливостей інженерно-геологічних умов і процесів, яка слугує науковим підґрунтям для подальшого розвитку інфраструктури підземного простору великих міст.

Ключові слова: інженерно-геологічні умови, урбанізована територія, підземний простір, небезпечні екзогенні геологічні процеси, надзвичайні ситуації.

Lack of free urban areas, the attraction of the population to the improvement, improvement and rational use of the city's environment requires more use of underground space. Efficient and efficient placement in it of numerous constructions of transport, energy, economic, communal, social purpose and creation of large-scale engineering infrastructure raises the task of strategic planning of the development of the underground space of the metropolises. The placement of underground structures in cities is tiers, at different depths (from several to hundreds of meters). An analysis of the influence of underground workings during their formation and exploitation on the development of dangerous processes in the geological environment of urbanized territories, the threat of emergencies – failures, landslides, damage to terrestrial objects. The underground structures, formed on several levels, in different stratigraphic horizons, and in different functional zones of cities are considered. At the first level, these are engineering networks of the water supply, heating and drainage systems, and on the second floor there are underground passages, shopping and warehouse facilities, parking lots. The third level includes the transport facilities of deep laying, the fourth is related to groundwater exploitation. The peculiarities of engineering-geological conditions for different levels of placement of engineering structures that can become the causes of emergencies are highlighted. The developed scheme of the depth-functional section of the geological environment on the allocation of characteristic emergencies and features of engineering-geological conditions and processes is a scientific basis for further development of the infrastructure of underground space of large cities.

Keywords: engineering-geological conditions, urbanized territory, underground space, dangerous exogenous geological processes, emergencies.

ВСТУП

Підземний простір (ПП) великих міст є його природним ресурсом, який має ефективно і багатофункціонально використовуватись. У ПП Києва, Харкова, Дніпра, Одеси ведеться будівництво та експлуатація підземних споруд різного призначення: інженерних комунікацій, глибоких колекторів, підземних сховищ, паркінгів, торгівельних

центрів, транспортних споруд, а також підземних об'єктів історико-культурної спадщини (печери, катакомби) з різною глибиною закладання, що може сягати 80-90 м.

Аналіз зарубіжного досвіду освоєння ПП мегаполісів показує, що оптимальні умови для забезпечення сталого розвитку і комфортного проживання людей досягаються при частці під-

земних споруд від загальної площі існуючих об'єктів у 20-25% (Loretta von der Tanna та ін., 2019; Kasiyanov, Chernysheva, 2018). Для надзначних міст України цей показник складає лише

1-5%, що є незначним у порівнянні з іншими столицями Європи та світу. Основні характеристики використання ПП у значних та надзначних містах України наведено у таблиці.

Таблиця. Стан освоєння підземного простору у великих містах України

Table. The state of development of underground space in large cities of Ukraine

Місто (площа, км ²)	Висота над рівнем моря, м	Населення, (2018- 2019 рр.) осіб	Метрополітен			Об'єкти культурної спадщини	Дренажні системи, мережі водовідведення (глибокого закладання)
			Протяжність, км/ рік заснування	Кількість станцій	Глибина, м		
Київ (847,7)	96-203	2 934 522	69,65 / 1960	52	105- 110	Печери 680-800 м	55,1 км
Дніпро (405)	53-185	998 835	7,8 / 1981	6	25-45 (до 70)	—	Нема даних
Харків (350)	94-205	1 446 107	38,45 / 1975	30	До 26- 35 м	—	Каналізаційні тунелі 56 км
Одеса (162,4)	2-62	1 011 494	—	—	—	Катакомби ≈ 2,5тис. км Карстові печери ≈ 1,6 км	12,7 км

Експлуатація інженерних споруд та комунікацій ПП за певних умов призводить до надзвичайних ситуацій (НС) техногенного характеру – в наслідок аварій у системах життєзабезпечення (коди 10810-10840), аварій на міському транспорті (код 10180), раптового руйнування будівель і споруд (код 10600) та природного характеру, пов'язаних з провалами, осіданнями (код 20240), зсувами (код 20220), підвищенням рівня ґрунтових вод (код 20260) (Класифікатор..., 2010). За рівнем НС вони відносяться до місцевих (їх вплив виходить за межі потенційно небезпечних об'єктів, загрожуючи довкіллю, сусіднім інженерним спорудам і населеним пунктам) та об'єктових (критерії територіального поширення та кількість постраждалих людей не досягають порогових значень порушення нормальних умов життєдіяльності). Було оцінено, що за рівнем та вірогідністю потенційних ризиків, тобто найбільшою кількістю, НС на території міста пов'язані з аваріями підземних інженерних комунальних мереж – колектори, тепло-, газо-, електромережі, водогони, каналізації.

Однією з основних причин виникнення негативного впливу освоєння та експлуатації ПП є некоректна оцінка впливу особливостей інженерно-геологічних, гідрогеологічних, геологічних,

геодинамічних та геоекологічних умов на стан існуючої забудови та ведення будівельних робіт, особливо в історичній частині міста, в межах якої будівлями вичерпано експлантаційний ресурс, де додаткові осідання у 2-3 см можуть спровокувати аварійні ситуації.

Більшість архітектурно-історичних пам'яток Києва, Одеси, Дніпра, Харкова відносяться до споруд, технічний стан яких потребує інженерного захисту, а зона їх статичного впливу припадає на глибини до 20 м. Це вимагає вдосконалення обґрунтування інженерно-геологічних позицій до регламенту освоєння ПП у буферних зонах таких об'єктів, включаючи перегляд розмірів буферних зон з урахуванням впливу підземного будівництва.

