

ISSN 2076-1333 (Print)
ISSN 2312-1130 (Online)

Міністерство освіти і науки України
Харківський національний університет імені В.Н. Каразіна

ЧАСОПИС

СОЦІАЛЬНО-ЕКОНОМІЧНОЇ ГЕОГРАФІЇ

ВИПУСК 34

Заснований 2005 року

Харків
2023

Міжрегіональний збірник наукових праць «Часопис соціально-економічної географії» розглядає сучасні проблеми суспільства, що вирішуються економічною та соціальною географією, і відображає результати новітніх досліджень у цій галузі. У збірнику розкриваються питання теорії та практичного застосування досліджень соціально-економічної географії в різних регіонах України та у світі. Для викладачів закладів вищої освіти, науковців і фахівців у цій галузі.

Журнал включено до Переліку наукових фахових видань України, *категорія «Б»*, за спеціальностями *103 Науки про Землю та 106 Географія* (Наказ Міністерства освіти і науки України № 1643 від 28.12.2019 р.).

Журнал зареєстрований у міжнародних наукометричних базах *Index Copernicus, DOAJ, Ulrich's Periodicals Directory, Google Scholar, ResearchBible, ERIH PLUS, InfoBase Index, Scientific Indexing Services, OAJI*.

Затверджено до друку рішенням Вченої ради Харківського національного університету імені В.Н. Каразіна (протокол № 9 від 29.05.2023 р.).

Редакційна колегія: *Немець Л.М.* – д. геогр. н., професор – голова редакційної колегії (Харківський національний університет імені В.Н. Каразіна), *Костріков С.В.* – д. геогр. н., професор (Харківський національний університет імені В.Н. Каразіна), *Мезенцев К.В.* – д. геогр. н., професор (Київський національний університет імені Тараса Шевченка), *Пересадько В.А.* – д. геогр. н., професор (Харківський національний університет імені В.Н. Каразіна), *Руденко В.П.* – д. геогр. н., професор (Чернівецький національний університет імені Юрія Федьковича), *Сегіда К.Ю.* – д. геогр. н., доцент (Харківський національний університет імені В.Н. Каразіна), *Топчієв О.Г.* – д. геогр. н., професор (Одеський національний університет імені І.І. Мечникова), *Кандиба Ю.І.* – к. геогр. н., доцент, технічний секретар (Харківський національний університет імені В.Н. Каразіна).

Міжнародна редакційна рада: *Арісой Я.* – доктор філософії (цивільна інженерія), професор (Університет Докуз Ейлюл, Туреччина); *Джентіле М.* – доктор філософії (географічні науки), професор (Університет Осло, Норвегія); *Карачоні Д.* – доктор філософії (географічні науки), науковий співробітник (Географічний інститут, Угорська академія наук, Угорщина); *Лі Вей* – доктор філософії (географічні науки), професор (Університет штату Аризона, США); *Михненко В.* – доктор філософії (політична економія) (Університет Оксфорд, Великобританія); *Морар Ч.* – доктор філософії (географічні науки), доцент (Університет Орадя, Румунія); *Нюзбанд М.* – доктор наук (природничі науки), науковий співробітник (Рурський університет, Німеччина); *Нюсупова Г.* – д. геогр. н., професор (Казахський національний університет ім. Аль-Фарабі, Казахстан); *Станайтіс С.* – доктор наук (соціальні науки), професор (Литовський університет освітніх наук, Литва); *Субірос Дж.В.* – доктор філософії (географічні науки), професор (Університет Жирони, Іспанія); *Шиманьска Д.* – доктор наук (географічні науки), професор (Університет Миколи Коперника, Польща).

Адреса редакційної колегії: Кафедра соціально-економічної географії і регіонознавства, факультет геології, географії, рекреації і туризму, Харківський національний університет імені В.Н. Каразіна, майдан Свободи, 4, м. Харків, 61022, Україна; тел.: +38(057)707-52-74;

e-mail: chseg@karazin.ua;

офіційний веб-сайт: <http://hgj.univer.kharkov.ua>, <https://periodicals.karazin.ua/socecongeo>

Автори опублікованих матеріалів несуть повну відповідальність за підбір, точність наведених фактів, власних імен тощо.

Статті пройшли внутрішнє та зовнішнє рецензування.

Свідоцтво про державну реєстрацію КВ № 10768 від 21.12.2005.

ISSN 2076-1333 (Print)
ISSN 2312-1130 (Online)

Ministry of Education and Science of Ukraine
V.N. Karazin Kharkiv National University

Human Geography Journal

ISSUE 34

Founded in 2005

Kharkiv
2023

Inter-regional journal «Human Geography Journal» is devoted to modern problems of society that could be solved with the methods of social-economic geography. It enlightens the latest studies in this field. There are different questions concerning the theory and practical use of the results of social-economic geography researches in different Ukraine regions and all over the world. It is recommended for high school lectures, scientists and specialists in this subject.

The Journal has been registered by the order of Ministry of Education and Science of Ukraine No. 1643 of 28.12.2019, and included in the list of scientific specialized editions of Ukraine (*category "B", specialties 103 Geosciences, 106 Geography*).

The journal is registered in the international databases *Index Copernicus, DOAJ, Ulrich's Periodicals Directory, Google Scholar, ResearchBible, ERIH PLUS, InfoBase Index, Scientific Indexing Services, OAJI*.

Approved for publication by the decision of the Academic Council of V.N. Karazin Kharkiv National University (Protocols № 9 of 29.05.2023).

Members of the editorial board: *L. Niemets* – Chairman of the Editorial Board, DSc (Geography), Professor, V.N. Karazin Kharkiv National University; *S. Kostrikov* – DSc (Geography), Professor, V.N. Karazin Kharkiv National University; *K. Mezentsev* – DSc (Geography), Professor, Taras Shevchenko Kyiv National University; *V. Peresadko* – DSc (Geography), Professor, V.N. Karazin Kharkiv National University; *V. Rudenko* – DSc (Geography), Professor, Yuriy Fedkovych Chernivtsi National University; *K. Sehida* – DSc (Geography), Associate Professor, V.N. Karazin Kharkiv National University; *O. Topchiev* – DSc (Geography), Professor, I.I. Mechnykov Odesa National University; *Yu. Kandyba* – Technical Secretary, PhD (Geography), Associate Professor, V.N. Karazin Kharkiv National University.

International members of the editorial board: *Y. Arisoy* – PhD (Civil Engineering), Professor, Dokuz Eylul University, Izmir (Turkey); *M. Gentile* – PhD (Geography), Professor, University of Oslo (Norway); *D. Karácsonyi* – PhD (Geography), Research Fellow, Hungarian Academy of Sciences (Hungary); *Wei Li* – PhD (Geography), Professor, Arizona State University (USA); *V. Mykhnenko* – PhD (Political Economy), Associate Professor, University of Oxford (United Kingdom); *C. Morar* – PhD (Geography), Assistant Professor, University of Oradea (Romania); *M. Netzband* – DSc (Natural Sciences), Research fellow, Ruhr-University Bochum (Germany); *G. Nyussupova* – DSc (Geography), Professor, Al-Farabi Kazakh National University (Kazakhstan); *S. Stanaitis* – Doctor of Social Sciences, Professor, Vytautas Magnus University (Lithuania); *J. Vila Subirós* – PhD (Geography), Professor, University of Girona (Spain); *D. Szymanska* – DSc (Geography), Professor, Nicolaus Copernicus University (Poland).

Address of the editorial board: Department of Human Geography and Regional Studies, Faculty of Geology, Geography, Recreation and Tourism, V.N. Karazin Kharkiv National University, Svobody Sq., 4, Kharkiv, 61022, Ukraine; tel.: +38(057)707-52-74;

e-mail: chseg@karazin.ua;

website: <http://hgi.univer.kharkov.ua>, <https://periodicals.karazin.ua/socecongeo>

The authors of the published materials are fully responsible for the selection, accuracy of the facts, proper names, etc.

Articles have been reviewed internally and externally.

Certificate of registration: KB № 10768 from 21.12.2005.

З М І С Т

Горизонти науки

<i>Olesia Kornus, Natalia Venherska, Mart Reimann, Anatolii Kornus, Viktoriia S. Patsiuk</i> Tourism activities in the frontline areas of Sumy region: problems, opportunities and prospects	7
-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	---

Наукові повідомлення

<i>Катерина Сегіда, Сергій Чехов</i> Просторовий аналіз забезпеченості населення міста Харкова захисними спорудами цивільного захисту	14
<i>Денис Серьогін, Сергій Костріков</i> Просторова оцінка енергоспоживання забудов на підставі тривимірного моделювання міського середовища	27
<i>Pavlo Ventsiv</i> Demographic processes in the context of regional development concepts	42
<i>Андрій Зигар</i> Вплив природно-технічної геосистеми Дністровської ГАЕС на динамічні процеси у середовищі її функціонування	49
Правила оформлення та подання статей	57

CONTENTS

Science Skylines

<i>Olesia Kornus, Natalia Venherska, Mart Reimann, Anatolii Kornus, Viktoriia S. Patsiuk</i> Tourism activities in the frontline areas of Sumy region: problems, opportunities and prospects	7
-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	---

Research Reports

<i>Kateryna Sehida, Serhii Chekhov</i> Spatial analysis of provision the population of Kharkiv with civil defense facilities	14
<i>Denys Serohin, Sergiy Kostrikov</i> Spatial assessment of buildings energy consumption based on three-dimensional modeling of the urban environment	27
<i>Pavlo Ventsiv</i> Demographic processes in the context of regional development concepts.....	42
<i>Andrii Zyhar</i> The influence of the natural and technical geosystem on the dynamic processes in the functioning environment of the Dniester PSPP	49
Submission Requirements and Conditions of Paper Acceptance	57

<https://doi.org/10.26565/2076-1333-2023-34-01>
UDC 911.3:796.5 (477.52)

Received 15 March 2023
Accepted 07 May 2023

Olesia Kornus

*PhD (Geography), Associate Professor, Head of the Department of General and Regional Geography
Sumy State Pedagogical University named after A.S. Makarenko, str. Romenska 87, Sumy, 40002, Ukraine
e-mail: olesyakornus@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0001-7469-7291>*

Natalia Venherska

*PhD (Economics), Associate Professor of Department of International Economics, Natural Resources and Economics
of International Tourism, Zaporizhzhia National University, ave. Soborny, 74, Zaporizhzhia, 69063, Ukraine
e-mail: nataljavenherskaja@ukr.net, <https://orcid.org/0000-0001-8171-8206>*

Mart Reimann

*PhD (Geography), Associate Professor of Recreation Management Tallinn University
Narva mnt 25, Tallinn, 10120, Estonia, Romenska st., 87, Sumy, 40002, Ukraine
e-mail: mart@retked.ee, <https://orcid.org/0009-0006-0914-5419>*

Anatolii Kornus

*PhD (Geography), Associate Professor of the Department of General and Regional Geography
Sumy State Pedagogical University named after A.S. Makarenko, Romenska st., 87, Sumy, 40002, Ukraine
e-mail: a_kornus@ukr.net, <https://orcid.org/0000-0002-5924-7812>*

Viktoriia S. Patsiuk

*PhD (Geography), Associate Professor of the Department of Tourism and Economics
Kryvyi Rih State Pedagogical University, Gagarina ave., 54, Kryvyi Rih, 50000, Ukraine
e-mail: viktoriia.patsiuk@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-0401-2573>*

TOURISM ACTIVITIES IN THE FRONTLINE AREAS OF SUMY REGION: PROBLEMS, OPPORTUNITIES AND PROSPECTS

The Sumy region has great and significant tourism potential. Before the Russo-Ukrainian War, the region had 3,465 historical and cultural monuments, including 367 architectural and urban planning monuments (five of them of national importance). Before the war, the tourism sector was developing steadily, with new types of tourism services and the formation of tourism clusters. However, Russia's Invasion of Ukraine resulted in a significant decrease in tax revenues, which has a negative impact on tourism. The purpose of this paper is to study the peculiarities and future prospects of tourism development in the Sumy region during the war, based on data from a sociological survey conducted in five Ukrainian frontline regions in the framework of the Estonian-Ukrainian research project "Development of Ukrainian frontline communities and tourism business during the war and future strategy", which was supported by the Estonian Research Agency.

The sociological survey was conducted online and included 25 closed and open-ended questions. Survey results were processed using Microsoft Excel 2010 and SPSS Statistics V21.0. A total of 29 respondents (20.1%) from the Sumy region participated in the sociological survey, 69% of whom live in urban areas and 31% in rural areas. Analysis of the areas of activity of the tourism respondents from the Sumy region revealed that urban respondents were more representative of tourism businesses (tour operators, travel agents, sole proprietors, etc.), while rural respondents were predominantly representatives of tourist attractions (museums, educational and recreational facilities, etc.). Responses to the following questions were analyzed: pre-war tourism activities, wartime tourism activities, changes in tourism, prospects for tourism development, threats and opportunities for tourism development, problems in the tourism sector, prospects for tourism development, and advantages in cluster cooperation.

Keywords: *tourism, war, sociological survey, tourism representatives, Sumy region.*

In cites: Kornus, O., Venherska, N., Reimann, M., Kornus, A., Patsiuk, V. (2023). Tourism activities in the frontline areas of Sumy region: problems, opportunities and prospects. *Human Geography Journal*, 34, 7-13.
<https://doi.org/10.26565/2076-1333-2023-34-01>

Formulation of the problem: Considerable attention has been paid to the development of tourism in Ukraine, as this sector is closely related to many sectors of the country's economy affecting the level of employment, preservation of cultural heritage, development of international activities, etc. All regions of Ukraine were involved in tourism activities in different and various ways, depending on their existing tourism potential. In Sumy region, the pre-war tourism sector was developing steadily, the new types of tourist services and activities were emerging, and the local authorities always actively supported businesses in creating tourist clusters [15]. This process was facilitated by the presence of a significant cultural heritage, which counted around 3465 historical and cultural monuments, including 367 architectural and urban planning monuments, including 5 of national importance. It is worth of noting that the region has many settlements with a long and ancient history, such as: Bilopillia, Vorozhba, Voronizh, Hlukhiv, Konotop, Krolevets, Lebedyn, Nyzy, Okhtyrka, Putivl', Romny, Seredina-Buda, Sumy, Terny, Trostianets. The State Register of Immovable Monuments of Ukraine includes 200 cultural heritage monuments of local significance and 37 cultural heritage monuments of national significance. The most famous tourist sites are: architectural monuments of the 17th and 19th centuries, the ancient chronicle "The Tale of Igor's regiment" and Yaroslavna in Putivl, the Round Yard in Trostianets; architectural monument of the 19th and 20th centuries, the Sumy Regional Art Museum named after N. Onats'ky in Sumy, Sumy Regional Memorial House-Museum of A.P. Chekhov; a monument of landscape art and architecture – the park and palace of the 19th century in the village of Kiyanitsa. The region is home to a great number of historical, archeological, and architectural monuments, preserved garden and park architectural ensembles, and unique natural sites (the botanical nature monument of national importance "Yablun'ya Colony", a branch of the Ukrainian Nature Reserve "Mykhailivska Tselyna", the landscape reserve of national importance "Seredneseimskyi", the national nature park "Desniansko-Starohutskyi", and the natural monument of national importance "Shelekhivske Lake"). In addition, before the war, tourists were offered the developed tourist routes, for instance: "Sumy Sloboda", "Golden Necklace of Sumy Region", "Slobozhansky Journeys", and "Recreational boat trips on the Psel River". The region also has a tourist cluster called "Posullia", which includes 5 agricultural estates. Before the war, there were 18 rural tourism farmsteads in the region [7]. However, the Russian invasion of Ukraine has had a negative impact on all spheres of life, including tourism. According to the State Agency for Tourism Development in Sumy region, in the first quarter of 2023, the decline in tax revenues amounted to 16% (UAH 1 million 339 thousand) compared to 2022 (UAH 1 million 592 thousand) and 30% compared to 2021 (UAH 1 million 900 thousand) [13]. This is due to many reasons, including the termination or re-profiling of many tourism industry facilities and enterprises, the closure of tourism enterprises, the lack of tourists, etc. With this in mind, the purpose of this article is to study the peculiarities of the development of tourism

in the Sumy region during the war and prospects for the future.

Analysis of recent research and publications.

Due to Russia's aggressive attack on Ukraine, the problems of tourism development and future prospects are on the radar of both Ukrainian and foreign researchers. In particular, many economists are trying to estimate and evaluate the damage caused by Russian aggression, which is the subject of a number of publications. For example, in the article by A. Kulik, an approach to assessing real estate damage caused by the war is analyzed [17]. Bordun O. et al. [5] assessed and studied the losses of domestic tourism from the war between Ukraine and Russia and developed recommendations for rescuing the tourism business, such as: financial support, transportation logistics, combining and grouping enterprises into clusters; improving marketing by creating a national tourism marketing organization and its subsidiaries, sectoral improvement of tourism in Ukraine.

A considerable number of publications are devoted to the impact of the Russian-Ukrainian war on tourism in Ukraine and the development or review of prospects for its development in the future. These issues are analyzed in the publication of N. Barvinok and M. Barvinok [2]. Also, the peculiarities of tourism development during the postwar period and the goals and directions of recovery are revealed in the article by N. Yakymenko-Tereshchenko et al. [15], in which, according to the authors, the main principles of the post-war restoration of the tourism industry should be memorial, military-patriotic and military-historical, health and wellness, psychological, business, educational, sports and ecological tourism.

A number of publications investigate the problems and the main directions of restoring the tourism sector after the end of hostilities in Ukraine. The publication by O. Fastovets is devoted to these issues [14]. V. Boyko and N. Dalevska in their work [4] analyzed the development of the tourism sector in different countries of the world where armed conflicts took place and analyzed the tourism resource potential of Ukraine, which can be used for tourism development during the post-war times. There are also some new publications devoted to the development of tourism both in certain regions of Ukraine after the end of the war and to the development of certain types of tourism in the postwar period. V. Boyko's article examines the prospects for the development of tourism business in the southern region of Ukraine in the postwar period [3]. The peculiarities of the development of military tourism in Luhansk and Donetsk regions are described in the publication by G. Zavarika [18], in which the author describes the organizational mechanism for creating and promoting military tours in the tourism market on the example of the eastern territories of Ukraine, suggests specific tourist locations for creating military tours, and develops proposals for creating innovative military tours as a feature of post-conflict tourism development in the affected territories of the eastern regions of Ukraine. Barvinok N. [1] describes the prospects and importance of the development of military tourism in Ukraine after the end of the Russian-Ukrainian war, examines military and historical

tourism as a type of tourism and suggests priority areas for the development of military tourism.

The development of tourism in the rural areas of Sumy region in the context of the Russian-Ukrainian war and prospects for the future is considered in the article by M. Reimann with co-authors [10; 11]. However, despite a significant number of scientific publications, there are no sociological studies, surveys of tourism representatives to assess the peculiarities of the development of Ukrainian frontline communities and tourism business in the context of war.

Material and methods of research. The material of the study were results of a sociological survey of 144 representatives of the tourism sector from frontline communities in 5 regions of Ukraine (Zaporizhzhia, Donetsk, Dnipro, Sumy and Kharkiv regions), which was conducted within the framework of the Estonian-Ukrainian research project "Development of of Ukraini-

an frontline communities and tourism business in the context of war and strategies for the future" with the support of the Estonian Research Agency [8; 9] Sociological survey was conducted by online survey and included 25 questions of closed and open-ended questions. The survey results were processed using computer programs Microsoft Excel 2010 and SPSS Statistics V21.0.

Presenting of the main material. The sociological survey involved 29 (20.1%) people from the Sumy region, of which 69% of respondents live in urban and 31% are rural residential places. Among the respondents from urban areas, the majority of most of them were representatives of the tourism business (tour operator, travel agent, individual entrepreneur, etc.), and among the respondents from rural areas representatives of tourist attractions (museums, educational and leisure facilities, etc.) (Frame 1).

Frame 1

Sphere of activities of tourism business respondents in Sumy region

Sphere of activity	Urban area	Rural area
Tourist infrastructure (accommodation, catering, etc.)	10%	11,1%
Representative of NGOs and tourism-oriented clubs	10%	11,1%
Representative of the tourism business (tour operator, travel agent, individual entrepreneur, etc.)	35%	22,2%
A structural unit of the executive branch that coordinates tourism activities	25%	
Tourist attractions (museums, educational and leisure facilities, etc.)	25%	55,6%
Higher educational institutions	10%	
In total	20	9

Prior to the outbreak of war in the Sumy region, the main feature of the tourism business in urban and rural areas of Sumy region was excursion activities (45.8% and 46.2% respectively) and organizational and coordinating activities in the tourism sector (45.8% and 46.2%). The most common types of tourism before the outbreak of war were cultural and educational (30.3%), festivals and events (11.8% of respondents), sports and active (10.5%), rural and ecological (7.9% each), and religious (6.6%). The survey results showed that cultural and educational (85.0%), festival and event (40%), and ethno-cultural (35%) tourism prevailed in urban areas, while cultural and educational tourism (66.7%), rural (33.3%), and ethno-cultural (33.3% of responses) prevailed in rural areas.

Since the beginning of the military aggression, changes have taken place in the communities of Sumy region. According to the respondents, the level of interest in visiting tourist sites has decreased (25%), attractive tourist sites have ceased to function or receive tourists (23.1%), and the level of solvency of the population has decreased (17.3%). 13.5% of respondents said that some tourist locations had been damaged. 9.6% indicated that cooperation between volunteers, communities and tourism representatives has intensified. 3.8% of respondents noted that the flow of IDPs and their interest in local tourist sites had increased. 7.7% of respondents said that tourism had totally disappeared. 45% of respondents from urban areas indicated that tourist attractions have ceased to function or receive tourists and that the level of interest in visiting tourist sites has decreased.

40% of respondents noted a decrease in the level of solvency of the population. 44.4% of respondents from rural areas consider the decrease in the level of solvency of the population to be among the biggest changes, and 33.3% - that tourist attractions have ceased to function or receive tourists.

Among the problems and challenges faced by tourism enterprises in Sumy region, respondents noted the following: tourist facilities with which the business was connected fell into the zone of occupation or active hostilities and became inaccessible (17.6%); they had to completely reorient their activities from tourism to another direction (15.7%); partners in tourism activities ceased to function or do not accept tourists (13.7%); emotional exhaustion of employees and their moral unwillingness to work in the service sector (11.8%); due to low demand, they decided to temporarily suspend operations (11.8%); employees went abroad (7.8%); employees were called up to serve in the Armed Forces (7.8%); had to completely cease operations due to lack of economic profitability (5.9%). Another 7.8% of respondents indicated their own answer (other): overcoming the challenges of war; due to low demand, they decided to temporarily suspend operations, partially suspended operations; no sales; emotional exhaustion of employees and their moral unwillingness to work in the service sector, the tourism department was reorganized into a "sector", current operations were stopped. 35% of respondents from urban areas mentioned that the main problems were that as a result of military operations, their tourist facilities, with which their business was connected, were in

the zone of occupation or active hostilities and became inaccessible, 25% – partners in tourism activities ceased to function or do not accept tourists, 25% had to completely reorient their activities from tourism to another direction. In rural areas, the main problems were the reorientation of their tourism activities to other areas and the conscription of their employees to the Armed Forces (33.3% each).

One of the questions in the questionnaire was to identify threats to tourism development. It is well known that military operations in any territory lead to a reduction in the number of trips. In times of war, people are less likely to go on vacation or holiday due to security concerns. People may be afraid to travel to places where conflicts are taking place because it is considered an unsafe environment. This can lead to a sharp decline in demand for airline tickets, hotel rooms, car rentals, and other travel services. Also, many businesses require large upfront capital, and the lack of regular customers can lead to bankruptcy if they do not have enough savings to survive these losses. Even if a business does not close completely due to financial losses, opportunities for expansion can be severely affected. War disrupts trade patterns, so that basic resources such as fuel and labour become scarce and expensive at times, leading to price increases that may discourage potential tourists from traveling at all. In addition, infrastructure is often damaged in places where hostilities have taken place, leaving hotels, tourist attractions, and entire cities in ruins. According to the respondents, the biggest threats to the tourism development of communities in Sumy region are: 57.1% threat of loss of material cultural values in the occupied and frontline territories and a significant deterioration in the financial capacity of customers - 53.6%. Respondents from urban and rural areas of the region indicated that the threat of loss of material cultural property in the occupied and frontline territories is a high level of threat to the community (52.6% and 66.7% respectively). Urban respondents indicated that the threat of loss of ethnic and cultural identity of peoples in the occupied and near-frontline territories is a medium threat to the community (50%). Respondents from rural areas indicated that the threat of loss of ethnic and cultural identity of peoples in the occupied and frontline territories is a low level of threat to the community (50.0%), and the annexation of territories is a low level of threat to the community (50%). Respondents in urban areas of Sumy region see the danger of the territory due to its excessive mining as one of the high threats (55.6%). Respondents in rural areas noted that the outflow of qualified personnel abroad poses a low level of threat to the community (62.5%). Also, according to urban and rural respondents, a significant deterioration in the financial capacity of clients is a high threat (50% and 50% respectively). Respondents in urban areas of the Sumy region indicated that the threat of depopulation of the territory is a medium threat to the community (50.0%). Despite the fact that the Sumy region has the longest border with Russia, urban and rural respondents indicated that the destructive impact of Russian propaganda and Russification has a low level of threat to the community (52.9% and 62.5%, respectively).

Among the opportunities for the development of tourism business in Sumy region, the majority of respondents noted the following as promising: obtaining advisory services (76%) and developing tourism infrastructure (60.7%). The development of new tourism products in the community was assessed as a promising opportunity (77.8%) by rural respondents. The development of new tourism products in the community was assessed as a fairly promising opportunity by urban respondents (57.9%). Rural and urban respondents assessed the provision of advisory services as promising (87.5% and 70.6% respectively). The development of tourism infrastructure was assessed as a promising opportunity by rural and urban respondents (66.7% and 57.9%, respectively). Monitoring, promotion, and marketing of locations were also considered promising opportunities by both categories of respondents (62.5% - rural and 50% - urban areas).

Regarding the prospects for tourism development in Sumy region in the future, the majority of rural respondents identified the introduction of digital (75%), tools for attracting funding and stimulating investment from domestic and international partners (66.7%), the introduction of innovations in tourism development and training (50%), and capacity building in the tourism industry (55.6%). The surveyed urban areas of the Sumy region considered attracting funding and stimulating investment from domestic and international partners to be quite promising opportunities (61.1%), introducing digital tools (57.9%), and introducing innovations in the field of tourism development (50.0% and 55.6%, respectively). Another important area is the diversification of the rural economy through tourism activities based on European practices [6]. This area is also quite relevant for the development of rural areas in Sumy region during the period of post-war recovery.

Conclusion. Restoration of tourism after the war in the territories where hostilities took place includes many components. The main ones are: creating attractive activities for tourists, providing access to tourist products and services at affordable prices, improving transport infrastructure, creating an attractive environment for tourism and lifestyle, offering hotels and other relevant services.

The war in Ukraine has severely affected rural tourism businesses. The war has led to a significant decline in tourism, both domestic and international, as well as stressed the infrastructure of many rural areas and damaged the environment. However, despite this, the potential for rural tourism development after the end of the war is quite large. Travel restrictions are gradually being lifted, allowing businesses and tourists to resume travel and see many of the attractions. In addition, international organizations are beginning to invest in rural tourism projects, helping to rebuild infrastructure and promote this type of tourism. Examples include the World Bank's Rural Tourism Initiative, which aims to promote sustainable economic development through the development of rural tourism. Therefore, it is important to motivate the local population to participate in tourism development by enlist the support of a government program. The Ukrainian government should create new incentives and regulations aimed at increasing the supply and demand of rural tourism innovators. These rules will encourage

developers and investors to develop projects in rural areas, creating new businesses and jobs for local communities. Currently, rural tourism development is being carried out by specialized agencies, such as the National Tourism Organization of Ukraine and the Union of Rural Green Tourism of Ukraine, which are responsible for promoting and popularizing the rural tourism industry in Ukraine. Through their network and initiatives, they help to promote the country's unique rural attractions on both the international and national markets. The development of rural tourism remains relevant, as it is a prerequisite for the formation of a high-quality tourism product with a strong national character and a significant factor in the sustainable development of the territories.

