DOI: 10.32347/2786-7269.2023.5.110-120
УДК 72.012

доктор архітектури, професор **Тімохін В.О.**,
timokhin.vo@knuba.edu.ua, ORCID: 0000-0002-0559-4384, H-index-7,
кандидат архітектури, доцент **Гарбар М.В.**,
garbar.mv@knuba.edu.ua, ORCID: 0000-0002-1651-3164, H-index-2,
кандидат архітектури, доцент **Щурова В.А.,**
shchurova.va@knuba.edu.ua, ORCID: 0000-0001-8468-3280, H-index-3,
Київський національний університет будівництва і архітектури

БІОНІЧНІ ПРИНЦИПИ АРХІТЕКТУРНО-ПЛАНУВАЛЬНОЇ ОРГАНІЗАЦІЇ МІСЬКИХ ПІДЗЕМНИХ ПРОСТОРІВ

Проаналізовано біонічні принципи, доцільні для використання при формуванні архітектурного середовища, та врахована специфіка проєктування підземних просторів з використанням оптимальних зв'язків, та закономірностей, котрі використовуються в природі. Сформульовано засоби застосування біоніки і біоморфних структур в формуванні інтер'єрів та подібність житлових будов у тваринному світі при розробці функціональних зв'язків підземних просторів.

Ключові слова: підземний простір; сталий розвиток; біонічні принципи; технічні принципи; естетичні принципи

Постановка проблеми. Перенаселення найкрупніших міст як місць тяжіння праці та комфортного життя призводять до ущільнення житлової забудови. Інженерні та транспортні комунікації не справляються з навантаженням і потребують розширення та пошуку альтернативних підходів до неосвоєних територій, до яких відносяться підземні простори. Історія демонструє приклади активного засвоєння підземних просторів з давніх часів з різною метою: оборонна, збереження від хижих тварин, схованка від несприятливих кліматичних умов тощо. Сучасні проєкти міст майбутнього все більше заглиблюються в землю з використанням геотермальної енергії. Наразі є обмеження щодо використання підземних просторів для споруд різного призначення та окремих приміщень громадських будівель і споруд. Безпека життєдіяльності при освоєнні підземних просторів у якості житла вивчається на предмет дискомфорту перебування у замкненому середовищі. Локальність використання підземних ярусів під будівлями і спорудами не вирішує проблеми комплексної підземної комунікації та вирішення проблем критичних екологічних і техногенних загроз. Поєднання ідеї раціонального проєктування з

прикладів біоніки – розповсюдження структурної сітки міцелію та тваринного світу при формуванні мурашників, раціональність бджолиних стільників тощо.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Наукові дослідження з підземної урбаністики мають специфічний характер і можна прослідити часові етапи розвитку цієї теми. Перші наукові роботи з освоєння підземних просторів у якості комунікаційних систем стосувалися появі метрополітену, підземним переходам під швидкісними магістралями, сучасні методологічні дослідження Панкратової Н.Д., Вапнічної В.В., Гайко Г.І., Савченко І.О., Матвійчук І.О., Vähäaho I. присвячені вивченню підземної інфраструктури урбаністичного простору для забезпечення мінімізації екологічних і техногенних ризиків в тому числі з урахуванням особливостей геологічного середовища і використання підводних ділянок [1-5].

Оглядові та аналітичні роботи досвіду проєктування підземних об'єктів і міст опубліковані такими вченими, як Тригуб Р.М. [6]; С.В. Риндюк, М.А. Максименко [7]. Про засвоєння підземних просторів у місті та економічні переваги їхнього влаштування йдеться в працях Нестеренко С. Г., Радзінської Ю.Б., Доброходової О.В. та ін. [8]. Використання підземних просторів як метод збереження цінного історичного середовища міст надана увага у роботі Жидкової Т.В. [9]. Антоненко І. В. аналізує системний розвиток підземного простору Києва. Також розглядаються пріоритетні завдання та усунення можливих ризиків [10].