Вплив фундаментів сучасних висотних споруд з урахуванням глибини закладання паль (близько 60-70 м), що пронизують перешарування четвертинних відкладів, різних за літологічним складом та фізико-механічними властивостями, проявляється в радіусі впливу водоносних горизонтів зони активного водообміну, яка характеризується невитриманістю і зумовлює ускладнення при освоєнні ПП.

Мета досліджень полягає у представленні принципової схеми глибинно-функціонального розділу геологічного середовища з виділенням

інженерно-геологічних умов і характерного комплексу НС при будівництві та експлуатації підземних споруд. Мається на увазі вирішення таких завдань: аналіз та узагальнення моніторингової і поточної інформації про НС у надзвичайних містах України; виділення та встановлення системного взаємозв'язку між особливостями інженерно-геологічних умов і геодинамічних процесів та проявами НС; структурування геологічного середовища з виділенням глибинно-функціональних рівнів.

МЕТОДОЛОГІЯ ТА МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕНЬ

Проблему освоєння ПП сучасного міста слід розуміти не як сукупність стихійного будівництва окремих підземних споруд, а як реалізацію системного підходу й комплексного розвитку підземної урбаністики мегаполісу у відповідності до стратегічного планування розвитку міста. Головними завданнями при освоєнні ПП є планування підземного будівництва, оцінка стану та змін геологічного середовища міста, розроблення рекомендацій з використання ПП значних та надзвичайних міст України.

Поняття *геологічного середовища* прийняте за Є.С. Сергєєвим (Теоретические..., 1985) та сформульоване більш детально таким чином: «...геологічне середовище охоплює частину простору, зайнятого геологічними тілами, які зверху обмежуються денною поверхнею, а знизу – поверхнею, що відділяє породи змінні за будь-яким параметром складу, фізико-механічних, хімічних та інших властивостей в результаті прямих і опосередкованих впливів діяльності людини від таких, що не зазнали цих змін» (Демчишин, 2004, с. 3). Враховуючи існування глибоких свердловин для водозабору питних вод, нижня межа геологічного середовища урбанізованих територій може досягати до 300 м (водоносний горизонт у середньоруських відкладах у м. Київ) та 630 м (альб-сеноманський водоносний горизонт у м. Харків).

Під *підземним простором міста* розуміється частина геологічного середовища, що використовується для ефективного соціально-економічного функціонування населених пунктів шляхом розміщення у ньому підземних споруд різного призначення.

Глибинно-функціональність структурування геологічного середовища полягає у виділенні по глибині ґрунтових товщ, що вміщують різні за функціональними типами підземні споруди (складського, транспортного, комунального та іншого призначення). Розділення геологічного

середовища проводиться на основі виділення характерних НС та особливостей інженерно-геологічних умов і процесів.

При дослідженнях використано генеральні плани надзвичайних міст України, інженерно-геологічні розрізи, карти неотектонічних рухів, повідомлення про НС, результати багаторічних спостережень автора. Застосовано аналітичні та статистичні методи в комплексі із підходами системного аналізу та теорії інженерно-геологічної подібності.

ГЛИБИННО-ФУНКЦІОНАЛЬНЕ РОЗДІЛЕННЯ ГЕОЛОГІЧНОГО СЕРЕДОВИЩА МІСТ З ВИЗНАЧЕННЯМ ХАРАКТЕРНИХ НС

Реалізація підземного планування має враховувати розміщення інженерії не тільки в плані у відповідності до функціонального призначення того чи іншого району міста відповідно до нормативних документів, що регламентують здійснення будівельної діяльності у містах (Планування..., 2018), а й на різних рівнях за глибиною. У роботі запропоновано таку принципову схему глибинно-функціонального розділення геологічного середовища:

I рівень – з поверхні і до 10-15 м з розміщенням таких підземних інженерних об'єктів та мереж, як колектори, водогони, теплотраси, фундаменти споруд мілкового закладання;

II рівень – 20-40 м – дренажні виробки та колектори прохідного перетину, пальові фундаменти висотних споруд;

III рівень – транспортні тунелі (метрополітен) – до 80-110 м;

IV рівень – свердловинна експлуатація підземних вод – до 300-700 м.

I рівень підземного простору

На цьому рівні (до 10-15 м) розміщуються підземні інженерні системи, що забезпечують рівень комфортності життя у значних та надзвичайних містах. За функціональним призначенням їх можна поділити на такі, що використовують водні ресурси (водопостачання і каналізація); енергетичні ресурси (електропостачання, тепlopостачання, газопостачання, мережі слабкого струму – телефонні, Інтернет, радіомовлення та ін.); транспортні.

Середня глибина закладання мереж життєзабезпечення не перевищує 3,5-5,5 м. Інженерні об'єкти розміщуються в техногенних (насипних, намивних ґрунтах – tH) та піщано-глинистих різновидах. Такі ґрунти мають різний склад і структуру, що проявляється у просторово-часовій мін-

ливості їх властивостей, стану та складності прогнозування поведінки від різного роду впливів.

НС на цьому рівні проявляються в утворенні порожнин та провалів до 4-7 м внаслідок суфозії (винос частинок ґрунту), здебільшого на проїжджих частинах. Головним фактором, що впливає у даних випадках на стан геологічного середовища та інженерних об'єктів у ньому, є вібрації від руху наземного транспорту та метро відносно незначної амплітуди та широкого частотного діапазону, наприклад у Києві на вулицях О. Теліги, Щербакова та ін. Отже, вібраційні ефекти стають додатковими причинами активізації процесів осідання, втрати міцності ґрунтами (Кріль, 2015).

