

# Горизонти науки

УДК 004.9+004.451+911.3+502.22

DOI: 10.26565/2076-1333-2021-30-01

## Сергій Костріков

д. геогр. н., професор кафедри соціально-економічної географії і регіонознавства,  
Харківський національний університет імені В.Н. Каразіна,  
майдан Свободи, 4, м. Харків, 61022, Україна  
e-mail: [sergiy.kostrikov@gmail.com](mailto:sergiy.kostrikov@gmail.com), ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-4236-8474>

## Денис Серьогін

аспірант кафедри соціально-економічної географії і регіонознавства,  
Харківський національний університет імені В.Н. Каразіна,  
майдан Свободи, 4, м. Харків, 61022, Україна  
e-mail: [den.seryogin@gmail.com](mailto:den.seryogin@gmail.com), ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-0169-4468>

## Віталій Бережний

к. геогр. н., ФОП  
e-mail: [vberezhnoy1@gmail.com](mailto:vberezhnoy1@gmail.com), ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-9288-3554>

## ВИЗУАЛЬНИЙ АНАЛІЗ УРБАНИСТИЧНОГО СЕРЕДОВИЩА ЯК СКЛАДОВА УРБОГЕОСИСТЕМНОГО ПІДХОДУ

У статті подається суспільно-географічний концептуальний підхід щодо впровадження візуального аналізу урбогеосистеми (ВА УГС) через оцінку видимості в урбаністичному середовищі (УС). Останнє розуміється авторами як 3D-формалізована модель реального міського доквілля. Загалом, дана робота є подальшим розвитком авторської методологічної концепції урбогеосистем. Ця концепція вже подавалася разом з методикою геообробки первинних даних дистанційного зондування як двоєдина функціональна сутність, що є підставою для виокремлення та аналізу урбогеосистемних властивостей міського середовища (МС). Пояснюється принципова можливість ВА УГС, яка впливає із того, що квазірастерізована модель УС приймається формалізованою моделлю реально існуючого МС та, відповідно, континуальність цієї моделі може бути протиставлена дискретній природі квазівекторної моделі урбогеосистеми.

Представлене дослідження запроваджує концепцію Півсфери видимості (ПСВ) в урбаністичному середовищі, де така видимість може бути забезпечена спостерігачу за найбільш сприятливих візуальних характеристик доквілля. Важливою складовою концепції ПСВ подається Лінія Видимості (ЛВ). Надається стереометричне пояснення перетворення 2D ЛВ у 3D-сегмент Півсфери видимості. На підставі концепції ПСВ вводиться низка формалізованих параметрів, розрахунок яких є першим етапом ВА УГС. Представлений підхід далі реалізується в якості VA (Visual Analysis)-функціональності веб-ГІС застосування із наданням релевантних прикладів ГІС-інтерфейсу. У рамках цього дослідження був виконаний візуальний аналіз урбогеосистеми м. Мюнстер (Німеччина) щодо порівняної оцінки трьох різних проектів із муніципального планування на підставі формалізованого визначення негативного візуального імпакту на історичне міське середовище як наслідку реалізації кожного із проектів.

**Ключові слова:** візуальний аналіз, урбогеосистема, урбаністичне середовище, Півсфера видимості, формалізовані параметри, VA-функціональність, веб-ГІС-застосування.

## Сергей Костриков, Денис Серёгин, Виталий Бережной. ВИЗУАЛЬНЫЙ АНАЛИЗ УРБАНИСТИЧЕСКОЙ СРЕДЫ КАК СОСТАВЛЯЮЩАЯ УРБОГЕОСИСТЕМНОГО ПОДХОДА

Статья представляет концептуальный подход к визуальному анализу урбогеосистемы (ВА УГС), который, в свою очередь, основывается на оценке видимости в урбанистической среде (УС). Последняя дефиниция понимается авторами как 3D-формализованная модель реально существующей окружающей среды города. В общем, данная работа является дальнейшим развитием авторской методологической концепции урбогеосистем. Эта концепция вместе с методикой геообработки первичных данных дистанционного зондирования уже была представлена в качестве двуединой функциональной сущности, которая является основанием для выделения и анализа урбогеосистемных характеристик городской среды (ГС). Принципиальная возможность ВА УГС следует из того, что квазирастеризованная модель УС принимается формализованной моделью реально существующей ГС и, соответственно, континуальность данной модели может быть противопоставлена дискретной природе квазивекторной модели урбогеосистемы.

Исследование представляет концепцию Полусферы видимости (ПСВ) в УС, которая может быть для наблюдателя в случае наиболее благоприятных визуальных характеристик окружающей среды. Важным компонентом концепции ПСВ представлена Линия видимости (ЛВ). Предлагается стереометрическое обоснование преобразования 2D ЛВ в 3D-сегмент Полусферы видимости. На основе концепции ПСВ вводится ряд формализованных параметров, расчет которых является первым этапом ВА УГС. Представленный подход далее реализуется в качестве VA (Visual Analysis)-функциональности веб-ГИС-приложения с рассмотрением релевантных примеров ГИС-интерфейса. В рамках этого исследования выполнен

визуальний аналіз урбогеосистеми г. Мюнстер (Германія) для сравнительної оцінки трьох різних проектів муніципального планування на основі формалізованого визначення негативного візуального імпакта на історическу городську среду як следствия реалізації кожного із проектів.

**Ключевые слова:** визуальный анализ, урбогеосистема, урбанистическая среда, Полусфера видимости, формализованные параметры, VA-функциональность, веб-ГИС-приложение.

**Sergiy Kostrikov, Denys Serohin, Vitaliy Berezhnoy. VISIBILITY ANALYSIS OF THE URBANISTIC ENVIRONMENT AS A CONSTITUENT OF THE URBOGEOSYSTEMS APPROACH**

This paper recognizes the conceptual approach to the visual analysis of an urbogeosystem (VA UGS), which is within the Urban Studies domain. This approach stays within Human Geography frameworks and based on visibility estimation in the urbanistic environment (UE). The definition of UE is represented as a 3D-formalized model of an actual city environment (CE). In general, our work is a further development of the methodological urbogeosystem concept once introduced by one of this paper's authors. This concept has been previously explained as a twofold functional entity, which is a base for delineation and analysis of the CE urbogeosystemic properties. The basic possibility of VA UGS has been explained as a possibility, that follows from the circumstance, according to which UE is a quasi-rasterized model of a continual nature of an actual city space and its key features. Then, this model of city continuity can be contrasted with the discrete nature of an urbogeosystem – a hierarchical aggregate of urban features. Exactly this contraposition (continuity versus discrete content) provides the basics for the visual analysis.

This research introduces the Visibility Hemisphere concept (VHC), what supposes those conditions of visibility, which do correspond to ambient optic array ones. The Line of Sight (LoS) has been represented as a significant VHC component. Transformation of 2D LoS into 3D-segment of Visibility Hemisphere has been briefly explained within the stereometric frameworks. A number of formalized parameters have been introduced on the base of VHC. Computation of these parameters is the first stage of VA UGS introduction. The introduced approach has been further implemented as the VA-functionality of a web-GIS-application and illustrated with a few interface samples. Visual analysis of Munster-city UGS (Germany) has been provided within this research as a use-case of three scenarios comparative estimation of urban environment developed changes. Possible negative visual impact has been evaluated for each of the scenarios.

**Keywords:** visual analysis, urbogeosystem, urbanistic environment, visibility Hemisphere, formalized parameters, VA-functionality, web-GIS-application.

**Подання наукової проблеми та її актуальності.** У низці попередніх публікацій автори вже обговорювали можливі різноманітні застосування *урбогеосистемного підходу* в суспільній географії, який впроваджується через геоінформаційні платформи та модулі і на підставі обробки ДДЗ, зокрема – первинної та похідної інформації дистанційного *лідарного* (лазерного) зондування [1-5]. В авторських публікаціях, на які ми посилаємося, *концепція урбогеосистем* (УГС) подавалася функціональною двоєдиною сутністю разом з методикою застосування первинних ДДЗ, як підставою для виокремлення та аналізу урбогеосистемних властивостей міського середовища, просторових закономірностей функціонування та суспільно-географічних параметрів урбогеосистем. Тим не менш, визначаючи УГС як *онтологічну геосутність*, що функціонує у окремому екстенції геопростору, який відповідає певній урбанізованій території [1], та обґрунтовуючи прикладну значущість цього поняття у реалізації концепції «Розумного Міста» [2], ми дотепер не торкалися такої складової УГС-підходу як *оцінка видимості у міському доквілі – візуальний аналіз урбогеосистеми* (ВА УГС).

У сучасному місті простір між будівлями (а також між іншими інфраструктурними об'єктами міста) наповнений значно більш різноманітними об'єктами і користувачами цього простору і відрізняється зовсім іншою динамікою, ніж навіть десять років тому. У вказаному відношенні принципова можливість візуального аналізу урбогеосистеми впливає із наступного. *Континуальну природу (квазірастерізована модель) урбаністичного середовища* (УС), як *формалізованої моделі* реально існуючого міського середовища (МС) [5], можемо протиставити *дискретній природі (квазівекторна модель) урбогеосистеми*, як ієрархічній сукупності її елементарних функціональних складових – точкових, лінійних та пло-

щинних ГІС-примітивів у двовимірній площині та псевдовекторних *3D-примітивів* – у тривимірному просторі. Усі *2D/3D-примітиви* складають формалізовану картину тих матеріальних географічних об'єктів, які знаходяться у прямих і зворотних зв'язках в межах певного екстенції геопростору (такий зміст УГС нами послідовно викладався раніше [6, 7, 1]). Тобто, можна стверджувати, що одним із фундаментальних підґрунть ВА УГС, який виконується на підставі оцінки видимості у міському середовищі, крім усього іншого доцільно вважати *загальну ГІС-функціональність растрово-векторного перетворення*.

Окрім вказаної можливості дискретного подання квазірастерізованого урбаністичного середовища візуальний аналіз урбогеосистеми може ефективно описувати *щоденну періодизацію її функціональної динаміки*, коли щоранку тривимірний простір між міськими забудовами отримує зовсім інший предметний зміст у порівнянні із попереднім періодом доби, поступово наповнюючись мешканцями міста, подіями-феноменами, мобільними об'єктами.

Нарешті, на нашу думку, лише через ВА УГС можна об'єктивно описати наявність або відсутність системної ієрархії *публічних просторів* (ПП) у даному конкретному УС, тим більш, приймаючи до уваги, що ПП по території міста присутній, як правило, дуже фрагментарно.

Окрім трьох вказаних, на нашу думку, без перебільшення – методологічних аспектів, які підкреслюють актуальність такого предметного ВА, існує декілька дуже важливих прикладних складових. Наприклад, загальним історичним трендом міської забудови останніх десятиріч є збільшення її щільності та створення все більш високих будівель – хмарочосів. Поява таких будівель генерує проблеми зовсім нового характеру. По-перше, такі будівлі істотно

відрізняються від звичної архітектури старих міст, завдяки чому вони можуть значно порушувати міський пейзаж, а, по-друге, такі будівлі істотно завантажують УС, знижуючи *обсяг видимого простору*. Такі будівлі можуть як прикрасити місто, стати його візитною карткою і туристичним атрактором, відігравуючи важливу функціональну роль, так і погіршити якість міського простору через *свій негативний візуальний імпакт*. Саме тому спорудження, наприклад, хмарочосів вимагає особливого підходу, заснованого на звичайному візуальному аналізі міського середовища, а при необхідності порівняння різних надскладних сценаріїв забудови та обґрунтування локації хмарочосів потребує виключно ВА УГС.

**Ціллю статті** є подання теоретико-методичного підходу, який передбачає застосування тривимірної моделі міста та ГІС-функціональності *Visibility Analysis (VA)* для моделювання видимості в урбаністичному середовищі (моделі реально існуючого міського середовища) із певної точки спостерігача через побудову Півсфери видимості і подальшого впровадження візуального аналізу урбогеосистеми.

Підхід, який пропонується, враховує ту обставину, згідно з якою архітектурна морфологія міста частіше за все створюється не на будь-якій системній основі, а частіше за все – інтуїтивно. Останнє обумовлює загальну картину дизайну міського середовища, який через низку формалізованих параметрів буде відбиватися (це ще раз підкреслюємо) у його моделі – *середовищі урбаністичному* при впровадженні ВА УГС. Саме це обумовлюватиме можливість реалізації *користувацького сценарію (use case – англ., «юз-кейс»)* оцінки дизайну міського середовища у окремому екстенції міського простору. Подібний підхід може знайти застосування у багатьох «юз-кейсах», пов'язаних з міським плануванням, оцінкою нерухомості, телекомунікаціями, міським туризмом і маркетингом.