Апробації результатів досліджень підземних просторів різного призначення присвячена Міжнародна наукова конференція «Підземний простір: освоєння, вивчення, вторинне використання» Запоріжжя–Василівка, 25-26 вересня 2015 р. Організатори: Європейське товариство екологічної історії, Запорізький національний університет, Василівський історико-архітектурний музей-заповідник «Садиба Попова» Запорізьке наукове товариство ім. Я. Новицького [11].

Валінкевич Н.А., Бармашина Л.М. розглядають біонічні форми як засіб покращення естетичного образу міського простору [12].

Формотворчі пропозиції проєкту міста майбутнього Паоло Солері, підводне місто Вінсента Калебота пов'язані з підземними та підводними проторами. Концепції цифрового морфогенезу проявляються в дигітальній архітектурі та дизайні [13, 14].

Таким чином, з аналізу наукових досліджень з даної тематики було виявлено основні напрямки досліджень, пов'язані з підземною урбаністикою, прокладення транспортних комунікацій, формування підземних комплексів громадського користування, аналіз підземних просторів окремих міст, підземні міста-утопії та біонічні засоби формотворення в архітектурі і дизайні. Питання

влаштування підземних комплексів засобами моделювання біонічних структур на теперішній час не розглядалися.

Актуальність статті визначається пошуками нових шляхів створення комфортного середовища для облаштування тимчасового схову та місця прикладення праці чи організації навчального процесу людини під землею, що є актуальним для України та інших держав, які перебувають під обстрілами зброєю масового ураження. Також актуальним залишається економічний чинник при застосуванні підземних територій міст як декомпресія щільної забудови на поверхні. Спрощення систем вентиляції та рефлективно влаштованих нір, гранична функціональність, використання природних ресурсів для збереження тепла – прийоми, які має засвоїти людство для свого подальшого виживання.

Новизна. Вперше розглянуто принципи застосування структур флори і фауни як оптимальні прояви природного світу у підземних просторах. Порівняно аспекти оптимальності шляхів та їхнього зв'язку. Наряду з відомими стилями в архітектурі: органічною архітектурою, біонікою обґрунтовано застосування результатів досліджень з біології і зоології при створенні архітектурного середовища.

Метою публікації є аргументація оптимізації організації підземних просторів і визначення основних переваг раціональності в їхній організації з використанням біонічних структур.

Методи досліджень застосовано метод вивчення текстового, графічного та ілюстраційного матеріалу біологічних і зоологічних дисциплін, аналізу аналогів проєктування підземних парків; метод включеного спостереження і систематизації матеріалу.

Основна частина. Як свідчить історія, мільйони років тому людина ховалася від кліматичних негараздів як правило в складках земної кори – печерах, щілинах, норах, копіюючи поведінку тварин. Поступово, з розвитком пізнання сутності свого буття вона почала застосовувати для побудови укриття фрагменти природного світу – ґрунт, дерева, листя, глину, пізніше опалену глину, цеглу тощо. Як правило – всі ці елементи застосовувалися вже для будівництва на поверхні землі, але людина не відмовилася і від використання підземних і напівпідземних просторів. До наших днів дійшли відомості про підземні міста та об'єкти різного значення – культового, промислового,оборонного. Серед них: підземне місто Дерінкую в Туреччині (VI -V ст. до н. е.), з природною вентиляцією і стабільним температурним режимом всередині, призначене для життя в складних кліматичних умовах; підземне місто Киш в Ірані віком 2500 років, побудоване для управління водними ресурсами; система печер Києво-Печерської Лаври в Україні; підземне

містечко Мусс-Джо в канадській провінції, яке звели для своїх потреб контрабандисти; одеські катакомби-каменоломні в Україні для видобутку черепашнику; соляна шахта у Величці в Польщі; містечко Кубер-Педі в Австралії для захисту від сонця та видобувачів коштовного каміння; китайські катакомби Дися Чен 60-х років XX ст. під Пекіном як бомбосховище від ядерного удару тощо. Сьогодні ці об'єкти в основному виступають як музеї.