Undoubtedly, after Ukraine's victory, the territories where the fighting took place have significant prospects for the development of military tourism. Many of the war-affected territories have already been subject to rehabilitation and restoration, and with the help of foreign aid, significant efforts have been made to accomplish this task. Military tourism in Ukraine would give visitors the opportunity to explore the country's rich cultural and historical sites, as well as learn more about the conflict and its impact on the population, economy

and society of Ukraine. There is also potential for the development of "memory tourism," where tourists can visit historical sites, memorials, and hear firsthand accounts from local residents about the conflict and its impact on their lives. Ukraine has excellent opportunities and potential to become an attractive hub for military tourism. With proper investment, infrastructure and advertising, Ukraine could attract tourists from all over the world who are interested in learning about the conflict and its impact. In addition, the Ukrainian government could work to provide tax incentives to attract foreign investors willing to finance repair and restoration initiatives. These investments will be an important part of the development of military tourism in the country. Another important factor is the development of a marketing strategy to attract tourists. This requires reaching out to foreign tourism markets by promoting Ukraine's attractions and benefits to travellers, creating investment programs that encourage investment in tourism infrastructure, advertising Ukrainian travel destinations, and creating programs for state support for tourism service providers. In the aftermath of the Russian-Ukrainian war, tourism development will help accelerate Ukraine's economic and political recovery.

References:

1. Barvinok, N.V. (2022). Perspektyvy rozvytku voiennoho turyzmu na terytorii Ukrainy pislia zakinchennia rosiisko-ukrainskoi viiny [Prospects for the development of military tourism in Ukraine after the end of the Russian-Ukrainian war]. *Aktualni problemy rozvytku ekonomiky rehionu*, 18(2), 206-217. Retrieved from <http://lib.pnu.edu.ua:8080/handle/123456789/12643> [in Ukrainian].
2. Barvinok, N.V., & Barvinok, M.V. (2022). Vplyv rosiisko-ukrainskoi viiny na turizm v Ukraini ta perspektyvy yoho rozvytku v maibutnomu [Influence of the Russian-Ukrainian War on Tourism in Ukraine and Prospects for its Development in the Future]. 24-32. <https://doi.org/10.30525/978-9934-26-223-4-4> [in Ukrainian].
3. Boiko, V. (2022). Heoprosorovi aspekty ta stratehiia rozvytku turystychnoho biznesu v pivdennomu rehioni Ukrainy u pisliavoiennyi period [Geospatial aspects and strategy of tourism business development in the southern region of Ukraine in the postwar period]. *Tavriiskyi naukovyi visnyk. Serii: Ekonomika*, (13), 155-162. <https://orcid.org/0000-0002-8032-5731> [in Ukrainian].
4. Boiko, V., & Dalevska, N. (2022). Rozvytok turyzmu pislia zbroinykh konfliktiv u riznykh krainakh svitu [Development of tourism after armed conflicts in different countries of the world]. *Upravlinnia zminamy ta innovatsii*, (3), 5-10. <https://doi.org/10.32782/CMI/2022-3-1> [in Ukrainian].
5. Bordun, O., Shevchuk, V., Monastyrskiy, V., & Luchka, O. (2022). Vtraty ta napriamy poriatunku turystychnoho biznesu Ukrainy v umovakh viiny [Losses and directions of rescue of the tourism business of Ukraine in the conditions of war]. *Visnyk Lvivskoho universytetu. Serii ekonomichna. Vypusk 62*, 178-196. <http://dx.doi.org/10.30970/ves.2022.62.0.6214> [in Ukrainian].
6. Dyversyfikatsiia yevropeiskoho silskoho turyzmu cherez zbalansovanist ta kreatyvnist [Diversification of rural tourism through sustainability and creativity: disseminating European experience in Ukraine]: navchalno-praktychni posibnyk / za red. A.V. Cherep, N.S. Venherskoi. Zaporizhzhia: Vydavnychiy dim «Helvetyka». 2022. 272 [in Ukrainian].
7. Prohrama staloho rozvytku turyzmu v Sumskii oblasti na 2018-2022 roky [Program of Sustainable Tourism Development in Sumy Region for 2018-2022]. Sumy: Sumska oblasna rada, 2017. 21. Retrieved from <http://kultura.sm.gov.ua/index.php/uk/2-uncategorised/5599-programa-stalogo-rozvitku-turizmu-v-sumskij-oblasti-na-2018-2022-roki> [in Ukrainian].
8. Reimann, M., Venherska, N., Kornus, O., Patsiuk, V., Kholodok, V., & Palanh, Kh. (2023). Rozvytok ukrainskykh pryfrontovykh hromad i turystychnoho biznesu v umovakh viiny ta stratehii na maibutnie [Development of Ukrainian frontline communities and tourism business in the context of war and strategies for the future]: prezentatsiia rezultativ mizhnarodnoho estonsko-ukrainskoho doslidnytskoho proiektu. Retrieved from <https://goo.su/6fIkH> [in Ukrainian].
9. Reimann, M., Kornus, O., Venherska, N., Kholodok, V., Patsiuk, V., & Palanh, Kh. (2023). Rozvytok turystychnoho biznesu pryfrontovykh hromad v umovakh viiny: zarubizhnyi ta ukrainskyi dosvid [Development of tourism business in frontline communities under communities during the war: foreign and Ukrainian experience]. *Rehionalna ekonomika*, 1, 105-113. <https://doi.org/10.36818/1562-0905-2023-1-12> [in Ukrainian].
10. Reimann, M., Kornus, O., Palanh, Kh., & Kornus, A. (2023). Osoblyvosti rozvytku turystychnoi diialnosti u Sumskii oblasti v umovakh viiny ta perspektyvy na maibutnie [Peculiarities of Development of Tourism in Sumy

- Region in the Conditions of War and Prospects for the Future]. *Naukovi zapysky SumDPU im. A.S. Makarenka. Neohrafichni nauky*. 3(4), 42-58. <https://doi.org/10.5281/zenodo.7812068> [in Ukrainian].
11. Reimann, M., Kornus, O.H., Venherska, N.S., Kornus, A.O., & Palanh, Kh. (2023). Rozvytok turyzmu u silskii mistsevosti Sumskoi oblasti v umovakh rosiisko-ukrainskoi viiny ta perspektyvy na maibutnie [Development of tourism in the rural areas of Sumy region in the context of the Russian-Ukrainian war and prospects for the future]. *Aktualni problemy doslidzhennia dovkillia: Materialy Kh Mizhnarodnoi naukovoï konferentsii* (Sumy-Trostianets, 25-27 travnia 2023 r.) / Red. kol.: Kornus A.O., Mironets L.P. ta in. Sumy: Sumskiy derzhavnyi pedahohichnyi universytet imeni A. S. Makarenka, 171-174 [in Ukrainian].
 12. Rozvytok ukrainskykh pryfrontovykh hromad i turystychnoho biznesu v umovakh viiny ta stratehii na maibutnie [Development of Ukrainian frontline communities and tourism business in the context of war and strategies for the future]: zvit za rezultatamy mizhnarodnogo estonsko-ukrainskoho doslidnytskoho proiektu (promizhn.) / ker. Mart Reimann. 2023. 120 [in Ukrainian].
 13. Turystychna statystyka Ukrainy: dynamika podatkovykh nadkhodzen po rehionakh [Tourism Statistics of Ukraine: Dynamics of Tax Revenues by Regions]. Retrieved from <https://www.tourism.gov.ua/blog/turistichna-statistika-ukrayini-dinamika-podatkovih-nadhodzhen-po-regionah> [in Ukrainian].
 14. Fastovets, O. (2022). Cfera turyzmu u povoiennyi period: dosvid dlia Ukrainy [The sphere of tourism in the post-war period: experience for Ukraine]. *Ekonomika ta suspilstvo*, (40). <https://doi.org/10.32782/2524-0072/2022-40-43> [in Ukrainian].
 15. Forum «Turystychnyi klaster Sumshchyny – perspektyvy stvorennia ta onlain prosvannia» – znakova podiia dlia turystychnoi haluzi Sumshchyny [Forum "Sumy Region Tourist Cluster – Prospects for Creation and On-line Promotion" – a landmark event for the Sumy region's tourism industry]. Retrieved from <https://sm.gov.ua/uk/oda/116-viddil-turyzmu/14313-forum-turystychnyi-klaster-sumshchyny-perspektyvy-stvorennia-ta-onlain-prosvannia-znakova-podiia-dlia-turystychnoi-haluzi-sumshchyny.html> [in Ukrainian].
 16. Iakymenko-Tereshchenko, N., Mirko, N., & Motsa, A. (2022). Rozvytok industrii turyzmu u povoiennyi period [Development of the tourism industry in the postwar period]. *Ekonomika ta suspilstvo*, 44. <https://doi.org/10.32782/2524-0072/2022-44-117> [in Ukrainian].
 17. Kulik, A. (2022). Assessment of damage to real estate caused by the war. *Mizhnarodnyi naukovyi zhurnal «Osvita i nauka»*. Vypusk 1(32), 150-156 [in Ukrainian].
 18. Zavarika, G. (2022). Military tourism as a peculiarity of tourism development in a post-conflict territory. *Journal of Geology, Geography and Geoecology*. 31(1), 186-193. <https://doi.org/https://doi.org/10.15421/112218> [in Ukrainian].

Олеся Корнус

кандидат географічних наук, доцент, завідувач кафедри загальної та регіональної географії, Сумський державний педагогічний університет імені А.С.Макаренка, вул.Роменська, 87, Суми, 40002, Україна
e-mail: olesyakornus@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0001-7469-7291>

Наталія Венгерська

кандидат економічних наук, доцент кафедри міжнародної економіки, природних ресурсів та економіки міжнародного туризму, Запорізький національний університет, просп. Соборний, 74, Запоріжжя, 69063, Україна
e-mail: nataljavenkerskaja@ukr.net, <https://orcid.org/0000-0001-8171-8206>

Март Рейманн

доктор філософії (Географія), доцент кафедри рекреаційного менеджменту, Таллінський університет, Нарвське шосе, 25, Таллінн, 10120, Естонія
e-mail: mart@retked.ee, <https://orcid.org/0009-0006-0914-5419>

Анатолій Корнус

кандидат географічних наук, доцент кафедри загальної та регіональної географії, Сумський державний педагогічний університет імені А.С.Макаренка, вул.Роменська, 87, Суми, 40002, Україна
e-mail: a_kornus@ukr.net, <https://orcid.org/0000-0002-5924-7812>

Вікторія Пацюк

кандидат географічних наук, доцент кафедри туризму та економіки, Криворізький державний педагогічний університет, проспект Гагаріна, 54, Кривий Ріг, Дніпропетровська область, 50000, Україна
e-mail: viktoria.patsiuk@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-0401-2573>

Туристична діяльність у прифронтових зонах Сумської області: проблеми, можливості та перспективи

У статті представлено результати соціологічного опитування представників туристичної сфери прифронтових громад Сумської області, яке проводилося в рамках естонсько-українського науково-дослідницького проекту «Розвиток українських прифронтових громад і туристичного бізнесу в умовах війни та стратегії на майбутнє» за підтримки Естонського дослідницького агентства. Соціологічне опитування проводилося методом онлайн-опитування та включало 25 запитань закритого та відкритого типу. У соціологічному опитуванні взяли участь 29 (20,1%) осіб із Сумської області, з них 69 % респондентів проживає в міській місцевості, а 31% – жителі сільської місцевості. Розглянута сфера діяльності респондентів туристичного бізнесу у Сумській області: серед респондентів міської місцевості найбільше було представників представників туристичного бізнесу (гуроператор, турагент, ФОП тощо), а серед опитаних із сільської місцевості переважали представники закладів туристичної атракції (музеї, пізнавально-дозвіллієві заклади тощо).

Проаналізовано відповіді респондентів на наступні питання: туристична діяльність до війни, туристична діяльність в умовах війни, зміни, що відбулися в туризмі, перспективи розвитку туризму, загрози та можливості розвитку туризму, проблеми у туристичній сфері, перспективи розвитку туризму, переваги у кластерній співпраці. Описано туристичний потенціал Сумської області, який включає 3465 пам'яток історії та культури, у т.ч. на державному обліку – 367 пам'яток архітектури і містобудування, серед яких 5 – національного значення. Проаналізовано наукові публікації українських та закордонних дослідників щодо розвитку туризму в повоєнний та післявоєнний час в Україні.

Ключові слова: туризм, війна, соціологічне опитування, представники туристичного бізнесу, Сумська область.

Список використаної літератури:

1. Барвінок Н.В. Перспективи розвитку воєнного туризму на території України після закінчення російсько-української війни *Актуальні проблеми розвитку економіки регіону*. 2022. Вип. 18(2). С. 206-217. URL: <http://lib.pnu.edu.ua:8080/handle/123456789/12643>
2. Барвінок Н.В., Барвінок М.В. Вплив російсько-української війни на туризм в Україні та перспективи його розвитку в майбутньому. 2022. С. 24-32. <https://doi.org/10.30525/978-9934-26-223-4-4>
3. Бойко В. Геопросторові аспекти та стратегія розвитку туристичного бізнесу в південному регіоні України у післявоєнний період. *Таврійський науковий вісник*. 2022. Серія: Економіка, (13), 155-162. <https://orcid.org/0000-0002-8032-5731>
4. Бойко В., Далевська Н. Розвиток туризму після збройних конфліктів у різних країнах світу. *Управління змінами та інновації*. 2022. (3), 5-10. <https://doi.org/10.32782/СМІ/2022-3-1>.
5. Бордун О., Шевчук В., Монастирський В., Лучка О. Втрати та напрями порятунку туристичного бізнесу України в умовах війни. *Вісник Львівського університету. Серія економічна*. 2022. Випуск 62. С. 178-196. <http://dx.doi.org/10.30970/ves.2022.62.0.6214>.
6. Диверсифікація європейського сільського туризму через збалансованість та креативність: навчально-практичний посібник / за ред. А.В. Череп, Н.С. Венгурської. Запоріжжя: Видавничий дім «Гельветика». 2022. 272 с.
7. Програма сталого розвитку туризму в Сумській області на 2018-2022 роки. Суми: Сумська обласна рада, 2017. 21 с. Доступно за посиланням: URL: <http://kultura.sm.gov.ua/index.php/uk/2-uncategorised/5599-programa-stalogo-rozvitku-turizmu-v-sumskij-oblasti-na-2018-2022-roki>
8. Рейманн М., Венгурська Н., Корнус О., Пацюк В., Холодок В., Паланг Х. Розвиток українських прифронтових громад і туристичного бізнесу в умовах війни та стратегії на майбутнє: презентація результатів міжнародного естонсько-українського дослідницького проекту. 2023. Доступно за посиланням: URL: <https://goo.su/6flkH>.
9. Рейманн М., Корнус О., Венгурська Н., Холодок В., Пацюк В., Паланг Х. Розвиток туристичного бізнесу прифронтових громад в умовах війни: зарубіжний та український досвід. *Регіональна економіка*. 2023, № 1. С. 105-113. <https://doi.org/10.36818/1562-0905-2023-1-12>
10. Рейманн М., Корнус О., Паланг Х., Корнус А. Особливості розвитку туристичної діяльності у Сумській області в умовах війни та перспективи на майбутнє. *Наукові записки СумДПУ ім. А.С.Макаренка. Географічні науки*. 2023. Том. 3 Вип. 4. С. 42-58. <https://doi.org/10.5281/zenodo.7812068>
11. Рейманн М., Корнус О.Г., Венгурська Н.С., Корнус А.О., Паланг Х. Розвиток туризму у сільській місцевості Сумської області в умовах російсько-української війни та перспективи на майбутнє. *Актуальні проблеми дослідження довкілля: Матеріали X Міжнародної наукової конференції (Суми-Тростянець, 25-27 травня 2023 р.)* / Ред. кол.: Корнус А.О., Міронець Л.П. та ін. Суми: Сумський державний педагогічний університет імені А.С.Макаренка, 2023. С. 171-174.
12. Розвиток українських прифронтових громад і туристичного бізнесу в умовах війни та стратегії на майбутнє: звіт за результатами міжнародного естонсько-українського дослідницького проекту (проміжн.) / кер. Март Рейманн. 2023. 120 с.
13. Туристична статистика України: динаміка податкових надходжень по регіонах. URL: <https://www.tourism.gov.ua/blog/turistichna-statistika-ukrayini-dinamika-podatkovih-nahhodzen-po-regionah>
14. Фастовець О. Сфера туризму у повоєнний період: досвід для України. *Економіка та суспільство*. 2022. (40). <https://doi.org/10.32782/2524-0072/2022-40-43>
15. Форум «Туристичний кластер Сумщини – перспективи створення та онлайн просування» - знакова подія для туристичної галузі Сумщини. Доступно за посиланням: <https://sm.gov.ua/uk/oda/116-viddil-turyzmu/14313-forum-turystychnyi-klaster-sumshchyny-perspektyvy-stvorennia-ta-onlain-prosuвання-znakova-podiia-dlia-turystychnoi-haluzi-sumshchyny.html>
16. Якименко-Терещенко Н., Мірко Н., Моца А. Розвиток індустрії туризму у повоєнний період. *Економіка та суспільство*. 2022. (44). <https://doi.org/10.32782/2524-0072/2022-44-117>.
17. Kulik A. Assessment of damage to real estate caused by the war. *Міжнародний науковий журнал «Освіта і наука»*. Випуск 1(32), 2022. С. 150-156.
18. Zavarika G. Military tourism as a peculiarity of tourism development in a post-conflict territory. *Journal of Geology, Geography and Geoecology*. 2022. 31(1), 186-193. <https://doi.org/https://doi.org/10.15421/112218>.

Надійшла 15 березня 2023 р.

Прийнята 07 травня 2023 р.

Наукові повідомлення

<https://doi.org/10.26565/2076-1333-2023-34-02>
УДК 911.3.477

Надійшла 15 квітня 2023 р.
Прийнята 18 травня 2023 р.

Катерина Сегіда

д-р геогр. н., проф. кафедри соціально-економічної географії і регіонознавства,
Харківський національний університет імені В.Н. Каразіна,
майдан Свободи, 4, м. Харків, 61022, Україна,
e-mail: kateryna.sehida@karazin.ua, <https://orcid.org/0000-0002-1122-8460>

Сергій Чехов

аспірант кафедри соціально-економічної географії і регіонознавства,
Харківський національний університет імені В.Н. Каразіна,
майдан Свободи, 4, м. Харків, 61022, Україна,
e-mail: serhii.chekhov@student.karazin.ua, <https://orcid.org/0009-0003-4940-3214>

ПРОСТОРОВИЙ АНАЛІЗ ЗАБЕЗПЕЧЕНОСТІ НАСЕЛЕННЯ МІСТА ХАРКОВА ЗАХИСНИМИ СПОРУДАМИ ЦИВІЛЬНОГО ЗАХИСТУ

У статті був проаналізований територіальний аспект розподілу та ємнісних характеристик захисних споруд цивільного захисту м. Харкова із співставленням його з чисельністю наявного населення. На першому етапі була розрахована щільність населення у визначених ділянках в межах максимально допустимого радіусу доступності найближчого наявного укриття. Для цих же ділянок були розглянуті просторові особливості місця розташування (рівня скупченості) й місткості захисних споруд. Наостанок кількість наявного населення була співвіднесена із місткістю споруд цивільного захисту із проведенням просторової кластеризації визначених ділянок відповідно до згаданого атрибуту.

Для визначення щільності населення на визначених ділянках та заповнення прогалін у первинних даних був застосований геостатистичний метод площинної інтерполяції, використання якого вимагало виконання наступних послідовних процедур: трансформація первинних даних відповідно до нормального розподілу, побудова моделі напівваріограми перетворених показників, агрегування моделі в поверхню та цільові полігони. Під час розрахунку територіального забезпечення м. Харкова захисними укриттями усіх типів були використані: шар точкових об'єктів з інтерактивної карти відкритих даних харківського геопорталу (для визначення місць розташувань і типів захисних споруд) й інформація з сайту некомерційного підприємства Харківської обласної ради «Центру екстреної медичної допомоги та медицини катастроф» (для актуалізації інформації щодо місткості сховищ та протирадіаційних укриттів). Для оцінки міри просторової автокореляції показника забезпеченості харків'ян місткістю споруд цивільного захисту на визначених парцелах був використаний Глобальний індекс Морана, котрий показав високу ступінь кластеризації ділянок за цим параметром. На підставі достатнього позитивного значення просторової автокореляції заданого атрибуту за рахунок використання Локального індексу Морана була проведена класифікація парцел із виділенням п'яти класів об'єктів: кластер високих значень (НН), кластер низьких значень (ЛЛ), викид у якому високе значення оточено низькими (НЛ), викид у якому низьке значення оточено високими (ЛН) та ділянки без ознак кластерів (викидів).

Науковою новизною статті, у порівнянні із аналогічними за спорідненою тематикою, є використання та трансформація гексагонального шару розподілу щільності населення м. Харкова відповідно до вимог дослідження. У висновках, на підставі результатів кластерного аналізу й через адаптацію тектологічного закону найменших (слабкої ланки) під реалії сьогодення була запропонована комплексна послідовна стратегія усунення недоліків територіального забезпечення населення м. Харкова захисними спорудами цивільного захисту.

Ключові слова: кластерний аналіз, напівваріограма, площинна інтерполяція, просторова автокореляція, споруди цивільного захисту, щільність населення.

Як цитувати: Сегіда, К., Чехов, С. (2023). Просторовий аналіз забезпеченості населення міста Харкова захисними спорудами цивільного захисту. *Часопис соціально-економічної географії*, 34, 14-26. <https://doi.org/10.26565/2076-1333-2023-34-02>

In cites: Sehida, K., Chekhov, S. (2023). Spatial analysis of provision the population of Kharkiv with civil defense facilities. *Human Geography Journal*, 34, 14-26 [in Ukrainian]. <https://doi.org/10.26565/2076-1333-2023-34-02>

Постановка проблеми. Вже другий рік як територія України потерпає від військової агресії та чи не щоденно внаслідок ракетних обстрілів і бомбардувань відбувається руйнування її інфраструктури, гинуть військові на передовій та цивільні мешканці в тилу країни. Значний економічний ресурс спрямову-

ється на підтримку військово-промислового комплексу та ЗСУ, при цьому поза увагою досить часто лишається проблема забезпеченості населення спорудами цивільного захисту. Особливо гостро ця kwestія стоїть для міста Харкова, яке із незавидною періодичністю страждає від повітряних ударів.

Комплексне дослідження територіального розподілу (наявність укриттів у радіусі 500 метрів), кількісних (співвідношення кількості людей із місткістю наявних у визначеному радіусі доступності захисних споруд) та якісних (відповідність цих споруд Державним будівельним нормам) характеристик є злободенним питанням для більшості харків'ян, від чого подекуди може залежати чиесь життя. Саме ці обставини зумовили нас сфокусувати увагу на дослідженні питання забезпеченості населення міста Харкова захисними спорудами цивільного захисту.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Більша частина останніх досліджень територіальної організації систем споруд цивільного захисту стосувалася населених пунктів, котрі розташовані у сейсмічно небезпечних районах Китаю, Туреччини та Індонезії й мали на меті конкретне прикладне застосування. Зустрічаються й поодинокі праці європейських авторів, стосовно територій у межах кількох кварталів, що носять скоріше суто теоретичний характер, аніж перелік конкретних пропозицій по вдосконаленню наявної мережі захисних споруд. Детальний опис всіх проаналізованих нами робіт представлений нижче.

Порівняльний кореляційний аналіз географічної (використання гравітаційної моделі) і геометричної (методи просторового синтаксису) доступності захисних укриттів району Учан м. Ухань (Китай) був детально описаний у дослідженні [10]. Для впровадження вищезгаданих методів район дослідження був поділений на сітку рівних квадратів (1 км²), на якій були застосовані інструменти ArcGIS Near, Network Analysis OD Cost Matrix та додатковий плагін – Axwoman (просторовий синтаксис). Також, на прикладі того самого району м. Ухань було проведено й інше дослідження, де показані переваги застосування мультиплікативно зваженої діаграми Вороного (з урахуванням факторів безпечного місцерозташування, кутів нахилу схилу, щільності та ширини шляхів сполучення, типу укриття та його ємності) над звичайною діаграмою Вороного (враховує лише мінімальну відстань від сховищ до точок попиту) [11].

Окремої уваги заслуговує дослідження пішої доступності укриттів у сейсмічно небезпечному м. Адан (Туреччина), де на додачу до згадуваних більшістю дослідників факторів впливу додається параметр імпедансу. Складовими мережевого аналізу ArcGIS в даному випадку виступали: центри – початковий і кінцевий пункт призначення, дуги – пішохідні маршрути, вузли – перехрестя доріг та імпеданси – бар'єри (підземні та надземні переходи), що збільшують довжини дуг маршруту та зменшують рівень доступності укриттів [22].

Застосування глобального індексу Морана знайшло своє відображення у праці [20] де для м. Сун'юань (Китай), що останні п'ять років страждає від землетрусів, були виявлені кластери співвідношення щільності населення в окремих квадратах із місткістю укриттів. У наведеній статті [19] об'єктом дослідження виступала центральна частина м. Ланьчжоу провінції Ганьсу (Китай) й була

застосована вдосконала гравітаційна модель доступності укриттів, що враховувала граничну відстань до об'єктів (500 м, 1000 м або 2000 м), щільність населення району, а також загальну чисельність та ємність захисних споруд в радіусі доступності.

На прикладі округу Цзяньчуань (Китай) інструментами ArcGIS була проаналізована існуюча система укриттів, при цьому враховувалась кількість точок попиту житлових будинків, географічної радіус доступності сховищ та граничний показник перевищення дефіциту їх ємності, що становив 20 %. Були визначені територіальні диспропорції наявних споруд цивільного захисту, їх незадовільний рівень ємності й на підставі виявлених недоліків була представлена модель вдосконаленої системи існуючих укриттів вищезгаданого округу [18].

Засобами програмного забезпечення Matlab, на прикладі кількох кварталів м. Брно (Чехія), був побудований граф, в якому вузли представляють собою реальну систему перехресть і будинків, а ребра – існуючу систему доріг. За допомогою цього графу були визначені найбільш оптимальні місця евакуації людей автобусами у випадку недостатньої ємності найближчих укриттів даних кварталів [15].

У роботі [16] авторами був застосований модифікований метод оцінки просторової доступності споруд цивільного захисту населення Ga2SFCA на прикладі одного з районів м. Куньмін (Китай). Удосконалений метод розраховує радіус доступності на основі щільності населення та місткості укриттів і є більш науковим та реалістичним порівняно з фіксованим радіусом пошуку традиційного методу Ga2SFCA. Побудована на його підставі модель розподілу укриттів м. Куньмін враховує не тільки показники щільності населення та ємності найближчих укриттів, але також й природні (кути нахилу місцевості) та соціальні фактори (трафік). Застосування засобів просторового аналізу ArcGIS для побудови оптимальної мережі укриттів населення м. Сюйчжоу (Китай) було представлено у дослідженні [23].

Оцінка просторової доступності споруд цивільного захисту м. Тяньцзінь (Китай), на підставі моделювання процесу евакуації населення, була описана у статті [8], де при розрахунках показника щільності населення припускалася пряма кореляція кількості населення у окремому окрузі із площею та поверховістю будівель, які на ньому розташовані (без урахування їх функціонального призначення). На прикладі того ж м. Тяньцзінь, для підрахунку показників просторової доступності системи укриттів, були використані методи A-2SFCA та FC2SFCA завдяки чому були виявлені прогалини у забезпеченні населення міста захисними спорудами [9].

У дослідженні [17] було продемонстровано, як на підставі інформації стосовно функціонального призначення полігональних об'єктів з відкритого проєкту геопросторових даних «OpenStreetMap» та даних статистичного управління м. Дєпок (Індонезія) можна спочатку розрахувати кількість людей, що проживають в окремих будинках, а потім візуально

відобразити щільність населення вищезгаданого міста у вигляді сітки рівних квадратів, кожен з яких має свій, унікальний показник. Суттєвим недоліком в даному випадку виступає упущення в розрахунках поверховості цих будинків.