**Досвід попередніх досліджень.** Аналіз видимості для оцінки міського дизайну використовувався ще до появи геоінформаційних технологій та відповідних платформ. Наприклад, у ряді публікацій виокремлювалося п'ять ключових візуальних елементів, які визначаються в рамках послідовного візуального аналізу по серії фотографій або, навіть, замальовок, що послідовно акумулюються при русі автострадою, дорогою або тротуаром (шляхи, кордони, райони, вузли, орієнтири) [8, 9]. Такий аналіз передбачав локалізацію основних точок спостереження, визначення візуальних коридорів та полів видимості.

Серед перших досліджень характеристик видимості у міському середовищі і візуального імпаку нових забудов на загальну привабливість пейзажу, який оточує пересіченого мешканця міста, слід окремо визначити публікації, що стверджували про прямий вплив *особливостей візуального сприйняття навколишнього міського середовища людиною* на її щоденну поведінку [10-12].

Вище у тексті статті ми вже підкреслювали особливості раптової і довгострокової трансформації 3D-простору між будовами у сучасному місті. У цьому аспекті слід враховувати, у першу чергу, що застосування ГІС-функціональності ВА у рамках та-

кого складного ієрархічного об'єкту як міське середовище має суттєво відрізнитися від використання, наприклад, відомого ГІС-інструменту, як *Viewshed Analysis* («вьюшед» - укр.), який, перш за все, застосовується до природної місцевості і переважно впроваджується на підставі цифрових моделей рельєфу (ЦМР), що базуються на регулярній решітці-матриці висот (*grid* – англ.) [13, 14]. Таким чином, даний метод можна вважати визначено *ВА-растровим*. Він є певним чином протилежним підходу, який робить наголос на видимості по сукупності *псевдовекторних об'єктів* (це умовно – *ВА-векторний* метод). Йдеться про концепцію «ізовісту» (*isovist* – англ.) [11], яка, між іншим, вперше була запропонована ще у другій половині 60-х рр. минулого сторіччя [15].

«*Ізовіст*» може бути визначений як свого роду візуальне поле (скажімо, побудоване за набором дискретних точок). Це поле зору повинно бути повністю осяжним з певної *однієї точки - ключового об'єкту* оцінки видимості, який називатиметься *найкращою точкою спостереження* (НТС) [16-18]. Із вказаним ключовим точковим об'єктом асоціюється увесь фізичний простір, видимий з цієї НТС. «*Ізовіст*» можна розрахувати за *планом*, тобто на двовимірному (2D-) зображенні, що представлятиме собою набір точок, видимих з тієї саме НТС, і, зрозуміло, у даному випадку нехтуватиме впливом морфологічних особливостей природного рельєфу міста, а також певними архітектурними і морфологічними особливостями МС, наприклад, так званім *ефектом багатопверхових будівель* [18]. Так би мовити, «*ізовіст*» описує простір, видимий із НТС, як замкнений багатокутник [11]. Тут «*ізовіст*» відбивається лініями, які при перетині з лінією спостереження із НТС забезпечують безперервний огляд цільового об'єкту і не враховують більш віддалені об'єкти [16, 19].

Перші спроби побудови 3D-«ізовісту» використовували додавання висоти будівель до інформації, отриманої з ЦМР [20]. Результат такої операції являє собою 2.5D-сцену, і видимість на цій сцені зазвичай розраховується в рамках растрової моделі з використанням *Лінії Видимості (ЛВ) (Line Of Sight – англ.)* та / або *алгоритму відстежуючого променя* [21, 22]. Лінія видимості може визначатися як візуальна лінія між двома точками (*точка спостерігача і цільова точка*), яка відбиває ті частини поверхні, що знаходяться або спроектовані на цю лінію, та які *видно* або *не видно* з позиції точки спостерігача. Аналіз видимості може виконуватися, коли, наприклад, лінія видимості замикає повне коло азимута горизонту і рухається методом послідовних ітерацій, утворюючи *ітеративну ЛВ*, тобто проходить по всьому колу зони перспективної видимості, радіусом якої є відстань між вказаними двома точками (рис. 1) [23].

Концепція «вьюшед», що вже згадувалася нами вище, була імовірно першою із ВА-методик успішно імplementованою у ГІС-інтерфейс [24], у якому будувалася послідовність декількох ЛВ на кшталт того загального виду, що подається на попередній ілюстрації (див. рис. 1). За допомогою вказаного ГІС-інструменту могла бути згенерована фрагментарна видимість поверхні, оскільки нерівності природного

чи штучного рельєфу могли блокувати перегляд між двома взаємно видимими точками або в середині відповідної лінії видимості. Такий «вьюшед», як ГІС-метод, перш за все, впроваджувався для аналізу природного рельєфу і ландшафту, що, по-перше, і притаманно цій концепції, а, по-друге, у той час ще не була реалізована генерація дискретних 3D-

моделей будівель у середовищі ГІС, як можливий предмет аплікації «вьюшеду». Існуюче тоді рішення передбачало включення будівель до загальної цифрової моделі поверхні, однак у такому разі істотно знижувалась точність представлення 3D архітектурної морфології забудов.

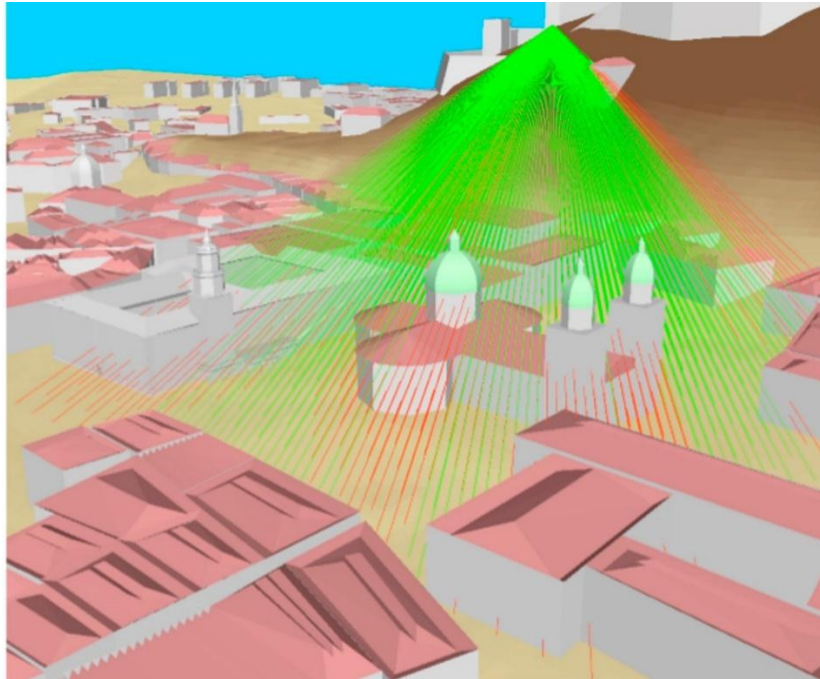


Рис. 1. Ітеративна ЛВ [23, с. 468]

Іншим, достатньо цікавим, з нашої точки зору, прикладом ВА міського середовища було використання *воксельної моделі*, побудованої на підставі лідарних даних, для поетапної реалізації послідовності «вьюшед»=> 3D-«ізовіст» [25]. Сутність такого підходу полягала у використанні «воксельної моделі з адаптивною прозорістю» для того, щоб через «вьюшед» генерувати похідні шари будівель, ґрунтів і рослинності, а надалі розраховувати 3D-«ізовіст».

Третім концептуальним трендом у ВА міського середовища окрім «вьюшеду» та «ізовісту» є так званий «сферичний підхід», який створювався саме для пошуку оптимальних рішень щодо візуалізації МС, причому часто – разом із чисельним обрахуванням «фактору відкритості неба» ( $F$ ) [26-30]. На нашу думку, треба окремо підкреслити, що певні складові методології «сферичного підходу», згідно яких можна більш-менш точно розраховувати геометрію забудов у тривимірному просторі вже використовувалися одним із авторів цієї статті у прикладному рішенні щодо реалізації *користувацького сценарію оцінки енергоспоживання* у тривимірному міському середовищі через засоби веб-ГІС порталу [31].

Також в рамках «сферичного підходу» знаходиться метод визначення "Індексу відкритості простору" ( $SOI$  – *Spatial Openness Index* – англ.) [32, 33]. Такий підхід пропонує 3D візуальну просторову інформацію за дещо іншими принципами, аніж розрахунок  $F$  або *індикатора відкриття неба* (*Sky Opening Indicator* -  $SOInd$  – англ.) [33].  $SOI$ , в порівнянні з

$F$  і  $SOInd$ , *фокусується* на обчисленні "об'ємного простору" і функцій, аналогічних функціям *3D-Isovist* [32]. Індекс  $SOI$  був створений як для розрахунку обсягу видимого простору "зсередини" – з точки зору "спостерігача у будівлі – він спостерігає міський пейзаж поблизу", так і для спостереження за міським ландшафтом взагалі – за широким сектором спостереження зовні будівель. Спостерігач може бути у певній «мертвій зоні» - між будівлями (*in between* – англ.), тоді сектор спостереження зрозумілим чином значно звужується. Автори підходу визначали  $SOI$  як відношення об'єму будівлі до *площі її буферної зони* (*envelope area* – англ.) (ПБЗ), яка визначалася за певними правилами міської топології та геометрії [32, 33]. Уточнення цього формалізованого параметру було зроблено дещо пізніше і у ньому передбачалося, що більша ПБЗ будівлі робить її значно більш привабливою, забезпечуючи більшу взаємодію з різними елементами *міського середовища*, включаючи *природну частину МС*, таку як *сонячне світло*, *прісна вода* і *найкращий краєвид* з цієї будівлі, як з точки спостереження [34]. На нашу думку, можна стверджувати, що саме ПБЗ можна розглядати однією із перших *урбогеосистемних характеристик* для релевантного формалізованого подання міського середовища. Хоча автори  $SOI$  і стверджували, що цей, один з можливих «сферичних» підходів у реальності впроваджує наступний ланцюжок 2D-«ізовіст»=> 2.5D-«вьюшед»=>3D-«ізовіст», ми вважаємо, що подібна методологічна послідовність

може бути стало реалізована лише у рамках концепції *Півсфери видимості (ПСВ)*, яка пропонується у статті.

Крім вже висвітлених у огляді підходів, міське середовище може бути описане, як *тривимірний простір між різними структурами містобудування, пустий простір*, що також включає у себе

рух, який відбувається у певний час і є створеним «користувачами цього простору» [35]. Таке визначення може, на нашу думку, бути теоретичним підґрунтям переходу *2D- => 3D-міський кадастр*, а у статті, на яку ми посилаємося, це ілюструється наступним чином:

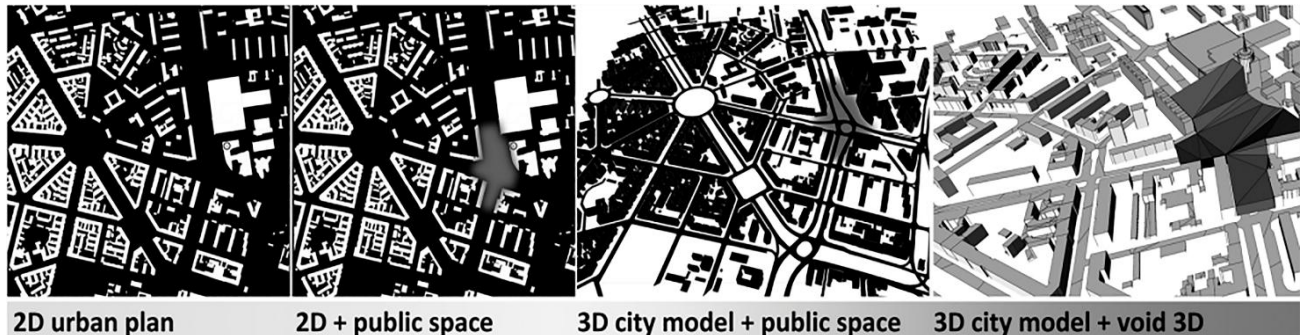


Рис. 2. Ілюстрація, яку можна трактувати як перехід від 2D- до 3D-міського кадастру [35, с. 68]

Таке ілюстративне подання ґрунтується на здавалося б, поодинокому випадку розгляду візуального імпаکتу об'єкту великої міської структури (комплекс PZM / Radisson Hotel). Тут без сумніву простежується два аспекти ВА: *по-перше*, цей комплекс є яскраво вираженим міським як функціональним, так і *візуальним атрактором*; а, *по-друге*, це є найважливішим спостережним пунктом щодо величезного фрагменту найближчого сусідства МС. Такі два аспекти обговорювалися у ряді літературних джерел [22, 25, 36-39].