Дефіцит наземних територій у сучасних містах призвів до активного засвоєння підземних просторів розважального, торговельного призначення. Наука активно стала проповідувати і реалізовувати створення споруд різних функцій в тілі землі: секретні заводи, лабораторії, інженерні системи, транспортні тунелі і станції метро, транспортно-пересадочні вузли, склади тощо [15]. Комерційні структури поширюють володіння підземними просторами і вшир, і вглиб для влаштування торговельних комплексів, готелів під водою, в товщі льодовиків та ін. Постійна напруга взаємовідносин народів, держав і мілітаризація сприяє тому, що для розміщення об'єктів різних функцій стали активно використовувати підземні простори для захисту та порятунку від зброї масового знищення. Концептуальні проєкти підземних поселень з набором численних функцій та життєзабезпечення фінансуються багатими спонсорами в напрямку реалізації програм по освоєнню та заселенню людьми інших планет Сонячної системи.

Нажаль, в образах архітектури малозначно і несміливо проявляються елементи природи, так звані фрагменти біологічної архітектури, хоча в свій час було пожвавлення захопленням біонікою в архітектурі XX ст. способи відтворення певних принципів і властивостей, закономірностей біологічної форми. Біоморфна архітектура – застосування тих самих основних засад творення, які використовує природа: максимальна несуча здатність за мінімальної ваги власної конструкції [16]. Усі біоструктури працюють тривимірне, тому є пряма аналогія в 3-Д моделюванні форм. Природні конструкції зазвичай працюють на розтин та стиск. Реалізовуючи ці раціональні засади, природа робить ідеальні пластичні форми, до яких подібні пошуки лендморфної архітектури і дизайну. Створення подібних об'єктів буде також активізовано як і підземні структури [17].

Одна з концепцій раціональної організації підземного мегаполісу з розгалуженням комунікацій і просторів – міцелій. Структура коріння грибів в природі формує підземну мережу найкоротших шляхів. І нитки міцелію розповсюджуються мережею під покровом ґрунту в лісах, мають зв'язок з деревами, являючи форму взаємокорисного співжиття мутуалізм, коли присутність партнера стає обов'язковою умовою існування кожного з них. Функціональні зв'язки підземних комунікації та складів подібно до цього

явища природи асоціативно і є принципом мутуалізму для надземних будівель і живлять їх енергією, ресурсами та ін.

Приклад мутуалізму виявляється при побудові нірки борсука, який ховається в ній від біотичних та абіотичних чинників середовища. Тунелі борсукової нірки завдяки об'єму, забезпечують ліпшу аерацію ґрунту, що сприяє росту кореневих систем дерев, а також прискорює процес поглинання опадів [18]. Мутуалізму використанні підземних просторів під будівлею пов'язаний з забезпеченням громадських просторів підземних ярусів оживленими масами людей для кращого функціонування.

Найбільш раціональною схемою суспільного устрою та побудови спільного життєвого простору є структура будови мурашника. У регіонах з екстремальним жарким кліматом комахи будують свої житла виключно під землею. Зсередини мурашник виглядає по-різному, але структура виділення і організації спеціалізованих камер властиві будь-яким видам гніздових мурах: «Солярій»; «Зимувальна камера»; «Кімната королеви»; «Комора»; «Ясла»; «Холодильник»; «Корівник», тощо. При розробці підземного тимчасового житла або бункера, було б розумно дослідити саме цю схему мурашиного поселення.

Математичним шляхом Томас Хейлз у 1999 році довів, що на відміну від інших геометричних фігур, саме шестикутники, що лежать в основі бджолиних стільників, найкраще підходять для максимального використання простору. При цьому витрачається мінімум будівельного матеріалу. Він наочно пояснив, чому ідеальною фігурою при поділі єдиного простору на дрібніші частини є правильний шестикутник. Бджолині стільники називають «архітектурним шедевром». Сьогодні принцип бджолиних стільників застосовується вченими для створення конструкцій, що поєднують у собі пружність і компактність.