Виділення невіршених раніше частин. Як ми побачили зі статей [8, 17] одним із способів отримання статистичної інформації по детальній щільності міського населення (за умови відсутності даних державних статистичних служб) є агрегація даних стосовно площі, функціонального призначення та поверховості міської забудови з відкритих джерел (OSM) та подальший розрахунок кількості населення на визначених невеликих ділянках на підставі зіставлення отриманої інформації з порайонною щільністю населених пунктів. Для отримання достовірних результатів обов'язковою умовою є врахування, як поверховості, так і функціонального призначення наявних будівель.

Для м. Харкова врахування деталізованої щільності населення за даними з OSM є неможливим, оскільки наявною є лише інформація щодо функціонального призначення будинків без вказання їх поверховості. В додаток до цього, Головне управління статистики у Харківській області не надає актуальної та достовірної порайонної інформації чисельності населення м. Харкова. До того ж, значна частина мешканців міста вимушено мігрувала у безпечніші регіони країни, чи закордон не змінюючи при цьому свого офіційного місця проживання, що призводить до спотворення офіційної інформації статистичної служби.

Відкритим питанням є також невизначеність ємності більшості споруд цивільного захисту м. Харкова, з чим не стикалися дослідники даної тематики в інших містах, тому розрахунок їх граничної вмістимості та територіального рівня забезпеченості населення носить умовний характер.

Метою статті є визначення рівня територіальної забезпеченості захисними спорудами цивільного захисту населення міста Харкова. Для досягнення поставленої мети необхідним є виконання наступних **завдань**: розподіл території міста на рівні ділянки відповідно до нормованого, максимального дозволеного радіусу наявності найближчого укриття; визначення кількості населення, що перебуває на виокремлених парцелах міста в конкретний момент часу; підрахунок демографічного навантаження на цих парцелах у вигляді співвідношення кількості містян до граничної ємності споруд цивільного захисту у радіусі їх доступності; на підставі показника демографічного навантаження на захисні споруди міста, проведення групування визначених парцел із виявленням найбільш незабезпечених ділянок міста.

Результати дослідження. Для отримання актуальної і деталізованої інформації по щільності населення м. Харкова нами був використаний набір даних з [4] представлений правильними шестикутниками (гексагонами) зі сторонами по 0,5 км та площаю – 0,67 км². Кожен гексагон має свій унікальний показник чисельності наявного населення з точністю до однієї людини. Розрахунки чисельності населення в гексагонах засновані на Глобальному шарі насе-

лених пунктів (GHSL). Дані GHSL накладаються на інформацію про населення Facebook (HRSL), якщо вона є доступною. Окрім цього, для підвищення точності розподілу наявного населення використовуються: Microsoft Building Footprint, Land Information New Zealand та Copernicus Global Land Service [4].

Використаний нами набір даних, датований 30 червня 2022 року, ще не втратив своєї актуальності, адже був отриманий після початку військового вторгнення, яке триває дотепер. Ці дані, разом із областю дослідження, були представлені на (рис. 1). І якщо для численних зарубіжних публікацій обґрунтування необхідності дослідження базувалося на розташуванні об'єктів вивчення в межах сейсмоактивних зон [9, 16, 18, 20, 22, 23], то для м. Харкова таким приводом стала військова агресія з боку Росії та близькість, як до її державного кордону, так і до зони ведення активних бойових дій.

Наявність прогалів в даних (сірі зони) та невідповідність розмірів гексагонів максимально допустимому радіусу збору населення, що підлягає укриттю (до 500 м) [1], обумовили необхідність використання засобів ArcGIS для інтерполяції відсутніх показників та розподілу території міста відповідно до визначених стандартів України у сфері цивільного захисту.

Оскільки первинні дані представлені у вигляді гексагонів можливим є використання лише геостатистичного методу площинної інтерполяції, в основі якого лежить теорія кригінгу, що застосовується щодо даних, усереднених або агрегованих по полігонам. Для всіх точок, що лежать усередині цих полігонів і між ними, можуть бути обчислені значення інтерполяції та їх середньоквадратичні помилки, а потім ці значення (разом з помилками) можуть бути повторно агреговані в новий набір полігонів [23] (необхідного нам розміру, відповідно до допустимого радіусу збору населення). Процес повторного агрегування даних складається з двох етапів: спочатку на основі гексагонів з початковими показниками чисельності населення створюється поверхня значень інтерполяції, потім ця поверхня інтерполяції піддається повторному агрегуванню в цільові полігони. Створення такої поверхні потребує застосування методів варіографії [23].

Як і всі методи кригінгу, площинна інтерполяція має кілька обмежень, які перешкоджають побудові коректної моделі даних. Перше обмеження – велика різниця у розмірах полігонів. Оскільки всі наші гексагони мають однаковий розмір, то це обмеження нас не лімітує. Друге обмеження – нестационарність даних. Для площинної інтерполяції це є проблемою, оскільки, за умови стаціонарності, щільність населення повинна змінюватися на місцевості рівномірно – не повинно бути гексагонів з вкрай високою щільністю населення поряд із гексагонами низької щільності [23].

Розподіл первинних даних щільності населення не відповідає умовам стаціонарності (діапазон набору даних коливається у межах від 1 до 7500 осіб на одну ділянку), тому він був трансформований методом біквдратного кореня [21], в результаті чого ми

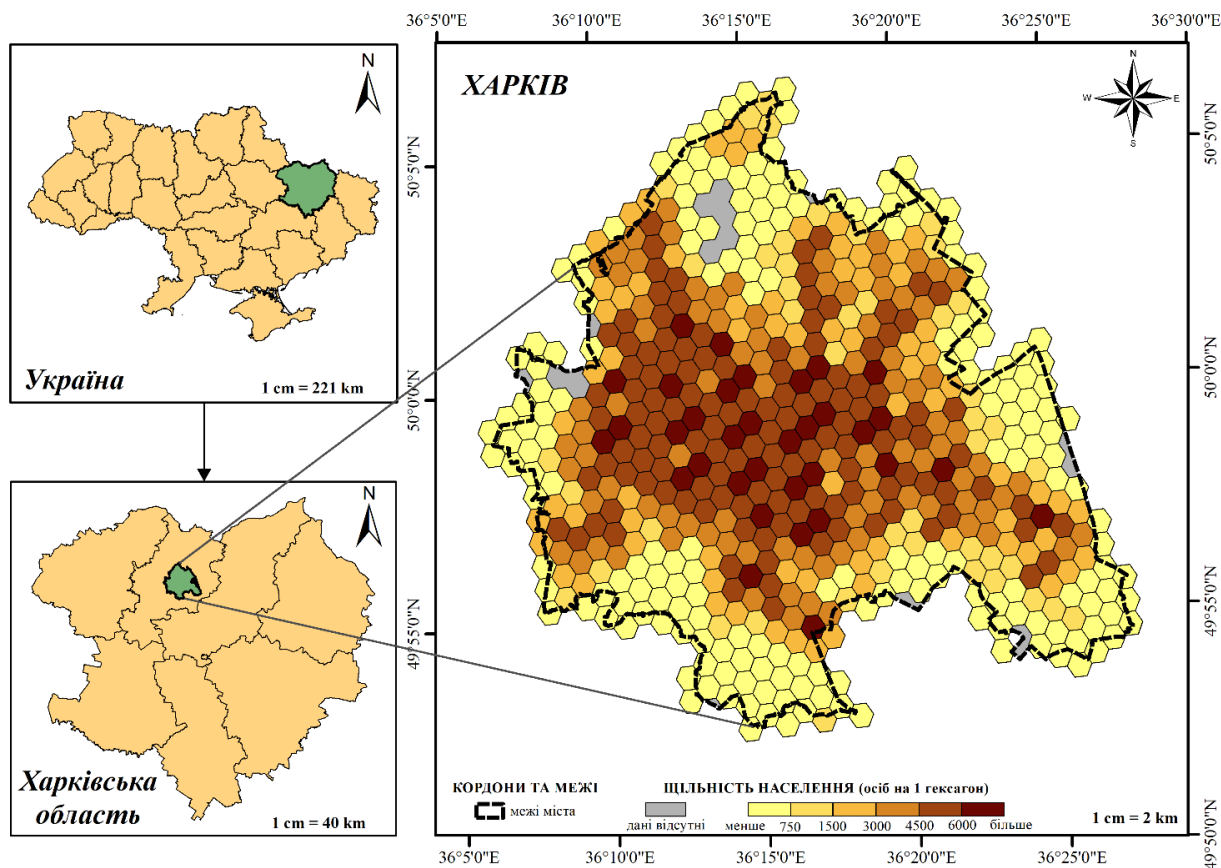


Рис. 1. Область дослідження та первинні дані розподілу населення (побудовано за [4])
 Fig. 1. Study area and initial data on population distribution (based on [4])

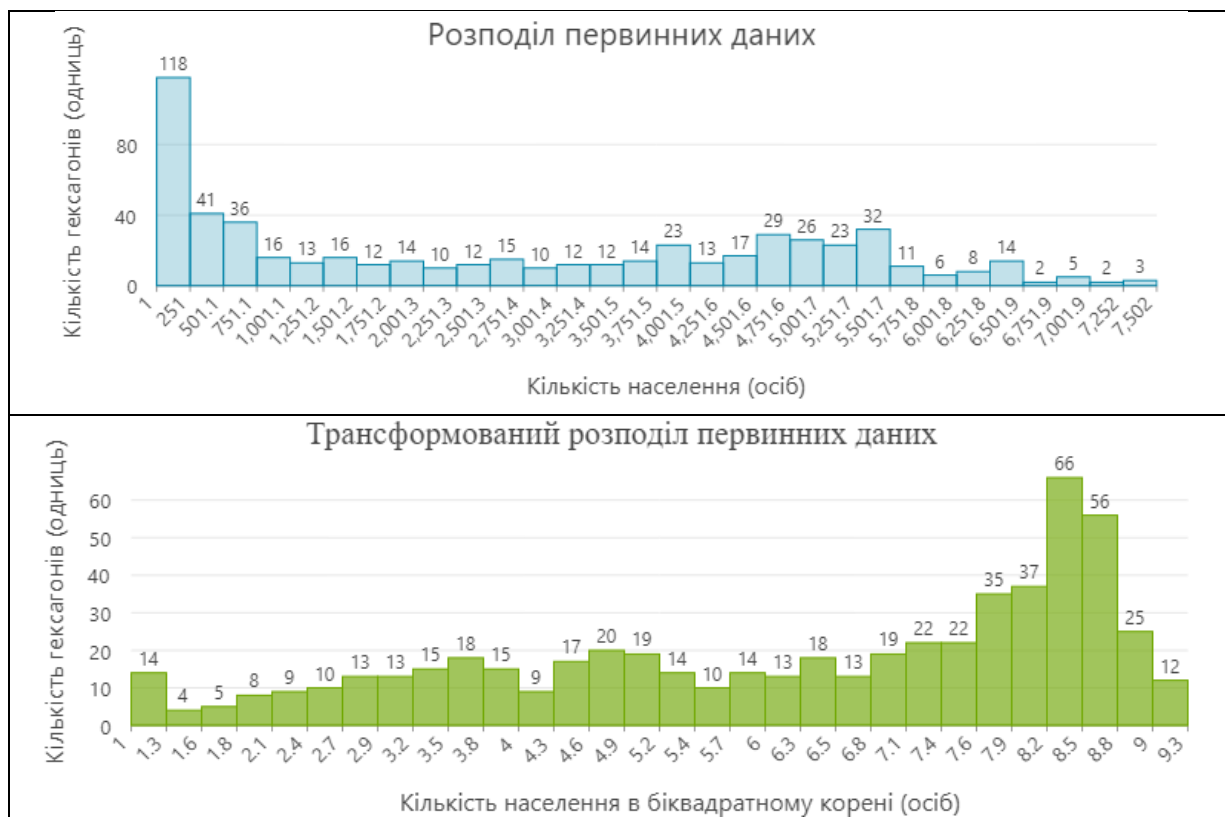


Рис. 2. Гістограми первинних та перетворених показників (побудовано за [4])
 Fig. 2. Histograms of the primary and transformed values (based on [4])

отримали допустимі значення діапазону набору даних, що є наближеними до нормального розподілу (рис. 2).

На наступному етапі трансформовані площинні показники чисельності населення були використанні нами для побудови коректної моделі напівваріограми. Критерієм правильно підбраної моделі напівваріограми є потрапляння більшості емпіричних варіацій (сині хрестики) у довірчі інтервали (червоні вертикальні лінії), при чому крива напівваріограми (синя лінія на графіку) не обов'язково має потрапляти у довірчі інтервали [23]. Найбільш релевантними для нашого випадку виявилися наступні параметри напівваріограми (рис. 3):

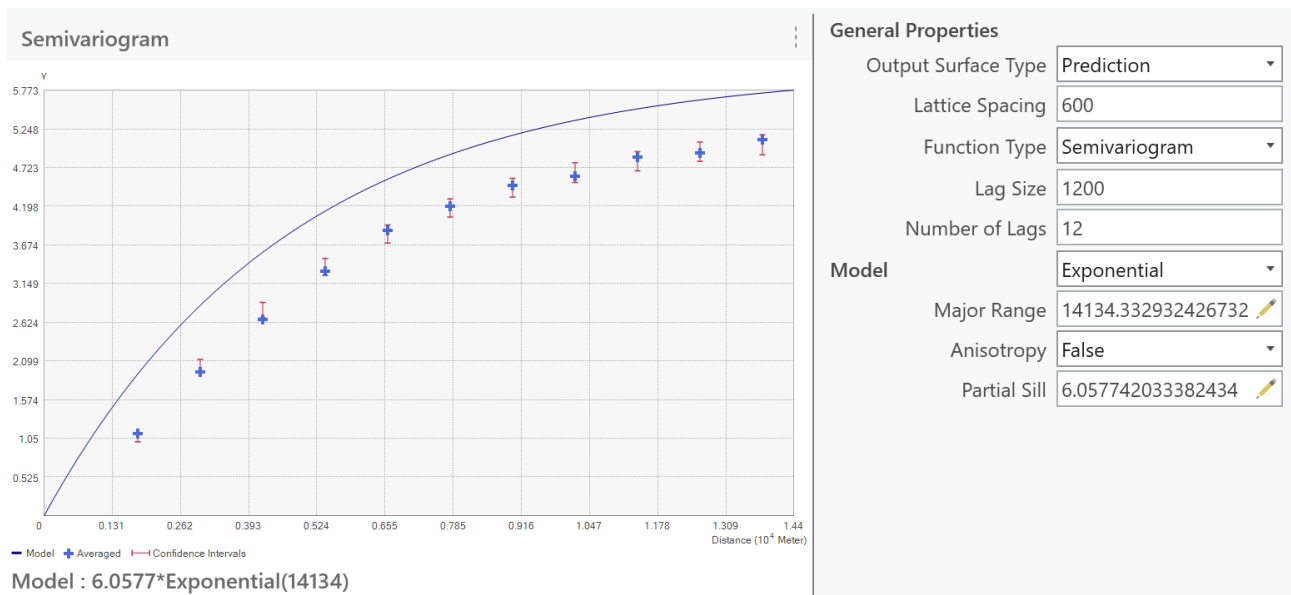


Рис. 3. Модель напівваріограми перетворених показників (побудовано за [4])
Fig. 3. The model of the semivariogram of the transformed indicators (based on [4])

Всі емпіричні варіації на рис. 3 знаходяться у межах довірчих інтервалів, що вказує на вірно підбрану модель, яка добре відповідає даним і одержаним результатам можна довіряти. Отриману модель напівваріограми ми використали для інтерполяції в поверхню та агрегували її у сітку квадратів (fishnet) відповідно до [1] таким чином, щоб радіус вписаних в ці квадрати кіл був в межах максимально прийнятного радіусу збору населення (сторони наших квадратів дорівнюють 830 м, радіуси вписаних кіл – 415 м). Загальна кількість отриманих ділянок – 582 одиниці, з них цілих квадратів – 413. Загальна чисельність населення міста після інтерполяції в цільові полігони становить 1 477 594 особи (загальна чисельність населення первинних даних – 1 475 837 осіб). Результати агрегування відображені нижче (рис. 4).

Перехресна перевірка шляхом видалення одної парцели з набору даних і використання даних, що лишилися, для прогнозування кількості осіб у тій, котра була видалена, виявила відповідність розподілу інтерпольованих показників трендам опорної лінії та лінії регресії. Агрегування інтерпольованої поверхні в гексагони первинних даних показало то-

жність відомих показників чисельності населення [4] предиктивним. Значення середньоквадратичної нормованої помилки є близьким до 1, при цьому показник середньоквадратичної помилки прогнозу є меншим від нормованого, тож результати інтерполяції в цільові полігони є достовірними. Окремо слід зазначити, що інтерполяція за [4] краще відповідає меті та завданням дослідження, оскільки на відміну від даних перепису населення державної статистичної служби, спирається не на записи, щодо офіційно зареєстрованого місця проживання, а на показники платформи аналізу зображень GHSL (з застосуванням набору датчиків, включаючи радарні та оптичні [4]). Таким чином ми отримали не «нічний» розподіл населення м. Харкова (за місцем реєстрації особи), а реальну картину територіальної розосередженості містан протягом дня.

Згідно із п. 1, 2 ст. 32 актуальної редакції Кодексу цивільного захисту України [2] до захисних споруд цивільного захисту належать: 1) сховища; 2) протирадіаційні укриття; 3) споруди подвійного призначення; 4) швидкоспоруджувані захисні споруди цивільного захисту та 5) найпростіші укриття (цокольні або підвальні приміщення). За інформаці-

сю [6,7] на території м. Харкова розташовано 2104 одиниці захисних споруд цивільного захисту, з них:

- 1) сховищ – 146 (сумарна місткість – 61158 осіб);
- 2) протирадіаційних укриттів – 17 (сумарна місткість – 3014 осіб);

3) споруд подвійного призначення – 202 (передбачувана розрахункова сумарна місткість – 238764 особи);

4) найпростіших укриттів – 1739 (передбачувана розрахункова сумарна місткість – 685166 осіб).

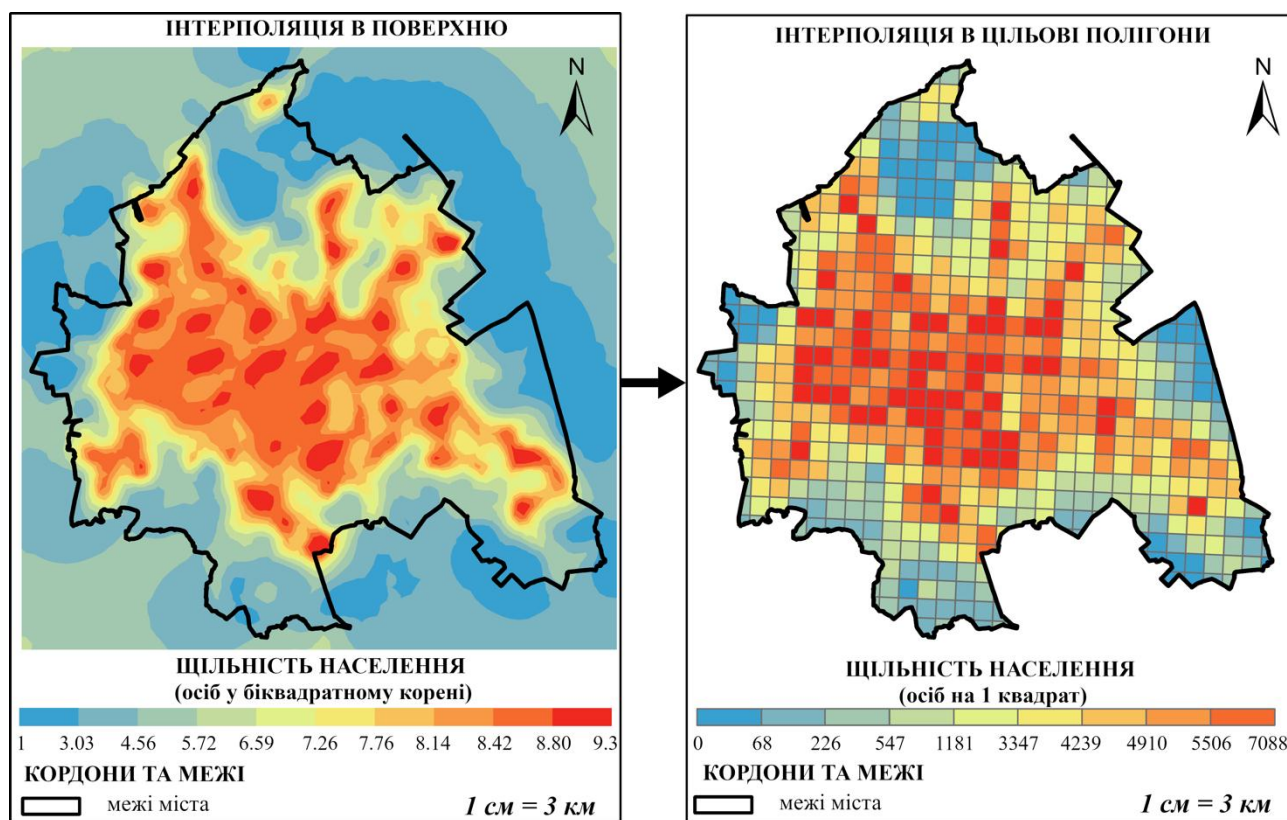


Рис. 4. Агрегування моделі напівваріограми в поверхню та цільові полігони
Fig. 4. Aggregation of the semivariogram model into surface and target polygons

Як ми можемо побачити, сумарна місткість споруд цивільного захисту м. Харкова (988102 особи) не відповідає кількості наявних мешканців. Точкове розміщення та місткість цих споруд на визначених ділянках радіусу доступності представлені на рис. 5.

Варто зауважити, що 2104 одиниці споруд цивільного захисту представлені 2042 точковими об'єктами. Це пов'язано із розташуванням двох і більше сховищ або протирадіаційних укриттів на території великих промислових підприємств міста, що представлені одним точковим об'єктом на картограмі зліва (рис. 5). Промисловими підприємствами із найбільшою місткістю захисних споруд цивільного захисту населення на території м. Харкова є:

1. Приватне акціонерне товариство «Харківський тракторний завод» – 13 сховищ та 7 протирадіаційних укриттів (загальна місткість 14016 осіб);
2. Державне підприємство «Завод імені В.О. Малишева» – 13 сховищ (загальна місткість 5124 особи);
3. Акціонерне товариство «Українські енергетичні машини» – 3 сховища (загальна місткість 4018 осіб);
4. Державне підприємство «Завод Електроважмаш» – 5 сховищ та 4 протирадіаційні укриття (загальна місткість 3525 осіб);

5. Державне науково-виробниче підприємство «Об'єднання Коунар» – 4 сховища (загальна місткість 2990 осіб);
6. Державне підприємство «Завод Радіореле» – 1 сховище (місткість 2200 осіб);
7. Публічне акціонерне товариство «АВТРАМАТ» – 1 сховище (місткість 1200 осіб);
8. Товариство з обмеженою відповідальністю «ЕЛ-ТІЗ» – 1 сховище (місткість 1200 осіб);
9. Приватне акціонерне товариство «Харківський підшипниковий завод» – 2 сховища та 4 протирадіаційні укриття (загальна місткість 1070 осіб);
10. Державне підприємство «Харківський машинобудівний завод ФЕД» – 6 сховищ (загальна місткість 1000 осіб) [6].

Середня ємність всіх сховищ та протирадіаційних укриттів м. Харкова становить 394 особи [6]. Оскільки офіційна інформація стосовно місткості споруд подвійного призначення та найпростіших укриттів відсутня, для підрахунку умовного рівня забезпеченості містян захисними спорудами цивільного захисту, ємність однієї одиниці найпростіших укриттів (цокольні або підвальні приміщення) ми визначили як середній показник ємності відомих сховищ та протирадіаційних укриттів, а ємність однієї одиниці споруд подвійного призначення (станції

метро та підземні переходи) – як три вищезгадані середні показники. Відсутність показників ємності згаданих типів захисних споруд свідчить про необхідність проведення їх комплексної інвентаризації із

визначенням їхньої відповідності державним будівельним нормам, рівня доступності та відповідно граничної місткості.

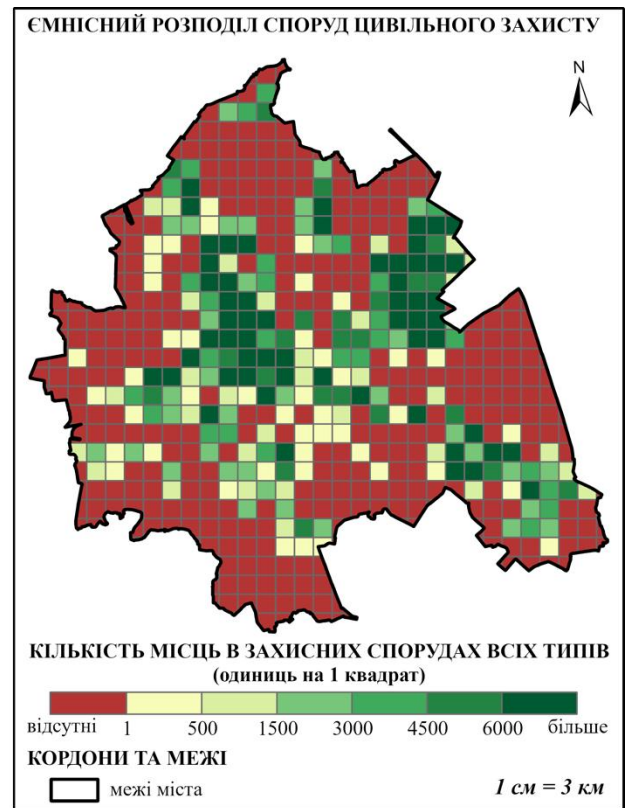
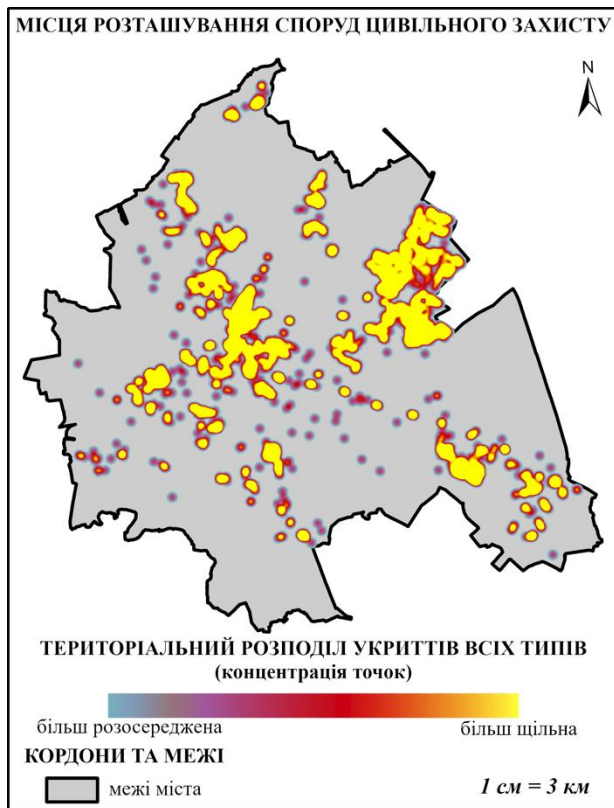


Рис. 5. Рівень скупченості та місткості захисних споруд м. Харкова (побудовано за [6,7])
 Fig. 5. Level of overcrowding and capacity of the protective structures in Kharkiv (based on [6,7])

Виходячи із правої картосхеми на рис. 5 (навіть без співставлення із наявною чисельністю населення) можна побачити значні прогалини у територіальному розподілі місткості захисних укриттів м. Харкова, так 360 з визначених нами 582 ділянок взагалі не забезпечені жодним із наявних типів захисних споруд цивільного захисту. Найбільш територіально благополучними у цьому плані є Салтівський район (переважно за рахунок найпростіших укриттів) та центральна частина м. Харкова.