Деформації, пошкодження цілісності труб мереж спричиняють витoki у ґрунти вод та інших сумішей різної температури. Так, ослаблення ґрунтів, в які заведені палі, перехід їх у текучо-пластичну консистенцію при зволоженні витокami з інженерних мереж (в тому числі гарячої води) призвело до аварії частини конструкції – перекидання майже 54 палі по довжині приблизно 25 м у західній частині будинку на просп. Лобановського, 14 у Києві (Демчишин, Кріль, 2015).

На цьому ж рівні розміщуються підземні об'єкти культурної спадщини – печери. На всій території Києва – від Кирилівської церкви на півночі до урочища Церковщина на півдні поширені печерні комплекси. Глибина печер – 5-20 м (Демчишин, Кріль, 2019; Селівачова, Стадніченко, 2012). Вони пройдені у пісковиках новопетрівської світи (N_{1pr}) та суглинках (edP_{III}). Печери Києва в плані належать до рекреаційних функціональних зон. У більшості випадків печерні комплекси самі зазнають природних (землетруси, метеорологічні явища) та техногенних (недосконала система відведення поверхневих вод, аварійні випуски з водонесучих комунікацій) впливів. Це призводить до обвалів склепінь, тріщин та деформації на стінах, вивалів цегляної кладки і ґрунту.

Інші підземні об'єкти, що становлять археологічних інтерес та є загрозою виникнення НС – катакомби. У м. Одеса їх налічується понад 2,5 тис. км (Генеральний..., 2015); утворення катакомб пов'язано з видобуванням глин (так звані «міни»), будівельного каменю (глибокі до 30-40 м), улаштуванням схованок та укриттів.

У великих містах з розвиненими урбанізаційними процесами малі річки та струмки витісняються забудовою, змінами ландшафту, створенням штучних водойм, будівництвом заліз-

ниць. Їх заводять у відкриті або підземні канали-колектори. Зміни між співвідношенням природного та підземного стоку, помилки в інженерних розрахунках конструкцій колекторів призводять до НС при екстремальних метеорологічних умовах.

У Шевченківському районі Києва територія Повітрофлотського шляхопроводу у геоморфологічному плані відноситься до русла р. Либідь, геологічний розріз охоплює техногенні накопичення (tH), що перекривають піщано-глинисті відклади (aH), які підстилаються мергельними глинами київської світи (P_2kv). Після сильних злив та танення снігу на колишній ст. «Повітрофлотська» швидкісного трамваю та поряд розташованого переходу накопичувалась вода.

Подібна ситуація складається біля ст. «Політехнічна» швидкісного трамваю, де збирається вода, що стікає з височини (пров. Політехнічний) у низину (вул. Борщагівська). Періодичне вимивання ґрунту створювало яму та провал на одному й тому ж самому місці протягом багатьох років, ремонти (щебенева засипка) мали тимчасовий ефект.

У центральній частині м. Дніпро на глибині 2 м збудовані дренажні системи для відведення невеликих річок, що течуть місцевими балками. Довжина найстарішої частини – 5 км. Вона зведена ще під час закладання міста понад 200 років тому. Найбільший тунель проходить під просп. Яворницького (колишній просп. Карла Маркса), висота склепінь досягає 5 м і приблизно така ж ширина. Періодичні провали асфальтового покриття виникають на вулицях Гоголя, Паторжинського, Старокозацькій, на перехресті просп. Яворницького і вул. Жуковського та ін. (Днепр..., 2015). Територія м. Дніпро на 33 % зазнає підтоплення (глибина залягання ґрунтових вод – до 3 м) як на ділянках з пониженим рельєфом і проникними піщаними ґрунтами (лівобережжя і нижні тераси правобережжя), так і в межах правобережжя з більш високими позначками земної поверхні, складених слабопроникними лесовими суглинисто-супіщаними породами (Інкін, Рудаков, 2012).

II рівень підземного простору

На цьому рівні розміщуються дренажні колектори спеціального призначення, зокрема прохідного перетину (1,6-1,8 м). Вміщуючими породами є піски, супіски, пісковики, суглинки, глини, частково в умовах обводненості.

У Києві найбільша кількість дренажів глибокого (для цього типу інженерного захисту) закла-

дання, тобто штолень і галерей, улаштована у схилах Дніпра від Сирецької балки до Ботанічного саду імені Гришка включно, а також на схилах Батієвої, Черепанової гір і долини р. Либідь. Найбільша глибина закладання дренажних штолень і галерей у м. Київ – близько 35 м (Проблеми..., 2015). Їх прокладено в присхилових масивах, на деяких ділянках на двох і навіть трьох рівнях для перехвату підземних вод водонесних горизонтів – четвертинного, в схилових відкладах, харківських пісках.

У роботі (Демчишин, Кріль, 2019) обґрунтовано необхідність перегляду доцільності експлуатації дренажних галерей та штолень, оскільки в деяких випадках вони на противагу до свого призначення провокують НС та аварії. Відомі провали поверхні над підземними виробками в результаті їх ґрунтопроникності (провали на території Державного заповідника Києво-Печерська Лавра, осідання поверхні над дренажною галереєю № 12 в районі Міського саду, провали над дренажною галереєю № 15 та в інших місцях). Причини утворення пустот над дренажними колекторами – це дефекти і міцність кріплення; зазори; винос ґрунту в колектори; природні процеси, що призводять до порушення покриття та стику труб. У випадку встановлення неефективності роботи дренажної підземної споруди окрім методу «забутовки», як основного для виведення з експлуатації, доцільно розглянути споруду для переобладнання у складське приміщення.