Використання категорії незаповненого простору між сукупностями забудов, на нашу думку, може стати дуже важливим предметом дослідження у площині пошуку урбогеосистемних властивостей міського середовища через аналіз *просторової диференціації показників візуального імпаکتу*, що є одним із завдань впровадження концепції ПСВ. Про це детальніше – нижче у тексті.

#### Викладення основного матеріалу.

**Концепція Півсфери видимості.** Ми ґрунтувались на засадах саме «сферичного підходу» в рамках візуального аналізу міського середовища [28, 32-34] і мали на меті дискретне подання квазірастерізованого урбаністичного середовища для впровадження ВА УГС. У цьому відношенні ми пропонуємо концепцію візуального аналізу на підставі ПСВ, яка є подальшим розвитком, поглибленням і пристосуванням до практичної реалізації у веб-ГІС підході, дещо раніше запропонованого методу щодо «оцінки візуальної якості МС» [29, 30].

Концепція ПСВ буде ґрунтуватися на відомій теорії «сприйняття Екологічних Оптичних Променів (ЕОП) у середовищі життя людини» [40]. У окремому сегменті фізичного обсягу міського середовища доцільно припустити, що просторові властивості градієнту показників видимості можуть бути визначені і виміряні на підставі кумулятивного об'єму Декартового простору, зайнятого оптичними променями, відбитими від поверхонь, що обмежують даний сегмент фізичного простору МС. Такий кумулятивний об'єм буде візуально сприйматися з деякої

точки спостереження, яка в оптимальному випадку буде НТС (пояснення дивиться вище у тексті). Категорія *ЕОП-видимості* – це *найкращі оптичні умови видимості, що надаються спостерігачу в певній точці міського середовища*. Півсферу видимості можна визначити як інструмент, що виконує тривимірний візуальний аналіз, розраховуючи видимий об'єм, наповнений ЕОП, і який може бути сконструйований за допомогою перегляду з якоїсь певної НТС. Видимий об'єм має бути обмежений певними поверхнями дискретних об'єктів навколишнього міського середовища. Дані поверхні визначатимуться за допомогою сканування повної азимутальної окружності ЛВ (ця дефініція вже пояснювалася вище у тексті) так, як це подається на одній із ілюстрацій вище (див. рис. 1).

Лінія видимості є ключовим елементом при побудові *Півсфери видимості*. Зрозумілим чином, точки *O, Q, T* (дані символи та ті, що надаються нижче у тексті, взагалі є стандартною символікою у переважній більшості публікацій із візуального аналізу) будь-якої поверхні, яку перетинатиме ця лінія будуть мати різні *z*-значення (де *z* – абсолютна відмітка однієї із трьох сутностей - *природного / урбанізованого рельєфу* або *об'єкту міської інфраструктури*), і усі ці точки характеризуватимуться певною просторовою прив'язкою зі значенням *третьої координати Z<sub>ij</sub>* (рис. 3). ЦМР по урбанізованій поверхні, де три вказані сутності складають єдине ціле, може бути визначена як екструдована (*extruded* –англ.) 2.5D-модель, де у відповідному форматі буде зберігатися ця поверхня. ЛВ загалом – це набір сегментів або поліліній між *точкою спостереження (O<sub>i</sub>)* і *цільовою точкою (T<sub>ij</sub>)* (див. рис. 3).

Лінія видимості *L<sub>ij</sub>* у формалізованій моделі УС – це оптичний промінь, що проєктується з *O<sub>i</sub>*, стикається з *точкою переходи Q<sub>ij</sub>*, і фіналізується у *T<sub>ij</sub>*, і це значення ЛВ можна отримати з радіального радіусу *r<sub>n</sub>*, що задається користувачем. Побудова самої НСВ здійснюється через формування 3D сегмента простору з видимого 2D сегмента ЛВ з обчисленням відповідних 3D-характеристик міського простору.

ЛВ як ключовий елемент ПСВ також може бути ітеративною лінією видимості (ЛВ), як це пояснюється та ілюструється вище (див. рис. 1). ЛВ також відбиватиме певний напрям видимості між двома точками вздовж деякої полілінії, яка є лінією видимості по певній поверхні або між векторними об'єктами. Якщо звичайну ЛВ ми можемо формалізовано записати як  $O_i \Rightarrow Q_{ij} \Rightarrow T_{ij}$ , то ЛВ формалізується наступним чином:  $O_i \Rightarrow Q_{ij} \Rightarrow T_{ij}$ . Даний формалізова-

ний запис означає, що на початку ЛВ – точка спостереження (спостерігач)  $O_i$ , а у кінці – об'єкт спостереження (цільова точка)  $T_{ij}$ . У випадку ІВЛ оцінка видимості визначає (фіксує) відсутність видимості, якщо зазначену лінію перетинає елемент рельєфу або штучний об'єкт  $Q_{ij}$  (див. рис. 3). Ітеративно розподілені (через певні інтервали дуги кола) цільові точки зрозумілим чином забезпечують повний огляд зон і локацій міського середовища.



Рис. 3. Компоненти ЛВ, що визначаються по екструдованій ЦМР урбанізованого рельєфу

Крім зазначеного вище, кілька точок спостереження  $O_{ij}$  можуть перебувати на ЛВ між первісною точкою спостереження  $O_i$  і цільовою точкою  $T_{ij}$ . Видимі і невидимі сегменти ЛВ  $L_{ij}$  визначають видимі і невидимі частини поверхні, розташовані уздовж цієї лінії, або вони визначають положення точки перешкоди  $O_{ij}$ , якщо цільова точка  $T_{ij}$  не знаходиться в області видимості. Якщо цільова точка  $T_{ij}$  знаходиться в області видимості, це означає, що  $L_{ij}$  не містить ніякої точки перешкоди  $Q_{ij}$  і, таким чином,  $T_{ij}$  є найвіддаленішою видимою точкою по горизонталі. У найзагальнішому випадку такою точкою, навіть якщо вона виходить за межі даної лінії видимості і знаходиться на продовженій лінії видимості, має бути точка перешкоди  $Q_{ij}$ .

Власно, концепція ПСВ, яка пропонується, і полягає у тому, що відповідно головних методологічних принципів «ізовісту» та «сферичного підходу» [11, 15, 22, 29, 30, 32-34, 39, 41, 42, 43] двовимірну ЛВ може бути трансформована у сегмент тривимірної півсфери видимості  $S_{ij}$ , який утворюється суку-

пністю поперечних перерізів складених вертикально «фізичних оптичних променів, які є аналогом ЕОП у міському середовищі з присутніми його мешканцями» [40].

ПСВ формується на підставі трьох наступних послідовних кроків оцінки видимості в урбаністичному середовищі (рис. 4). Відповідно деяких базових принципів «сферичного підходу» [29, 30, 43] 2D-сегмент ЛВ  $L_{ij}$  (рис. 4.1) між точкою спостереження  $O_i$  і усіма проміжними точками перешкод вздовж цієї ЛВ витягується до найбільш далекої, видимої в горизонтальному напрямку точки перешкоди  $Q_{ij}$ , яка формує кутовий поворот вже в площині, перпендикулярній до даної (окремий випадок кута перевищення  $\beta_n$  між  $O_i$  та  $T_{ij}$ ), і таким чином, вже формується 3D-сегмент. Тут  $H_i$  – висота сегменту Півсфери, що стягує дугу сектора видимості на вісь обертання Півсфери видимості (рис. 4.2). Значення  $H_i$  може або співпадати з показником  $Z_{ij}$  (див. рис. 3), або ні.

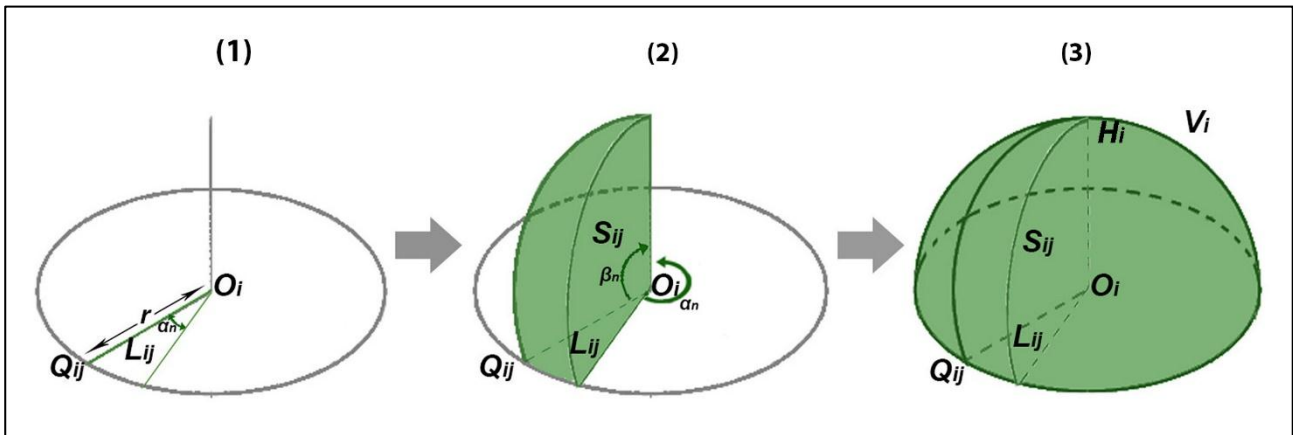


Рис.4. Перетворення 2D-лінії видимості  $L_{ij}$  (1) у 3D-сегмент півсфери видимості  $S_{ij}$  (2) та у закінчену півсферу (3) через введення кутів поворотів  $\alpha_n$  (горизонтального) і  $\beta_n$  (вертикального)

Складені по 3D-сегменту оптичні промені (див. рис. 4.2) за умовою певного положення спостерігача до сонячного випромінювання формують «навколишню оптичну матрицю» (НОМ) (*ambient optic array* – англ.) і демонструють необхідну насиченість для їх визначення в якості ЕОП [40], що саме і має забезпечувати найкращу видимість у МС. В такому випадку, доцільно впровадити підрахунок *візуального об'єму*, використовуючи об'єметричний підхід саме на підставі концепції ПСВ. На нашу думку, цілком доречно припустити, що як окремих сегментів Півсфери видимості (див. рис. 4.2), так і *повна* ПСВ (див. рис. 4.3), у аспекті тривимірного подання найкращої видимості у МС буде значно більше відповідати ефективному опису умов стану НОМ [40], аніж будь-яка 2D-методика оцінки видимості у міському середовищі [11, 13, 18, 35, 36]. Такий висновок можна зробити, оскільки ПСВ є значно ближчою до 3D-сферичного простору, аніж до подання МС на 2D-площині (звичайній карті). Саме дана обставина є ключовою передумовою подальшого впровадження *візуального аналізу урбогеосистеми* на підставі концепції Півсфери видимості.

**Формалізація видимості у 3D-просторі урбаністичного середовища через концепцію ПСВ.** Азимутальний (у горизонтальній площині) кут повороту  $\alpha_n$  визначає деяку кругову відстань між двома послідовними точками перешкоди  $Q'_{ij}$  і  $Q'_{i(j+1)}$  на периферії ПСВ для кожного  $S_{ij}$  3D-сегменту (див. рис. 4.2) і змінюється у діапазоні *0-360 градусів*. Даний параметр також застосовується у 2D-«ізівісті», якщо останній впроваджується у рамках «сферичного підходу» [18, 43]. Формалізація 3D-простору УС може відбуватися наступним чином.

При круговій відстані ( $Q'_{ij}$   $Q'_{i(j+1)}$ ), висоті перевищення  $z_{ij}$  і радіусі півсфери  $r_{ij}$ , об'єм 3D-сегменту  $S_{ij}$  може бути розрахований через введення двох *кутових поворотів* – вже згаданого  $\alpha_n$  і *надирного* (у вертикальній площині) кута  $\beta_n$ , що змінюється у діапазоні *0-90 градусів*. Таким чином, ці два параметри, що знаходяться у взаємно перпендикулярних площинах, завдяки цьому і формують певний сегмент видимості у 3D-просторі УС (див. рис. 4.2).