Проект підземного парку «New York City Lowline» на території занехаяного тролейбусного парку, законсервованого в 1948 р. – приклад мислення про освоєння підземних просторів нетрадиційними способами і демонструє пошук створення штучної природи в містах-мегаполісах. Хоча проект не реалізовано, він отримав статус найпершого в світі підземного парку. Цей проект можна назвати альтернативою відомої системи надземного парку «Highline» в Нью-Йорку. Розроблена Джеймсом Ремсі з Raad Studio, технологія уловлення сонячного світла працює за принципом «віддаленого мансардного вікна» з фокусуванням в точці та спрямовується під землю для підтримки фотосинтезу рослин парку. Формування парку під землею з вирощуванням рослин в природному для них середовищі – це приклад створення простору подібного до оаз, які в природі трапляються серед ущелин і скель [19].

Проект Дубая «Оаза під пустелею» Al Fayah Park з обширною системою навісів у вигляді природних утворень пустелі для створення мікроклімату, нешкідливого для рослин в умовах палючого сонця. Багатогранна форма навісів, просвіти між якими імітують тріщини в земній поверхні утворюють своєрідні світлові каньйони для забезпечення світлом озеленення. Творець проєкта дизайнер Томас Хезервік інтегрував свій об'єкт в середовище пустелі, використовуючи біоморфологію ґрунтів [20].

Результати дослідження. В ході вивчення принципів утворення гармонійного безпечного середовища представниками флори і фауни, біонічні принципи архітектурно-планувальної організації міських підземних просторів поділимо на дві групи: технічні та естетичні.

Технічні принципи, які забезпечують оптимальне функціонування структури підземного об'єкта: принцип компактності; ефективного використання ландшафту полягає у максимальному використанні ділянки під забудову, створення штучного ландшафту; використання зовнішніх джерел енергії; принцип автономності; використання місцевих будівельних матеріалів; принцип модульності, мобільності, трансформації, універсальності; принцип розгалуження та розосередження; транзити у будівлях мають бути мінімальними за протяжністю, сполучати усі зони найкоротшими шляхами,чітко виражені вертикальні та горизонтальні комунікації, подібно до підземного житла тварин.

Естетичні принципи формоутворення підземного простору, його конфігурації і оздоблення: принцип застосування пропорціювання, філотаксису та ін., принцип естетичної цілісності підземного простору, компенсація відсутності флори; принципи формування природного колірного архітектурного простору; інтегральні принципи фрактальності об'єкта – самоподібність, динамічність, здатність до розвитку, подрібненість.

Принцип потенційного розвитку спрямований на виявлення можливих перспектив розвитку, в ньому закладена програма подальшого моделювання форми; створення ультрасучасного простору, інтерактивного, віртуального, адаптивного.

Висновки та рекомендації подальшого дослідження.

Подальші дослідження планується проводити в напрямку пошуку конкретних відповідностей між нормами проєктування та задачами системного розвитку підземної урбаністики мегаполісів у відповідності до концепції сталого розвитку. В питаннях виживання прийоми мають бути якнайбільш примітивними та природними, які можна використовувати при серйозних пошкодженнях складних автоматизованих систем життєзабезпечення. Це

актуально по відношенню до інфраструктури та розширення утилітарних можливостей просторів багатофункціонального «підземного міста».

Список джерел

1. Гайко Г.І., Савченко І.О., Вапнічна В.В. Морфологічна модель розвитку підземної інфраструктури великих міст для мінімізації екологічних і техногенних ризиків урбаністичного простору. *Науково-технічний журнал «Геоінженерія»*. К.: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2020.Вип. 4. С. 7–18.

2. Pankratova N.D., Haiko H.I., Savchenko I.O. Morphological model forunderground crossings of water objects. *System research&Informationtechnology*, 2021. Vol. 4. P. 78–92. DOI:10.20535/SRIT.2308-8893.2021.4.05

3. Haiko H.I. , Savchenko I.O., Matviichuk I.O. Development of a morphological model for territorial development of underground city space. *Naukovyi Visnyk NHU*, 2019, Вип. 3. С. 68–80. DOI: 10.29202/nvngu/2019-3/14

4. Гайко Г.І. Освоєння підземного простору в концепції сталого розвитку великих міст. *Геотехнології*, 2018. Вип. 1. С. 60–64. URL: https://repository.kpi.kharkov.ua/handle/KhPI-Press/36566