Для дренування вод понтичного водонесного горизонту (N_{1p}) та у якості протизсувних заходів захисту 22 км морського узбережжя м. Одеса у 1958-1961 рр. пройдено підземну дренажну галерею та 195 дренажних свердловин, обладнаних фільтрами на всю потужність водонесного горизонту. Одинадцять дренажних штолень від Одеського порту до мису Великий Фонтан мають протяжність 12,7 км (Тучковенко, 2011). У роботі (Черкез, 2013) за даними геодезичних спостережень оцінено ефективність роботи дренажних систем як протизсувних; показано, що, незважаючи на виконані заходи, гірські породи, що складають прибровочну частину плато і зсувонебезпечні схили, мають диференційовані вертикальні рухи і повільні поступальні зміщення зі швидкістю від декількох мм/рік (на плато) до десятків см/рік (на схилі). На формування і розвиток деформацій і зсувів порід на схилах Одеського узбережжя впливає мікроблокова структура геологічного середовища. Тобто при проектуванні захисних споруд не було враховано

двох факторів: неотектонічного режиму території та зростання техногенного навантаження (забудова берегової смуги).

У 60-70-х роках минулого століття у Харкові щитовим способом було збудовано мережу каналізаційних колекторів протяжністю до 60 км, діаметром 2,45 м. У 90-ті роки проводилось будівництво дублюючої мережі. Глибина залягання каналізаційних тунелів міста від 12 до 50 м, залежно від рельєфу місцевості (Гармаш, 2017). Необхідність глибокого закладання пов'язана зі складними геологічними умовами ПП у місті – алювіальні обводнені піски та пісковики до глибини 15-20 м залягають на глинах київського ярусу потужністю до 15 м, нижче – бучацькі піски, що можуть проявляти властивості пливунів. Аварійні ситуації, які виникають на каналізаційних тунелях міської системи водовідведення, показали, що основною причиною руйнування залізобетонних конструкцій є внутрішня корозія аж до руйнування несучих залізобетонних тубінгів. Руйнування труб під дією ґрунтових вод і ґрунтів становить лише близько 10 % усіх випадків корозійного пошкодження (Абрамович, 2005; Гармаш, 2017). Аварії на таких каналізаційних тунелях, на відміну від мереж невеликого діаметра, розміщених на I рівні, можуть вивести з ладу всю систему або значну її частину (Абрамович, 2005), а витoki стічних вод – погіршити екологічний стан ґрунтів та підземних вод.

Провали, вимоїни та підтоплення виникають при веденні будівельних робіт другої черги метро у м. Дніпро. Верхні шари складені дрібнозернистими та пилюватими пісками, рівні ґрунтових вод високі (на глибині 2,0-2,3 м від денної поверхні). При розкритті котловану на глибину 3-10 м та улаштуванні шахтних стволів метро підсилюється винос ґрунтових частинок, збільшується швидкість фільтрації, що спричиняє розущільнення ґрунтів, знижується їх несуча здатність, створюються аварійні ситуації.

Прокладання станційних конструкцій і тунелів мілкового закладання метро в Харкові також відбувалось із технологічними складнощами (застосування кесонного способу, заморожування ґрунтів) в дуже слабких і обводнених ґрунтах з пливунними властивостями. Найскладнішими ділянками ведення робіт були центральні райони міста, розташовані в межиріччі Лопані і Харкова (Абрамов та ін., 1973). Перешарування дуже малопотужних глин (P_{2kv}) і обводнених дрібнозернистих пісковиків (P_{2bc}) київської світи створювало значні ризики для будівель історичної

частини міста, пов'язані з просіданням та деформаціями. При прокладанні тунелів у районі кіноконцертного залу «Україна» утворився провал ґрунту та осідання поверхні.

Серед транспортних споруд до цього рівня можна віднести портали метро на денну поверхню у м. Київ – ст. м. «Дніпро», «Видубичі», «Поштова площа», від якої спорудження велось відкритим способом. Лінії метрополітену мілкового закладання у Києві пройдені у піщаних ґрунтах флювіогляціальних товщ, прісноводних суглинках та алювіальних відкладах заплав (на лівому березі). НС також були пов'язані з прокладанням тунелю метро через русло р. Либідь та будівництвом ст. м. «Деміївська» (Kriil, 2017).

III рівень підземного простору

На цьому рівні розміщено лінії метрополітену глибокого закладання, лінії спирання пальових фундаментів висотних споруд на міцні ґрунтові основи, глибокі свердловини для водозабору питних вод.

Більшість тунелів та станцій метрополітену м. Дніпро глибокого закладання. Що не є виправданим з точки зору інженерно-геологічних умов міста. На кристалічних породах архею та протерозою над шаром бурих і червоно-бурих суглинків залягають лесові відклади. Висока тріщинуватість магматичних та метаморфічних порід, наявність зон дроблення з різкими змінами властивостей породного масиву, гідрогеологічні умови (наявність локальних водоносних горизонтів у четвертинних відкладах, поява пливунних ґрунтів) – все це вимагає застосування складних технологій проходки, тобто буро-вибухових робіт та заморожування ґрунтів. Значну небезпеку для виникнення НС (затоплення діючих станцій та житлових масивів Коммунар, район Озерки), розташованих поряд з гілкою метро у місті створюють законсервовані тунелі метро, відкачування води в яких не здійснюється належним чином через недофінансування.