Саме так може бути розрахований і об'єм усієї півсфери  $V_{HS}$  (*HS* - *hemisphere* – англ.) за умови введення значення *повної* кругової відстані ( $Q'_{ij}$   $Q'_n$ ) і відповідних значень усіх інших параметрів, зазначених вище для повної ПСВ (див. рис. 4.3). Також є можливим альтернативний варіант моделювання видимості в УС, коли у результаті складення всіх  $S_{ij}$  сегментів формується об'єм півсфери видимості  $V_{HS} = V_{ij}$ , який можна розглядати як специфічний 3D-«ізівіст», що використовує повний круговий поворот огляду (360 градусів) з обраної точки спостереження. Через акумуляцію при круговому огляді всіх сегментів  $S_{ij}$  масиву сфери видимості відбувається симуляція НОМ - ЕОП-видимості [40], яка формується з точки спостереження  $O_i$  в напрямку всіх можливих точок перешкод  $Q_{ij}$ .

На підставі сфери видимості можна визначити окремих сегментів видимості в УС, як візуальний об'єм ЕОП-видимості  $V_{ij}$ , тобто, як певну об'єметричну характеристику 3D сегмента  $S_{ij}$ . Даний сегмент може бути обчислений за однією із формул елементарної геометрії, як *об'єм кульового сектору*. Тобто, *геометричного тіла, утвореного обертанням колового сектору навколо одного з радіусів ПСВ, що обмежує цей кульовий сектор*. Для першого кроку формалізації видимості в УС через ПСВ - візуального об'єму ЕОП-видимості  $V_{ij}$ , ми використовуємо наступну формулу елементарної геометрії – підрахунок об'єму кульового сектору у стандартній символіці оцінки видимості, яку використовували вже у тексті вище:

$$V_{ij} = \text{об'єм}(S_{ij}) = \frac{2\pi r^2 H_i}{3}. \quad (1)$$

Таким чином, для розрахунку окремого сектору видимості на підставі положення точок  $O_i$  і  $Q_{ij}$ , радіусу  $r_{ij}$ , і кута перевищення  $\beta_{ij}$  у випадку, коли значення  $Z_{ij}$  (див. рис. 3) і значення  $H_i$  (див. рис. 4) співпадають, можна переписати (1):

$$V_{ij} = \text{об'єм}(S_{ij}) = (\alpha_n r_{ij}^3 \tan \beta_{ij}) / 3 \quad (2)$$

На підставі (1)-(2) можна визначити, що підсумування об'ємів видимих сегментів  $V_{ij}$  при круговому огляді у повному азимуті складатиме *повну Півс-*

феру видимості  $V_{HS}$  – повний візуальний об’єм ЕОП-видимості. Дана величина буде сумою усіх об’ємів 3D сегментів  $V_{ij}$ , що виходять з точки спостереження  $O_i$  в напрямку всіх можливих напрямів видимості  $j$ , і формалізувати цей показник можна:

$$V_{HS} = \sum_{j=0}^{2\pi} V_{ij}, \quad (3)$$

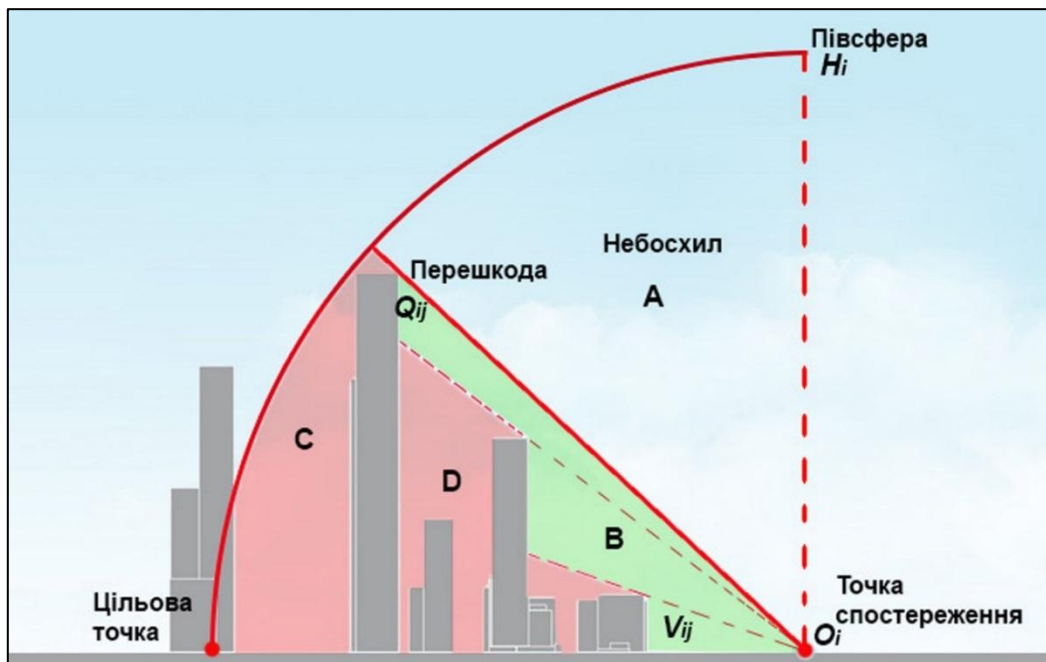
де усі символи вже були розписані вище.

Розрахунок повного візуального об’єму ЕОП-видимості у МС через (1)-(3) є ключовою процедурою формалізації видимості у модельному поданні МС – урбаністичному середовищі, яка забезпечує формалізоване уявлення щодо критеріїв видимості у змодельованих локаціях УС. Такі показники можна використовувати для вимірювання видимості на різних міських ділянках і для порівняння цих результатів у цілях подальшого візуального аналізу урбогеосистеми. У цьому відношенні нами пропонується поняття Візуальних Параметрів 3D-Урбаністичного Середовища (3D-ВПУС).

**Інсталяція на підставі ПСВ візуальних параметрів урбаністичного середовища.** Зміст двох попередніх рубрик статті дозволяє нам виділити ряд параметрів, які у подальшому можна застосовувати для послідовності “оцінка видимості в УС => візуальний аналіз урбогеосистеми”. Через побудову Півсфери видимості ми можемо відокремити видимий об’єм від невидимого об’єму міського простору в

межах ПСВ і формалізувати дискретні частини цього простору через показники (рис. 5):

- $V_A$  – видимий об’єм небосхилу, тобто всього об’єму прямих сонячних променів у вигляді оптичних променів в межах сфери видимості;
- $V_B$  – повний візуальний об’єм ЕОП-видимості, тобто видимий об’єм з точки спостереження до точки перешкоди на природному рельєфі або міському об’єкті;
- $V_C$  – невидимий об’єм за перешкодою – точкою  $Q_{ij}$ , що знаходиться всередині Півсфери видимості;
- $V_D$  – невидимий об’єм перед перешкодою – точкою  $Q_{ij}$ , що також знаходиться всередині ПСВ;
- $H_i$  – як вже пояснювалося вище при побудові Півсфери видимості, це – висота сегменту Півсфери, що має стягувати дугу сектора видимості на весь обертання Півсфери видимості (див. рис. 4.2); це значення може або співпадати з показником третьої координати (найвіддаленішої перешкоди для даної ПСВ)  $Z_{ij}$  (див. рис. 3), або ні. Даний показник може бути обраний як ключовий для побудови ПСВ. Усі п’ять поданих показників складають перший діапазон візуальних параметрів урбаністичного середовища (див. рис. 5).



**Рис. 5. Перший діапазон візуальних параметрів урбаністичного середовища, які ґрунтуються на концепції ПСВ, де секторальні зони C і D – невидимі об’єми  $V_C$  і  $V_D$ , а секторальна зона B представляє видимий об’єм  $V_B$ , секторальна зона A – видимий об’єм  $V_A$ , обмежений небосхилом**

На підставі поданої побудови ПСВ і враховуючи формалізований апарат ВА, представлений вище у (1)-(3), можна розрахувати агрегований параметр видимості у тривимірному УС, 3D-ВПУС ( $IV$  – *indexing visibility* – англ.) як процентне співвідношення видимого простору в межах гіпотетичного півсферичного огляду. Тобто 3D-ВПУС  $IV$  може бути ви-

значений, як видимий 3D-об’єм, що розраховується через ділення показника повного візуального об’єму ЕОП-видимості  $V_i$  (за умовою НОМ цей показник дорівнює  $V_{HS}$ ) на повний розрахунковий об’єм півсфери  $V_{FULLij}$  з будь-яким значенням радіусу  $r_{ij}$ , заданого користувачем інструменту такого розрахунку – відповідного програмного забезпечення.



Об'єм півсфери у вказаній символіці може бути обчислений через іншу (у додаток до (1)) формулу елементарної геометрії – формулу підрахунку об'єму півсфери:

$$V_{FULLij} = \frac{2\pi r_{ij}^3}{3}, \quad (4)$$

де усі символи вже були розписані вище. Треба окремо підкреслити, що, зрозумілим чином, значення  $V_{FULLij}$  (повний розрахунковий об'єм півсфери) та  $V_{HS}$  (повний візуальний об'єм ЕОП-видимості у даній ПСВ) не співпадатимуть у переважній більшості випадків, оскільки їх взаємні величини прямо залежать від НОМ – тобто від поточного стану видимості у фізичному МС.

Радіус півсфери визначається у залежності від особливостей УС, що оточує точку спостерігача. На основі візуального аналізу певної 3D-сцени користувач підбирає відповідне значення радіуса півсфери для позначення обґрунтованих меж сфери видимості, яка буде залучена в розрахунки. Формалізований розрахунок агрегованого індексу 3D-ВПУС IV може бути представлений, як видимий об'єм ( $V_B$ ) або повний візуальний об'єм ЕОП-видимості  $V_i$  по відношенню до розрахункового об'єму півсфери  $V_{FULLij}$ . Таким чином, розрахунок агрегованого індексу включатиме перший діапазон візуальних параметрів УС -  $V_A, V_B, V_C, V_D$  у такій формі (запис у лінійному вигляді):

$$IV = \frac{V_B}{V_A+V_B+V_C+V_D} = \frac{V_i}{\text{Об'єм}(V_{FULLij})}, \quad (5)$$

де усі символи вже були розписані вище.

Кінцевий результат розрахунку 3D-ВПУС VI буде залежати від обраного  $r_{ij}$  для розрахунку видимого об'єму певної півсфери і буде, що дуже важливо, корегуватися за показником  $H_i$  у залежності від особливостей його співвідношення з показником  $Z_{ij}$ , що вже пояснювалося вище. Наприклад, якщо  $H_i = Z_{ij}$ , а радіусом півсфери обрана відстань, яка замикає ПСВ по першій значимій перешкоді, формуючи лише видимий об'єм  $V_B$ , тобто лише частину із можливих видимих об'ємів у даному сегменті УС (див. рис. 5), а інші частини ( $V_C, V_D$ ) дорівнюватимуть нулю, тоді IV розраховується у його мінімальному значенні - лише по частині B видимого простору, а вираз (5) спрощується до наступного виду (запис у лінійному вигляді):

$$IV_{min}^B = \frac{V_B}{V_A+V_B} = \frac{V_i}{\text{Об'єм}(V_{FULLmin})}, \quad (6)$$

де усі символи вже були розписані вище.

**Від оцінки видимості в УС до візуального аналізу урбогеосистеми.** Вирази (1)-(6), приведені у двох попередніх рубриках статті, складають формалізований апарат оцінки видимості в УС – модельному поданні матеріального міського середовища. Така оцінка впроваджується через побудову ПСВ. Якщо ж порівняти запропонований нами раніше предметний контент урбогеосистемного аналізу через ГІС-засоби, поданий у вигляді загальної алгоритмічної схеми [1, с. 111], зі змістом процедур і очікуваними результатами такої візуальної оцінки, то у такому разі, на нашу думку, цілком впевнено можна

стверджувати про *візуальний аналіз урбогеосистеми* із виокремленням її відповідних властивостей.