На наступному етапі, при визначенні територіальних особливостей забезпеченості населення м. Харкова спорудами цивільного захисту нами був використаний інструмент, що вимірює просторову автокореляцію (Глобальний індекс Морана), засновану одночасно на розташуванні визначених нами 582 парцел та їхніх значеннях щодо наявності (надлишку або нестачі) місць в укриттях цивільного захисту всіх типів у порівнянні із дійсною кількістю містян на цих ділянках. Виходячи із запропонованого набору об'єктів і з урахуванням вже згаданих нами атрибутів, інструмент просторової автокореляції оцінив ступінь їх кластеризації [14]. Просторові відношення між ділянками були визначені по спільним ребрам та кутам (полігони, що мають спільне ребро або кут, включають у розрахунок для цільового полігона). Параметр стандартизації рядів не був врахований в підрахунках.

Глобальний індекс просторової автокореляції був розрахований за формулами, що представлені нижче [14]:

$$I = \frac{n \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n w_{ij} z_i z_j}{S_0 \sum_{i=1}^n z_i^2} \quad (2)$$

де z_i – відхилення атрибута для об'єкта i від його середнього значення,

$(x_i - \bar{X})$, $w_{i,j}$ – просторова вага між об'єктами i та j ,
 n – загальна кількість об'єктів,

S_0 – сукупність всіх просторових ваг:

$$S_0 = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n w_{i,j} \quad (3)$$

z_I – оцінка для статистики вираховується як:

$$z_I = \frac{I - E[I]}{\sqrt{V[I]}} \quad (4)$$

де:

$$E[I] = -1/(n - 1) \quad (5)$$

$$V[I] = E[I^2] - E[I]^2 \quad (6)$$

В результаті ми отримали наступне значення Глобального індексу Морана за обраним атрибутом та ділянками: $I = 0,390$; при цьому $E[I] = -0,001$; z -оцінка = 18,237; p -значення (вірогідність) = 0,000.

Отримані статистичні значення просторової автокореляції в подальшому будуть трактовані нами в контексті нульової гіпотези. Для показника Глобального Індексу Морана нульова гіпотеза стверджує, що аналізований параметр забезпеченості населення м. Харкова захисним укриттями розподілений між ді-

лянками випадково чи, інакше кажучи, просторові процеси, які утворили спостережувану структуру значень носять випадковий характер [14]. Для того щоб спростувати нульову гіпотезу ми маємо проаналізувати одержані показники *p*-значення (*вірогідності*) та *z*-оцінку стандартного відхилення.

Оскільки: *p*-значення < 0,01 та є значущим, а *z*-оцінка > 2,5 та значно перевищує межі допустимого стандартного відхилення, це дає нам підставу стверджувати про дуже малу ймовірність того, що просторові закономірності розподілу параметру забезпе-

ності населення м. Харкова спорудами цивільного захисту є результатом випадкових процесів, таким чином, можна відкинути нульову гіпотезу. Візуальне відображення поєднання дуже низьких показників *p*-значення і разом з цим дуже високих позитивних значень *z*-оцінки представлено нижче (рис. 6). Одержані показники є значущими, знаходяться у правому хвості розподілу та вказують на просторову класифікацію (Clustered) ділянок стосовно аналізованого нами параметру.

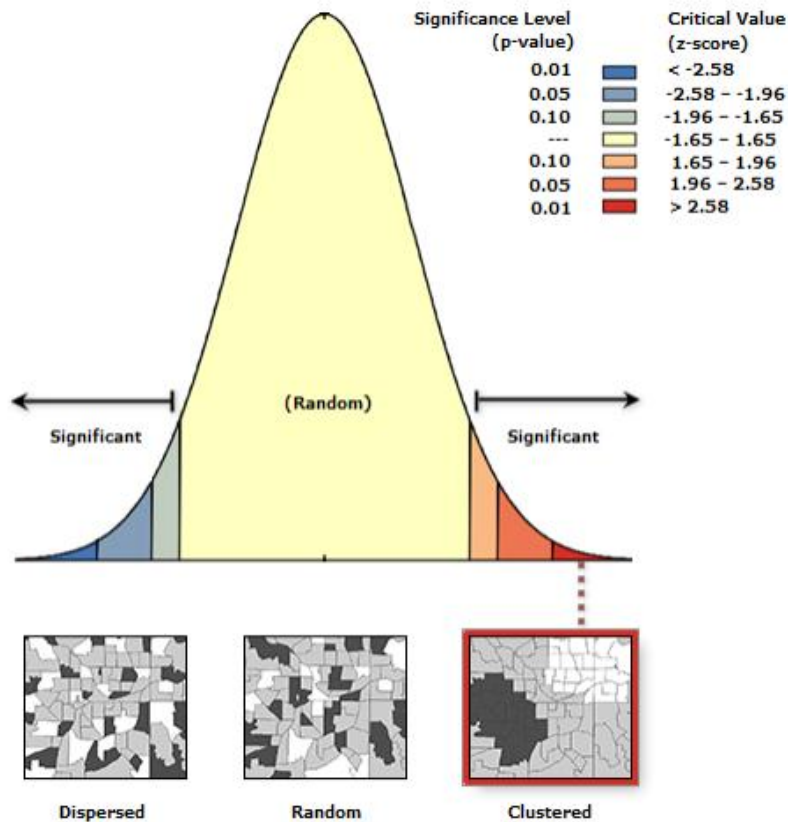


Рис. 6. Виявлення просторової автокореляції забезпеченості населення м. Харкова захисними спорудами цивільного захисту (на основі Глобального індексу Морана)

Fig. 6. Detection of spatial autocorrelation of the provision of Kharkiv city population with civil defense facilities (based on the Global Moran's Index)

Для атрибуту забезпеченості харків'ян захисними укриттями ми маємо фактичне значення глобального індексу Морана $I = 0,390$, при цьому для випадкового розподілу очікується значення глобального індексу Морана $E[I] = -0,001$. Імовірність помилки першого роду (*p*-значення), тобто того, що знайдемо закономірність, якої не існує, $\epsilon < 0,01$. Так як, фактичне та очікуване значення індексу Морана статистично значно різняться, а саме $I > E[I]$, ми маємо позитивну просторову автокореляцію досліджуваного атрибуту, тобто в цілому значення параметрів спостереження в сусідніх парцелах міста є подібними. Тож територіальна забезпеченість населення м. Харкова спорудами цивільного захисту у межах визначених ділянок, має кластерний просторовий характер розподілу.

На заключному етапі дослідження, для статистичної оцінки просторових зв'язків між ділянками

стосовно рівня забезпеченості населення м. Харкова укриттями, нами був використаний Локальний індекс Морана, математичний вираз якого представлений далі [12]:

$$I_i = \frac{x_i - \bar{X}}{S_i^2} \sum_{j=1, j \neq i}^n w_{ij} (x_j - \bar{X}) \quad (7)$$

де x_i – числовий атрибут об'єкта i , \bar{X} – середнє значення для цього атрибуту, w_{ij} – просторова вага для пари i та j , при цьому:

$$S_i^2 = \frac{\sum_{j=1, j \neq i}^n (x_j - \bar{X})^2}{n-1} \quad (8)$$

де n відповідає загальній чисельності об'єктів.

Оцінка Z_{I_i} вираховується наступним чином:

$$Z_{I_i} = \frac{I_i - E[I_i]}{\sqrt{V[I_i]}} \quad (9)$$

де

$$E[I_i] = - \frac{\sum_{j=1, j \neq i}^n w_{ij}}{n-1} \quad (10)$$

$$V[I_i] = E[I_i^2] - E[I_i]^2 \quad (11)$$

У результаті ми отримали п'ять класів досліджуваних парцел за вже згаданим атрибутом, деталі-

зовані статистичні показники котрих представлені в таблиці 1.

Таблиця 1

Характеристика класів територіальної забезпеченості захисними спорудами цивільного захисту населення міста Харкова
Description of the classes for the territorial provision of civil defense facilities for the population of Kharkiv

Назва класу	Кількість ділянок (одиниць)	Чисельність населення (осіб)	Кількість укриттів всіх типів (точок)	Місткість укриттів всіх типів (одиниць)	Наявність місць в укриттях всіх типів (одиниць)
Кластер високих значень (НН)	99	437836	93	38795	<i>Нестача:</i> 399041
Кластер низьких значень (LL)	44	140838	921	411920	<i>Надлишок:</i> 271082
Викид, у якому високе значення оточено низькими (НЛ)	8	33833	35	13790	<i>Нестача:</i> 20043
Викид, у якому низьке значення оточено високими (ЛН)	11	51812	113	67874	<i>Надлишок:</i> 16062
Ділянки, на яких не виявлено ознак кластеру (викиду)	420	813275	880	455723	<i>Нестача:</i> 357552
Всього	582	1477594	2042	988102	<i>Нестача:</i> 489492

* Розраховано авторами за даними [4,6,7]

Ділянки, що входять до кластеру високих значень (НН) мають найбільшу абсолютну нестачу місткості споруд цивільного захисту. Оскільки утворюючі його парцели мають високі показники нестачі місткості та разом з цим вони оточені ділянками з відносно високими показниками згаданого атрибуту (позитивна автокореляція) – саме цей кластер є першочерговою ціллю під час модернізації та спорудження нових об'єктів цивільного захисту м. Харкова.

Кластер низьких значень (LL) складається з ділянок, які мають відносно низькі власні значення аналізованого показника (надлишок місткості) та оточені квадратами також з відносно низькими значеннями досліджуваного атрибуту місткості (позитивна автокореляція). З точки зору захищеності містян, саме цей кластер є найбезпечнішим на території м. Харкова й не потребує залучення коштів та ресурсів для будівництва нових споруд цивільного захисту.

Територіальні особливості розподілу описаних нами кластерів представлені на рис. 7.

Просторовий викид, у якому високе значення нестачі місткості захисних споруд оточено низькими показниками (НЛ) є відносно безпечним, адже через негативну автокореляцію нестача місткості цільового викиду може бути нівельована за рахунок оточуючих його ділянок із атрибутами надлишку місткості, проте із збільшенням максимального радіусу доступності.

Ділянки, що віднесені до класу просторового викиду, у якому низьке значення атрибуту (надлишок місткості) оточено високими значеннями показників (ЛН) є «оазисами безпеки», оскільки мають

спільні ребра чи кути із парцелями кластеру високого дефіциту місткості (НН). Негативна автокореляція просторового викиду (ЛН) в даному випадку може бути приводом нестачі місткості безпосередньо в самих парцелях цього просторового викиду як наслідок використання ємності його захисних споруд містянами із суміжних парцел кластеру високих значень (НН).

Парцели, на яких не виявлено ознак кластеру (просторового викиду), через дисперсний характер розподілу параметрів досліджуваного нами атрибуту, необхідно облаштовувати спорудами цивільного захисту відповідно до порядку зменшення показника нестачі ємності споруд цивільного захисту по відношенню до чисельності наявного населення.

Висновки. Просторовий аналіз розподілу місткості захисних споруд цивільного захисту м. Харкова виявив значні диспропорції досліджуваного атрибуту із превалюванням ділянок зі значною нестачею місткості укриттів по відношенню до щільності наявного на них населення. Загальний передбачуваний розрахунковий рівень нестачі місткості становить 489492 місця, при цьому загальні потреби містян в укриттях задоволені на 66,87 %. Окрім того, очевидні значні просторові прогалини кількісної та ємнісної забезпеченості жителів міста захисними спорудами, так на 360 з 582 ділянок міста (навіть беручи до уваги меншу концентрацію населення) під час повітряної тривоги мешканцям фактично ніде укритися.

У період дії воєнного стану на території України управлінські рішення приймаються в умовах цейтноту, й мають базуватися на раціональному підході до використання фінансових активів, матеріальної бази (будматеріали й устаткування) та найголовніше

людських ресурсів (робочої сили). Нерівномірний просторовий розподіл захисних укриттів на території м. Харкова, значна нестача їх місткості по відношенню до чисельності наявного населення та перелічені вище лімітуючі фактори вимагають від Департаменту цивільного захисту Харківської обласної військової адміністрації прийняття зважених рішень та впровадження ефективного плану по усуненню перелічених недоліків у сфері цивільного захисту населення. На нашу думку, доречним в цьому випадку буде слідувати принципу тектологічного закону найменших (слабкої ланки): загальна стійкість системи визначається найменшою відносною стійкістю окремих її частин [3]. Розглядаючи в цьому контексті систему споруд цивільного захисту м. Харкова та беручи, як атрибут міцності, показник забезпеченості населення захисними спорудами, модифікацію існуючих і будівництво нових укриттів необхідно про-

дити спочатку в парцелях (окремих їх групах), що є найбільш відстаючими за згаданим атрибутом й мають найбільший радіус доступності до найближчого укриття, а потім виходячи виключно з атрибуту нестачі ємності укриттів. Порядок зміцнення слабких ланок системи захисних укриттів м. Харкова наступний: 1) центральні ділянки кластеру НН; 2) периферійні ділянки кластеру НН; 3) парцели із найбільшою нестачею місткості, що не потрапили до кластерів (просторових викидів); 4) ділянки просторового викиду НЛ. Як показала практика, міська влада частково намагається надолужити нестачу місткості захисних споруд за рахунок будівництва зупинок укриттів, проте нехтує принципами раціональності й зводить нові укриття в межах радіусу доступності вже існуючих захисних споруд подвійного призначення із очевидною надлишковою місткістю (біля станцій метрополітену) [5].

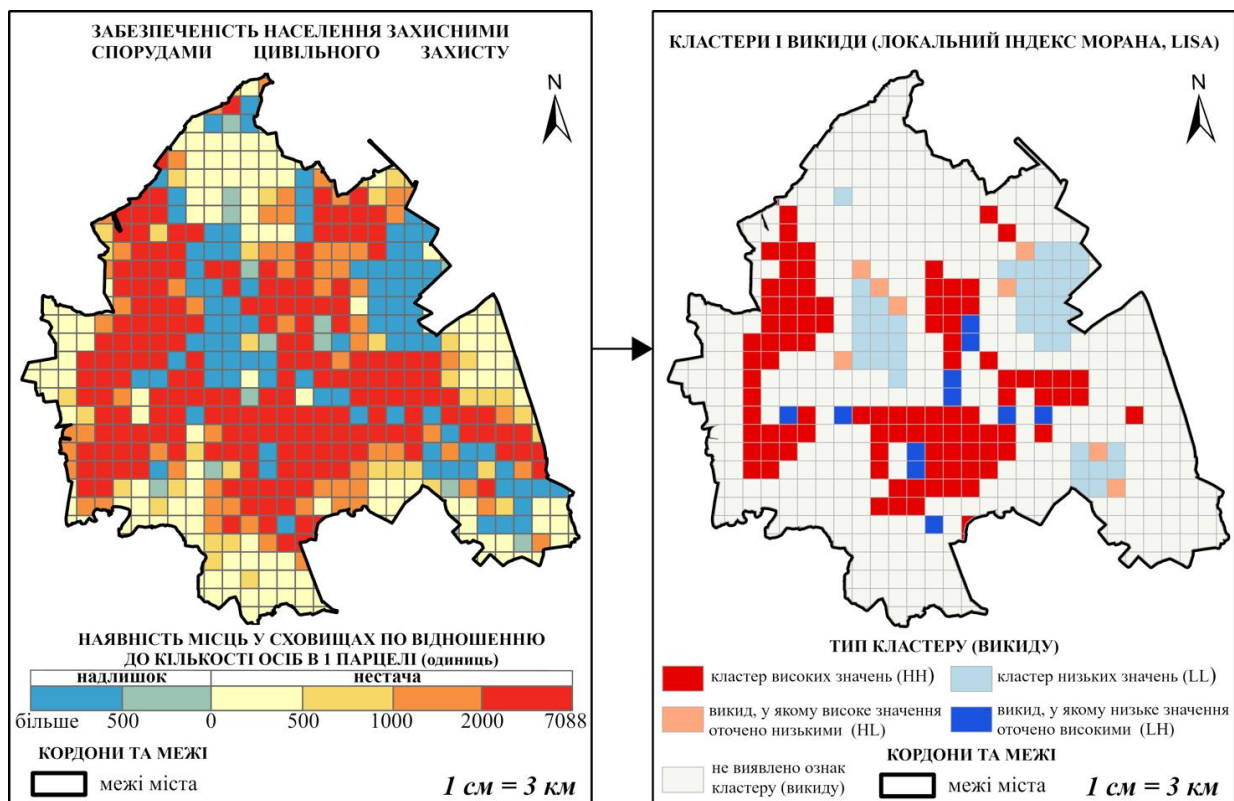


Рис. 7. Виявлення закономірностей розподілу необхідної місткості укриттів з використанням локального індексу просторової автокореляції (LISA)

Fig. 7. Identification of the patterns distribution of the required shelters capacity using the local index of spatial autocorrelation (LISA)

Проблемними питаннями для міста залишаються: відсутність обліку місткості всіх представлених в [7] укриттів, валідація їх відповідності будівельним нормам [1], а також низька обізнаність населення відносно локацій найближчих укриттів. Окремо слід вказати на необхідність доопрацювання нормативно-правової бази стосовно меж радіусу збору населення, що підлягає укриттю (до 500 м) [1], оскільки вона визначає виключно географічну доступність (вектор руху особи до найближчого укриття), замість геоме-

тричної – врахування транспортної мережі, кутів нахилу місцевості, перешкод й імпедансів. Подальші дослідження за даною тематикою будуть вестися у напрямку визначення оптимальної кількості (по відношенню до чисельності наявних містян) та місць розташувань (за параметром геометричної доступності) захисних споруд у парцелях кластеру високих значень (НН) з використанням засобів мережевого аналізу.

Список використаної літератури:

1. Будинки і споруди. Захисні споруди цивільної оборони: ДБН В 2.2.5-97. [Чинний від 1998-01-01]. Київ, 1998. 22 с. (Інформація та документація).
2. Кодекс цивільного захисту України: Закон України від 2 жовтня 2012 року № 5403-VI: URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/5403-17> (дата звернення: 13.04.2023).
3. Марченко О.М., Томаневич Л.М. Теорія організації: навч. посіб. Львів: ЛьвДУВС, 2015. 359 с.
4. Набір даних про щільність населення. Kontur: веб-сайт. URL: <https://www.kontur.io/portfolio/population-dataset> (дата звернення: 13.04.2023).
5. Скільки Харків платить за безпечні зупинки. *Kharkiv Today – інформаційно-аналітичний портал Харкова*: веб-сайт. URL: <https://2day.kh.ua/ua/kharkow/skilky-kharkiv-platyt-za-bezpechni-zupynky> (дата звернення: 13.04.2023).
6. Список бомбосховищ у Харківській області. *Комунальне некомерційне підприємство Харківської обласної ради «Центр екстреної медичної допомоги та медицини катастроф»*. веб-сайт. URL: <https://emd.kh.ua> (дата звернення: 13.04.2023).
7. Укриття для населення. *Геопортал Харкова: геопросторові дані інфраструктури міста*: веб-сайт. URL: <https://smart.citynet.kharkov.ua/opendataportal> (дата звернення: 13.04.2023).
8. Ding, Z., Dong, H., Li, Y., Yao, X., & Zhang, H. (2022). Study on the Emergency Shelter Spatial Accessibility Based on Simulation of Evacuation Process. *Proceedings of the 2022 3rd International Conference on Modern Education and Information Management (ICMEIM 2022)*, 10-20. https://doi.org/10.2991/978-94-6463-044-2_3
9. Ding, Z., Dong, H., Yang, L., Xue, N., He, L., & Yao, X. (2022). Study on the Emergency Shelter Spatial Accessibility Based on the Adaptive Catchment Size 2SFCA Method. *ISPRS Int. J. Geo-Inf*, 11, 593. <https://doi.org/10.3390/ijgi11120593>
10. Dou, K., & Zhan, Q. (2011). Accessibility analysis of urban emergency shelters: Comparing gravity model and space syntax. *International Conference on Remote Sensing, Environment and Transportation Engineering, Nanjing, China*, 5681-5684, <https://doi.org/10.1109/RSETE.2011.5965642>
11. Dou, K., Zhan, Q., & Shiguo L. (2012). GIS-based responsibility area subdivision for metropolitan emergency shelters – Case study of Wuchang district, Wuhan city. *The 6th International Association for China Planning (IACP) Conference, Wuhan, China*, pp. 1-4. <https://doi.org/10.1109/IACP.2012.6342983>
12. How Cluster and Outlier Analysis (Anselin Local Moran's I) works. *Esri (Environmental Systems Research Institute)*: веб-сайт. URL: <https://desktop.arcgis.com/en/arcmap/latest/tools/spatial-statistics-toolbox/h-how-cluster-and-outlier-analysis-anselin-local-m.htm> (дата звернення: 13.04.2023).
13. How Kriging works. *Esri (Environmental Systems Research Institute)*: веб-сайт. URL: <https://pro.arcgis.com/en/pro-app/latest/tool-reference/3d-analyst/how-kriging-works.htm> (дата звернення: 13.04.2023).
14. How Spatial Autocorrelation (Global Moran's I) works. *Esri (Environmental Systems Research Institute)*: веб-сайт. URL: <https://pro.arcgis.com/en/pro-app/latest/tool-reference/spatial-statistics/h-how-spatial-autocorrelation-moran-s-i-spatial-st.htm> (дата звернення: 13.04.2023).
15. Jekl, J., & Jánký, J. (2022). Security Challenges and Economic-Geographical Metrics for Analyzing Safety to Achieve Sustainable Protection. *Sustainability*, 14, 15161. <https://doi.org/10.3390/su142215161>
16. Liang, Y., Xie, Zh., Chen, S., Xu, Y., Xin, Z., Yang, S., Jian, H., & Wang, Q. (2023). Spatial Accessibility of Urban Emergency Shelters Based on Ga2SFCA and Its Improved Method: A Case Study of Kunming, China. *Journal of Urban Planning and Development*, 149 (2). <https://doi.org/10.1061/JUPDDM.UPENG-4325>
17. Rizqihandari, N., & Indratmoko, S. (2017). Using Open Street Map Data for Population Distribution Model. *Advances in Social Science, Education and Humanities Research*, 79. <https://doi.org/10.2991/icge-16.2017.48>
18. Shi, Y., Zhai, G., Xu, L., Zhu, Q., & Deng, J. (2019). Planning Emergency Shelters for Urban Disasters: A Multi-Level Location-Allocation Modeling Approach. *Sustainability*, 11(16), 1-19. <https://doi.org/10.3390/su11164285>
19. Su, H., Chen, W., & Wang, Z. (2020). Evaluating the Crowdedness of Urban Emergency Shelters Based on the Improved Gravity Model. *IOP Conf. Ser. Earth Environ. Sci*, 502, 012046. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/502/1/012046>.
20. Tang, S., Wang, J., Xu, Y., Chen, S., Zhang, J., Zhao, W., & Wang, G (2023). Evaluation of Emergency Shelter Service Functions and Optimisation Suggestions – Case Study in the Songyuan City Central Area. *Sustainability*, 15(9), 7283. <https://doi.org/10.3390/su15097283>
21. Transform Field (Data Management) *Esri (Environmental Systems Research Institute)*: веб-сайт. URL: <https://pro.arcgis.com/en/pro-app/latest/tool-reference/data-management/transform-field.htm> (дата звернення: 13.04.2023).
22. Unal M., & Uslu C. (2016). GIS-Based accessibility analysis of urban emergency shelters: The case of Adana city. *ISPRS – International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, XLII-2/W1*: 95-101. <https://doi.org/10.5194/isprs-archives-xlii-2-w1-95-2016>
23. What is areal interpolation? *Esri (Environmental Systems Research Institute)*: веб-сайт. URL: <https://desktop.arcgis.com/en/arcmap/10.7/extensions/geostatistical-analyst/what-is-areal-interpolation.htm> (дата звернення: 13.04.2023).
24. Zhu, W., Xing, H., & Kang, W. (2023). Spatial Layout Planning of Urban Emergency Shelter Based on Sustainable Disaster Reduction. *Int. J. Environ. Res. Public Health*, 20, 2127. <https://doi.org/10.3390/ijerph20032127>

Kateryna Sehida

DSc (Geography), Professor of the Department of Human Geography and Regional Studies,
V.N. Karazin Kharkiv National University, Svobody Sq., 4, Kharkiv, 61022, Ukraine,
e-mail: kateryna.sehida@karazin.ua, <https://orcid.org/0000-0002-1122-8460>

Serhii Chekhov

PhD Student of the Department of Human Geography and Regional Studies,
V.N. Karazin Kharkiv National University, Svobody Sq., 4, Kharkiv, 61022, Ukraine,
e-mail: serhii.chekhov@student.karazin.ua, <https://orcid.org/0009-0003-4940-3214>

SPATIAL ANALYSIS OF PROVISION THE POPULATION OF KHARKIV WITH CIVIL DEFENSE FACILITIES

The article analyzed the territorial aspect of the distribution and capacity characteristics of civil defense structures in the city of Kharkiv, comparing it with the population size. In the first stage, population density was calculated for specific areas within the maximum permissible radius of the nearest available shelter. The spatial characteristics of the location (level of clustering) and capacity of the defense structures were examined for these same areas. Finally, the population size was correlated with the capacity of the civil defense structures, and spatial clustering of the identified areas was conducted based on this attribute.

The geostatistical method of spatial interpolation was used to determine population density in specific areas and fill gaps in the primary data. The application of this method required the following sequential procedures: transforming the primary data according to a normal distribution, constructing a semivariogram model of the transformed variables, aggregating the model into a surface, and defining target polygons. During the calculation of the territorial provision of various types of shelters in the city of Kharkiv, the following sources were utilized: a layer of point objects from the interactive map of open data on the Kharkiv Geoportal (to determine the locations and types of protective structures), and information from the website of the non-commercial enterprise «Emergency Medical Care and Disaster Medicine Center» of the Kharkiv Regional Council (to update information on the capacity of storage facilities and anti-radiation shelters). The Global Moran's Index and Local Moran's Index are statistical methods used to assess spatial autocorrelation, which is the degree of clustering or spatial pattern in a variable across a defined area. In this case, they were employed to evaluate the spatial autocorrelation of the capacity of civil defense structures in specific parcels in Kharkiv. The Global Moran's Index indicated a high level of clustering of areas based on this attribute. Using the Local Moran's Index, parcels were classified into five object classes: High-High cluster (HH), Low-Low cluster (LL), a high-value outlier surrounded by low-values (HL), a low-value outlier surrounded by high-values (LH), and areas without cluster or outliers (non-significant).

The scientific novelty of the article, compared to related studies on a similar topic, lies in the utilization and transformation of a hexagonal grid of population density distribution in the city of Kharkiv, in accordance with the research requirements. In the conclusions, based on the results of cluster analysis and through the adaptation of the tectological principle of the weakest link to the realities of the present, a comprehensive sequential strategy for addressing the shortcomings of territorial provision of civil defense structures in ensuring the population of Kharkiv was proposed.