При експлуатації метро, руху поїздів у навколишні ґрунти поширюються динамічні навантаження. У піщино-глинистих відкладах коливання можуть розповсюджуватися на 48-52 м у радіусі, зберігаючи 8-10% початкової величини амплітуди (Кріль, 2015). В обводнених ґрунтах наслідком може бути також потрапляння води у виробку та деформації кріплення.

Станції та тунелі глибокого закладання у м. Київ розміщуються у товщах мергельних глин – напівскельних породах, що є надійним середовищем для таких споруд. Геологічна будова правого

схилу Дніпра в Києві дозволяє заходити через горизонтальні портали у ПП, що полегшує технологію ведення робіт. На ст. м. «Дніпро» вихід тунелю відбувається без ухилів на рівень Дніпра. Для улаштування порталу було обрано ділянку на міжсубновному мисі, який складається з корінних, не порушених зсувами порід (Шполянський, 1962).

Для протяжних лінійних споруд небезпечними є місця перетину з тектонічними розломами. При зіставленні схеми трас метро в Києві з картами неотектонічних розломів виявлено 28 місць перетину ліній метро з розломами, виявленими у кристалічному фундаменті, неотектонічна активність яких у даний час підтверджена за геолого-геоморфологічними даними, а також розривними порушеннями, що виходять на дочетвертинну поверхню, перетинами розломів між собою та ділянками активних неотектонічних рухів. Також, такі співставлення необхідно враховувати для споруд на I і II рівнях.

Геологічна будова правобережної частини Києва сприятлива для освоєння та організації підземного будівництва. Мергелі та глинисті мергелі київської світи потужністю 25-30 м є надійним середовищем для розміщення підземних споруд. Перспективи освоєння ПП полягають у розширенні ліній метрополітену, прокладання трас тунелів-автошляхів, будівництві підземних гаражів та торговельних центрів, улаштуванні підземних конструкцій висотних будівель (пальовий фундамент) та створенні систем водовідведення глибокого закладання.

Освоєння ПП м. Одеса ускладнюється розвитком карстопроявів – порожнинами різних розмірів і конфігурацій (каверни, ніші, печери) та катакомбами у шарі понтичного вапняку для видобування будівельного каменю. В районі Одеси переважають площі розвитку закритого типу карсту в понтичних вапняках, де закарстовані породи перекриті піщано-глинистою товщею плейстоцен-пліоценових відкладів. Небезпеки карстових провалів підсилюються підвищеною сейсмічністю у зв'язку з близькістю зони Вранча в Румунії. Небезпечними є нижні водонасичені частини товщі вапняків над міотичними глинами, а також верхні шари лесоподібних відкладів. Перспективною товщею на території міста для розміщення підземних транспортних споруд є товщі сухих меотичних глин на глибині від 40 до 80 м. За даними буріння та вивчення консистенції А.М. Драніковим у (Генеральная..., 1940) показано, що ці глини знаходяться у достатньо щільному і твердому стані.

IV рівень підземного простору

Під впливом експлуатації підземних вод утворюються великі депресійні та п'єзометричні воронки із зниженим гідростатичним тиском, які призводять до активізації процесів низхідного перетікання, особливо в зонах розвитку розломів, карсту. Зниження рівня підземних вод спричиняє зменшення гідростатичного зважування та відповідно ущільнення порід і опускання денної поверхні (Шестопапов, 1991).

У м. Київ для централізованого водопостачання інтенсивно використовуються підземні води сеноман-келовейських та середньоюрських байоських відкладів. У зоні впливу водозабору «Великий Київ» існують у водоносному горизонті сеноман-келовейських відкладів дві депресійні воронки, як на правому (10-15×4,0 км), так і на лівому (3×5 км) берегах р. Дніпро, у середньоюрському водоносному горизонті – одна депресійна воронка, яка має регіональний характер, її радіус у північному напрямку досягає 60 км (Стан..., 2018).

Формування депресійних воронок призводять до ускладнення інженерно-геологічних умов у I-III рівнях. Осідання денної поверхні при водозаборах можуть досягати десятків метрів, на відміну від допустимих осідань основ споруд, що вимірюються десятками сантиметрів. Отже, необхідним є цільове вивчення і моніторинг експлуатації підземних вод, осідань ґрунтових товщ та деформацій будівель, підземних об'єктів, які попадають в зону впливу депресійної воронки.

ВИСНОВКИ

Використання ПП є доцільним для будь-яких міст, відмінність полягає у призначенні та кількості споруд з погляду капітальних вкладень, соціально-економічного ефекту та екологічного впливу з урахуванням структури, речовинного складу та геодинаміки геологічного середовища. Основні фактори, що визначають розміщення створюваних в ПП об'єктів, такі: параметри міста (площа, протяжність, висотність та ін.); зонування його інфраструктури; рельєф місцевості, природні, геологічні та гідрогеологічні умови; розповсюдженість та геодинамічна активність розломів у часі; функціональне призначення різних зон (сельбищні, промислові, транспортні та інші зони); характер забудови.

Проекти освоєння ПП повинні розроблятися з дотриманням законодавства України та на основі Державних будівельних норм. Вони мають проходити детальну науково-технічну ек-

пертизу, погодження з містобудівними та проектними організаціями, органами охорони природи та охорони об'єктів культурної спадщини. У разі не дотримання вимог експлуатації, не проведення своєчасних профілактичних та ремонтних робіт інженерні споруди ПП стають об'єктами НС від локальних провалів над водогонами до аварій із значними екологічними та санітарно-епідеміологічними наслідками.