У вступній частині статті ми вже пояснювали, що квазірастерізовану модель УС, побудовану по узагальнюючій Цифровій Моделі Місцевості (ЦММ) – «забудови + поверхня», доцільно подавати формалізованою моделлю реального МС. Дана суспільно-географічна сутність буде закінченою, якщо до двох вказаних складових додаємо третю («вільний простір між забудовами»). У цьому випадку модельне подання *міського довкілля* через УС буде виглядати як «забудови (та інші інфраструктурні об'єкти) + топографічна поверхня в межах міста + вільний простір між забудовами (інфраструктурними об'єктами)». На нашу думку, саме через ГІС-функціональність VA можна стало поєднати три вказані складові міського середовища для подальших аналітичних висновків, а загальний підхід може бути визначений як ВА УГС. У рамках цього підходу можуть бути співставлені континуальне урбаністичне середовище і дискретна урбогеосистема, як ієрархічна сукупність її елементарних функціональних складових – точкових, лінійних та площинних ГІС-примітивів [1]. Оскільки саме останні подають формалізовану картину сукупності реальних географічних об'єктів, які знаходяться у прямих і зворотних зв'язках у МС, доцільно припустити, що ВА через агрегований індекс VI (видимий 3D-об'єм із певної точки спостереження, що розраховується діленням повного візуального об'єму ЕОП-видимості на об'єм півсфери з певним значенням радіусу, обраного користувачем) може стати єдиним дієвим інструментом виокремлення *емерджентних властивостей УГС у візуальній площині*.

**ВА-функціональність геоінформаційного веб-застосування для ВА УГС.** Автори статті безпосередньо приймали участь у розробці релевантного програмного забезпечення як *клієнт-серверного*, так і «*хмарного*» застосування яке б виконувало обробку та аналіз вхідних даних дистанційного лазерного зондування (*лідарні дані, LiDAR, Light Detection and Ranging* – англ.) для цілей урбаністичних досліджень - *ELiT (EOS LiDAR Tool, <https://eos.com/eos-lidar/>)*. Опис функціональності та інтерфейсу даного веб-ГІС застосування виходить за рамки цієї статті, однак достатньо детально вже викладався раніше [3, 31, 44]. Тут зробимо лише наголос, що разом з низкою рішень щодо моделювання та аналізу МС даний програмний продукт також підтримував ВА-функціональність, що виконувалася на підставі запропонованої нами концепції побудови ПСВ.

Для побудови ПСВ в окремому екстені геопростору УС (на певній ділянці міста – у реальному аналогу цієї моделі) «з нуля» потрібні первинні *вхідні дані*. Йдеться про *.LAS*-файл (бінарний файл стандарту *ASPRS* - результат виконання лідарної зйомки, підтримуються формати *.LAS 1.1-1.4*), який покриває вказаний екстент УС (збудовану територію), а також - про *.SHP*-файл (файл популярного векторного формату стандарту *ESRI*) з полігонами будівель (*footprints* – англ, контури будівель) для цієї території. Далі, перш за все, необхідно побудувати растрову модель поверхні, як «ґрид»-матрицю (див. пояс-

нення вище у тексті) бажаної роздільної здатності.

На цьому кроці можуть впроваджуватися *два альтернативні варіанти*: 1) будується DEM (*Digital Elevation Model* – англ.), тобто ЦМР, яка відбиває лише топографічну поверхню урбанізованого рельєфу; 2) будується DSM (*Digital Surface Model* – англ.), тобто та «загальна ЦММ», яка відбиває будь-яку поверхню в УС. Обидві моделі можна побудувати за допомогою *ELiT*-інструменту *DEM-generation*, який виокремлює континуальні об'єкти (поверхні) з хмари лідарних точок і формує на їх основі «ґрид»-матрицю. У рамках 1)-варіанта ми маємо додавати до ЦМР тривимірні моделі будівель і лише після цього впроваджувати візуальний аналіз; за 2)-варіантом ВА можна починати безпосередньо після побудови ЦММ. Вихідні *DEM / DSM* ми одержуємо у відкритому графічному форматі *GeoTIFF*, що також містить дані про географічну прив'язку зображення.

У веб-ГІС застосуванні *ELiT* сталим операційним варіантом є саме 1)-варіант, коли модельне УС генерується шляхом додавання до ЦМР *3D-псевдовекторних сутностей* забудов. Тобто, саме вказаним чином у даному конкретному випадку реалізується *VA ГІС-функціональність*. Ці тривимірні моделі забудов можна також обраховувати із лідарних точкових хмар, однак лише із точок, що відповідають класу «будівлі». Для цього застосовується функціональність *BERA (Building Extraction Rural Area* – англ.), яка екстрагує із хмари точок площини дахів та стін будівель, *корегуючи* їх з контурами полігонів забудов, які містяться у *.SHP*-файлі. На виході отримуємо тривимірні моделі будівель у форматах

*.OBJ* та *.V3DM*. Далі два вихідні шари, континуальний - топоповерхні і дискретний – будівель, поєднуються отриманням «загальної ЦММ» через *ELiT*-команду *Rasterize LOD1 models*. На виході ми отримуємо ЦММ (*DSM*) також у форматі *GeoTIFF*, який, проте, враховує і будівлі в якості об'єктів об'єднаної урбанізованої поверхні. Таким чином, на даному етапі виконується *растрування .OBJ*-файлів для приєднання їх до *GeoTIFF*-файлу.

Далі для побудови Півсфери видимості, необхідно визначити координати точки, з якої буде побудована сфера видимості – точки спостереження  $O_i$  (див. рис. 5). Для цього використовується відкрите (некомерційне) ГІС-застосування - платформа *QGIS*. У нього потрібно завантажити ЦММ, виявити проєкцію відповідного файлу (зафіксувати так званий *EPSG*-код), а також, за допомогою курсору визначити координати вказаної точки. Побудова сфери видимості виконується за допомогою команди *BVH (Build Visibility Hemisphere)*. В якості вхідних даних *BVH* подаються 1) ЦММ, 2) координати точки  $O_i$  в і 3) радіус ПСВ (за замовчуванням - 300 м). У результаті буде побудована Півсфера видимості (зберігається як і інші псевдовекторні моделі - у форматі *.OBJ*), і яку далі можна відобразити у *3D*-сцені *ELiT*-інтерфейсу разом як з вихідними *.OBJ*-файлами інших псевдовекторних об'єктів (будівель), так і з ЦМР підстильної поверхні (рис. 6.). Треба також окремо підкреслити, що вказана вище «узагальнююча ЦММ» (будівлі + поверхня) не є сутністю, що безпосередньо візуалізується у результативній *3D*-сцені.

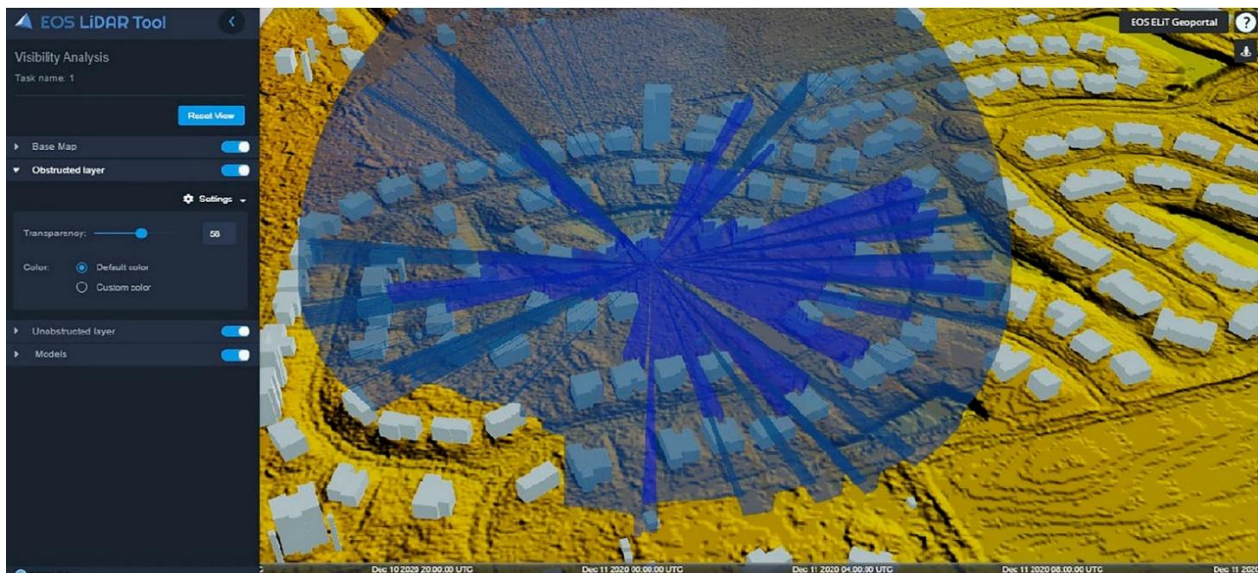


Рис. 6. Візуалізація у програмному веб-інтерфейсі *ELiT* Півсфери видимості, побудованої із певної ТНС у передмістях м. Монреаль (Канада)

На робочій панелі управління візуалізацією ПСВ (інтерфейсне вікно темного кольору зліва на ілюстрації – рис. 6) можна змінювати відповідні параметри: змінювати колір Півсфери, а також її прозорість у залежності від запитів користувача. Примітне те, що через робочу панель можна безпосередньо керувати побудовою і поданням ПСВ по двом прин-

ципово різним середовищам – по шару міського рельєфу, де апіорі - видимість без перешкод (кнопка *Unobstructed layer*); по шару забудов, де апіорі – видимість з різномасштабними перешкодами (кнопка *Obstructed layer*). На ілюстрації вище ПСВ розрахована і разом подається по обох шарах (обидві шари увімкнуті на робочій панелі) (див. рис. 6), що факти-

чно дорівнює інсталяції Півсфери видимості на «узгальнюючій ЦММ», про що йшлося вище.

**Формалізація видимості через ВА-функціональність веб-ГІС-застосування для прикладних аспектів урбогеосистемного підходу.** Об'єктивна оцінка візуального імпаكتу нових проектів із перебудови і модернізації у МС. Зміна забудови і модернізація сучасних європейських міст, особливо – населених пунктів з багатою архітектурною спадщиною їх центральних районів – одні з найскладніших завдань в сучасному містобудуванні. Модернізація забудови не тільки має відповідати існуючому плану міста, орієнтуватися на існуючу міську інфраструктуру, але і має враховувати цінності існуючих міських структур і культурну спадщину міста, щоб принципово не порушити існуюче МС [38], оскільки збереження і дбайливе ставлення до нього робить це місто більш естетично привабливим, а також привабливішим з точки зору туризму. Для збереження існуючого міського середовища встановлюються ряд обмежень на забудову, серед яких найбільш важливим є обмеження висоти будівлі, оскільки зрозумілим чином саме високі будівлі істотно впливають на міський пейзаж, на «стратегічний вигляд» міста [39]. Однак, справа у тому, що досі не існує надійної методики та програмно-апаратних засобів оцінки нових проектів модернізації архітектурної морфології міста саме з т.з. зміни видимості у МС. Релевантні спроби впроваджуються у різних предметних напрямках, що нами вже підкреслювалося у літературному огляді. Доцільно окремо підкреслити досвід авторів, на яких ми вже посилалися вище [32], відповідно якому вони впроваджували евристичне моделювання МС і запропонували категорію «щільності сприйняття» (*perceived density* – англ.) міського середовища на підставі «суб'єктивної якості інформації разом з об'єктивними вимірюваннями видимого простору» [45]. Можна припустити, що даний підхід знаходиться у рамках того ж самого методологічного тренду, що і запропонований у нашій статті ВА УГС. Для оцінки майбутніх змін у історичній забудові міста з т.з. сприйняття МС його мешканцями у рамках даного прикладного аспекту урбогеосистемного аналізу доцільно виконати наступну методичну послідовність.