Keywords: *civil defense structures, cluster analysis, semivariogram, spatial autocorrelation, spatial interpolation, population density.*

References:

1. Будинки і споруди. Зажисні споруди цивільної оборони: ДБН В 2.2.5-97 [Buildings and Structures. Civil Defense Protective Structures: DBN V 2.2.5-97]. [Chynnyi vid 1998-01-01]. Kyiv, 1998. 22 s. (Informatsiia ta dokumentatsiia) [in Ukrainian].
2. Kodeks tsyvilnoho zakhystu Ukrainy: Zakon Ukrainy vid 2 zhovtnia 2012 roku № 5403-VI [Civil Protection Code of Ukraine: Law of Ukraine dated October 2, 2012, No. 5403-VI]. Retrieved from <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/5403-17> [in Ukrainian].
3. Marchenko, O.M., & Tomanevych, L.M. Teoriia orhanizatsii: navch. posib [Theory of Organization: a textbook]. Lviv: LvDUVS, 2015. 359 s [in Ukrainian].
4. Nabir danykh pro shchilnist naseleння [Dataset on population density]. *Kontur*. Retrieved from <https://www.kontur.io/portfolio/population-dataset> [in English].
5. Skilky Kharkiv platyt za bezpechni zupynky [How much does Kharkiv pay for safe bus stops]. *Kharkiv Today – informatsiino-analitychnyi portal Kharkova*. Retrieved from <https://2day.kh.ua/ua/kharkow/skilky-kharkiv-platyt-za-bezpechni-zupynky> [in Ukrainian].
6. Spysok bomboskhovyshch u Kharkivskii oblasti [List of bomb shelters in Kharkiv region]. *Komunalne nekomertsiiine pidpriemstvo Kharkivskoi oblasnoi rady «Tsentri ekstremoi medychnoi dopomohy ta medytyny katastrof»*. Retrieved from <https://emd.kh.ua> [in Ukrainian].
7. Ukryttia dlia naseleння [Shelters for the population]. *Heoportali Kharkova: heoprostorovi dani infrastruktury mista*. Retrieved from <https://smart.citynet.kharkov.ua/opendataportal> [in Ukrainian].
8. Ding, Z., Dong, H., Li, Y., Yao, X., & Zhang, H. (2022). Study on the Emergency Shelter Spatial Accessibility Based on Simulation of Evacuation Process. *Proceedings of the 2022 3rd International Conference on Modern Education and Information Management (ICMEIM 2022)*, 10-20. https://doi.org/10.2991/978-94-6463-044-2_3
9. Ding, Z., Dong, H., Yang, L., Xue, N., He, L., & Yao, X. (2022). Study on the Emergency Shelter Spatial Accessibility Based on the Adaptive Catchment Size 2SFCA Method. *ISPRS Int. J. Geo-Inf*, 11, 593. <https://doi.org/10.3390/ijgi11120593>
10. Dou, K., & Zhan, Q. (2011). Accessibility analysis of urban emergency shelters: Comparing gravity model and space syntax. *International Conference on Remote Sensing, Environment and Transportation Engineering, Nanjing, China*, 5681-5684. <https://doi.org/10.1109/RSETE.2011.5965642>
11. Dou, K., Zhan, Q., & Shiguo L. (2012). GIS-based responsibility area subdivision for metropolitan emergency shelters – Case study of Wuchang district, Wuhan city. *The 6th International Association for China Planning (IACP) Conference, Wuhan, China*, pp. 1-4. <https://doi.org/10.1109/IACP.2012.6342983>

12. How Cluster and Outlier Analysis (Anselin Local Moran's I) works. *Esri (Environmental Systems Research Institute)*. Retrieved from <https://desktop.arcgis.com/en/arcmap/latest/tools/spatial-statistics-toolbox/h-how-cluster-and-outlier-analysis-anselin-local-m.htm>.
13. How Kriging works. *Esri (Environmental Systems Research Institute)*. Retrieved from <https://pro.arcgis.com/en/pro-app/latest/tool-reference/3d-analyst/how-kriging-works.htm>
14. How Spatial Autocorrelation (Global Moran's I) works. *Esri (Environmental Systems Research Institute)*. Retrieved from <https://pro.arcgis.com/en/pro-app/latest/tool-reference/spatial-statistics/h-how-spatial-autocorrelation-moran-s-i-spatial-st.htm>.
15. Jekl, J., & Janský, J. (2022). Security Challenges and Economic-Geographical Metrics for Analyzing Safety to Achieve Sustainable Protection. *Sustainability*, 14, 15161. <https://doi.org/10.3390/su142215161>
16. Liang, Y., Xie, Zh., Chen, S., Xu, Y., Xin, Z., Yang, S., Jian, H., & Wang, Q. (2023). Spatial Accessibility of Urban Emergency Shelters Based on Ga2SFCA and Its Improved Method: A Case Study of Kunming, China. *Journal of Urban Planning and Development*, 149 (2). <https://doi.org/10.1061/JUPDDM.UPENG-4325>
17. Rizqihandari, N., & Indratmoko, S. (2017). Using Open Street Map Data for Population Distribution Model. *Advances in Social Science, Education and Humanities Research*, 79. <https://doi.org/10.2991/icge-16.2017.48>
18. Shi, Y., Zhai, G., Xu, L., Zhu, Q., & Deng, J. (2019). Planning Emergency Shelters for Urban Disasters: A Multi-Level Location-Allocation Modeling Approach. *Sustainability*, 11(16), 1-19. <https://doi.org/10.3390/su11164285>
19. Su, H., Chen, W., & Wang, Z. (2020). Evaluating the Crowdedness of Urban Emergency Shelters Based on the Improved Gravity Model. *IOP Conf. Ser. Earth Environ. Sci.*, 502, 012046. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/502/1/012046>.
20. Tang, S., Wang, J., Xu, Y., Chen, S., Zhang, J., Zhao, W., & Wang, G (2023). Evaluation of Emergency Shelter Service Functions and Optimisation Suggestions – Case Study in the Songyuan City Central Area. *Sustainability*, 15(9), 7283. <https://doi.org/10.3390/su15097283>
21. Transform Field (Data Management) *Esri (Environmental Systems Research Institute)*. Retrieved from <https://pro.arcgis.com/en/pro-app/latest/tool-reference/data-management/transform-field.htm>.
22. Unal M., & Uslu C. (2016). GIS-Based accessibility analysis of urban emergency shelters: The case of Adana city. *ISPRS – International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, XLII-2/W1: 95-101. <https://doi.org/10.5194/isprs-archives-xxii-2-w1-95-2016>
23. What is areal interpolation? *Esri (Environmental Systems Research Institute)*. Retrieved from <https://desktop.arcgis.com/en/arcmap/10.7/extensions/geostatistical-analyst/what-is-areal-interpolation.htm>.
24. Zhu, W., Xing, H., & Kang, W. (2023). Spatial Layout Planning of Urban Emergency Shelter Based on Sustainable Disaster Reduction. *Int. J. Environ. Res. Public Health*, 20, 2127. <https://doi.org/10.3390/ijerph20032127>

Received 15 April 2023

Accepted 18 May 2023

Денис Серьогін

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

Сергій Костріков

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

**ПРОСТОРОВА ОЦІНКА ЕНЕРГОСПОЖИВАННЯ ЗАБУДОВ НА ПІДСТАВІ
ТРИВИМІРНОГО МОДЕЛЮВАННЯ МІСЬКОГО СЕРЕДОВИЩА**

У статті подається підхід до застосування просторової оцінки енергоспоживання (ЕС) міських забудов та урбогеосистемного аналізу отриманих результатів. Оцінка ЕС будівель передбачає встановлення кореляційної залежності між їх енерговитратами та відповідними геометричними характеристиками, зокрема висотою та об'ємом забудови. Для автоматизованого виокремлення з високою точністю цих характеристик будівель авторами пропонується використання даних дистанційного лазерного сканування (лідарних даних). Наведено оригінальний підхід до обробки та аналізу лідарних даних інструментами авторського веб-ГІС додатку з метою виокремлення та моделювання будівель. Побудовані моделі будівель зберігають у якості атрибутів їх точні геометричні характеристики та узагальнені архітектурні властивості. Подається методика розрахунку ЕС будівель, в якій використовується їх геометрична інформація, та інформація щодо їх віку й типу, які також є кореляційно залежними з енерговитратами будівель.

За отриманою з лідарних даних геометрією будівель визначається показник їх корисної площі (призначеної для опалення). Для оцінки ЕС приймаються дані щодо енергоспоживання будівель з реальних показників лічильників, які екстраполюються на розрахований показник корисної площі будівель. Побудовано семантичну таблицю, яка корелює розрахований показник ЕС будівлі, в залежності від її віку й типу, та визначає остаточний клас енергоефективності будівлі. За наведеними методиками побудовано та візуалізовано тривимірні моделі забудов для міст Амстердам та Ейндховен, із застосованою кольоровою гамою до будівель, що відображає класи їх енергоефективності. Розкрито сутність урбогеосистемного аналізу міського середовища у контексті дослідження міського ЕС. На підставі отриманої візуалізації просторового розподілу міського ЕС виокремлено певні закономірності такого розподілу між окремими міськими забудовами та визначено фактори, що впливають на рівень даного показника.

Ключові слова: оцінка енергоспоживання будівель, урбогеосистема, лідарні дані, просторовий аналіз, тривимірне моделювання будівель, ГІС.

Як цитувати: Серьогін, Д., Костріков, С. (2023). Просторова оцінка енергоспоживання забудов на підставі тривимірного моделювання міського середовища. *Часопис соціально-економічної географії*, 34, 27-41. <https://doi.org/10.26565/2076-1333-2023-34-03>

In cites: Serohin, D., Kostrikov, S. (2023). Spatial assessment of buildings energy consumption based on three-dimensional modeling of the urban environment. *Human Geography Journal*, 34, 27-41 [in Ukrainian]. <https://doi.org/10.26565/2076-1333-2023-34-03>

Постановка проблеми. Разом зі стрімкою урбанізацією та зростанням чисельності міського населення у сучасних містах зростає енергоспоживання (ЕС) будівель, що призводить до збільшення викидів парникових газів та негативно впливає на навколишнє середовище. Причому серед будівель, як правило, найбільш масштабними споживачами енергії є житлові забудови. Наприклад, лише в Німеччині згідно з деякими джерелами це значення досягає 20%, і з них до 75% загального обсягу енергоспоживання витрачається на опалення житла [8]. Ця проблема може бути частково вирішена шляхом реконструкції окремих будівель з метою підвищення їхньої енергоефективності, а також розміщення місцевих альтернативних джерел енергії, наприклад сонячних генераторів. Однак, для цього потрібне чітке відстеження рівня ЕС тієї чи іншої будівлі протягом року, та розуміння

того, які саме будівлі та міські райони потребують вжиття вказаних реабілітаційних заходів.

Відстеження просторового розподілу рівня ЕС по урбанізованих територіях у середовищі геоінформаційної системи (ГІС) може суттєво сприяти вирішенню даного питання, а саме: полегшити виявлення міських районів та окремих типів забудови з надмірним рівнем ЕС, відстежити фактори, що впливають на зростання ЕС у тій чи іншій ділянці, розробити рішення щодо оптимізації поточної ситуації з надмірним ЕС, а також запобігти подібним проблемам при майбутньому міському плануванні. Однак, для картографування рівня ЕС на ГІС-платформі необхідна певна методика автоматизованого розрахунку (оцінки) цього показника і приведення його у якості атрибутивної характеристики до просторової одиниці

міста, що картографується, наприклад – до окремої будівлі.

У якості такої методики, може бути розглянутий 3D-просторовий підхід до оцінки енергоспоживання будівель, який передбачає наявність високої кореляції цього показника з об'ємом будівель та деяку його залежність від додаткових семантичних характеристик будівель – віку та типу будівлі. В одній із статей нами вже задіявся аналогічний підхід для оцінки чисельності населення в житлових забудовах, який передбачав пропорційний розподіл переписного населення за будинками залежно від їхнього об'єму [18]. Інформація про об'єм будівель була вилучена з даних лідарної зйомки (*LiDAR, Light Detection and Ranging* – англ.), яка можливо є найефективнішим джерелом геометричних даних про міську забудову, оскільки підлягає автоматизованому 3D-моделюванню міського середовища в спеціальних ГІС-додатках, а також фіксує високоточні геометричні характеристики будівель, у тому числі і об'єм. З урахуванням вищесказаного, доцільним буде адаптувати існуючі напрацювання з аналізу та обробки лідарних даних для просторової оцінки енергоспоживання будівель у даній статті.

Крім того, у низці наших попередніх публікацій застосування (імплементация) лідарних даних у міських дослідженнях нами виконувалося через впровадження урбогеосистемного підходу [1, 3, 17]. У даному підході міста розуміються як урбогеосистеми, які моделюють у ГІС урбанізовані території у вигляді сукупності точкових, лінійних та полігональних ГІС-примітивів у двовимірному просторі та псевдовекторних 3D-примітивів у тривимірному просторі. При цьому, така дискретна (квазівекторна) модель протиставляється континуальній (квазірастровій) моделі урбаністичного середовища, як формалізованої моделі реально існуючого міського середовища. Зазначений підхід до моделювання міста дозволяє виконувати його урбогеосистемний аналіз у ГІС-середовищі, що полягає в визначенні певних властивостей міста і його окремих компонентів, які можуть бути виокремлені лише через його ГІС-моделювання та аналіз. В якості окремого структурного інваріанту урбогеосистеми нами також визначалася категорія урбаністичної геоситуації, яка характеризує окремі, локалізовані, урбогеосистемні властивості та підкреслює їх динамічний характер й залежність від впливу навколишнього міського довкілля [3].

Повертаючись до дослідження просторового розподілу рівня ЕС у міському середовищі, зазначимо, що саме впровадження урбогеосистемного підходу може стати ефективним шляхом для відстеження проблем надмірного ЕС забудов, та пошуку рішень щодо оптимізації поточної ситуації. Таким чином, з урахуванням вищезазначеного, **метою** даної статті є впровадження урбогеосистемного підходу у його окремі предметні площини просторового аналізу й оцінки енергоспоживання забудов на підставі ГІС-моделювання та аналізу результатів обробки даних лідарної зйомки.

Аналіз попередніх досліджень. Використання геометричних характеристик будівель як орієнтовно-

го показника їхнього потенційного енергоспоживання розглядалося раніше в багатьох дослідженнях. У ряді публікацій наголошується на використанні *CityGML* стандартів для отримання топологічно цілісних моделей будівель [11, 14]. Залежно від рівня деталізації, такі моделі можуть містити інформацію про площу, висоту, об'єм, не тільки цілих будівель, а й окремих кімнат будівель, що суттєво уточнює потенційні розрахунки енергоспоживання. У розрахунках ЕС будівель можуть використовуватися досить складні моделі, що передбачають, як, наприклад, втрати тепла як через зовнішню оболонку будівлі [25, 27], так і такі, які навіть враховують загальний енергетичний баланс будівлі [14]. У підходах, що описуються, важливим аспектом було визначення сегментів моделі будівлі, що є відповідно внутрішніми / зовнішніми стінами, дахом і підлогою. З урахуванням цих параметрів генерувалися структуровані моделі, для яких застосовувалися дві моделі розрахунку ЕС: модель 1 – розрахунок ЕС на опалення, враховуючи лише втрати через зовнішню оболонку оточення будівлі та розрахунок, який враховує вже повний енергетичний баланс будівлі, у тому числі втрати при транспортуванні енергії для опалення, втрати у вентиляційній мережі, а також пряме нагрівання будівлі від сонця [27]. Порівняння розрахунків із реальними показниками лічильників показав цілком чітку кореляцію, де модель 2 виявилася помилковою лише меншою ніж 10%.

У низці публікацій також досліджувалась залежність рівня енергоспоживання будівлі від її віку [9, 27]. Наприклад, вказується, що оскільки в Німеччині переважна частина житлових забудов старше 30 років, то значна частина енергії, яка йде на опалення, може бути зекономлена, оскільки існує чітка закономірність – чим старша будівля, тим більше енергії витрачається на її опалення за інших рівних умов. Так, в одній із публікацій наводиться таблиця порівняння енергоспоживання в kWh/m^2a – значення варіюють від 250-280 одиниць для будинків, збудованих наприкінці 19 століття, до 70-90 одиниць для будинків, збудованих після 1995 року.

В іншому дослідженні, крім віку будівлі, також розглядалися й інші індикатори визначення рівня ЕС у будинках [19]. Зокрема, одним із найважливіших індикаторів виділено тип будівлі – як раніше вже зазначалося, житлові будинки в середньому демонструють більший рівень ЕС, порівняно з іншими типами забудови, але навіть у межах житлового типу виділяється низка підтипів із власним середнім рівнем ЕС, який виділяє їх від інших підтипів. Так, в одному дослідженні, на підставі реальних показників лічильників, сформовано таблицю середнього ЕС для різних типів будівель: одиночні будинки, стрічкова забудова, невеликі будинки на кілька сімей, великі будинки на кілька сімей [7, 20]. Кожен із перелічених підтипів забудови показав стійкий середній показник ЕС, який надалі можна екстраполувати на інші території зі схожою забудовою.

У ще одному дослідженні, для оцінки ЕС будівель бралися до уваги також геометричні та морфологічні характеристики самого міського середовища,

в якому знаходилися будинки. Зокрема, бралися до уваги показник затінення міського середовища, ефективність міської системи ЕС для опалення та поведінка людей, які мешкають у досліджуваних районах. Значним чином, на думку авторів, на розподіл ЕС також впливає співвідношення загальної поверхні забудов до їх загального об'єму, визначене за *DEM/DSM*. Загальна закономірність полягає в тому, що чим менше відношення поверхні забудов до їх об'єму, тим менше втрати тепла при ЕС будівель та споруд [23].

Достатньо відомий підхід у просторовому моделюванні міського ЕС – моделювання, засноване на Агентах (*Agent Based Modeling* – англ.), яке використовується разом із 3D морфологічним аналізом для побудови т.зв. «Смарт-Гридів» розподілених енергетичних систем [6]. Кожна модель будівлі, яка виступає «агентом моделювання», окрім параметрів геометричної та просторової семантики (об'єм, форма, орієнтація тощо), інтегрує у собі також «агенти опалення». Останні містять інформацію про температуру всередині будівлі та споживаної енергії та зв'язуються безпосередньо з шаром ліній електропередач та теплотрас через *ArcGIS – Agent Analyst*. Тобто цей підхід дозволяє не просто змоделювати ЕС будівель, а й простежити зв'язність поточної обстановки з існуючою міською інфраструктурою енергопостачання.

Ще один цікавий підхід полягає у застосуванні фізичних моделей ЕС та втрат тепла будівель. В одному з досліджень, зокрема, йдеться про три методи побудови фізичних моделей: вузловий метод, де весь об'єм будівлі розглядається як однорідний простір; зональний метод, що розглядає будівлю як різномірний простір із різними зонами (поверхами, кімнатами), що мають власні характеристики фізичних моделей; *CFD*-метод (*Computational Fluid Dynamic* – англ.), що розбиває будівлі на безліч осередків – контрольних зон із власними параметрами фізичних моделей [10]. Таким чином, чим більше подрібнюється будівля на зони, тим більш детальним виходить аналіз ЕС, включаючи навіть локальні перепади температур у межах однієї кімнати. Тут також застосовуються *CityGML*-моделі, від *LOD1* для вузлового методу, до *LOD4* для *CFD*.

Наступний наведений нами приклад дослідження ЕС полягає в автоматичному розрахунку ЕС будівель за однозональними *CityGML* моделям на певну область інтересу, що є найближчим зразком до нашого власного підходу. Для побудови моделей будівель тут також використовувалися дані лідарної зйомки, а додаткові семантичні характеристики постачалися муніципалітетом та експортувалися з семантичних бібліотек [10, 20, 29]. У рамках такого прикладу в першу чергу збираються необхідні семантичні дані (функціональне призначення будівлі, будівництво тощо). Далі виконується морфологічний аналіз будівель в контексті міського доквілля, у якому вони знаходяться (морфологічні особливості окремої будівлі, топологічні особливості сукупності забудов - експозиція їх фасадів, ефект затінення і т.д.). Оцінка ЕП будівель в рамках цього спрощеного підходу здійснювалася розчином повного теплового балансу,

в якому негативна компонента передбачає визначення втрат на передачу тепла і втрати через вентиляційну систему, а позитивна – надходження тепла від джерел обігріву і від сонячної радіації.

У найпростішому випадку в рамках цього прикладу розглядалося до 17 тис. будівель і приймалося, що будівлі з моменту побудови не піддавалися капітальному ремонту для підвищення свого енергозбереження. Таким чином, головною особливістю даного підходу є врахування інформації про реконструкцію будівель з метою підвищення ефективності їхнього енергозбереження. За результатами моделювання було встановлено середню величину ЕС в $30 \text{ kWh/m}^2.\text{yr}$ для будівель, які у нещодавні роки було реконструйовано для підвищення енергоефективності. Також було змодельовано середнє значення $200 \text{ kWh/m}^2.\text{yr}$ для будівель, які не піддавалися такій реконструкції. Приклад інтерфейсу візуалізації наведеної методики був однією із складових, що бралися нами за основу при імplementації можливих рішень відповідного користувацького сценарію із застосуванням веб-інструментів геопорталу, у створенні якого автори приймали безпосередню участь:

Запропонований нами відповідний предметний підхід включає деякі напрацювання і спостереження, зазначені в наведених вище дослідженнях. Зокрема, для розрахунків беруться до уваги спостереження по залежності рівня енергоспоживання будівель від віку та типу будівель. Включивши ці характеристики в якості атрибутів моделей будівель, ми зможемо певним чином відкалібрувати рівень ЕС будівлі, розрахований спочатку від її об'єму. У якості моделей будівель нами приймаються розраховані за власною методикою моделі, що відповідають стандарту *CityGML (LOD1 і LOD2)*. Такі моделі хоч і є «однозональними», можуть бути розбиті на окремі блоки із застосуванням інформації про кількість поверхів у будівлі, отриманої із зовнішніх джерел. Таким чином, наша оцінка ЕС спирається на відомості про співвідношення віку та типу будівель з ЕС, отриманих в результаті реальних вимірювань лічильниками, а також на інформацію про об'єм будинків, що опалюється, виокремлену з даних лідарних зйомки й уточнену інформацією про кількість поверхів у будівлі.

Виклад основного матеріалу. Низькополігональне моделювання будівель для подальшого розрахунку енергоспоживання. Базовим шаром для виконання просторової оцінки енергоспоживання забудов є набір низькополігональних моделей будівель, виокремлених в результаті обробки та аналізу лідарних даних. Зазначені процедури нами виконуються за допомогою інструменту *Building Extraction Rural Area (BERA)* в авторській веб-ГІС *EOS LiDAR Tool* [16]. Функціональність даного інструменту полягає в складних алгоритмах сегментації мари точок шляхом виокремлення та кластеризації точок, які належать певній площині. Даний підхід до моделювання будівель зосереджено на узагальненні архітектурних властивостей будівель із збереженням їх ключових геометричних характеристик. Таке спрощене моделювання, у свою чергу, дозволяє за відносно короткі терміни обробляти великі масиви лідар-

них даних та генерувати в результаті значну кількість моделей, що суттєво полегшує оцінку енергоспоживання для територій великих високоурбанізованих міст [15].

Для моделювання набору будівель інструмент *BERA* приймає на вхід два типи даних: *LAS*-файли, які, власне, містять хмару точок, що описує тривимірний відбиток земної поверхні, відсканованої під час

лідарної зйомки; та *SHP*-файли, які містять футпринти будівель (векторні 2D-контури будівель), що входять до екстенду поданих *LAS*-файлів. Футпринти тут є допоміжними об'єктами, які дозволяють відфільтрувати і витягти з хмари точок лише ті її фрагменти, які відносяться до будівель. Далі саме за цими фрагментами виконуються процедури моделювання архітектури будівель, зокрема моделювання дахів.

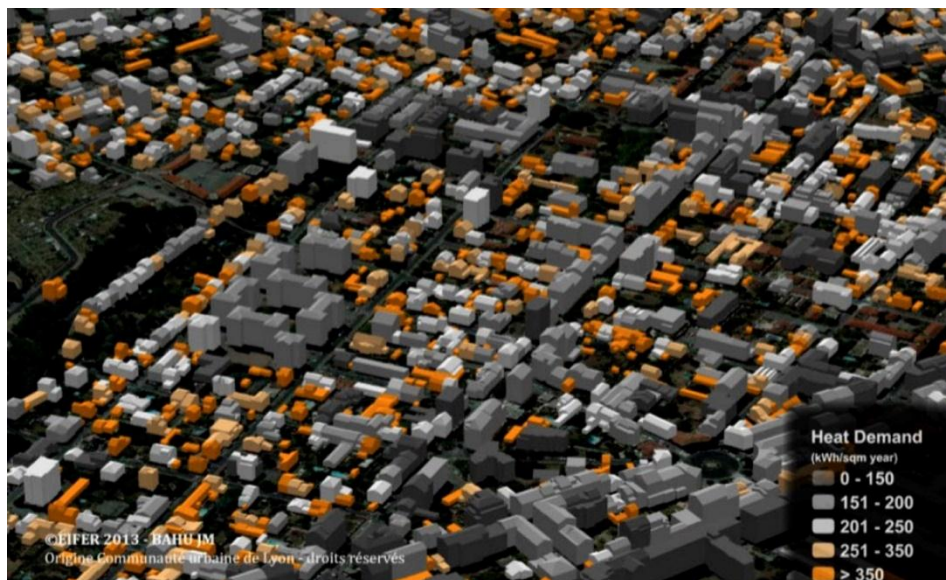


Рис. 1. Інтерфейс візуалізації результатів ЕС забудов на підставі однозонального моделювання за стандартами CityGML [6, с. 38]

Fig. 1. Interface for visualizing the results of buildings EC based on single-zone modeling according to CityGML standards [6, p. 38]

Загалом існує декілька підходів до низькополігонального моделювання будівель, кожен з яких налаштований або на геометричну точність виокремлених моделей, або на топологічну коректність форми будівель, або ж на швидкість обробки даних [12, 24, 29, 31]. Найбільш ж загально відомі підходи, що знаходяться також й в рамках модельних методів із [12, 24, 29, 31], можна розділити на *підходи, що ґрунтуються на моделях* (model-driven – *англ.*) й *підходи, що ґрунтуються на даних* (data-driven – *англ.*).

На підставі власних знань щодо даної предметної галузі, автори вважають що існує два категорійних підходи до реконструкції будівель та їх дахів - *геометричний*: побудова геометрії даху по точках з даної Хмари; або *топологічний*: визначення яка фігура з гіпотетичного каталогу примітивів (бібліотеки) краще за всіх наближає дану хмару точок. Зрозуміло, що в даному випадку мова йде про *Single Cloud* (*англ.*) – одна Хмара точок = одна модельна сутність.

В іншій статті [30] підкреслюється наявність різних алгоритмів, серед яких найвідомішими називаються алгоритми *RANSAC* (*RAN*dом *SAM*ple *CON*sensus – *англ.*) та сімейство алгоритмів Перетворення Хафа (Hough – *англ.*) (*SHT*, *RHT*), яке отримало подальший розвиток у декілька наступних років [21]. Безумовно, треба мати на увазі існування підходів, що поєднують в собі різні методи. Треба окремо підкреслити, що ані *RANSAC*, ані *SHT* не можуть бути застосовні до *city block scope* (моделювання у

масштабі усього міста) в силу низької швидкості, однак алгоритм *RHT* покликаний вирішити цю проблему. Особливістю цього алгоритму є те, що він є однопрохідним. Треба окремо зауважити, що автори статті [21] використовували *RANSAC* як метод для порівняльного аналізу результатів зі своїми інноваційними підходами (новий, ґрунтуючись лише на обмеженому наборі ключових (на їх думку) параметрів: максимумі кутової девіації між площинами двох граней даху, максимальний технічний допуск та ін. Для порівняльного аналізу двох методів (*RANSAC* та інноваційний *RHT*) ці автори використовували класифікацію неповних площин (*inaccurate planes* – *англ.*) за оригінальним методом: виділялися несегментовані площини, недостатньо сегментовані, надмірно сегментовані і помилкові площини. Певним недоліком зазначеної статті [21], на нашу думку, є занадто вже непряме посилання на перший досвід комбінованого використання алгоритмічних методів *RANSAC* і Трансформації Хафа для реконструкції будівель з *LiDAR PC* [28].

В якості узагальнення цього стислого оглядового вступу до викладення основного матеріалу нашої статті зробимо висновок про те, що в переважній більшості як теоретичних вишукувань, так і практичних прикладів якісь окремі «алгоритми реконструкції дахів» розроблялися лише в окремих випадках. Найчастіше дахи реконструювалися як окремий компонент в рамках лінії шляху виконання загального

алгоритму екстракції будівель.

При розробці інструменту *BERA* нами впроваджувалися оновлення й оптимізація деяких із вказаних підходів до моделювання будівель, один з яких буде частково описано далі.