5. Vähäaho, I. Underground space planning in Helsinki. *Journal of Rock Mechanics and Geotechnical Engineering*, 2014. Vol. 6, P. 387–398. DOI: https://doi.org/10.1016/j.jrmge.2014.05.005

6. Тригуб Р.М. Особливості освоєння підземного простору. *Вісник НУВГП. Серія «Технічні науки»,*2021. Вип. 2(94) С. 106–113. DOI: https://doi.org/10.31649/2311-1429-2020-2

7. Риндюк С.В., Максименко М.А. Освоєння підземного простору як вирішення проблем урбанізації міст. *Сучасні технології, матеріали і конструкції в будівництві,* 2020. Том 29(2). С. 101–107. DOI: https://doi.org/10.31649/2311-1429-2020-2-101-107

8. Нестеренко С.Г., Радзінська Ю.Б., Доброходова О.В. Принципи ефективного використання земель підземної нерухомості в структурі мегаполісів. *Вчені записки ТНУ ім. В.І. Вернадського*. К : ТНУ, 2020. Том 31 (70). Ч. 2, Вип. 3. С. 162–166. DOI: https://doi.org/10.32347/2076-815x.2022.80.166-179

9. Жидкова Т.В., Шелвокін О.А. Вертикальне зонування території як метод збереження історичного середовища міста. *Коммунальное хозяйство городов. Научно-технический сборник,* 2009. Вип. 90. С. 148–151.

10. Антоненко І.В. Системний розвиток підземного простору Києва. Пріоритетні завдання та усунення можливих ризиків. *SWorld Journal Issue*, 2021. Vyp. 10 / Part 1.P. 108–114. DOI: 10.30888/2663-5712.2021-10-01-032

11. Підземний простір: освоєння, вивчення, вторинне використання: Збірник матеріалів Міжнародної наукової конференції (Запоріжжя–Василівка, 25-26 вересня 2015 р.) / Упор. Мільчев В.І., Олененко А.Г., Петрова К.А., Стойчев В.М., Філас В.М. Запоріжжя, 2018. 140 с.

12. Валінкевич Н.А., Бармашина Л.М. Організація біонічної форми для гармонізації міського середовища. *Проблеми розвитку міського середовища,* 2012. Вип. 7. С. 49–54.

13. Вергунова Н.С. Концепції цифрового морфогенезу в архітектурі та дизайні. *Комунальне господарство міст*, 2017.Вип. 139. С. 206–208.

14. Amoroso N. Digital landscape architecture now. London: Thames & Hudson, 2012. 304 p.

15. Голубев Г.Е. Подземная урбанистика: Градостроительные особенности развития систем подземных сооружений. М.: Стройиздат, 1979. 231с.

16. Криворучко О. Сучасна архітектура. Термінологічний словник. Львів: Львівська політехніка, 2008. 136 с.

17. Щурова В.А. Морфологічні чинники формування та розвитку ландшафтної системи міст. *Сучасні проблеми архітектури та містобудування*, 2014. Вип. 36. С. 352–356.

18. Дикий І. Особливості поселень борсука (MELES MELES L.) на території заходу України. *Вісник львів. ун-ту. Серія біологічна*, 2005. Вип. 40. С. 101–110.

19. TheLowline. NewYork, NYURL: https://www.kickstarter.com/projects/1520010949/new-solar-technology-to-build-an-underground-park/creator_bio

20. Al Fayah Park Abu Dhabi, United Arab Emirates. URL: https://www.heatherwick.com/project/al-fayah-park/

Doctor of Architecture, Professor **Viktor Timokhin,**
Ph. D architecture, assistant professor **Maryna Harbar,**
Ph. D architecture, assistant professor **Viktoria Shchurova,**
Kyiv National University of Construction and Architecture