Існує багато прикладів аварій та катастроф, пов'язаних з улаштуванням та експлуатацією підземних споруд. Можна виділити такі принципові особливості інженерно-геологічних умов для різних рівнів розміщення інженерних споруд, що можуть бути причинами НС:

- наявність шару техногенних ґрунтів, для яких характерна просторова-часова мінливість структури, фізико-механічних властивостей та складу, створює ускладнення для підземних споруд на I рівні;
- зміна напружено-деформованого стану через статичне навантаження від забудови, баражний ефект навколо пальових фундаментів висотних споруд;
- при улаштуванні підземних споруд небезпечними місцями для I та II рівнів є ділянки, де малі річки та струмки заведені у підземні колектори і відіграють роль ливневих каналізацій. Інженерні конструкції можуть опинитись під впливом надлишкової вологи, що є результатом природного стоку, оскільки інженери-будівельники не повторюють всі вигини русла при прокладанні підземних колекторів;
- поява «пливунів» під руслами та в межах річкових долин у піщано-глинистих ґрунтах на II рівні;
- високі рівні ґрунтових вод; накопичення підземних вод над водотривкими шарами глин у нижніх частинах піщаних шарів, вапняків та крейдяних відкладів;
- постійний вплив поля природних сейсмічних навантажень (найбільш небезпечний для споруд, розміщених у I рівні), техногенних вібраційних впливів, поширених у I-II рівнях у межах промислових та транспортних функціональних зон. Поширення динамічних навантажень навколо тунелів метро глибокого закладання (III рівень);
- активність і направленість геодинамічних процесів вздовж розломів, мікрогеодинамічних зон, на стиках блоків порід тощо (I-IV рівні).

Такі геоморфологічні елементи, як мережа балок та ярів, берегові схили з перепадом висот-

них відміток 50-90 м (Київ, Одеса, Дніпро), при відповідному технологічному та технічному забезпеченні можуть бути використані для улаштування порталів тунельних та камерних виробок як транспортного, так і складського призначення. Існуючі неефективні дренажні виробки, печери, катакомби після зміцнення доцільно використовувати в господарських цілях або переулаштовувати в укріплюючі, підпірні споруди в межах схилових територій.

В плані підземні інженерні споруди мають бути узгоджені з функціональним зонуванням – призначенням тієї чи іншої території міста. Щільність та технологічна складність існуючих підземних споруд змінюється у різних функціональних зонах міста, має хаотичний характер розміщення, не завжди відповідаючи вимогам безпечного проживання людей. Складні інженерно-геологічні умови значних та надзначних міст (наявність щільної системи розломів, ступінь розчленованості рельєфу, особливості фізико-механічних властивостей ґрунтів) вимагають проведення спеціальних комплексних інженерно-гео-

логічних, геофізичних, гідрогеологічних та інших досліджень, спрямованих на раціональне використання ПП.

Наведена принципова глибинно-функціональна схема розрізу геологічного середовища міст, розроблена на основі виділення характерних НС та особливостей інженерно-геологічних умов і процесів, слугує науковим підґрунтям для подальшого розвитку інфраструктури ПП великих міст та дозволяє охарактеризувати можливі впливи експлуатації інженерних споруд між різними рівнями. Виділені принципові особливості інженерно-геологічних умов для різних рівнів розміщення інженерних споруд мають практичне значення для опрацювання обмежень при освоєнні ПП історико-культурних ареалів та введення регламентування на законодавчому рівні *підземних охоронних (буферних) зон* для об'єктів із статусом історико-архітектурних пам'яток. Подальшим розвитком досліджень має бути розроблення 3D моделі геологічного середовища урбанізованих територій для інформаційного забезпечення системного освоєння ПП.

REFERENCES

Abramov S.K., Degtyarev B.M., Dzektsler E.S. 1973. The influence of hydrogeological conditions on urban planning and the fight against their harmful consequences. In: Influence of engineering-geological and hydro-geological conditions on town planning. Moscow, Gidrometeoizdat, pp. 16-25. (In Russian).

Abramovich I.A., 2005. Water disposal networks and facilities. Calculation, design, operation. Kharkov: Globus, 288 p. (In Russian).

Changes to the general plan for the development of the city of Dnipropetrovsk. 2015. Ministry of Regional Development, Construction and Housing and Communal Services of Ukraine. Kyiv, 64 p. (In Ukrainian).

Garmash O.O., 2017. Organizational and technological solutions providing operational durability of the complex of sewage tunnel structures: Extended abstract of candidate thesis. Kharkiv: KhNUBA, 22 p. (In Ukrainian).

The general scheme of landslide measures of the coast of the mountains of Odessa, 1940. Odessa, 193 p. (In Russian).

General Plan of Odessa. Retrieved from: <http://ombk.odessa.ua/2015-10-21-22-58-49> (In Ukrainian).

Demchyshyn M.G., Kril T.V., 2019. Improvement of the Engineering Protection Systems of the Kyiv-Pechersk

Абрамов С.К., Дегтярев Б.М., Дзекцер Е.С. Влияние гидрогеологических условий на градостроительство и борьба с их вредными последствиями. Влияние инженерно-геологических и гидрогеологических условий на градостроительство. Москва: Гидрометеиздат, 1973. С. 16-28.

Абрамович И.А. Сети и сооружения водоотведения. Расчет, проектирование, эксплуатация. Харьков: Глобус, 2005. 288 с.