Оскільки до моделювання приймаються фрагменти хмари точок, які вже обрізані по реальному контуру будівлі, процедури моделювання, що залишилися, зводяться лише до моделювання даху будівлі по поданому фрагменту хмари точок. Суть цього моделювання полягає у знаходженні у хмарі точок площин дахів, їх сегментації та об'єднанні у топологічно коректну форму даху. Певні складності в моделюванні полягають у тому, що вихідна хмара точок може мати низьку щільність точок, що ускладнює виявлення площин дахів, або ж у хмарі можуть міс-

титися точки, що не відносяться до будівлі (наприклад, дерева, що покривають футпринт будівлі), які перешкоджають коректному визначенню форми даху. Все це може призвести до помилкового моделювання форми будівлі і відповідно до помилкового визначення його об'єму та висоти, тому для регулювання таких проблем в алгоритм привносяться певні оптимізаційні рішення. Наш підхід ґрунтується на аналізі власних значень точок для визначення їх відношення до реальних площин даху та подальшої їх кластеризації та сегментації за виявленими площинами. Весь процес моделювання проходить через 5 умовних процедур: аналіз власних значень точок, кластеризація двовимірних точок, поділ площин даху на компланарні та планарні сегменти, визначення суміжності площин даху, реконструкція даху (рис. 2).

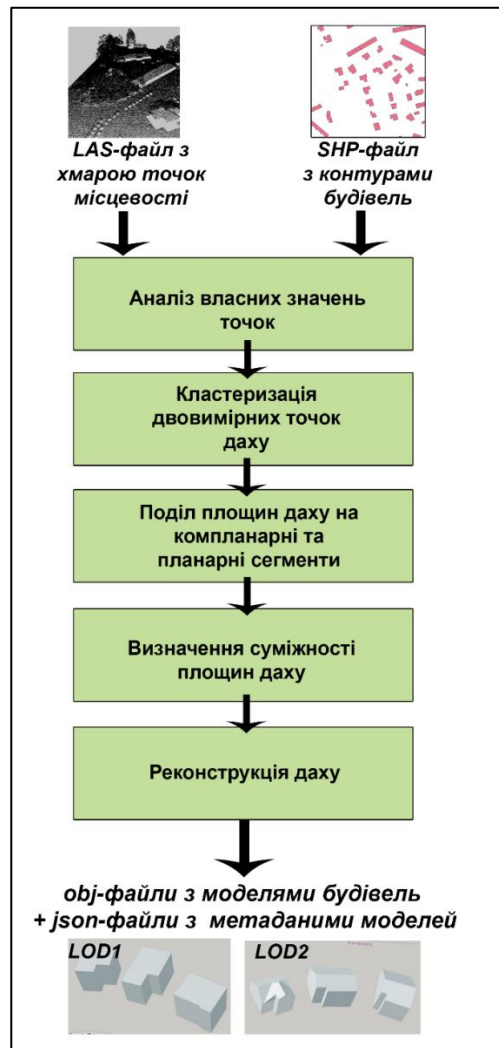


Рис. 2. Операційна послідовність низькополігонального моделювання будівель на підставі обробки лідарних даних

Fig. 2. Operational sequence of low-polygon modeling of buildings based on LiDAR data processing

Аналіз власних значень, передбачає побудову полігонів Вороного за всіма точками вказаного даху. Кожен такий полігон замикає область навколо кожної точки хмари таким чином, що кожна точка в межах цієї області ближче до цієї точки хмари, ніж будь-якої іншої точки хмари. Якщо точка з таким полігоном оточена точками з такими ж полігонами –

значить вона відноситься до площини даху, інакше ж ця точка відноситься до будь-яких неплосинних елементів хмари точок, наприклад, до ребрів між площинами даху, певних шумових точок або дерев [24]. У результаті всі точки поділяються на дві умовні групи: двовимірні точки (що належать до площин) і тривимірні (що не належать до площин).

Наступним етапом є кластеризація двовимірних точок, яка полягає в розбитті всіх отриманих раніше двовимірних точок на кластери, кожен з яких характеризує окрему площину даху. Для цього застосовується метод *k-means*, який враховує відстань усіх точок до центрів кластерів, а також їхню топологічну вагу (розмірність), розраховану раніше за допомогою полігонів Вороного. В результаті, залежно від густини точок, виділяється та чи інша кількість площин даху.

Далі виконується поділ отриманих площин на окремі компланарні та планарні сегменти за допомогою аналізу зв'язності. Для цього з отриманих тривимірних точок створюються лінійні об'єкти, які розмежують і замикають площини даху. В результаті генеруються паралельні та компланарні сегменти, які є конструктивними елементами будівлі, що моделюється.

Для подальшого з'єднання отриманих площин у топологічно коректну форму даху виконується процедура визначення суміжності площин. Даний етап полягає у визначенні суміжних точок з двох сусідніх площин, за якими ці площини будуть з'єднуватися. Для цього за наявними точками знову будуються

полігони Вороного, за якими у якості суміжних точок беруться тільки ті точки, полігони яких матимуть спільні ребра. Таким чином, якщо ж точки не мають спільних ребер – це означає, що їх сегменти не приликають один до одного. Ця процедура дозволяє успішно обробляти різні проблемні фрагменти хмари точок, наприклад, з низькою щільністю, або з різними перешкодами, або прогалинами.

Кінцевим етапом є безпосередньо реконструкція даху зі сформованих раніше сегментів та визначеної суміжності між ними. Зовнішні стіни моделі будівлі визначаються його футпринтом, витягуються до передбачуваної висоти будівлі, витягнutoї з відповідного фрагмента хмари точок, і замикаються з даховими площинами, формуючи кінцеву *LOD2* модель будівлі. На випадок, якщо алгоритму не вдалося успішно обробити фрагмент хмари точок і витягти з нього топологічно коректний багатосхилий дах, кінцева модель генерується з призматичним дахом, витягуючи футпринт будівлі по висоті фрагмента хмари точок, і генеруючи тим самим *LOD1* модель.

В результаті генерується набір моделей реальних будівель, точкові хмари яких були відскановані за допомогою лідарної зйомки (рис. 3).

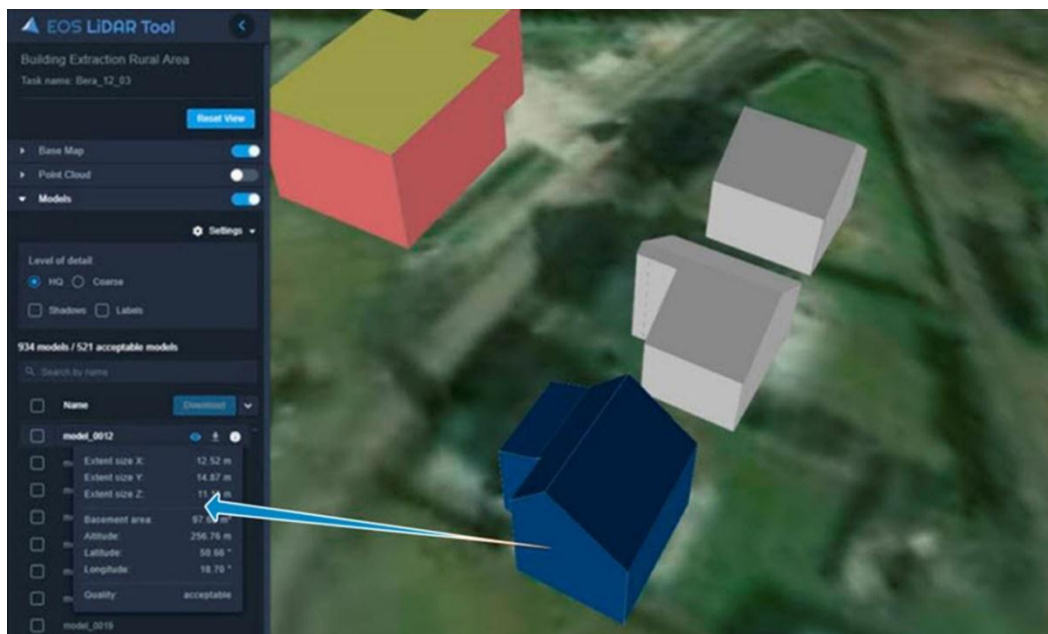


Рис. 3. Низько-полігональні моделі забудови передмістя, візуалізовані у середовищі веб-ГІС EOS LiDAR Tool геопортал. Модель будівлі з плоским дахом – неуспішна. По обраній будівлі (темно-синя) візуалізуються її просторові й геометричні атрибути

Fig. 3. Low polygon models of suburban buildings visualized in the EOS LiDAR Tool geoportals web-GIS environment. The model of a flat-roofed house is unsuccessful. The selected house (dark blue) visualizes its spatial and geometric attributes

Залежно від складності архітектури будівлі, а також від успішності виконання алгоритму моделювання моделі можуть мати різний рівень деталізації (*LOD1* або *LOD2*) або бути згенерованою у вигляді неуспішної модельної сутності, яка взагалі-то відповідатиме тому саме *LOD1* (рис. 3). При цьому переважання моделей *LOD1* далеко не завжди буде вказувати на невдало виконане моделювання – часто через специфіку міської забудови самі будівлі мо-

жуть дійсно мати призматичну форму даху, а значить і моделі матимуть примітивну форму, що відповідає *LOD1*.

До побудованих моделей у форматі *obj* додається *json*-файл, який містить різні метадані про моделі, включаючи координати, площу, висоту та об'єм, які надалі використовуються для розрахунку ЕС будівлі

Узагальнення змісту алгоритму, який знаходиться в основі *BERA*-функціональності, можна зро-

бити наступним чином. Кожна імплементація цього алгоритму вилучення моделей складатиметься з наступних етапів:

1. *Передпроцесінг – підготовка даних.* Сюди входить попереднє очищення вихідної хмари точок від рослинності та інших «шумів» і поділ її на безліч хмар, що містять по одній будівлі кожна.

2. *Сегментація хмари точок* - поділ точок будівлі на *планарні* кластери точок. Сюди входить вибір точок, побудова площин, поділ *копланарних* ділянок.

3. *Створення підсумкової низько-полігональної моделі.* Сюди входить побудова матриць суміжності, визначення опорних точок і ребер, додавання стін, експорт в загальноприйнятій формат для подальшого просторового аналізу.

3D-просторовий підхід до диференційованої оцінки енергоспоживання міськими забудовами.

Розрахунок енергоспоживання будівель може бути виконаний у настільному ГІС-середовищі, наприклад, *QGIS*, із завантаженням у нього всіх геометричних характеристик будівель, отриманих в результаті тривимірного моделювання даних лідарної зйомки, та семантичних характеристик, завантажених у шар будівель із сторонніх джерел. Таким чином, базовим просторовим шаром, необхідним для розрахунку енергоспоживання будівель, є, власне, квазі-векторний шар будівель (3D об'єкти не є векторними у звичайному розумінні цього терміну). Це може бути або набір футпринтів будівель, що використовуються насамперед для їхнього тривимірного моделювання, або набір центроїдів цих будівель. Розрахунок оцінки ЕС, за умови наявності всіх вищезазначених даних, може бути виконаний через 5 послідовних етапів (рис. 4).

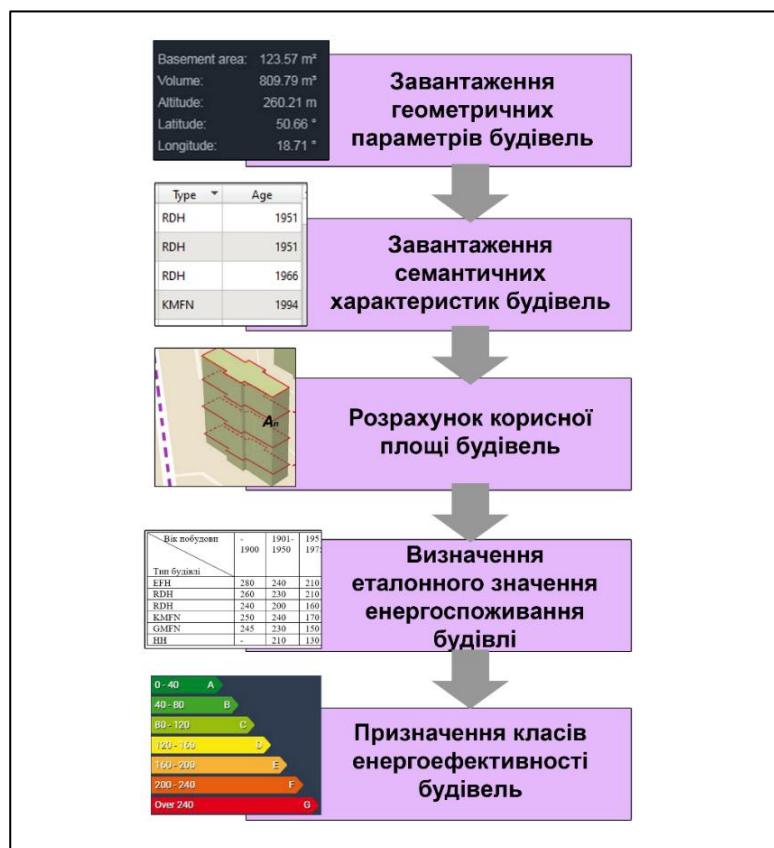


Рис. 4. Послідовність процедур для виконання оцінки ЕС будівель на підставі їх геометричної та семантичної інформації

Fig. 4. A sequence of procedures for performing assessment buildings EC based on their geometric and semantic information

Завантаження геометричних параметрів будівель. Дані про висоту, площу та об'єм будівель, отримані в результаті обробки лідарних даних, були занесені в *json*-файли, що додаються до кожної моделі. У цих текстових файлах дані зберігаються у форматі ключ-значення (наприклад, “*volume*”: 200), список яких може бути винесений з усіх *json*-файлів до єдиного *csv*-файлу за допомогою елементарного *python*-скрипту. Так як у *json*-файлах, серед іншого, містяться XY-координати кожної моделі, ми можемо згодом перетворити *csv*-файл у *QGIS*, зробивши його

шаром центроїдів будівель з прив'язаною до них геометричною інформацією (рис. 5).

У *QGIS* дана процедура виконується за допомогою інструменту *Add delimited text layer* – він екстрагує з *csv*-файлу поля з координатами і на їх основі генерує шар центроїдів з атрибутами, що витягнуті з інших колонок *csv*-файлу [2]. Далі, при необхідності, записи з центроїдів можуть бути перенесені у шар футпринтів будівель за допомогою інструменту *Add point attributes to polygons*.

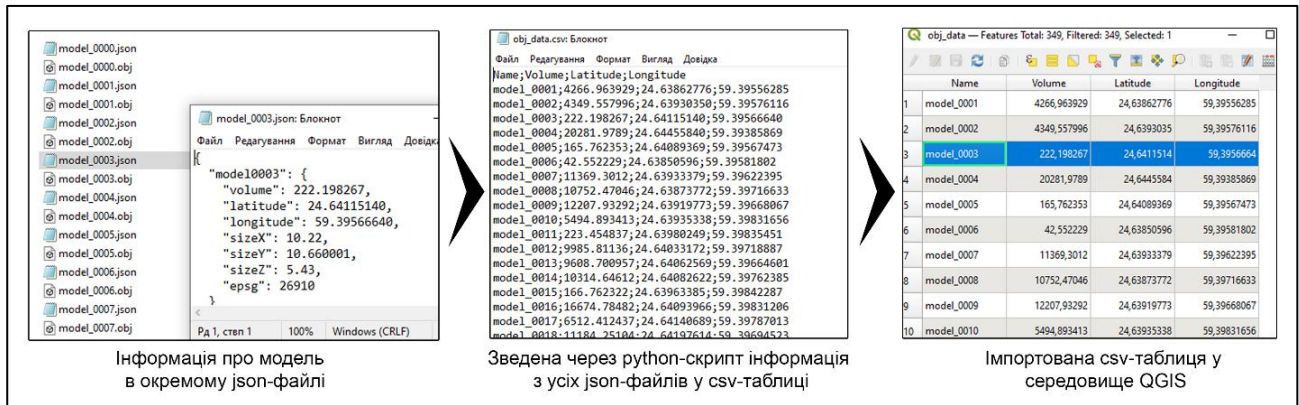


Рис. 5. Перетворення даних з json-файлу в атрибутивну таблицю у середовищі QGIS
Fig. 5. Converting data from a json-file to an attribute table in QGIS

Завантаження семантичних характеристик. Окрім інформації про об'єм будівель для оцінки енергоспоживання ми використовуємо також інформацію про вік будівель та їх тип. Ці характеристики також впливають на рівень енергоспоживання тієї чи іншої будівлі, що було підтверджено у низці досліджень, розглянутих раніше у оглядовій частині статті. Так, середньорічне ЕС за класом житлової забудови за інших рівних факторів може бути на 15-30 % вище, ніж за класом комерційних (нежитлових) будівель [8, 13, 20, 26]. Що ж до віку будівлі, то тут зовсім простежується чітка і цілком зрозуміла закономірність підвищення середньорічного ЕС будівлі разом із підвищенням віку будівлі [8, 14].

Дані про тип будівель можуть бути завантажені з *OpenStreetMap*, а потім адаптовані під типологічну класифікацію будівель, яка застосовується до будівель у тих німецьких вимірах енергоспоживання, на які спираються наші розрахунки енергоспоживання [7]. Усього, згідно з такою класифікацією, ми можемо виділити 5 класів житлової забудови: *EFH* – приватний будинок на одну сім'ю, *RDH* – ряд об'єднаних малоповерхових будинків (стрічкова забудова), *KMFN* – невеликий багатоквартирний будинок (від 2 до 6 квартир); *GMFN* – великий багатоквартирний будинок (до кількох сотень квартир); *HN* – багатоповерховий багатоквартирний будинок, (більше сотні квартир); і окремий клас комерційної забудови *RDH*.

Дані про вік будівель можуть бути завантажені з різних відкритих комерційних чи державних, муніципальних баз даних та геопорталів. Наприклад, дані про вік будівель у Нідерландах можуть бути отримані з веб-ресурсу *3DBAG* [4].

Тип та вік будівлі заносяться до атрибутивної таблиці шару будівель у якості окремих атрибутів. Далі вони використовуватимуться у розрахунках ЕС як параметри, які коригуватимуть розрахований на основі об'єму будівлі очікуваний рівень ЕС.

Додатково до таблиці атрибутів може бути завантажена інформація про кількість поверхів у будівлі, якщо вона доступна для даної локації в *OpenStreetMap*, або в будь-якому іншому джерелі даних. В іншому випадку очікувана кількість поверхів у будинках може бути обчислена з об'єму та висоти будівлі.

Розрахунок корисної площі будівлі. Ключовим параметром для оцінки ЕС за тривимірними моделями будівель є корисна площа будівлі (призначена для опалення площа). Цей показник використовується в стандартах економії ЕС *EnergieEinspar Verordnung, EnEV*, і бере участь безпосередньо в розрахунку ЕС будівель в kWh/m²a (кіловат-годин спожитої енергії на одиницю корисної площі на рік). Показник корисної площі для окремої будівлі може бути розрахований за такою формулою (з позначень *EnEV* [7]):

$$A_N = V_e \left(\frac{1}{h_G} - 0.04m^{-1} \right)$$

де, A_N – це корисна площа будівлі, V_e – загальний об'єм будівлі, отриманий на основі лідарних даних, h_G – середня висота поверхів у даній будівлі, отримана шляхом поділу висоти будівлі на кількість поверхів у ньому, m – одиниця метри. Значення 0.04 – еталонний коефіцієнт теплоопору огорожувальних конструкцій будівлі (*R-value*). Середня висота поверхів у будівлі для даної формули розраховується наступним чином:

$$h_G = \frac{h_B}{n}$$

де, h_G – середня висота поверху в будівлі, h_B – висота будівлі, вилучена з 3D-моделі будівлі, n – кількість поверхів у будівлі. Якщо показник n невідомий, можна з додаткових джерел визначити приблизну середню висоту поверхів у будівлях даної локації, і зворотнім чином визначити кількість поверхів, поділивши висоту будівлі на середню кількість поверхів.

Всі ці розрахунки можуть бути виконані прямо в середовищі *QGIS* за допомогою калькулятора полів, з подальшим внесенням отриманих значень у відповідні поля атрибутів для кожної будівлі.

Визначення еталонного значення енергоспоживання будівлі. Для оцінки енергоспоживання будинками нами приймаються реальні показники теплоізоляційників будинків (загальний обсяг спожитого тепла на будинок на рік) у kWh/m²a, зібрані у Німеччині [7]. Ці показники були розраховані для безлічі будинків різного віку та типів, що дозволило сформувати таблицю усереднених еталонних значень ЕП у співвідношенні віку та типу будівель (таблиця 1). Хоча

ця таблиця була сформована на основі вимірювань електроспоживання в Німеччині, в цілому вона може бути застосована і для інших країн ЄС, зі схожим кліматом і міською забудовою.

У згаданих німецьких дослідженнях питома значення енергоспоживання будинком розраховується шляхом розподілу цієї величини на корисну площу будівлі. Нами ж виконується зворотнє завдання –

за розрахованою з моделей будівель корисної площі та наведеними у таблиці шаблонними показниками kWh/m^2 розраховується загальний обсяг енергоспоживання будівлі. Інформація про тип та вік будівель, занесена раніше до таблиці атрибутів, використовується для визначення цього шаблонного показника для тієї чи іншої моделі.

Таблиця 1

Еталонні значення енергоспоживання будівель відносно їх типу та віку (складено за даними [7, 8, 20])
Reference values of buildings EC in relation to their type and age (compiled from [7, 8, 20])

Вік побудови \ Тип будівлі	-1900	1901-1950	1951-1975	1976-2000	2001-2010	2011-2017	2018-2020
EFH	280	240	210	160	120	90	35
RDH	260	230	210	150	110	50	40
RDH (комерційна забудова)	240	200	160	140	80	40	20
KMFN	250	240	170	150	120	80	20
GMFN	245	230	150	130	110	60	15
НН	-	210	130	120	90	50	10

Призначення класу енергоефективності. На основі розрахованого рівня енергоспоживання кожній будівлі призначається один із семи стандартизованих класів енергоефективності, які використовуються фактично у всіх країнах ЄС у єдиній колірній гамі [7]. Попередня візуалізація результатів просторової оцінки енергоспоживання може бути виконана у QGIS (у 2D форматі). Для тривимірної візуалізації, розрахований рівень енергоспоживання передається назад в json-файли розрахованих моделей за допомогою спеціального python-скрипта. Крім показника EC, до json-файлів можуть бути передані й інші характеристики будівель, що беруть участь у розрахунках, для кращого розуміння залежності цих характеристик та рівня EC.

Після того, як усі розраховані дані передаються моделям будівель, виконується перетворення моделей формату *obj* у формат *glTF*, а потім у формат *b3dm* для оптимізованої візуалізації результатів у 3D-сцені веб-ГІС *ELiT Geoportal*, реалізованої на базі JavaScript-бібліотеки *Cesium* (рис. 6). У середовищі *ELiT Geoportal* моделі спільно відображаються як у LOD1, так і в LOD2 форматі, а також у кольоровій гамі відповідних класів енергоефективності. До кожної моделі у спеціальному спливаючому вікні також додається вся атрибутивна інформація, передана через json-файл. Отримавши таку візуалізацію просторового розподілу енергоспоживання, ми можемо розпочати змістовний урбогеосистемний аналіз даного міста в контексті дослідження проблем енергоспоживання його забудовами.

Урбогеосистемний аналіз результатів просторової оцінки енергоспоживання. На основі викладених раніше методик низькополігонального моделювання будівель та оцінки EC будівель за геометрією розрахованих моделей, нами були побудовані та візуалізовані тривимірні моделі забудови для двох міст у Нідерландах – Амстердам та Ейндховен.

До карт було застосовано колірну гамму, що відображає рівень енергоефективності кожної будівлі. Для міст Ейндховен та Амстердам сумарно було розраховано близько 330 тис. моделей будівель, що повністю покривають урбанізовані частини цих міст. Лідарні дані для моделювання були завантажені з веб-ресурсу *Actueel Hoogtebestand Nederland (AHN)* [5], а атрибутивні дані зі згаданого раніше *3DBAG* та *OpenStreetMap* [4, 22]. Крім самих моделей будівель, на карту також завантажена підкладка *OpenStreetMap*, що відображає різні міські об'єкти у 2D-форматі.

Урбогеосистемний аналіз у даному випадку полягатиме у детальному вивченні даної візуалізації з наступними цілями:

- 1) виокремлення різних просторових та мікропросторових закономірностей у розподілі рівня енергоспоживання по всій території міста;
- 2) вилучення урбаністичних геоситуацій – різних обмежених ділянок міського середовища, які за певними параметрами виділяються із навколишнього середовища;
- 3) відстеження просторових залежностей між окремими будинками та геоситуаціями з навколишнім середовищем з метою з'ясування можливих причин поточної ситуації.
- 4) відстеження залежностей між формою та розмірами будівель з рівнем їх енергоспоживання.

Перевагою такої детальної візуалізації, при якій кожна будівля відображає атрибутивну характеристику, є можливість проведення як повномасштабного просторового аналізу, з виокремленням загальних закономірностей розподілу енергоспоживання між цілими міськими районами та функціональними зонами, так і мікропросторового аналізу, з виокремленням локальних закономірностей на рівні окремих геоситуацій.

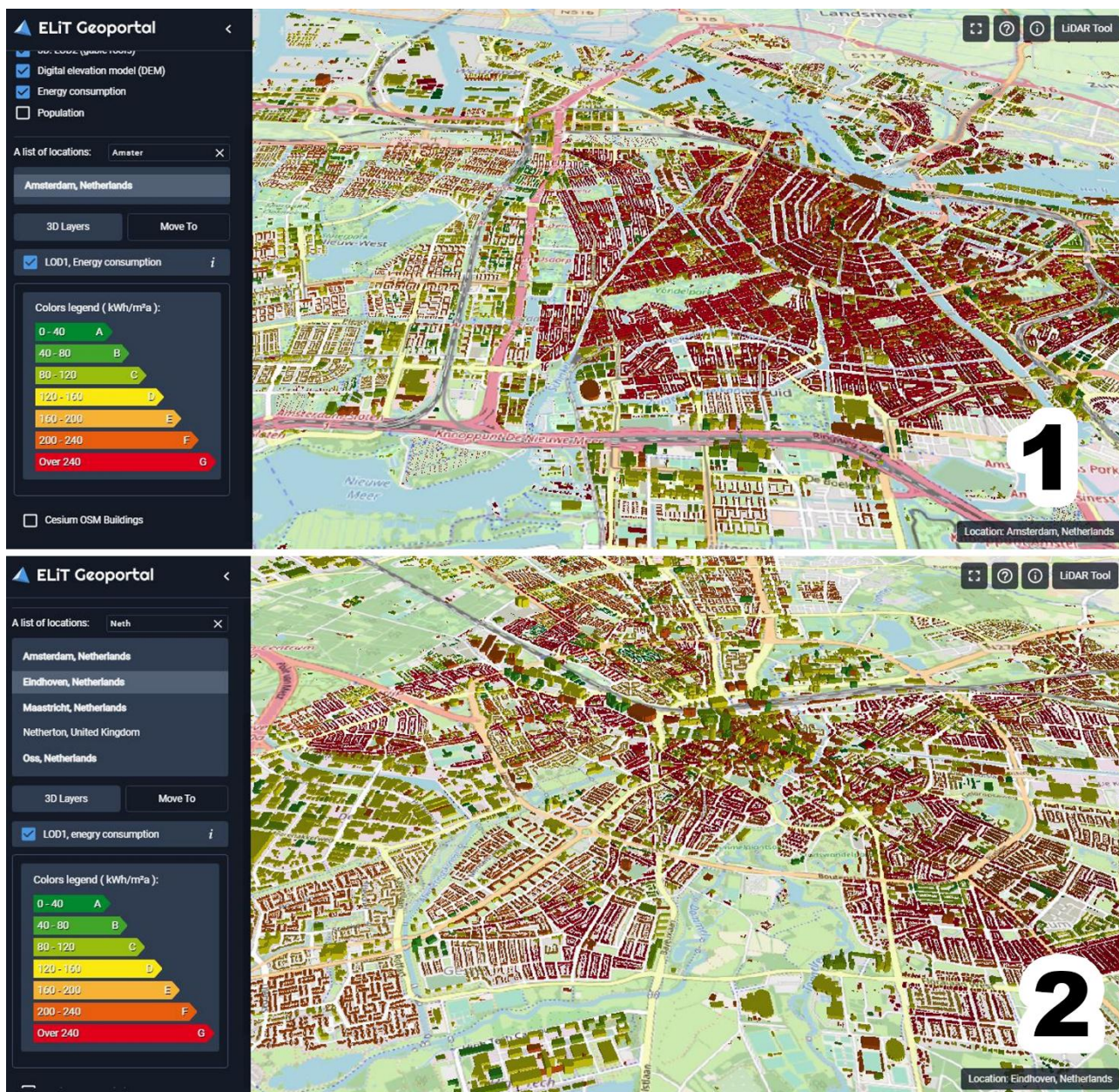


Рис. 6. Тривимірна візуалізація результатів оцінки енергоспоживання забудов у середовищі ELiT Geoportal для міст Амстердам (1) та Ейндховен (2)

Fig.6. Three-dimensional visualization of the results of the assessment buildings energy consumption in the ELiT Geoportal environment for the cities of Amsterdam (1) and Eindhoven (2)

Якщо розглядати модель міста в повному масштабі, то насамперед можна відзначити тенденцію до зниження середнього рівня ЕС від центру міста до периферії, що обумовлюється зниженням віку забудови при віддаленні від історичного центру в ході природного міського розширення (рис. 7, 1). Молодші будівлі є більш модернізованими та енергоефективними і відповідно демонструють менший рівень споживаної енергії. При цьому у центральній частині міста спостерігаються кластери забудови з найвищим рівнем енергоспоживання – такі ділянки відповідають районам, забудованим старими, історичними будинками, яким властива низька енергоефективність (рис. 7, 6).