BIONIC PRINCIPLES OF ARCHITECTURAL AND PLANNING ORGANIZATION OF URBAN UNDERGROUND SPACES

The article analyzes bionic principles that are appropriate for use in the formation of an architectural environment, and takes into account the specifics of designing underground spaces using optimal connections and regularities used in nature. Was formulated the means of applying bionics and biomorphic structures in the formation of interiors and the similarity of residential buildings in the animal

world in the development of functional connections of underground spaces. The safety of life activities when developing underground spaces as housing studied for the discomfort of being in a closed environment. The locality of using underground layers under buildings and structures does not solve the problem of complex underground communication and solving the problems of critical environmental. In the course of studying the principles of formation of a harmonious safe environment by representatives of flora and fauna, bionic principles of architectural and planning organization of urban underground spaces divided into two groups: technical and aesthetic.

Technical principles that ensure the optimal functioning of the structure of the underground object: the principle of compactness; effective use of the landscape consists, creation of an artificial landscape; use of external energy sources; the principle of modularity, mobility, transformation, universality.

Aesthetic principles of shaping the underground space, its configuration and decoration: the principle of proportioning, aesthetic integrity of the underground space, compensation for the absence of flora; principles of formation of natural color architectural space; integral principles of object fractality.

The principle of potential development is aimed at identifying possible prospects for development, it includes a program for further modeling of the form, creation of an ultra-modern space, interactive, virtual, adaptive.

Keywords: underground space; sustainable development; bionic principles; technical principles; aesthetic principles.

REFERENCES

1. Hayko, H.I., Savchenko, I.O., Vapnichna, V.V. Morfolohichna model′ rozvytku pidzemnoyi infrastruktury velykykh mist dlya minimizatsiyi ekolohichnykh i tekhnohennykh ryzykiv urbanistychnoho prostoru. [A morphological model of the development of the underground infrastructure of large cities to minimize environmental and man-made risks of urban space]. Naukovo-tekhnichnyy zhurnal «Heoinzheneriya». K.: KPI im. Ihorya Sikors′koho, 2020. Vol. (4). P. 7–18 {in Ukrainian}

2. Pankratova, N.D., Haiko, H.I., Savchenko, I.O. Morphological model forunderground crossings of water objects. *System research & Information technology*, 2021. Vol. (4). P. 78–92. DOI:10.20535/SRIT.2308-8893.2021.4.05 {in English}

3. Haiko, H.I. , Savchenko, I.O., Matviichuk, I.O. Development of a morphological model for territorial development of underground city space. *Naukovyi Visnyk NHU*, 2019, Vol. (3). P. 68–80. DOI: 10.29202/nvngu/2019-3/14 {in English}

4. Hayko, H. I. Osvoyennya pidzemnoho prostoru v kontseptsiyi staloho rozvytku velykykh mist. [Development of underground space in the concept of sustainable development of large cities]. *Heotekhnolohiyi*, 2018. Vol. (1). P. 60–64. DOI: https://repository.kpi.kharkov.ua/handle/KhPI-Press/36566 {in Ukrainian}

5. Vähäaho, I. Underground space planning in Helsinki. *Journal of Rock Mechanics and Geotechnical Engineering*, 2014. Vol. (6). P. 387–398 DOI: https://doi.org/10.1016/j.jrmge.2014.05.005 {in English}

6. Tryhub, R.M. Osoblyvosti osvoyennya pidzemnoho prostoru. [Peculiarities of the development of underground space]. *Visnyk NUVHP. Seriya «Tekhnichni nauky»*, 2021. Vol. 2 (94). P. 106–113. DOI: https://doi.org/10.31649/2311-1429-2020-2 {in Ukrainian}

7. Ryndyuk, S.V., Maksymenko, M.A. Osvoyennya pidzemnoho prostoru yak vyrishennya problem urbanizatsiyi mist. [Development of underground space as a solution to the problems of urban urbanization]. *Suchasni tekhnolohiyi, materialy i konstruktsiyi v budivnytstvi*, 2020. T. 29(2). P. 101–107. DOI: https://doi.org/10.31649/2311-1429-2020-2-101-107 {in Ukrainian}