Візуальний аналіз урбогеосистеми м. Мюнстер на підставі концепції ПСВ. Через веб-ГІС-застосування *ELiT* було змодельоване МС м. Мюнстер (північ землі Північний Рейн – Вестфалія, що у Німеччині) на підставі даних лідарної з'оймки вільного доступу [https://www.google.com/url?q=https://www.opengeodat.a.nrw.de/produkte/geobasis/hm/3dm\\_1\\_las/3dm\\_1\\_las\\_paketiert/&sa=D&source=editors&ust=1618333279756000&usg=AFQjCNHmcZ1ToMV4qrvaf1-LqsMEh4uJ1g](https://www.google.com/url?q=https://www.opengeodat.a.nrw.de/produkte/geobasis/hm/3dm_1_las/3dm_1_las_paketiert/&sa=D&source=editors&ust=1618333279756000&usg=AFQjCNHmcZ1ToMV4qrvaf1-LqsMEh4uJ1g) і подане як урбаністичне середовище у 3D-сцені *ELiT*-інтерфейсу (рис. 7). Нашою ціллю була оцінка трьох перспективних проектів (*сценаріїв візуального імпаكتу* – ВІ) модернізованої забудови цього міста, майже вся територія якого характеризується історичною спадщиною класичної європейської архітектури (реставрована після руйнації у Другу світову). На певній виокремленій території міста (див. рис. 7), одна-

квою для усіх трьох сценаріїв, за *сценарієм максимального ВІ-імпаكتу* – проектом **A** передбачалася модернізація забудови із зростанням контрастності архітектурної морфології у змодельованому УС майже вдвічі за рахунок значного збільшення середньої висоти будівель і навіть – тополого-геометричних змін у вуличній мережі. За *сценарієм мінімального ВІ-імпаكتу* – проектом **B** передбачалася така модернізація забудови, яка б мінімізувала вплив нових споруд на історичний пейзаж міста, однак, зрозуміло, що про значне функціональне покращення МС у такому випадку не може йтися. Нарешті, *сценарій відсутності ВІ-імпаكتу* – проект **B** передбачає «нульові» зміни в архітектурній морфології, а уся модернізація буде полягати лише у реновації існуючої забудови. Однак, зрозуміло, що недостатньо просто оголосити, що «за цим сценарієм буде більший ВІ через, наприклад, вищі забудови та їх більшу кількість...», подібний висновок треба довести формалізовано.

Моделювання сутність а дає можливість *інтерактивного розміщення* нових будівель користувачем у 3D-сцені і, таким чином, об'єктивно дотримуватися певної концепції міського дизайну існуючої забудови і стилістично поєднувати нові будівлі з іншими інфраструктурними об'єктами. Лише через впровадження ВА-функціональності веб-ГІС ми можемо досягти того, що нові будівлі будуть відповідати контексту існуючого міського дизайну, який пов'язує фізичне розташування будівель і вулиць з функціональною організацією. Остання, у свою чергу, відображає ту соціо-економічну структуру міста, яка змушує цей відбудований фрагмент МС функціонувати або дисфункціонувати [37]. Ми впевнені, що у вказаному контексті йдеться саме про функціональне місце даного модернізованого сегменту УС у структурі урбогеосистеми.

Розрахунок формалізованих параметрів видимості в урбаністичному середовищі. По території гіпотетичної забудови, нагадуємо – однакової для усіх трьох сценаріїв, було розраховано та інстальовано 9 НТС, і побудовані відповідні Півсфери із дефолтним радіусом у 300 м (саме вони пронумеровані на ілюстрації – див. рис. 7). Далі по кожній із ПСВ розраховувалися формалізовані показники повного візуального об'єму  $V_{HS}$  за (1)-(3), та два варіанти 3D-ВПУС **IV** (повний і мінімальний за (5)-(6)). Із усієї концепції ПСВ випливає, що формалізований параметр  $V_{HS}$  є показником того, наскільки більш великий об'єм видимого простору є замкненим з т.з. його видимості із даної точки. Тобто, йдеться по певну *абсолютну* *видимість*. Якщо значення об'єму видимості є, зрозуміло, абсолютними, то індекс **IV** є показником *відносної* *видимості*. Він ідентифікує видиму частину 3D-простору, пропорційну об'єму гіпотетичної півсфери, радіус якої дорівнює відстані від точки спостереження до поверхні або найближчої видимої будівлі (найнижчої видимої перешкоди) –  $IV_{min}$  за (6), або – найвіддаленішої видимої будівлі (найвищої видимої перешкоди) – **IV** за (5). Цей показник як відносний варіює від 0 до 1. Значення, близькі до нуля, вказують на низький *відносний* показник видимого об'єму, значення, близькі до одиниці – навпроти.

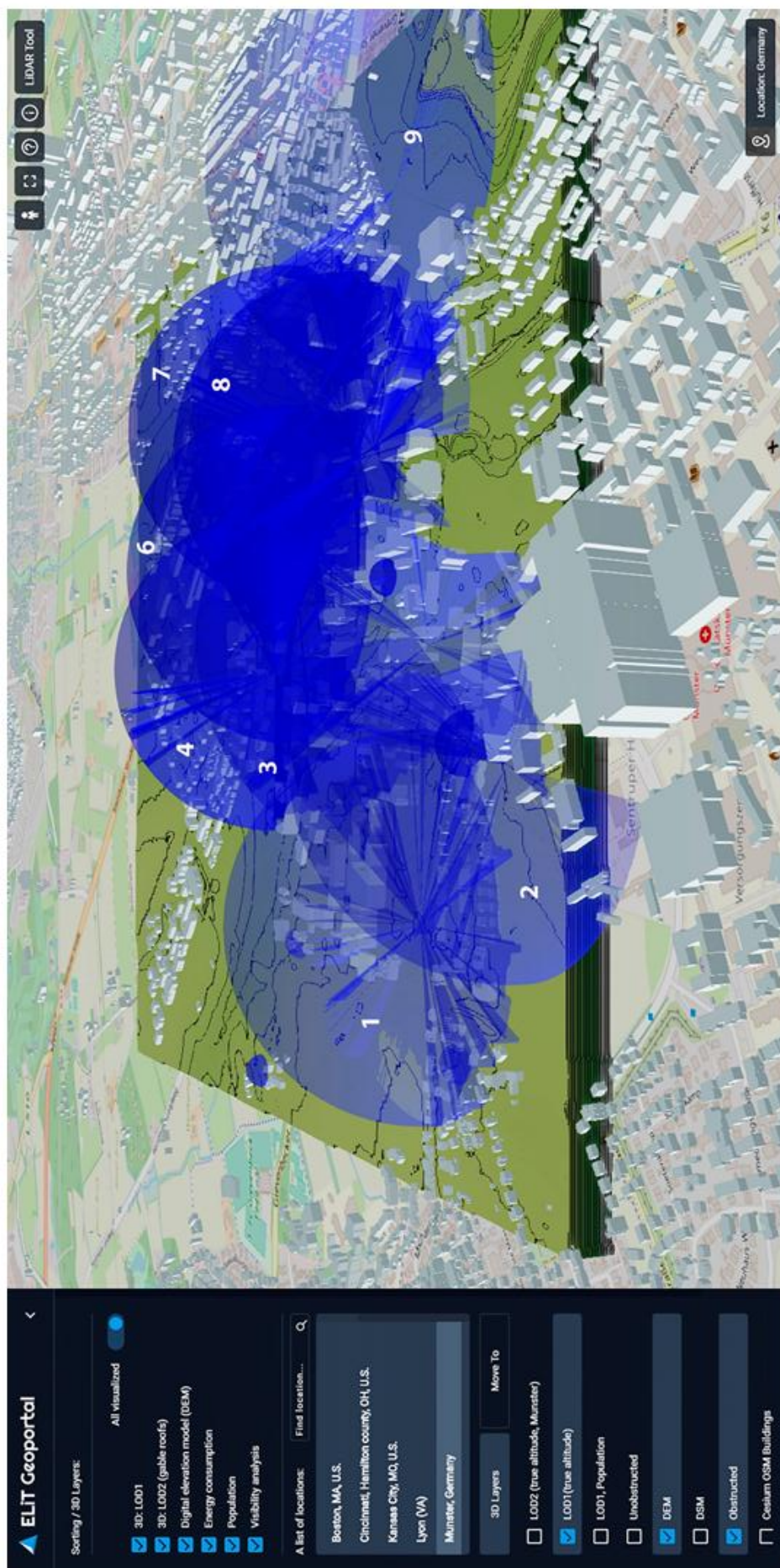


Рис. 7. Візуалізація у програмному веб-інтерфейсі ELIT 9 послідовних Півсфер видимості, побудованих із відновідних TNS в урбаністичному середовищі м. Мюнстер (Німеччина)

Середнім значенням абсолютної видимості  $V_{HS}$  по усіх 9 ПСВ у разі реалізації проекту *A* є  $14500000 \text{ м}^3$ , у той час коли для проекту *C* – лише  $840000 \text{ м}^3$ . Що означає – збільшення в двічі контрастності архітектурної морфології (зокрема, висоти нових будівель) спричинить збільшення середнього значення видимого об'єму майже на 73%. Середнім значенням відносної видимості *IV* по 9 ПСВ за сценарієм *A* є  $0,29$ , а для сценарію *B* –  $0,21$ . Тобто, дворазове збільшення морфолого-архітектурної контрастності матиме наслідком збільшення відносною видимості лише на 38%. Також було встановлено, що для усіх 9 ПСВ коливання окремих значень  $V_{HS}$  ( $500000 \text{ м}^3 \leq V_{HS} \leq 1950000 \text{ м}^3$ ) для сценаріїв *A* і *B* майже збігаються, однак у %-відношенні можуть бути порівняні з коливаннями *IV* ( $0,11 \leq IV \leq 0,40$ ).

Із цього розгляду двох формалізованих параметрів видимості в УС однозначно випливає суттєве збільшення абсолютних значень обох у разі збільшення архітектурно-морфологічної контрастності вдвічі. Це доводить пряму залежність між значеннями параметрів і ступенем зорового сприйняття міського середовища, характером відкритості простору, щільністю об'єктів, які перешкоджають видимості і т.д.. Для проектів *A* і *B*, тобто для тих сценаріїв, які порушують існуючу архітектурно-морфологічну контрастність у м. Мюнстері, показник відносної видимості (*IV*) виглядає більш сталим по усіх побудованих ПСВ, хоча по ТНС від 3-ї до 8-ї індекси *IV* є визначено менше для проекту *B* у порівнянні з *A* ( $0,19$  проти  $0,34$ ). Для проекту *B* значення обох показників ( $V_{HS}$ , *IV*) в більшій мірі збігаються по різних точках спостереження. По емпіричним результатам стає очевидним, що менше значення *IV*, розраховане для УС, буде означати більшу просторову відкритість його матеріального аналогу – міського середовища, і, за великим рахунком – кращу видимість в останньому. Більш високі значення цього параметра вказують на більш щільну забудову, більш замкнуті конфігурації МС, і саме тому – на гіршу видимість.

Заключним кроком формалізації видимості через концепцію побудови ПСВ для оцінки проектів *A*, *B*, *C* є аналіз відповідних параметрів при спрямованому русі спостерігача між 9 обраних ТНС, тобто за маршрутом  $1 \Rightarrow 2 \Rightarrow 3 \Rightarrow 4 \Rightarrow 5 \Rightarrow 6 \Rightarrow 7 \Rightarrow 8 \Rightarrow 9$  (див. рис. 7). Точки найкращого спостереження за таким маршрутом знаходяться не на прямій, а на ламаній лінії, так, щоб побудовані з них ПСВ покривали усю гіпотетичну територію модернізації МС. 3D-ВПУС *IV* можна застосувати до урбанізованого середовища усіх трьох сценаріїв Perez-забудови, які згадувалися вище у тексті. Фізичний видимий об'єм  $V_i$  відрізняється при русі від 1-ї до 9-ї ТНС по кожному із трьох сценаріїв, хоча виявляється, що найменший градієнт *IV* буде за цим маршрутом у проекті *B*. За усіма сценаріями на відрізці від 3-ї до 8-ї ТНС простежуються низькі значення  $V_i$  разом з високими показниками *IV* у тих конфігураціях забудови, де невеличкі відкриті простори МС розташовані поряд з фасадами великих будівель. Навпроти, на відрізках між ТНС  $1 \Rightarrow 2 \Rightarrow 3$  і  $8 \Rightarrow 9$  спостерігається високе значення  $V_i$  разом з низьким показником *IV* у тих конфігураціях забудови, які подають центральні час-

тини великих відкритих просторів, навколо яких на відносному віддаленні знаходяться високі будівлі.

Таким чином, формалізація видимості через ВА-функціональність у певному просторовому зрізі (у границях проектів *A*, *B*, *C*) квазірастрової моделі УС виконувалася через виокремлення в цій моделі урбогеосистемних сутностей – псевдовекторних 3D-об'єктів і встановлення зв'язків між ними на підставі ВА. Прикладний аспект урбогеосистемного підходу полягав у порівняній оцінці візуального імпаكتу на історичне міське середовище в разі реалізації будь-якого з трьох сценаріїв модернізації. На підставі отриманих формалізованих показників можна зробити висновок, що проект *A* демонструватиме найвищі значення *IV*, що відповідає найгіршій видимості. Однак, так би мовити, «друге місце» за цим показником демонструє проект *B* (майже повна відсутність структурної перебудови МС), а не проект *C*, як здавалося б, оскільки останній також демонструє зріст архітектурно-морфологічної контрастності. Очевидна причина полягає у тому, що модернізація за проектом *A* робить своїм наслідком значний зріст візуального імпаكتу у порівнянні з існуючим станом МС (проект *B*), а модернізація за проектом *C*, судячи за існуючими формалізованими показниками видимості, цей існуючий візуальний імпаكت знижує.