Внесення змін до генерального плану розвитку міста Дніпропетровська. Основні положення. Міністерство регіонального розвитку, будівництва та житлово-комунального господарства України. Київ, 2015. 64 с.

Гармаш О.О. Організаційно-технологічні рішення, що забезпечують експлуатаційну довговічність комплексу споруд каналізаційних тунелів : автореф. дис. ... канд. техн. наук : (05.23.08). Харків : ХНУБА, 2017. 22 с.

Генеральная схема противоползневых мероприятий побережья гор Одессы. Одесса, 1940. 193 с.

Генеральный план м. Одеса. URL: <http://ombk.odessa.ua/2015-10-21-22-58-49>. (Дата звернення: 01.06.2019).

Демчишин М.Г., Криль Т.В. Вдосконалення інженерного захисту території заповідника «Києво-Печерська

- Lavra Reserve Territory. *Nauka ta innovatsii*, 15 (3), p. 37-51. Retrieved from: <https://doi.org/10.15407/scin15.03.037> (In Ukrainian).
- Demchyshyn M.G., Kril T.V., 2015. Chervonozoriyany (Lobanovskoho), 14 – landslide or accident... Retrieved from: <http://www.igs-nas.org.ua/index.php/uk/component/content/article/93> (In Ukrainian).
- Demchyshyn M.G., 2004. Technogenic impacts on the geological environment of Ukraine. Kyiv, 156 p. (In Ukrainian).
- Dnepr vechernyy. Retrieved from: <http://dv-gazeta.info/tag/proval> (In Russian).
- Inkin O.V., Rudakov D.V., 2012. Forecasting of the influence of zones of increased permeability of watercourse on the localization of flooded areas. Collection of research papers of the National Mining University (Zbirnyk naukovykh prats Natsionalnoho hirnychoho univesytetu), no. 39, p. 245-253. (In Ukrainian).
- Classifier of Emergencies, 2010. DK 019:2010 from 01th January 2011. Kyiv: Derzhspozhivstandart Ukraine, 19 p. (In Ukrainian).
- Kril T.V., 2015. Technogenic dynamic influences on the geological environment of city (on an example of Kyiv). Kyiv: Naukova Dumka, 160 p. (In Ukrainian).
- Planning and development of urban and rural settlements, 2018. DBN B.2.2-12:2018 from 09th January 2012. Kyiv: Minbud Ukraine. 236 p. (In Ukrainian).
- Problems of preservation and use of historical underground complexes in the conditions of negative technogenic influences. Retrieved from: <https://kpsuppr.kyivcity.gov.ua/news/29.html> (In Ukrainian).
- Selivachova Yu.M., Stadnichenko S.M., 2012. Geological environment peculiarities and granulometric composition of Hnylets man-made caves sediments (Tserkovshchina Dell). Zbirnyk naukovykh prats IGN NAN Ukrainy, vol. 5, pp. 240-244. (In Ukrainian).
- The state of underground water in Ukraine, Yearbook. 2016. Kyiv: Ukraine Derzhheonadra, SSPE “Geoinform of Ukraine”, 121 p. (In Ukrainian).
- Sergeyev E.M. (Ed.), 1985. Theoretical foundations of engineering geology. Socio-economic aspects. Moscow: Nedra, 332 p. (In Russian).
- Tuchkovenko Yu.S., Ivanov V.A., Sapko O.Yu., 2011. Assessment of the coastal anthropogenic sources impact on water quality in north-western part of Black Sea near Odessa. Sevastopol: SPC “EKOSI-Gidrofizika”, 169 p. (In Russian).
- Cherkez E.A., Kozlova T.V., Shmouratko V.I., 2013. Engineering geodynamics of landslide slopes of the Odessa sea coast after anti-landslide measures. Visnyk Odeskoho Natsionalnoho Universytetu. Geographichni i geologichni nauky, vol. 18, iss. 1, pp. 15-25. (In Russian).
- Лавра». Наука та інновації. 2019. Т. 15 (3). С. 37-51. URL: <https://doi.org/10.15407/scin15.03.037>.
- Демчишин М.Г., Криль Т.В. Червонозоряний (Лобановського), 14 – зсув чи аварія... URL: <http://www.igs-nas.org.ua/index.php/uk/component/content/article/93>. (Дата звернення: 24.05.2019).
- Демчишин М.Г. Техногенні впливи на геологічне середовище території України. Київ, 2004. 156 с.
- Днепр вечерний. URL: <http://dv-gazeta.info/tag/proval>. (Дата звернення: 10.06.2019).
- Інкін О.В., Рудаков Д.В. Прогнозування впливу зон підвищеної проникності водотриву на локалізацію підтоплених ділянок. Зб. наук. пр. Нац. гірн. ун-ту. 2012. № 39. С. 245-253.
- Класифікатор надзвичайних ситуацій: ДК 019:2010. [Чинний від 01.01.2011]. Київ: Держспоживстандарт України, 2010. 19 с. (Національний класифікатор України).
- Криль Т.В. Техногенні динамічні впливи на геологічне середовище міста (на прикладі м. Києва). Київ: Наук. думка, 2015. 160 с.
- Планування і забудова міських і сільських поселень: ДБН Б.2.2-12:2018. [Чинний від 01.09.2018]. Київ: Мінбуд України, 2018. 236 с. (Держ. будів. норми України).
- Проблеми збереження та використання історичних підземних комплексів в умовах негативних техногенних впливів. URL: <https://kpsuppr.kyivcity.gov.ua/news/29.html>. (Дата звернення: 01.06.2019).
- Селівачова У.М., Стадніченко С.М. Особливості геологічного середовища та гранулометричного складу відкладів рукотворних Гнилицьких печер (урочище Церковщина). Зб. наук. пр. Ін-ту геол. наук НАН України. 2012. Вип. 5. С. 240-244.
- Стан підземних вод України, щорічник. Київ: Держгеонадра України, ДНВП «Геоінформ України», 2018. 121 с.
- Теоретические основы инженерной геологии. Социально-экономические аспекты. Сергеев Е.М. (ред.). Москва: Недра, 1985. 332 с.
- Тучковенко Ю.С., Иванов В.А., Сапко О.Ю. Оценка влияния береговых антропогенных источников на качество вод Одесского района северо-западной части Черного моря. Севастополь : Экокси-Гидрофизика, 2011. 169 с.
- Черкез Е.А., Козлова Т.В., Шмуратко В.И. Инженерная геодинамика оползневых склонов Одесского побережья после осуществления противооползневых мероприятий. Вісн. ОНУ. Географ. і геол. науки. 2013. Т. 18, вип. 1 (17). С. 15-25.