Загалом у такому масштабі спостерігаються цілі райони забудови, що мають переважно спільний

рівень ЕС – такі райони можуть мати спільне функціональне призначення (наприклад, комерційні, індустріальні зони), мати спільні особливості планування, або спільний період забудови (рис. 7, 2). При цьому, дослідивши перепади в середньому ЕС між окремими районами, ми можемо винести певні припущення щодо того, який тип забудови є найбільш енергоефективним у межах цього міста, а який є найбільш проблемним і потребує заходів щодо можливої реконструкції.

Якщо виконати масштабування на окремі міські райони та геоситуації, то можна буде простежити цікаві мікропросторові закономірності та спостереження. Наприклад, у самому центрі ми спостерігаємо поєднання нової та старої забудови, а також багатоповерхової та малоповерхової забудови (рис. 7, 5).

Нова багатоповерхова забудова споживає помітно менше енергії в порівнянні з розташованою впритул старою, проте вона може негативно впливати на

стару забудову, створюючи для неї постійне затінення і перешкоджаючи тим самим природному утепленню будинків від надходження сонячного світла.



*Рис. 7. Особливості просторового розподілу енергоспоживання у м. Амстердам та Ендховен.
Fig. 7. Features of the spatial distribution of EC in Amsterdam and Eindhoven.*

Ще одним спостереженням на рівні окремих геоситуацій є чергування у межах одного району будинків із високим (клас F) і низьким (клас C) рівнем ЕС (рис. 7, 3). При цьому така мінливість рівня ЕС є чітко синхронізованою з мінливістю архітектурних особливостей будівлі, які простежуються навіть за LOD0 моделями. Ця мінливість насамперед зумовлена різним попитом на енергію тієї чи іншої будівлі в межах району, залежно від функціонального призначення будівлі та кількості мешканців, яка в ній може

проживати. Так, з огляду на особливості планування, в межах одного району по черзі розміщуються будинки з різною місткістю мешканців, крім того, серед житлової забудови систематично розміщуються різні комерційні та державні заклади, які орієнтуються на обслуговування місцевих мешканців. Іноді різний рівень ЕС зустрічається навіть у кількох корпусів однієї і тієї ж будівлі. Зокрема, спостерігаються ситуації, де будівля з високим рівнем ЕС має прибудову, що відрізняється більшою енергоефективністю,

порівняно з основною будівлею.

Якщо поглянути на забудову індустріальних зон, то тут також можна виявити деякі мікропросторові закономірності, а саме – суттєве розкидання показників ЕС між різними корпусами в межах однієї індустріальної зони (рис. 7, 4).

Так значення ЕС між двома сусідніми будинками розбігаються від класу А до класу G. З можливих причин такого перепаду можна висунути різне призначення того чи іншого корпусу та різну специфіку виробничих процесів, що відбуваються в цих корпусах, і мають різну потребу споживання енергії. Одна будівля може бути відведена під склад і споживати мало енергії, інша – під виробничі верстати і, таким чином, споживати багато енергії.

На мікропросторовому рівні також помітна різниця в тому, як розподіляються показники електроенергії за *LOD1* та *LOD2* моделями. Другі мають більшу різноманітність форм і конфігурацій будівель і демонструють значну диференціацію оцінки ЕС. Тоді як *LOD1* моделі є більш уніфікованими, через що в результаті розрахунку підпадають під спільний клас ЕС. Крім того, моделі *LOD2* дозволяють краще візуально ідентифікувати тип будівлі, адже відображають більшу кількість параметрів будівель.

Детальний розбір результатів моделювання, наведений у цьому розділі дозволяє не просто описати та оцінити поточну обстановку в місті, але й розробити певні оптимізаційні рішення, які можуть бути використані в прикладній площині. Наприклад, державні органи можуть використовувати результати такого аналізу для розвантаження міської енергосистеми, планування реновації старих будівель з метою підвищення їхньої енергоефективності, планування розміщення зелених насаджень, розміщення сонячних електростанцій. Різні будівельні компанії можуть орієнтуватися на результати оцінки при проектуванні нових, більш енергоефективних будівель та районів. Розрахований показник ЕС будівлі також може стати важливим фактором при купівлі чи оренді нерухомості, а повномасштабна тривимірна візуалізація розподілу цього показника може показати найперспективніший район міста для проживання, бізнесу та виробництва. В цілому, така систематизація та картографування розподілу міського ЕП може стати однією з базових потреб міст, що розвиваються, і фактично необхідною складовою міст, які претендують на статус «Розумних міст», у яких важливу роль відіграє постійний моніторинг міського стану.

Висновки. В умовах стрімкого розростання урбанізованих територій, повсюдного зростання залежності людини від постачання електрики, збільшення попиту на альтернативні джерела енергії, а також розширення енергоємності сучасних технологій,

питання контролю рівня міського енергоспоживання є безумовно актуальним. Розглянута у статті методика оцінки та аналізу енергоспоживання міською забудовою може стати важливим кроком у цьому напрямі, а також до розуміння існуючої проблематики нерівномірного споживання енергії між окремими міськими складовими.

Отримані в ході нашого дослідження результати, хоча і не претендують на надвисоку точність, все одно здатні передати загальну просторову картину міського ЕС та наочно відобразити ті явні слабкості в енергоефективності міського середовища в цілому, які можуть бути виявлені лише у їхньому просторовому розподілі. Окрім того, описана методика є лише проміжним варіантом методики оцінки ЕС, які надалі можуть удосконалюватися шляхом збільшення вибірки зібраних даних з реальних показників лічильників та прийняття у розрахунках все більшої кількості коригуючих змінних. Наприклад, коригувально оцінки сприятимуть дані про локальні кліматичні зони міста, більш деталізовані дані про типи будівель, дані про наявність ремонту, про теплопровідність будівельних конструкцій, тощо.

Безумовною перевагою запропонованого підходу до оцінки ЕС є можливість автоматизувати основні процедури обробки, розрахунків та візуалізації даних, минаючи при цьому трудомісткий процес збирання таких даних із показників лічильників кожної окремої будівлі. Спираючись на одноразово зібрані дані лічильників, ми можемо багаторазово екстраполювати ці дані на безліч локацій зі схожим кліматом, рівнем розвитку та міською забудовою, а потім, у разі виникнення певних питань, можна вже звернутися до реальних лічильників у конкретних міських локаціях для уточнення та підтвердження виконаної оцінки.

Нарешті, окрім безпосереднього обчислення характеристик ЕС та їх просторової візуалізації, важлива також їх правильна інтерпретація та аналіз, що було зроблено нами через урбогеосистемний підхід. Урбогеосистемна модель міста дозволяє нашвидку оцінити візуалізовану міську обстановку з погляду системних властивостей урбанізованої території та динаміки міського розвитку. Розуміючи предметний зміст цих аспектів, ми можемо на підставі просторових закономірностей і тенденцій простежувати їх зв'язок з навколишнім міським середовищем і шукати причини їх виникнення в емерджентних властивостях урбогеосистеми міста. Окремі аспекти впливу останніх у тому числі і на просторовий розподіл ЕС міської забудови були нами виокремлені для міст Амстердам та Ейндховен у заключному пункті цієї статті.

Список використаної літератури:

1. Костріков С., Сergyogin Д., Бережний В. Візуальний аналіз урбаністичного середовища як складова урбогеосистемного підходу // Часопис соціально-економічної географії. 2021. Вип. 30(1). С. 7-23. <https://doi.org/10.26565/2076-1333-2021-30-01>
2. Костріков С.В. Практикум із створення ГІС-карт, просторового аналізу і геообробки на повноформатних ГІС-платформах (на прикладі ArcGIS 10.2 і QGIS 3.16): Навчально-методичний посібник для студентів вишів / С.В. Костріков, Д.С. Сergyogin, К.О. Кравченко. Харків, 2022. 499 с.

3. Сergyogin D.S., Kostrikov S.V. До питання виокремлення урбаністичних геоситуацій [Текст] // Вісник Харківського національного університету імені В. Н. Каразіна, серія «Геологія. Географія. Екологія», 2022. Вип. 58. С. 241-256. <https://doi.org/10.26565/2410-7360-2023-58-19>
4. 3D geoinformation at TU Delft. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://3d.bk.tudelft.nl/>
5. ArcGIS web application. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://ahn.arcgisonline.nl/ahnviewer/>
6. Bahu J.M. Towards a 3D spatial urban energy modelling approach [Текст] / J.-M. Bahu, A. Koch, E. Kremers, S.M. Murshed // International journal of 3-D information modeling. 2014. Vol. 3, no. 3. P. 1-16. <https://doi.org/10.4018/ij3dim.2014070101>
7. Bundesrepublik Deutschland (BRD). Verordnung über energiesparenden Wärmeschutz und energiesparende Anlagentechnik bei Gebäuden (Energieeinsparverordnung- EnEV). Bundesgesetzblatt, 2007. vol. 282/07. 170 p. URL: https://enevonline.net/enev_2007/enev2007_070425_bundesregierung_beschlossen.pdf
8. Carrión D., Lorenz A., Kolbe T.H. Estimation of the energetic state of buildings for the city of Berlin using a model represented in 3D city CityGML [Текст] // International archives of the photogrammetry, remote sensing and spatial information sciences. 2010. Vol. XXXVIII-4, no. 15. P. 31-35.
9. Döllner J. The virtual 3D city model of Berlin - Managing, Integrating and communicating complex urban information / J. Döllner J., T. Kolbe, F. Liecke et al // In Proceedings of the 25th International Symposium on Urban DataManagement UDMS, Aalborg, Denmark, 15-17 May 2006.
10. Fouquier A. et al. State of the art in building modelling and energy performances prediction: a review [Текст] / A. Fouquier, S. Robert, F. Suard, L. Stephan, A. Jay Renewable and sustainable energy reviews. 2013. Vol. 23. P. 272-288. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2013.03.004>
11. Gröger, G., Kolbe, T., Czerwinski, A., Nagel, C. OpenGIS City Geography Markup Language (CityGML) Encoding Standard, Version 1.0.0, International OGC Standard [Текст]. Open Geospatial Consortium, Doc. 2008. No. 08-007r1
12. Henn A. Model driven reconstruction of roofs from sparse LiDAR point clouds [Текст] / A. Henn, G. Groger, V. Stroh, L. Pliimer // ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing. 2013. Vol. 76. P. 17-29. <https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2012.11.004>
13. Institut Wohnen und Umwelt GmbH (IWU). Deutsche Gebäudetypologie – Systematik und Datensätze. Darmstadt, Germany. 2003. 10 p. URL: https://www.iwu.de/fileadmin/publikationen/gebaeudebestand/2003_IWU_Deutsche-Geb%C3%A4udetypologie-Systematik-und-Datens%C3%A4tze.pdf
14. Jaffal I., Inard C., Ghiaus C. Fast method to predict building heating demand based on the design of experiments [Текст] / I. Jaffal, C. Inard, C. Ghiaus // Energy and buildings. 2009. Vol. 41, no. 6. P. 669-677. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2009.01.006>
15. Kostrikov S. Automated Extraction of Heavyweight and Lightweight Models of Urban Features from LiDAR Point Clouds by Specialized Web-Software [Текст] / R. Pudlo, D. Bubnov, V. Vasiliev, Y. Fedayay //Advances in Science, Technology and Engineering Systems Journal. 2020. Vol. 5. No. 6. P. 72-95. <http://dx.doi.org/10.25046/aj050609>
16. Kostrikov S. ELiT, multifunctional web-software for feature extraction from 3D LiDAR point clouds [Текст] / S. Kostrikov, R. Pudlo, D. Bubnov, V. Vasiliev // ISPRS International Journal of Geo-Information. 2020. Vol.9. No.11. P. 650- 885. <http://dx.doi.org/10.3390/ijgi9110650>
17. Kostrikov S. Urban remote sensing with LIDAR for the Smart City concept implementation [Текст] / S. Kostrikov // Вісник Харківського національного університету імені В. Н. Каразіна, серія "Геологія. Географія. Екологія". 2019. Вип. 50. С. 101-124. <https://doi.org/10.26565/2410-7360-2019-50-08>
18. Kostrikov S., Seryogin D. Urbogeosystemic Approach to Agglomeration Study within the Urban Remote Sensing Frameworks. Urban Agglomeration [Текст] / Edited by A. Battisti and S. Baiani.- London – Milan – Zagreb: INTECH Open. 2022. P. 1-23. <https://doi.org/10.5772/intechopen.102482>
19. Krüger, A., Kolbe, T.H. A Framework for the DataDriven Analysis, Interpretation, and Transformation of Geospatial Information Models [Текст] // Proceedings of the Joint Scientific Conference of the German Society for Photogrammetry, Remote Sensing & Geoinformation (DGPF), the Austrian Society for Surveying (OVG), and the Swiss Society for Photogrammetry and Remote Sensing (SGPF), Vienna 2010. – P. 309-324.
20. Loga T., Stein B., Diefenbach N., Born R. Deutsche Wohngebäudetypologie. Beispielhafte Maßnahmen zur Verbesserung der Energieeffizienz von typischen Wohngebäuden. Deutsche Wohngebäudetypologie. 2016. 281 p. URL: <https://www.iwu.de/1/publications/research-information/gebaeudetypologie/>
21. Maltezos E. Automatic extraction of building roof planes from airborne lidar data applying an extended 3d randomized hough transform [Text] / E. Maltezos, C. Ioannidis // ISPRS Annals of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences. 2016. Vol.III-3. P. 209-216. <http://dx.doi.org/10.5194/isprs-annals-III-3-209-2016>
22. OpenStreetMap. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.openstreetmap.org/>
23. Ratti C., Baker N., Steemers K. Energy consumption and urban texture [Текст] / C. Ratti, N. Baker, K. Steemers // Energy and buildings. 2005. Vol. 37, no. 7. P. 762-776. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2004.10.010>
24. Sampath A. Segmentation and reconstruction of polyhedral building roofs from aerial LIDAR point clouds [Text] / A. Sampath, J. Sham // IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing. 2010. Vol.48. No.3. P. 1554-1567. <http://dx.doi.org/10.1109/TGRS.2009.2030180>

25. Sarak H. The degree-day method to estimate the residential heating natural gas consumption in Turkey: a case study [Текст] // Energy. 2003. Vol. 28, no. 9. P. 929-939. [https://doi.org/10.1016/s0360-5442\(03\)00035-5](https://doi.org/10.1016/s0360-5442(03)00035-5)
26. Stadt Dortmund Umweltamt. Dortmunder Gebäudetypologie - Neuauflage der Hausdatenblätter. Dortmund, Germany. 2005.
27. Strzalka A. Schumacher, J. 3D City modeling for urban scale heating energy demand forecasting [Текст] / A. Strzalka, U. Eicker, V. Coors // HVAC&R research. 2011. Vol. 17, no. 4. P. 526-539. <https://doi.org/10.1080/10789669.2011.582920>
28. Tarsha-Kurdi F. Hough-transform and extended RANSAC algorithms for automatic detection of 3d building roof planes from Lidar data [Текст] / F. Tarsha-Kurdi, T. Landes, P. Grussenmeyer // IAPRSSIS. 2007. Vol. XXXVI-3/W52. P. 407-412.
29. Yan J., Jiang W., Shan J. A global solution to topological reconstruction of building roof models from airborne LiDAR point clouds [Текст] // ISPRS Ann. Photogram., Remote Sens. 2016. Vol. 3. P. 379-386. <http://dx.doi.org/10.5194/isprsannals-III-3-379-2016>
30. Yan J. Quality analysis on RANSAC-based roof facets extraction from airborne LIDAR data [Текст] / J. Yan, W. Jiang, J. Shan // IAPRSSIS. 2012. Vol. XXXIX-B3. P. 367-372.
31. Yu D., Fang C. Urban remote sensing with spatial big data: a review and renewed perspective of urban studies in recent decades [Текст] // Remote Sens. 2023. Vol. 15. 1307-1341. <https://doi.org/10.3390/rs15051307>

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,
e-mail: den.seryogin@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-0169-4468>

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,
e-mail: sergiy.kostrikov@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-4236-8474>

SPATIAL ASSESSMENT OF BUILDINGS ENERGY CONSUMPTION BASED ON THREE-DIMENSIONAL MODELING OF THE URBAN ENVIRONMENT

The article deals with the application of spatial assessment of urban buildings energy consumption (EC) and analyzing the results based on the urbogeosystems approach. Assessment of buildings EC involves establishing a correlation between their EC and the relevant geometric characteristics, in particular, the buildings height and volume. The authors propose the use of remote laser scanning data (LiDAR data) for the automated extraction of these characteristics of buildings with high accuracy.

An original approach to processing and analyzing LiDAR data using the tools of the author's web-based GIS application for the purpose of buildings extraction and modeling is presented. The extracted building models contain their exact geometric characteristics and generalized architectural properties as attributes.

The article presents a methodology for calculating the EC of buildings, which uses their geometric information, as well as information on their age and type, which are also correlated with the buildings EC. Based on the buildings geometry obtained from LiDAR data, the indicator of their usable area (intended for heating) is determined. To estimate EC, data on the buildings EC are taken from real meter readings, which are extrapolated to the calculated indicator of the buildings usable area. A semantic table is created that corrects the calculated building EC, depending on its age and type, and determines the final energy efficiency class of the building.

According to the above methods, three-dimensional models of buildings for the cities of Amsterdam and Eindhoven were extracted and visualized, with the color scheme applied to the buildings reflecting their energy efficiency classes. The essence of the urbogeosystemic analysis of the urban environment in the context of the urban EC study is revealed. On the basis of the obtained visualization of the spatial distribution of urban EC, certain regularities of such distribution between individual urban buildings are identified and the factors influencing the level of this indicator are determined.

Keywords: *assessment of buildings energy consumption, urbogeosystem, LiDAR data, spatial analysis, GIS, three-dimensional building modeling, GIS.*

References:

1. Kostrikov, S., Serohin, D., & Berezhnoy, V. (2021). Visibility analysis of the urbanistic environment as a constituent of the urbogeosystems approach. *Human Geography Journal*, 30(1), 7-23. <https://doi.org/10.26565/2076-1333-2021-30-01> [in Ukrainian].
2. Kostrikov, S.V., Serohin, D.S., & Kravchenko, K.O. (2022). Workshop on creating GIS maps, spatial analysis and geoprocessing on full-format GIS platforms (using the example of ArcGIS 10.2 and QGIS 3.16): Educational and methodological manual for university students. Kharkiv, 499 [in Ukrainian].
3. Serohin, D., & Kostrikov, S. (2023). Towards urbanistic geosituation delineation. *Visnyk of V.N. Karazin Kharkiv National University. Series "Geology. Geography. Ecology"*, 58, 241-256. <https://doi.org/10.26565/2410-7360-2023-58-19> [in Ukrainian].
4. 3D geoinformation at TU Delft. Retrieved from <https://3d.bk.tudelft.nl>
5. ArcGIS web application. Retrieved from <https://ahn.arcgisonline.nl/ahnviewer/>
6. Bahu, J.-M., Koch, A., Kremers, E., & Murshed, S.M. (2014). Towards a 3D spatial urban energy modelling approach. *International journal of 3-D information modeling*, 3(3), 1-16. <https://doi.org/10.4018/ij3dim.2014070101>

7. Bundesrepublik Deutschland (BRD). (2007). Verordnung über energiesparenden Wärmeschutz und energiesparende Anlagentechnik bei Gebäuden (Energieeinsparverordnung-EnEV). *Bundesgesetzblatt*, 282/07, 170 Retrieved from https://enevonline.net/enev_2007/enev2007_070425_bundesregierung_beschlossen.pdf
8. Carrión, D., Lorenz, A., & Kolbe, T.H. (2010). Estimation of the energetic state of buildings for the city of Berlin using a model represented in 3D city CityGML. *International archives of the photogrammetry, remote sensing and spatial information sciences*, XXXVIII-4(15), 31-35.
9. Döllner, J., Kolbe, T., Liecke, F. et al. (2006). The virtual 3D city model of Berlin – Managing, Integrating and communicating complex urban information. *Proceedings of the 25th International Symposium on Urban Data Management UDMS*.
10. Fouquier, A., Robert, S., Suard, F., Stéphan, L., & Jay, A. (2013). State of the art in building modelling and energy performances prediction: a review. *Renewable and sustainable energy reviews*, 23, 272-288. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2013.03.004>
11. Gröger, G., Kolbe, T.H., Czerwinski, A., & Nagel, C. (2008). OpenGIS City Geography Markup Language (CityGML) Encoding Standard, Version 1.0.0.
12. Henn, A., Gröger, G., Stroh, V., & P. Lutz. (2013). Model driven reconstruction of roofs from sparse LIDAR point clouds. *International Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 76, 17-29. <https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2012.11.004>
13. Institut Wohnen und Umwelt GmbH (IWU). (2003). Deutsche Gebäudetypologie – Systematik und Datensätze. Darmstadt, Germany, 10. Retrieved from https://www.iwu.de/fileadmin/publikationen/gebaeudebestand/2003_IWU_Deutsche-Geb%C3%A4udetypologie-Systematik-und-Datens%C3%A4tze.pdf
14. Jaffal, I., Inard, C., & Ghiaus, C. (2009). Fast method to predict building heating demand based on the design of experiments. *Energy and buildings*, 41(6), 669-677. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2009.01.006>
15. Kostrikov, S., Pudlo, R., Bubnov, D., Vasiliev, V., & Feday, Y. (2020). Automated Extraction of Heavyweight and Lightweight Models of Urban Features from LiDAR Point Clouds by Specialized Web-Software. *Technology and Engineering Systems Journal*, 5(6), 72-95. <http://dx.doi.org/10.25046/aj050609>
16. 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), 650-885. <http://dx.doi.org/10.3390/ijgi9110650>
17. Kostrikov, S. (2019). Urban remote sensing with LIDAR for the Smart City concept implementation. *Visnyk of V.N. Karazin Kharkiv National University. Series in Geology, Geography, and Ecology*, 50, 101-124. <https://doi.org/10.26565/2410-7360-2019-50-08>
18. Kostrikov, S., & Seryogin, D. (2022). Urbogeosystemic Approach to Agglomeration Study within the Urban Remote Sensing Frameworks. *Urban Agglomeration: INTECH Open*. 1-23. <http://dx.doi.org/10.5772/intechopen.102482>
19. Krüger, A., & Kolbe, T.H. (2010). A Framework for the DataDriven Analysis, Interpretation, and Transformation of Geospatial Information Models. *Proceedings of the Joint Scientific Conference of the German Society for Photogrammetry, Remote Sensing & Geoinformation (DGPF), the Austrian Society for Surveying (OVG), and the Swiss Society for Photogrammetry and Remote Sensing (SGPF)*, 309-324.
20. Loga, T., Stein, B., Diefenbach, N., & Born, R. (2016). Deutsche Wohngebäudetypologie. Beispielhafte Maßnahmen zur Verbesserung der Energieeffizienz von typischen Wohngebäuden. *Deutsche Wohngebäudetypologie*, 281. Retrieved from <https://www.iwu.de/1/publications/research-information/gebaeudetypologie/>
21. Maltezos, E., & Ioannidis, C. (2016). Automatic extraction of building roof planes from airborne lidar data applying an extended 3d randomized hough transform. *ISPRS Annals of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*. III-3, 209-216. <http://dx.doi.org/10.5194/isprs-annals-III-3-209-2016>
22. OpenStreetMap. Retrieved from <https://www.openstreetmap.org/>
23. Ratti, C., Baker, N., & Steemers, K. (2005). Energy consumption and urban texture. *Energy and buildings*, 37(7), 762-776. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2004.10.010>
24. Sampath, A., & Shan, J. (2010). Segmentation and reconstruction of polyhedral building roofs from aerial LIDAR point clouds. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 48(3), 1554-1567. <http://dx.doi.org/10.1109/TGRS.2009.2030180>
25. Sarak, H. (2003). The degree-day method to estimate the residential heating natural gas consumption in Turkey: a case study. *Energy*, 28(9), 929-939. [https://doi.org/10.1016/s0360-5442\(03\)00035-5](https://doi.org/10.1016/s0360-5442(03)00035-5)
26. Stadt Dortmund Umweltamt (2005). Dortmunder Gebäudetypologie – Neuaufgabe der Hausdatenblätter. Dortmund, Germany.
27. Strzalka, A., Bogdahn, J., Coors, V., & Eicker, U. (2011). 3D City modeling for urban scale heating energy demand forecasting. *HVAC&R research*, 17(4), 526-539. <https://doi.org/10.1080/10789669.2011.582920>
28. Tarsha-Kurdi, F., Landes, T., & Grussenmeyer, P. (2007). Hough-transform and extended RANSAC algorithms for auto-matic detection of 3d building roof planes from Lidar data. *IAPRSSIS*. XXXVI-3/W52, 407-412.
29. Yan, J., Jiang, W., & Shan, J. (2016). A global solution to topological reconstruction of building roof models from airborne LiDAR point clouds. *ISPRS Ann. Photogram., Remote Sens*, 3, 379-386. <http://dx.doi.org/10.5194/isprsannals-III-3-379-2016>
30. Yan, J., Jiang, W., & Shan, J. (2012). Quality analysis on RANSAC-based roof facets extraction from airborne LIDAR data. *IAPRSSIS*. XXXIX-B3, 367-372. <http://dx.doi.org/10.5194/isprsarchives-XXXIX-B3-367-2012>
31. Yu, D., & Fang, C. (2023). Urban remote sensing with spatial big data: a review and renewed perspective of urban studies in recent decades. *Remote Sens*, 15(5), 1307-1341. <https://doi.org/10.3390/rs15051307>

Received 15 April 2023

Accepted 18 May 2023

Pavlo Ventsiv

*Postgraduate Student at the Department of Geography of Ukraine and Regional Studies,
Yuriy Fedkovych Chernivtsi National University, 2 Kotsiubynsky St., Chernivtsi, 58000, Ukraine
e-mail: ventsiv.pavlo.@chnu.edu.ua, <https://orcid.org/0009-0002-8462-5149>*

DEMOGRAPHIC PROCESSES IN THE CONTEXT OF REGIONAL DEVELOPMENT CONCEPTS

The study is dedicated to analyzing the role of demographic processes in the evolution of regional development concepts. The article focuses on the most influential elements of regional development, one of which is the demographic process. The aim of the research is to identify modern theoretical approaches to economic-regional development involving demographic indicators to optimize regional policy in Ukraine. It is established that regional policy is developed under the influence of various theories that seek to legitimize the role of state intervention in national economic processes, the relationship between regions (communities) and the state, and the efficient use of productive forces. It is found that modern geographical science contains many alternative models of regional development (dynamic and spatial). The most common concepts of regional development include neoclassical, cumulative growth, regional growth, and the modern concept of regional clusters. It has been observed that concepts and approaches to regional development over time have evolved towards emphasizing the importance and utilization of human potential, experience, and knowledge as crucial elements of regional development, and research in this direction still requires further improvement and development.