8. Nesterenko, S.H., Radzins′ka, YU.B., Dobrokhodova, O.V. Pryntsypy efektyvnoho vykorystannya zemel′ pidzemnoyi nerukhomosti v strukturi mehapolisiv. [Principles of effective use of underground real estate land in the structure of megacities]. *Vcheni zapysky TNU im. V.I. Vernads'koho*. K. TNU, 2020. T. 31 (70). CH. 2,Vol. (3). P.162–166. DOI: https://doi.org/10.32347/2076-815x.2022.80.166-179 {in Ukrainian}

9. Zhydkova, T.V., Shelvokin, O.A. Vertykal′ne zonuvannya terytoriyi yak metod zberezhennya istorychnoho seredovyshcha mista.Kommunal′noe khozyaystvo horodov. [Vertical zoning of the territory as a method of preservation of the historical environment of the city]. *Nauchno-tekhnycheskyy sbornyk*, 2009.Vol. (90). P. 148–151 {in Ukrainian}

10. Antonenko I.V. Systemnyy rozvytok pidzemnoho prostoru Kyyeva. Priorytetni zavdannya ta usunennya mozhlyvykh ryzykiv. [Systematic development of the underground space of Kyiv. Priority tasks and elimination of possible risks]. *SWorld Journal Issue*, 2021.Vol. (10). Part 1.P. 108–114. DOI: 10.30888/2663-5712.2021-10-01-032 {in Ukrainian}

11. Pidzemnyy prostir: osvoyennya, vyvchennya, vtorynne vykorystannya. [Underground space: development, study, secondary use]. *Zbirnyk materialiv Mizhnarodnoyi naukovoyi konferentsiyi (Zaporizhzhya–Vasylivka, 25-26 veresnya 2015 r.)* / Upor. Mil′chev, V.I., Olenenko, A.H., Petrova, K.A., Stoychev, V. M., Filas, V.M. Zaporizhzhya, 2018. 140 p. {in Ukrainian}

12. Valinkevych, N.A., Barmashyna, L.M. Orhanizatsiya bionichnoyi formy dlya harmonizatsiyi mis′koho seredovyshcha. [Organization of a bionic form for the

harmonization of the urban environment]. Problemy rozvytku mis′koho seredovyshcha, 2012. Vol. (7). P. 49–54 {in Ukrainian}

13. Verhunova, N.S. Kontseptsiyi tsyfrovoho morfohenezu v arkhitekturi ta dyzayni. [Concepts of digital morphogenesis in architecture and design]. *Komunal'ne hospodarstvo mist*, 2017. Vol. (139). P. 206–208 {in Ukrainian}

14. Amoroso N. Digital landscape architecture now. London: Thames & Hudson, 2012. 304 p. {in English}

15. Holubev, H.E. Podzemnaya urbanystyka: Hradostroytel′nye osobennosty razvytyya system podzemnykh sooruzhenyy. [Underground Urbanism: Urban Development]. M.: Stroyyzdat, 1979. 231s. {in Russian}

16. Kryvoruchko, O. Suchasna arkhitektura. Terminolohichnyy slovnyk. [Modern architecture. Terminological dictionary]. L′viv: L′vivs′ka politekhnika, 2008. 136 p.

17. Shchurova, V.A. Мморфorfolohichni chynnyky formuvannya ta rozvytku landshaftnoyi systemy mist. [Morphological factors of the formation and development of the landscape system of cities]. *Suchasni problemy arkhitektury ta mistobuduvannya*, 2014. Vol. (36). P. 352–356 {in Ukrainian}

18. Dykyy, I. Osoblyvosti poselen′ borsuka (MELES MELES L.) na terytoriyi zakhodu Ukrayiny. [Peculiarities of badger (MELES MELES L.) settlements in western Ukraine]. *Visnyk l'viv. un-tu. Seriya biolohichna*, 2005. Vol. (40). P. 101–110 {in Ukrainian}

19. The Lowline. New York, NYURL: https://www.kickstarter.com/projects/1520010949/new-solar-technology-to-build-an-underground-park/creator_bio {in English}

20. Al Fayah Park Abu Dhabi, United Arab Emirates. URL: https://www.heatherwick.com/project/al-fayah-park/ {in English}