Shestopalov V.M. (Ed.), 1991. Water exchange in hydrogeological structures of Ukraine: Water exchange in disturbed conditions. Kiev: Naukova Dumka, 528 p. (In Russian).

Shpolyanskiy O.S., 1962. Underground Pilots. In: Kiev subway. Kyiv, pp. 181-189. (In Ukrainian).

Kasiyanov V., Chernysheva O., 2018. Ecological Construction and Reconstruction of Underground Space of Cities International. Multi-Conference on Industrial Engineering and Modern technologies IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering 463 032050. Retrieved from: <https://doi.org/10.1088/1757-899X/463/3/032050> (In English).

Kril T., 2017. Causes of some hazardous engineering geological processes on urban territories. 3rd International Conference on Applied Geophysics E3S Web of Conferences, vol. 24. Retrieved from: <https://doi.org/10.1051/e3sconf/20172401009> (In English).

Loretta von der Tanna, Raymond Sterlingb, Yingxin Zhouc, Nicole Metjed, 2019. Systems approaches to urban underground space planning and management. A review. Underground Space. Retrieved from: <https://doi.org/10.1016/j.undsp.2019.03.003> (In English).

Шестопалов В.М. Водообмен в гидрогеологических структурах Украины: Водообмен в нарушенных условиях. Шестопалов В.М. (ред.). Киев: Наукова Думка, 1991. 528 с.

Шполянський О.С. Підземні лощмани. Київський метрополітен. Київ, 1962. С. 181-189.

Kasiyanov V., Chernysheva O. Ecological Construction and Reconstruction of Underground Space of Cities International. Multi-Conference on Industrial Engineering and Modern technologies IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering 463 (2018) 032050. URL: <https://doi.org/10.1088/1757-899X/463/3/032050>.

Kril T. Causes of some hazardous engineering geological processes on urban territories. 3rd International Conference on Applied Geophysics E3S Web of Conferences. 2017. Vol. 24. URL: <https://doi.org/10.1051/e3sconf/20172401009>.

Loretta von der Tanna, Raymond Sterlingb, Yingxin Zhouc, Nicole Metjed. Systems approaches to urban underground space planning and management – A review. Underground Space, 2019. URL: <https://doi.org/10.1016/j.undsp.2019.03.003>.

Manuscript received May 08, 2019;
revision accepted July 10, 2019

Інститут геологічних наук НАН України
Київ, Україна

ГЛУБИННО-ФУНКЦИОНАЛЬНАЯ СХЕМА ГЕОЛОГИЧЕСКОЙ СРЕДЫ ДЛЯ ОСВОЕНИЯ ПОДЗЕМНОГО ПРОСТРАНСТВА УРБАНИЗИРОВАННЫХ ТЕРРИТОРИЙ

Т.В. Криль

Недостаток свободных городских территорий, стремление населения к благоустройству, улучшению и рациональному использованию окружающей среды города требует большего применения подземного пространства. Эффективное и рациональное размещение в нем многочисленных сооружений транспортного, энергетического, хозяйственного, коммунального, социального назначения и создание масштабной инженерной инфраструктуры ставит задачу стратегического планирования развития подземного пространства мегаполисов. Размещение подземных сооружений в городах происходит ярусами, на разных глубинах (от нескольких до сотен метров). Приведен анализ влияния подземных выработок при их образовании и эксплуатации на развитие опасных процессов в геологической среде урбанизированных территорий, угрозы возникновения чрезвычайных ситуаций – провалов, оползней, повреждения наземных объектов. Рассмотрены подземные сооружения, образованные на нескольких уровнях, в различных стратиграфических горизонтах и в разных функциональных зонах городов. На первом от поверхности уровне это инженерные сети водопровода, теплосети, канализация, на втором – подземные переходы, торгово-складские помещения, паркинги, к третьему отнесены транспортные сооружения глубокого заложения, четвертый уровень связан с эксплуатацией подземной воды. Выделены особенности инженерно-геологических условий для различных уровней размещения инженерных сооружений, которые могут быть причинами чрезвычайных ситуаций. Разработана схема глубинно-функционального разреза геологической среды на основе выделения характерных чрезвычайных ситуаций и особенностей инженерно-геологических условий и процессов, которая служит научным фундаментом для дальнейшего развития инфраструктуры подземного пространства крупных городов.

Ключевые слова: инженерно-геологические условия, урбанизированная территория, подземное пространство, опасные экзогенные геологические процессы, чрезвычайные ситуации.