**Висновки та перспективи подальших досліджень.** У сучасному міському середовищі, що швидко трансформується у надскладну ієрархічну систему із комплексними співвідношеннями інфраструктурних об'єктів самої різної власності, стає не тільки все складніше орієнтуватися мешканцям, але і ефективно контролювати його функціонування і розвиток, особам, які приймають рішення. Саме тому є вкрай потрібним обґрунтований перехід від 2D- міського кадастру, навіть автоматизованого, до 3D-геоінформаційного кадастру МС. У цьому відношенні важко переоцінити принципову можливість візуального аналізу квазівекторної моделі урбогеосистеми на підставі квазірастрового подання урбаністичного середовища – формалізованої моделі реально існуючого фізичного середовища даного міста. У статті викладений дослідницький підхід, який застосовує 3D-модель міста у певному екстенції географічного простору та ВА-ГІС-функціональність для формалізації видимості і подальшого впровадження ВА урбогеосистеми міста. Запропонована концепція Півсфери видимості ґрунтується на категорії ЕОП-видимості – найкращих візуальних умовах видимості, що надаються спостерігачу в певній точці міського середовища, із якої і розраховується відповідний візуальний об'єм. Така оцінка видимості в урбаністичному середовищі є першим етапом візуального аналізу урбогеосистеми, ключовою передумовою якого є модельне подання міського довкілля у 3D-вигляді «забудови (та інша інфраструктура) + урбанізований рельєф + вільний простір між забудовами». Введене поняття агрегованого 3D-візуального параметру УС, що може бути визначений, як видимий 3D-об'єм, що розраховується через ділення показника повного візуального об'єму ЕОП-видимості на повний розрахунковий об'єм півсфери. Вказані передумова та розрахунок параметру реалізуються

через веб-ГІС-застосування відповідно до структури його інтерфейсу, що передусе безпосередній імплементації ВА УГС, як формалізації видимості, за допомогою ВА-функціональності даного програмного забезпечення. Розрахунок формалізованих параметрів видимості в урбаністичному середовищі м. Мюнстер (Німеччина) був впроваджений по трьох різних сценаріях перспективної модернізації окремого району міста, запропонованих незалежно один від одного. Отримані результати дозволяють стверджувати про імовірну високу дієвість концепції ПСВ щодо порівняльної оцінки проектів із муніципального планування, які, наприклад, запропоновані різними підприємствами.

Крім усього, зауваженого вище, підхід, заснований на побудові ПСВ можна застосувати не тільки в галузі міського планування. У випадках з розподілом

телекомунікаційних мереж, розміщенням рекламних банерів і пошуку найкращого сегменту міського пейзажу може бути продемонстровано, що візуальний аналіз урбогеосистеми може всебічно оцінити існуюче міське середовище для його кращого розуміння і орієнтації у ньому. З цієї точки зору, на нашу думку, відкриваються неабиякі можливості для застосування даного підходу не тільки в муніципальних рішеннях, а і для потреб багатьох приватних замовників. У цьому відношенні наші майбутні дослідження можуть бути сконцентровані як на побудові деякої мережі точок, так би мовити, «мультиперегляду» у міському доквіллі певної урбанізованої території, окресленню перспективним замовником, так і на вдосконаленні представленого формалізованого апарату в цілях аналізу значно більш ієрархічних урбогеосистем.

#### Список використаних джерел:

1. Kostrikov S. Geoinformation approach to the urban geographic system research (case studies of Kharkiv region) / S. Kostrikov, L. Niemets, K. Sehida [and other] // Вісник Харківського національного університету імені В.Н. Каразіна, серія "Геологія. Географія. Екологія". – Вип. 49. – Харків: ХНУ, 2018. – С. 107-121. <https://doi.org/10.26565/2410-7360-2018-49-09>
2. Kostrikov S. Urban Remote Sensing with LiDAR for the Smart City concept implementation // Вісник Харківського національного університету імені В.Н. Каразіна, серія "Геологія. Географія. Екологія". – Вип. 50. – Харків: ХНУ, 2019. – С. 101-124. <https://doi.org/10.26565/2410-7360-2019-50-08>
3. Костріков С. Веб-застосування ELiT – програмне забезпечення для моделювання і аналізу міського середовища / С. Костріков, Д. Бубнов, А. Кострікова, Р. Пудло // Збірник матеріалів Міжнародної науково-практичної конференції «ГІС-Форум»-2018» - Харків, 2018. – С. 56-59.
4. Серьогін Д., Костріков С. Особливості та переваги ГІС-моделювання міського середовища на підставі лідарної інформації // Регіон – 2020: стратегія оптимального розвитку: матеріали міжнародної науково-практичної конференції. – Харків: ХНУ імені В.Н. Каразіна, 2020. – С. 34-36.
5. Костріков С., Попович О. Реалізація мультифункціонального підходу до аналізу урбаністичного середовища через геоінформаційне веб-застосування // Регіон – 2018: стратегія оптимального розвитку: матеріали міжнародної науково-практичної конференції. – Харків, ХНУ імені В.Н. Каразіна, 2018. – С. 24-28.
6. Чуєв О., Костріков С. Аналіз дворівневих урбогеосистем через засоби ГІС // Вісник Харківського національного університету імені В. Н. Каразіна, серія "Геологія. Географія. Екологія". – Вип. 44. – Харків: Видавництво ХНУ, 2016. – С. 98-109.
7. Безрук В., Костріков С., Чуєв О. ГІС-аналіз функції урбогеосистеми з метою оптимізації розміщення закладів громадського харчування (на прикладі м. Харків) // Часопис соціально-економічної географії. – Вип. 21(2). – Харків: Видавництво ХНУ, 2016. – С. 91-101.
8. Lynch K., Appleyard D., Meyer J.R. 1964. The View From the Road. – MIT Press, Cambridge, MA. – 258 p.
9. Lynch K. 1976. Managing the Sense of Regions. – MIT Press, Cambridge, MA. – 678 p.
10. Cullen, G. 1971. The concise townscape. The Architectural Press. – 199 p.
11. Benedikt, M. L., 1979. To take hold of space: Isovist fields // Environment and Planning B: Planning and Design – Vol. 6. – pp.47-65.
12. Broadbent G. 1990. Emerging Concepts in Urban Design. – New York: Van Nostrand Reinhold International. – 392 p.
13. Wang J., Robinson G., White K. Fast solution to local viewshed computation using grid-based digital elevation models // Photogrammetric Engineering & Remote Sensing. – 1996. – Vol. 62. – No. 10. – pp. 1157-1164.
14. Lovett A. GIS-based visualisation of rural landscapes: defining 'sufficient' realism for environmental decision-making // Landscape and Urban Planning. – 2003. – Vol. 65. – no. 3. – pp. 117-131.
15. Tandy C.R.V. 1967. The isovist method of landscape survey // Methods of Landscape Analysis Ed. H C Murray, Landscape Research Group, PO Box 53, Horspath, Oxford, OX331WX.
16. Morello E., Ratti, C., 2009. A digital image of the city: 3D isovists in Lynch's urban analysis // Environment and Planning B: Planning and Design 36(5), pp. 837-853.
17. Rana, S., 2006. Isovist analyst: an arcview extension for planning visual surveillance. – ArcGIS Press. – 32 p.
18. Batty M. Exploring isovist fields: space and shape in architectural and urban morphology // Environment and Planning B: Planning and Design – 2001. Vol. 28. – pp. 123-150.
19. Bilsen A. Van, Stolk E.H. The potential of Isovist Based Visibility Analysis // Bekkering, H. et al. The Architectural Annual (Delft) 010 Publishers, 2007. – pp. 68-73.
20. Lake I.R., Lovett A.A., Bateman I.J. Using GIS - and large-scale digital data to implement hedonic pricing studies // International Journal of Geographical Information Science. – 2000. – Vol. 14(6), pp. 521-541.

21. Brossard T., Joly D. Tourneux, F. Modélisation opérationnelle du paysage // Paysage et information géographique. Lavoisier, 2008. – pp. 117-137.
22. Bartie P., Reitsma F., Kingham S., Mills S. Advancing visibility modelling algorithms for urban environments // Computers, Environment and Urban Systems. – 2010. – Vol. 34. – no. 6, pp. 518-531.
23. Natapov A., Czamanski D., Fisher-Gewirtzman D. Can visibility predict location? Visibility graph of food and drink facilities in the city // Survey Review. – 2013. Vol. 45. – pp. 462-471.
24. Bratt. S., Booth B. Using ArcGIS 3D Analysis. - ESRI, Redlands, CA, 2007. – 147 p.
25. Pyysalo U., Oksanen J., Sarjakoski T. Viewshed analysis and visualization of land-landscape voxel models // 24th International Cartographic Conference, Santiago, Chile. – 2009. – P. 124-135.
26. Bosselmann P. Representation of Places: Reality and Realism in City Design. – University of California Press, Berkeley, CA, 1998. – 228 p.
27. Ratti C. Urban Analysis for Environmental Prediction PhD thesis. – University of Cambridge. – 2002. – 567 p.
28. Gal T., Lindberg F., Unger J. Computing continuous sky view factor using 3D urban raster and vector databases: comparison and application to urban climate // Theoretical and Applied Climatology/ - 2009.- Vol. 95. – P. 111-123.
29. Putra S.Y., Yang P., Li W. GIS-based 3D visibility analysis for a high-density urban housing environment // Proceedings of 5th China Urban Housing Conference . – 2005. - P. 567-578 (Text in Chinese with the English Extended summary).
30. Yang P., Putra S.Y., Li W. Impacts of density and typology on design strategies and visual quality of urban environment // Proceedings of Map Asia 2005 Conference in Jakarta. – 2005. – P. 331-338 (Text in Chinese with the English Extended summary).
31. Kostrikov S., Pudlo R., Bubnov D., Vasiliev V. ELiT, Multifunctional Web-Software for Feature Extraction from 3D LiDAR Point Clouds // ISPRS International Journal of Geo-Information. – 2020. – Vol. 9 (11). – P. 650 -685.
32. Fisher-Gewirtzman D., Wagner I. A. Spatial openness as a practical metric for evaluating built-up environments // Environment and Planning B: Planning and Design. 2003 – Vol. 30. – P. 37-49.
33. Teller J. A spherical metric for the field-oriented analysis of complex urban open spaces // Environment and Planning B: Planning and Design. 2003. – Vol. 30. – P. 339-356.
34. Turner A., Doxa M., O'Sullivan D, Penn A. 2007. From isovists to visibility graphs: a methodology for the analysis of architectural space // Environment and Planning B: Planning and Design. – Vol. 28. – P. 103-121.
35. Zvolinski A. A day in a shadow of high-rise: 3D parameterization and use of public space around pżm / hotel radisson building complex in center of Szczecin // Architecture et Artibus. – 2014. – Vol. 1. – P. 67-71.
36. Rana S., Batty M. Visualising the structure of architectural open space based on shape analysis // International Journal of Architectural Computing. – 2004. – Vol. 18. – P. 1123-1132.
37. Xia Z., Qing Z. 3D City Models Based Spatial Analysis to Urban Design // Annals of GIS, 2004. – Vol. 10 (1). – P. 82-86.
38. Czyska K. Application of lidar data and 3D-city models in visual impact simulations of tall buildings. Int. Arch. Photogramm. Remote Sens. Spat. Inf. Sci. 2015, 40, pp. 1359-1366
39. Czyńska, K. Tall buildings and harmonious landscape // Space and Form. – N. 13. – P. 267-280.
40. Gibson J.J. The Ecological Approach to Visual Perception. – Lawrence Erlbaum, Hillsdale, NJ, 1986. – 548 p.
41. Franklin W.R. Siting observers on terrain. In: Richardson D, van Oosterom P, eds. Advances in Spatial Data Handling: 10th International Symposium on Spatial Data Handling, Berlin, 2002. – P. 109–120.
42. Omer I, Goldblatt R. The implications of inter-visibility between landmarks on wayfinding performance: An investigation using a virtual urban environment // Computers, Environment and Urban Systems. – 2007. – Vol. 31. – P. 520-534.
43. Batty M., Rana S. The automatic definition and generation of axial lines and axial maps // Environment and Planning B: Planning and Design. – 2004. – Vol. 28. – P. 123-150.
44. Костриков С.В., Васильев В.В., Пудло Р.А., Бубнов Д.С. Дослідження міського середовища через його відтворення за допомогою обробки лідар-даних // Регіон – 2019: стратегія оптимального розвитку: матеріали міжнародної науково-практичної конференції. – Харків: ХНУ імені В.Н. Каразіна, 2020. – С. 24-28.
45. Fisher-Gewirtzman D. Integrating 'weighted views' to quantitative 3D visibility analysis as a predictive tool for perception of space // Environment and Planning B: Urban Analytics and City Science. – 2018. – Vol. 45. – no. 2. – P. 345-366.

#### References:

1. Kostrikov, S., Niemets, L., Sehida, K., Niemets, K., & Morar, C. (2018). Geoinformation approach to the urban geographic system research (case studies of Kharkiv region). *Visnyk of V.N. Karazin Kharkiv National University, series "Geology. Geography. Ecology"*. Kh.: KhNU, 49, 107-121. <https://doi.org/10.26565/2410-7360-2018-49-09>
2. Kostrikov, S. (2019). Urban Remote Sensing with LiDAR for the Smart City concept implementation. *Visnyk of V. N. Karazin Kharkiv National University, series "Geology. Geography. Ecology"*. Kh.: KhNU, 50, 101-124.
3. Kostrikov, S., Bubnov, D., Kostrikova, A., & Pudlo, R. (2018). Web-zastosuvannya ELiT – proqramne zabezpechennya dlya modelyuvannya i analizu miskoho seredovyscha. *Zbirnyk materialiv Mizhnarodnoi naukovo-praktychnoi konferentsii «GIS-Forum»-2018*, Kharkiv, 56-59 [in Ukrainian]. <https://doi.org/10.26565/2410-7360-2019-50-08>

4. Serohin, D., & Kostrikov, S. (2020). Osoblyvosti ta perevahy GIS-modelyuvannya miskoho seredovyshcha na pidstavi lidarnoi informatsii. *Proceedings of the International Scientific and Practical Conference Region-2020: Optimal Development Strategy*. Kharkiv: KhNU imeni V.N. Karazina, 34-36 [in Ukrainian].
5. Kostrikov, S., & Popovych, O. (2018). Realizatsiya multyfunktsionalnoho pidkhodu do analizu urbanistychnoho seredovyshcha cherez geoinformatsiye veb-zastosuvannya. *Proceedings of the International Scientific and Practical Conference Region-2018: Optimal Development Strategy*. Kharkiv, 24-28 [in Ukrainian].
6. Chuiev, O., & Kostrikov, S. (2016). Analiz dvorivnyvykh urboheosystem cherez zasoby GIS. *Visnyk of V.N. Karazin Kharkiv National University, series "Geology. Geography. Ecology*. Kharkiv: Vydavnytstvo KhNU, 44, 98-109 [in Ukrainian].
7. Bezruk, V., Kostrikov, S., & Chuiev O. (2016). GIS-analiz funktsii urbogeosystemy z metoyu optymizatsii rozmishchennya zakladiv hromadskoho kharchuvannya (na prykladi m. Kharkiv). *Chasopys sotsialno-ekonomichnoi geografii – Human Geography Journal*. Kharkiv: Vydavnytstvo KhNU, 21 (2), 91-101 [in Ukrainian].
8. Lynch, K., Appleyard, D., & Meyer, J.R. (1964). *The View From the Road*. MIT Press, Cambridge, MA, 258.
9. Lynch, K. (1976). *Managing the Sense of Regions*. MIT Press, Cambridge, MA, 678.
10. Cullen, G. (1971). *The concise townscape*. The Architectural Press, 199.
11. Benedikt, M.L. (1979). To take hold of space: Isovist fields. *Environment and Planning B: Planning and Design*, 6, 47-65.
12. Broadbent, G. (1990). *Emerging Concepts in Urban Design*. New York: Van Nostrand Reinhold International, 392.
13. Wang, J., & Robinson, G. (1996). White K. Fast solution to local viewshed computation using grid-based digital elevation models. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*. Vol. 62. No. 10, 1157-1164.
14. Lovett, A. (2003). GIS-based visualisation of rural landscapes: defining 'sufficient' realism for environmental decision-making. *Landscape and Urban Planning*. Vol. 65. no. 3, 117-131.
15. Tandy, C.R.V. (1967). The isovist method of landscape survey. *Methods of Landscape Analysis* Ed. H C Murray, Landscape Research Group, PO Box 53, Horspath, Oxford, OX331WX.
16. Morello, E., & Ratti, C. (2009). A digital image of the city: 3D isovists in Lynch's urban analysis. *Environment and Planning B: Planning and Design*, 36(5), 837-853.
17. Rana, S., (2006). Isovist analyst: an arcview extension for planning visual surveillance. ArcGIS Press, 32.
18. Batty, M. (2001). Exploring isovist fields: space and shape in architectural and urban morphology. *Environment and Planning B: Planning and Design*, 28, 123-150.
19. Bilsen, A. Van, & Stolk, E.H. (2007). The potential of Isovist Based Visibility Analysis. Bekkering, H. et al. *The Architectural Annual (Delft)* 010 Publishers, 68-73.
20. Lake, I.R., Lovett, A.A., & Bateman I.J. (2000). Using GIS - and large-scale digital data to implement hedonic pricing studies. *International Journal of Geographical Information Science*, 14(6), 521-541.
21. Brossard, T., Joly, D. & Tourneux, F. (2008). Modélisation opérationnelle du paysage. *Paysage et information géographique*. Lavoisier, 117-137.
22. Bartie, P., Reitsma, F., Kingham, S., & Mills, S. (2010). Advancing visibility modelling algorithms for urban environments *Computers, Environment and Urban Systems*. Vol. 34, no.6, 518-531.
23. Natapov, A., Czamanski, D., & Fisher-Gewirtzman, D. (2013). Can visibility predict location? Visibility graph of food and drink facilities in the city. *Survey Review*, 45, 462-471.
24. Bratt, S., & Booth, B. (2007). *Using ArcGIS 3D Analysis*. ESRI, Redlands, CA, 147.
25. Pyysalo, U., Oksanen, J., & Sarjakoski, T. (2009). Viewshed analysis and visualization of landscape voxel models. *24th International Cartographic Conference*, Santiago, Chile, 124-135.
26. Bosselmann, P. (1998). *Representation of Places: Reality and Realism in City Design*. University of California Press, Berkeley, CA, 228.
27. Ratti, C. (2002). *Urban Analysis for Environmental Prediction* PhD thesis. University of Cambridge, 567.
28. Gal, T., Lindberg, F., & Unger, J. (2009). Computing continuous sky view factor using 3D urban raster and vector databases: comparison and application to urban climate. *Theoretical and Applied Climatology*, 95, 111-123.
29. Putra, S.Y., Yang, P., & Li, W. (2005). GIS-based 3D visibility analysis for a high-density urban housing environment. *Proceedings of 5th China Urban Housing Conference*, pp. 567-578 (Text in Chinese with the English Extended summary).
30. Yang, P., Putra, S.Y., & Li, W. (2005). Impacts of density and typology on design strategies and visual quality of urban environment. *Proceedings of Map Asia 2005 Conference in Jakarta*. – pp. 331-338 (Text in Chinese with the English Extended summary).
31. Kostrikov, S., Pudlo, R., Bubnov, D., & Vasiliev, V. (2020). ELiT, Multifunctional Web-Software for Feature Extraction from 3D LiDAR Point Clouds. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 9(11), 650-685.
32. Fisher-Gewirtzman, D., Wagner, I.A. (2003). Spatial openness as a practical metric for evaluating built-up environments. *Environment and Planning B: Planning and Design*, 30, 37-49.
33. Teller, J. (2003). A spherical metric for the field-oriented analysis of complex urban open spaces. *Environment and Planning B: Planning and Design*, 30, 339-356.
34. Turner, A., Doxa, M., O'Sullivan, D., & Penn, A. (2007). From isovists to visibility graphs: a methodology for the analysis of architectural space. *Environment and Planning B: Planning and Design*, 28, 103-121.
35. Zvolinski, A. (2014). A day in a shadow of high-rise: 3D parameterization and use of public space around pzm /



- hotel radisson building complex in center of Szczecin. *Architecture et Artibus*, 1, 67-71.
36. Rana, S., & Batty, M. (2004). Visualising the structure of architectural open space based on shape analysis. *International Journal of Architectural Computing*, 18, 1123-1132.
  37. Xia, Z., & Qing, Z. (2004). 3D City Models Based Spatial Analysis to Urban Design. *Annals of GIS*, 10(1), 82-86.
  38. Czyska, K. (2015). Application of lidar data and 3D-city models in visual impact simulations of tall buildings. *Int. Arch. Photogramm. Remote Sens. Spat. Inf. Sci.*, 40, 1359-1366.
  39. Czyńska, K. Tall buildings and harmonious landscape // *Space and Form*, 13, 267-280.
  40. Gibson, J.J. (1986). *The Ecological Approach to Visual Perception*. Lawrence Erlbaum, Hillsdale, NJ, 548.
  41. Franklin, W.R. (2002). Siting observers on terrain. In: Richardson D, van Oosterom P, eds. *Advances in Spatial Data Handling: 10th International Symposium on Spatial Data Handling*, Berlin, 109-120.
  42. Omer, I., & Goldblatt, R. (2007). The implications of inter-visibility between landmarks on wayfinding performance: An investigation using a virtual urban environment. *Computers, Environment and Urban Systems*, 31, 520-534.
  43. Batty, M., Rana, S. (2004). The automatic definition and generation of axial lines and axial maps. *Environment and Planning B: Planning and Design*, 28, 123-150.
  44. Kostrikov, S.V., Vasyliov, V.V., Pudlo, R.A., & Bubnov, D.Ie. (2020). Doslidzhennia miskoho seredovyscha cherez yoho vidtvorennya za dopomohoyu obrobky lidar-danykh. *Proceedings of the International Scientific and Practical Conference Region-2019: Optimal Development Strategy*. Kharkiv: KhNU imeni V.N. Karazina, 24-28 [in Ukrainian].
  45. Fisher-Gewirtzman, D. (2018). Integrating 'weighted views' to quantitative 3D visibility analysis as a predictive tool for perception of space. *Environment and Planning B: Urban Analytics and City Science*, Vol. 45, no. 2, 345-366.

Надійшла до редколегії 15.04.2021 р.

#### About the authors:

**Sergiy Kostrikov** – DSc (Geography), Professor of the Department of Human Geography and Regional Studies, V.N. Karazin Kharkiv National University, Svobody Sq., 4, Kharkiv, 61022, Ukraine, [sergiy.kostrikov@gmail.com](mailto:sergiy.kostrikov@gmail.com), <https://orcid.org/0000-0002-4236-8474>

**Denys Serohin** – PhD Student of the Department of Human Geography and Regional Studies, V.N. Karazin Kharkiv National University, Svobody Sq., 4, Kharkiv, 61022, Ukraine, [den.seryogin@gmail.com](mailto:den.seryogin@gmail.com), <https://orcid.org/0000-0002-0169-4468>

**Vitaliy Berezhnoy** – PhD (Geography), Individual entrepreneur in Computer programming and consultancy, [vberezhnoy1@gmail.com](mailto:vberezhnoy1@gmail.com), <https://orcid.org/0000-0002-9288-3554>

#### Об авторах:

**Сергей Костриков** – доктор географических наук, профессор кафедры социально-экономической географии и регионоведения, Харьковский национальный университет имени В.Н. Каразина, площадь Свободы, 4, г. Харьков, 61022, Украина, [sergiy.kostrikov@gmail.com](mailto:sergiy.kostrikov@gmail.com), <https://orcid.org/0000-0002-4236-8474>

**Денис Серёгин** – аспирант кафедры социально-экономической географии и регионоведения, Харьковский национальный университет имени В.Н. Каразина, площадь Свободы, 4, г. Харьков, 61022, Украина, [den.seryogin@gmail.com](mailto:den.seryogin@gmail.com), <https://orcid.org/0000-0002-0169-4468>

**Виталий Бережной** – кандидат географических наук, ФЛП, [vberezhnoy1@gmail.com](mailto:vberezhnoy1@gmail.com), <https://orcid.org/0000-0002-9288-3554>