The conclusions highlight the importance of regional development in the context of demographic processes amid economic crisis. The practical significance of the obtained results lies in their potential utilization for the formulation and implementation of state economic policy. The use of a comprehensive approach in the development of regional development concepts, taking into account all factors and regularities, which potentially contributes to strengthening the development potential of the territory, can have a positive impact on population development and addressing demographic and economic crisis issues. Further research is aimed at conceptualizing the target model of modern regional development.

Keywords: *development, region, demographic situation, factors, development theories.*

In cites: Ventsiv, P. (2023). Demographic processes in the context of regional development concepts. *Human Geography Journal*, 34, 42-48. <https://doi.org/10.26565/2076-1333-2023-34-04>

Problem Statement. The issue of deepening the approach to regional development and particularly identifying the significance of demographic processes within it is becoming increasingly relevant. Regional development, by its nature, is an economic concept that takes into account the mutual influence of economic activity and market integration on geographical regions. The theoretical and methodological development of regional studies lies in the plane of deepening the research object by rethinking new processes and phenomena that require comprehensive study of regularities, principles, factors, and instruments of regional development. At the present stage of Ukraine's economic development, it is characterized by socio-economic inequality between regions, increasing disparities in the development of each region, and significant differences in the sectoral structure of the economic system. In particular, the invasion of the Russian Federation into Ukraine, which escalated into a full-scale war, worsened the situation and led to the destruction of Ukrainian cities and towns, the destruction of vital infrastructure in many regions and communities, forced displacement of millions of people, and significant changes in the demographic situation in various regions. New challenges, which were not even taken into account for planning for various reasons, have now become dominant and will continue to affect Ukraine and its regions for a long time. Among them is the strategic management of regional development,

which is a complex and dynamic process. Therefore, its study requires an analysis of the concepts of the regional economic system and the factors influencing its elements.

Analysis of Recent Research and Publications. A significant number of researchers, including T. Prykhodchenko [17], O. Todorova [19], Yu. Kharchenko [20], M. Pashkevich, S. Shagoyan [16], have studied the impact of regional development and demographic processes on the Ukrainian economy, including modern concepts and strategies. I. Bryzhan, V. Chevganova, O. Hryhor'yeva, L. Svystun examine the state of socio-economic development of regions based on demographic forecasts [2]. L. Buyanovska, V. Yavormka, V. Bezuhly point out that regional development influences demographic processes [3]. I. Hukalova focuses on the formation of a strategy for demographic development in rural areas [4]. O. Didenko, A. Myroshnychenko indicate that regional development is impossible without effective state policy, namely the set strategic goals: multilevel governance, increasing competitiveness of regions, support for regions at all levels – social, economic, environmental, humanitarian, etc. [5]. V. Yemets focuses on the formation of a strategy for regional development [7]. S. Shults, O. Lutsky, L. Simkiv provide a classification of external and internal factors of regional development, including social conditions, demographic processes, economic, political-legal, etc. [21]. S. Korinayevsky cites successful

examples of EU countries supporting regional development at a high level. The author notes that Ukraine should borrow this experience [9]. A. Lelechenko examines the concept of "regional policy" and presents mechanisms for the formation and implementation of regional policy in Ukraine [11]. N. Makhnachova, I. Semenyuk defines important goals and methodology for community strategy formation [12]. O. Bilenko, S. Horban define important goals of demographic processes in Ukraine in modern conditions [1]. O. Ovdin examines the categories and concepts of state management of demographic processes as an element of regional development [15]. H. Kish presents a classification of factors of regional development into internal and external factors, among the external factors are those related to cause-and-effect relationships of external influence, adjacent factors related to demographic development, political-legal factors (influencing the implementation of legal projects affecting migration attractiveness, the state of the legal situation in the country also affects natural and migration movement), socio-economic factors (providing population needs at levels of infrastructure development, education, health, services, housing, working conditions), technological factors are also highlighted as one of the most important external factors of region development, historically formed systems of productive forces placement are also related to the demographic component through formed settlement systems [8].

Previously unresolved aspects of the overall problem. First of all it's worth mentioning regional development is fundamentally an economic concept. In initial attempts to identify effective regional development concepts, significant attention was paid to the impact of economic activities on territorial development. Consequently, efforts to identify more comprehensive concepts are still in the developmental stage. There is an evident need for comprehensive research into demographic processes as key factors in the development of Ukraine's regions. This would allow for an understanding of the evolution and interrelationship of regional development concepts.

Formulation of the article's purpose. The objective of this study is to formulate a new paradigm for regional development and demographic indicators based on a comprehensive analysis of concepts and an assessment of the current situation, particularly in light of the ongoing conflict and the general situation in Ukraine, as well as within its regions and regional communities.

Presentation of the main research material. When forming an effective system of regional development, it is possible to ensure a high level of socio-economic progress for the country. The region is not only a subsystem of the socio-economic complex of the state but also a relatively independent part with a particular manifestation of a complete cycle and a reproductive stage, characterized by certain features of the course of socio-economic processes [17]. In the region, a complete cycle of reproduction of the following systems takes place: population and labor resources; basic funds and circulating funds; a part of the state's

wealth; monetary circulation; production of goods; distribution, consumption, and exchange of products [14]. In a market situation, the role and function of each region primarily lie in shaping economic relations and the living environment of the population. The regions of the country are classified by various indicators and criteria, such as the level of economic development, population density and growth rates, economic specialization, structure of the economy, availability of natural resources, level of development of industrial and social infrastructure, demographic situation. The main object of regional development management is the regions that are part of the territory of Ukraine, which, for the purpose of ensuring effective management of the socio-economic development of the state, are divided into administrative-territorial units. The formation of the human potential of regions and states is considered as the ability to ensure the demographic reproduction of the population and to acquire in the future such qualitative indicators as social protection, education, and healthcare. The population is the basis for the formation of human potential and determines its characteristics, reproduction, and dynamics [3, p. 27]. Regional development is a process of humanitarian, social, environmental, economic, and other positive changes in each region. The main task is to clarify the regional productive forces, flows of people, physical resources, goods, services, capital, information, systems of connections, and relations (both territorial and temporal) [11, p. 123]. Also important is the functioning of the regional economy, which ensures sustainable and balanced reproduction of the socio-economic, resource, and environmental potential of the region, as well as parameters of the level and quality of life of the population. There are a number of factors influencing the development of the region, which are detailed in Figure 1.

According to the study, three main factors of influence on the development of the region were identified: external, national and regional factors. The most significant in the context of the topic of the article are the factors of the regional level, in particular, the state of demographic indicators of any region, and the importance of human and social capital is separately emphasized.

The concepts of regional development have been improved, changed and evolved into their current form over the years. There are a number of theories of regional development, which are described in Table 1.

The theories of regional development mentioned above are significantly influenced by the distribution of demographic processes and indicators. For instance, in neoclassical theory, the primary focus is on creating new jobs by utilizing unused production capacities, increasing labor productivity, and improving production organization. Growth theories based on the region's competitive advantages include one factor of regional development related to the size and qualification of human resources. Consequently, if demographic indicators worsen or are unacceptable, then these and other theories will not succeed.

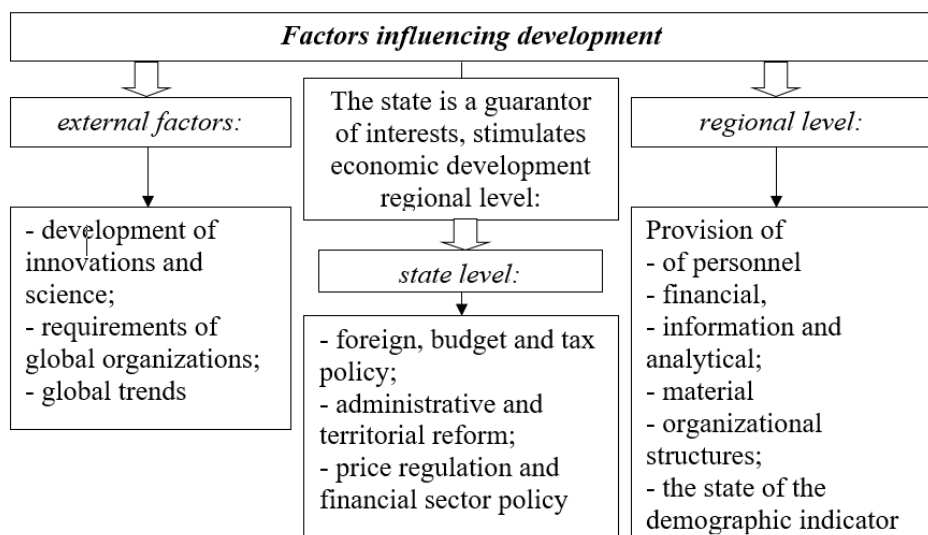


Fig. 1 Factors influencing regional development

Source: compiled by the author based on [8]

Table 1

Main paradigms and theories of regional development and growth

<i>Name of the theory</i>	<i>Characteristics</i>
Neoclassical theories	The region's growth is driven by rising aggregate demand, capital accumulation and investment efficiency, job creation through the use of unused production capacity, a competitive market system, the introduction of new technologies, increased productivity and better production organization
Theories of growth on the region's competitive advantages	Uneven regional development is a temporary phenomenon, and based economic growth reduces regional disparities. According to the theory, there are a number of factors that influence the uneven development of regions: economies of scale, regional convergence, availability of natural resources, the number and qualifications of labor resources, capital stocks, and the level of technological innovation
Theories of cumulative development	Economic growth is associated with the emergence of growth centers and channels of their diffusion, the formation of clusters of growth centers, the diffusion of innovations and innovations, and economies of scale. The national economy grows unevenly across all regions, with different intensities and different effects
Institutional theory	Capital accumulation and economies of scale are evidence of economic growth, not its source. Historical traditions and institutional structures play an important role in ensuring economic growth. Property rights and contractual rights and obligations are important sources of economic growth
New theories of economic development (economic geography, economic growth models, etc.).	Spatial factors of growth include various economies of scale, regional economic transportation costs, mobility and agglomeration of factors of production, as well as spatial and multiple effects of interaction of economic factors. Human capital is an important endogenous factor of economic growth in the context of imperfect competition. The formation of clusters and value chains is recognized as a form and mechanism for increasing national and regional competitiveness and accelerating economic development.

Source: compiled by the author based on [6;10; 21]

Changes in population distribution in regions affect their economic potential and social structure. Increases and decreases in population size impact the labor market, resource availability, infrastructure, and other aspects of regional development. Demographic processes such as natural growth, migration, and age structure determine the potential for economic growth in the region. For example, regions with stable natural growth have higher demand for labor and consumer goods, which is favorable for business and infrastructure development. The distribution of demographic processes and population indicators can also influence regional

development by concentrating population in certain areas and altering the economic activity and socio-cultural dynamics of the territory.

The new stage in the genesis of the theory of regional development began with the recognition of the importance of territorial identification, its role as a competitor and partner of other territories, as a specific subject of economic relations. Accordingly, the theory of stimulating (increasing) regional competitiveness has become a new theory of regional development. It takes into account all the existing regional theories and concepts, methods and ideas of economic and social

theory and provides for the use of its own innovative mechanisms for ensuring territorial development [15]. The interest in this concept is not only scientific but also practical, as all countries and regions strive to become more developed and competitive.

The authors found that none of the analyzed theories is successful enough to be applied in practice. This is due to the fact that the above-mentioned certain paradigms and theories of regional development are similar to each other, in particular, the theory of cumulative development and new theories of regional economic development. Among the new theories, only economic geography analyzes transportation costs. Including transportation costs in endogenous growth models would make them more economically realistic. At the same time, some theories analyze positive market externalities, but the analysis itself is rather conditional.

The above analysis of regional development theories can contribute to the formulation and implementation of effective regional policies and the creation of a theoretical framework for reducing disparities between the poorest and richest regions. However, it should be emphasized that there are currently various attempts to integrate different theories of regional growth with modern theories of the research material.

The modern theory of regional innovation development includes the following: the theory of an innovative regional cluster, the theory of regional development of endogenous technological progress, the theory of an innovation network and the theory of a regional innovation system.

The theory of the innovative regional cluster is to intensify the activities of firms in the region with undeniable competitive advantages through completely new products, which is associated with the operation of the cluster system. As we can see, this concept does not mention human activity, as the focus is on the commodity product.

The essence of the theory of regional development of endogenous progress is the introduction of product and technological innovations - the main means of ensuring innovative regional development. It also emphasizes the role of venture capital funds and enterprises as business entities that encourage the transformation of new scientific results into real products. But the most important thing in this theory, which is important for solving the problems of the article, is the involvement of scientific knowledge and the accumulation of human capital in economic development. This has a significant impact on the development of human and financial capital, and, accordingly, makes people one of the main factors of regional development.

An important element of the innovation network theory is cooperation between business entities. The main goal of developing such a network is to reduce risks, uncertainty, and gain access to information and knowledge. This theory also mentions people, as it has been found that close ties between customers and suppliers determine a high degree of specialization of companies through vertical disintegration.

The theory of the regional innovation system also

mentions people. Accordingly, the essence of the theory is a set of economic, political, and institutional ties that arise in a certain geographical area and generate collective learning processes that facilitate the rapid dissemination of knowledge and best practices.

Modern concepts of regional development are aimed at solving the following tasks: justifying the transition from socially oriented to globally oriented regional policy, exploring new paradigms of regional integration and cooperation. Sustainable development of the region in social and economic terms means not only maximizing and improving internal and external credit resources to meet the needs of local residents, but also improving the standard of living and quality of life while overcoming unfavorable socio-economic and environmental trends that have arisen in connection with the full-scale invasion.

In regional development, population resettlement is of great importance, which is a process that covers the spread of the population across the territory and is associated with its increasingly intensive economic development and spatial movement.

The concept of a settlement system should be understood as a set of settlements in a certain territory, unequal in number of inhabitants and functions, united by various types of connections, common engineering infrastructure, a single network of public centers for social and cultural services and places of mass recreation. It is important to note that the leading place in the state's settlement system is occupied by the centers of metropolitan urban agglomeration, i.e., zones of maximum spatial concentration, usually large and medium-sized satellite cities. These are special manifestations of the territorial organization of urban settlements and population distribution.

The regions of Ukraine have suffered differently from destruction, internal and external migration, and this has long-term consequences for the demographic situation of the regions, so special attention should be paid to the differences between the regions.

In modern concepts, the demographic process is seen as an element of regional development that influences its course. And this is not in vain, since the population of a region is not only the basis for the formation of social infrastructure, but also an important factor in its further development and improvement. The population is both the object of service provision and the subject of production activities of enterprises, organizations and infrastructure facilities. Accordingly, economic development, quality social services and health care in the regions have a positive impact on demographic processes [2, c. 3].

The development of infrastructure depends on the demographic dynamics of the region, the level of population reproduction, the share of people with disabilities in the regional structure, and the level of employment of workers in the production process. Demographic factors in the development of social infrastructure make it possible to organize the activities of sectoral and territorial structures more rationally, taking into account the concentration of population and regional demographic features.

Analyzing the current state of Ukraine's

demographic component, identifying trends and finding ways to reproduce and revive the nation should already be one of the state's priorities. Unfortunately, Ukraine has been experiencing a demographic crisis for years, exacerbated by the war. Its causes include low birth rates, lack of adequate support for families, high mortality, poor health, high prevalence of chronic diseases, and significant emigration abroad.

The most important results expected from the use of modern concepts are improving the quality of life of the population, increasing the socio-economic potential of the region, and sustainable development of the entire socio-economic system of the region as a whole [13]. Therefore, concerted efforts at all levels of government, a competent policy of regional economic development, creation of favorable working and educational conditions for the population, and support for families are important for increasing the competitiveness of the regional economy and achieving an appropriate level of socialization of the population [18]. Accordingly, with the improvement of regional development, the demographic situation not only in a particular territory but also in the whole of Ukraine will intensify and improve.

Conclusions. The demographic process in the

country has a significant impact on regional development. It is found that regional policy is evolving under the influence of various theories that try to legitimize the share of state intervention in national economic processes, the relationship between regions (communities) and the state, and the efficient use of productive forces. The most common concepts of regional development include neoclassical, classical and neo-Keynesian theories, theories of endogenous regional development, the theory of the innovative regional cluster, the theory of the innovation network and the theory of the regional innovation system. The concepts have evolved to recognize the use of human potential, their experience and knowledge as the main factors of regional development.

It is important to formulate and implement an economic policy that will contribute to the country's economic and demographic growth. It should provide for the creation of new jobs, promotion of entrepreneurship, attractive investment conditions, and development of regional infrastructure. The subject of further research in this area is the development of measures that should be effectively implemented to prevent a demographic crisis and, accordingly, enable the development of regions in Ukraine during the war and post-war reconstruction.

References:

1. Bilenko, O.V., & Horban, S.F. (2022). Demografichna sytuatsiya v Ukraini: suchasnyy stan ta osnovni problemy [Demographic situation in Ukraine: current state and main problems]. *Efektivna ekonomika*, 1, 1-7. Retrieved from http://www.economy.nayka.com.ua/pdf/1_2022/80.pdf [in Ukrainian].
2. Bryzhan, I.A., Chevganova, V.Ya., Grigoryeva, O.V., & Svistun, L.A. (2020). Pidkhody do prohozuvannya demografichnykh protsesiv v upravlinni integrovanykh rozvytkom terytoriy [Approaches to forecasting demographic processes in the management of integrated development of territories]. *Economics and forecasting*, 2, 21-42. Retrieved from http://nbuv.gov.ua/UJRN/econprog_2020_2_4 [in Ukrainian].
3. Buyanovs'ka, L.Yu., Yavors'ka, V.V., & Bezuhlyy, V.V. (2023). Demografichnyy potentsial Odeshchyny: rehional'ni osoblyvosti [Demographic potential of Odesa: regional features]. *Visnyk Odes'koho natsional'noho universytetu – Bulletin of Odessa National University. Geographical and geological sciences*, 28(2(43)), 25-36. [https://doi.org/10.18524/2303-9914.2023.2\(43\).292731](https://doi.org/10.18524/2303-9914.2023.2(43).292731) [in Ukrainian].
4. Hukalova, I.V. (2023). Demografichni ta sotsial'ni chynnyky rozvytku sil's'koyi mistsevosti v Ukraini: tendentsiyi zmin [Demographic and social factors of rural development in Ukraine: trends of change]. *Ukrayins'kyi heohrafichnyy zhurnal*, 2(122), 35-47. Retrieved from https://ukrgeojournal.org.ua/sites/default/files/UGZ_2023_02_3_3.pdf [in Ukrainian].
5. Didenko, O.G., & Myroshnychenko, A.I. (2023). Formuvannya efektyvnoyi rehional'noyi polityky v Ukraini [Formation of effective regional policy in Ukraine]. *Economy and the region*, 3 (90), 21-25. Retrieved from https://reposit.nupp.edu.ua/bitstream/PolNTU/13684/1/%D0%95%D1%96%D0%A0_3_90_2023_21-25.pdf [in Ukrainian].
6. Dnistrianska, I. (2019). Naukovi doslidzhennia heohrafii sil'skykh poselen Ukrainy: evoliutsiia metodolohichnykh pidkhodiv u konteksti aktualnykh vyklykiv [Scientific studies of the geography of rural settlements of Ukraine: the evolution of methodological approaches in the context of current challenges]. *Bulletin of Lviv University*, 53, 113-124. <http://dx.doi.org/10.30970/vgg.2019.53.10662> [in Ukrainian].
7. Yemets, V.V. (2022). Ekonomichnyy rozvytok u povoyennyi period v Ukraini: rehional'nyy ta mistsevyy aspekty [Economic development in the post-war period in Ukraine: regional and local aspects]. *Economy and the state*, 5, 68-72. Retrieved from <http://www.economy.in.ua/?op=1&z=5180&i=9> [in Ukrainian].
8. Kish, G.V. (2022). Chynnyky rehional'noho rozvytku ta yikh stratehichne upravlinnya [Factors of regional development and their strategic management]. *State and regions, Series: Economics and entrepreneurship*, 1(124), 112-115. <https://doi.org/10.32840/1814-1161/2022-1-19> [in Ukrainian].
9. Korinaevskiy, S.V. (2020). Istorychna retrospektyva formuvannya yevropeys'koyi polityky rehional'noho rozvytku [Historical retrospective of the formation of the European policy of regional development]. *State administration and local self-government*, 4 (47), 23-32. Retrieved from <https://journals.politehnica.dp.ua/index.php/public/article/view/133/115> [in Ukrainian].
10. Kravets, I.M. (2019). Suchasni demografichni problemy rozvytku Ukrainy [Modern demographic problems of the development of Ukraine]. *Infrastructure of the market*, 31, 515-521. Retrieved from http://www.market-infr.od.ua/journals/2019/31_2019_ukr/78.pdf [in Ukrainian].

11. Lelechenko, A.P. (2020). Kompleksnyy mekhanizm formuvannya y realizatsiyi rehional'noyi polityky staloho rozvytku v Ukrayini [Complex mechanism of formation and implementation of regional policy of sustainable development in Ukraine]. *Academic notes of TNU named after V.I. Vernadskyi, Series: Public administration*, 2(31 (70)), 121-126. <https://doi.org/10.32838/2663-6468/2020.2/20> [in Ukrainian].
12. Makhnachova, N.M., & Semenyuk, I.Yu. (2019). Stratehichne planuvannya rozvytku terytoriy z urakhuvannyam tsiley staloho rozvytku [Strategic planning of territorial development taking into account the goals of sustainable development]. *Efficient economy*, 10. Retrieved from http://nbuv.gov.ua/UJRN/efek_2019_10_26 [in Ukrainian].
13. Medvid, G.S. (2022). Formuvannya stratehichno-orientovanoyi modeli staloho rozvytku rehioniv [Formation of a strategically oriented model of sustainable development of regions]. *Journal of Strategic Economic Research*, 6(11), 55-66. Retrieved from <https://econ-vistnyk.knutd.edu.ua/wp-content/uploads/sites/17/2023/07/6-2022-5.pdf> [in Ukrainian].
14. Melnyshyn, L.V. (2020). Rehionalsh'na polityka stosovno staloho rozvytk Ukrayiny v konteksti yevropeys'koyi intehratsi [Regional policy regarding the sustainable development of Ukraine in the context of European integration]. *State administration and local self-government*, 2 (45), 118-126. Retrieved from <https://grani-print.dp.ua/index.php/dridu/article/view/369/294> [in Ukrainian].
15. Ovdiin, O.V. (2021). Ponyattya y katehoriyi derzhavnoho upravlinnya demohrafichnymy protsesamy [Concepts and categories of state management of demographic processes]. *Academic notes of TNU named after V.I. Vernadskyi, Series: Public administration*, 3(32(71)), 8-12. <https://doi.org/10.32838/TNU-2663-6468/2021.3/02> [in Ukrainian].
16. Pashkevych, M., & Shahoyan, S. (2022). Rozvytok rehioniv ta formuvannya rehional'noyi polityky na osnovi mizhnarodnykh klasternykh utvoren' v umovakh hlobalizatsiyi [Regional development and shaping regional policy based on international cluster formations in the conditions of globalization]. *Efficient economy*, 2. Retrieved from <http://www.economy.nayka.com.ua/?op=1&z=10045> [in Ukrainian].
17. Prykhodchenko, T.A. (2018). Analiz suchasnoho rehional'noho rozvytku v Ukrayini [Analysis of modern regional development in Ukraine]. *Economy and the state*, 5, 43-47. Retrieved from <http://www.economy.in.ua/?op=1&z=4056&i=9> [in Ukrainian].
18. Pugachevska, K. (2023). Rehional'nyy rozvytok yak chynnyk formuvannya konkurentospromozhnosti ekonomiky rehionu [Regional development as a factor in shaping the competitiveness of the regional economy]. *Innovation and Sustainability*, 3, 63-68. <https://doi.org/10.31649/ins.2023.3.63.68> [in Ukrainian].
19. Todorova, O.L., & Lesyk, O.V. (2021). Ahentsiyi rehional'noho rozvytku yak skladova instytutsiynoho zabezpechennya realizatsiyi derzhavnoyi rehional'noyi polityky [Regional development agencies as a component of institutional support for the implementation of state regional policy]. *Investments: practice and experience*, 13-14, 72-78. <https://doi.org/10.32702/2306-6814.2021.13-14.72> [in Ukrainian].
20. Kharchenko, Yu. (2023). Vykylyky rosiys'ko-ukrayins'koyi viyny dlya stratehiyi rehional'noho rozvytku [Challenges of the Russian-Ukrainian war for the strategy of regional development]. *Problems of modern transformations, Series: Economics and Management*, 7. <https://doi.org/10.54929/2786-5738-2023-7-05-02> [in English].
21. Schults, S.V., Lutskiv, O.M., & Simkiv, L.E. (2017). Ekonomichne zrostannya rehioniv: kil'kisni ta yakisni skladovi [Economic growth of regions: quantitative and qualitative components]. *Socio-economic problems of the modern period of Ukraine*, 4, 27-32. Retrieved from http://nbuv.gov.ua/UJRN/sepspu_2017_4_7 [in Ukrainian].

Павло Венців

аспірант кафедри географії України та регіоналістики,
Чернівецький національний університет імені Юрія Федьковича,
вул. Коцюбинського, 2, м. Чернівці, 58002, Україна
e-mail: ventsiv.pavlo.@chnu.edu.ua, <https://orcid.org/0009-0002-8462-5149>

ДЕМОГРАФІЧНІ ПРОЦЕСИ У ВИМІРІ КОНЦЕПЦІЙ РЕГІОНАЛЬНОГО РОЗВИТКУ

У цій статті досліджується взаємозв'язок демографічних процесів та еволюції концепцій регіонального розвитку з урахуванням їх впливу на регіональну політику в Україні. Розглянуті різні теорії, такі як неокласична, кумулятивний ріст та регіональні кластери, зазначаючи їхню залежність від демографічних показників. Дослідження має на меті виявити сучасні теоретичні підходи до економічного та регіонального розвитку з використанням демографічних показників для оптимізації регіональної політики в Україні. Встановлено, що регіональна політика розвивається під впливом різноманітних теорій, які виправдовують державне втручання в економічні процеси, міжрегіональні відносини та ефективне використання продуктивних ресурсів. Сучасна географічна наука пропонує численні моделі регіонального розвитку, підкреслюючи важливість демографічних показників в контексті економічних криз. Практичне значення цих висновків полягає в їх потенційному застосуванні для формулювання та реалізації державної економічної політики.

Подальші дослідження необхідні для узагальнення цільової моделі сучасного регіонального розвитку, зокрема в умовах соціоекономічних нерівностей, поглиблених конфліктів, таких як вторгнення російської федерації в Україну. Дослідження вказує на те, що ефективність регіонального розвитку залежить від ефективної державної політики, спрямованої на досягнення стратегічних цілей, багаторівневого управління та підтримки регіонів на різних рівнях. Виокремлено значущість демографічних процесів, соціальних умов, економічних факторів та технологічних досягнень у регіональному розвитку. Інтегруючи різні теорії та сучасні концепції, політики можуть сформулювати міцні регіональні політики з метою стимулю-

вання соціально-економічного зростання та вирішення демографічних викликів в Україні. Стаття вказує на те, що подальші дослідження повинні зосередитися на розробці стратегій для подолання демографічних криз та сприяння регіональному зростанню під час періодів конфлікту та післявоєнної реконструкції. Шляхом вирішення цих викликів та використання демографічних тенденцій політики можуть працювати над досягненням соціоекономічного просування та підвищення загального рівня благополуччя у громадах України.

Ключові слова: розвиток, регіон, демографічне становище, фактори, теорії розвитку.

Список використаної літератури:

1. Біленко О.В., Горбань С.Ф. Демографічна ситуація в Україні: сучасний стан та основні проблеми. *Ефективна економіка*. 2022. № 1. С. 1-7. URL: http://www.economy.nayka.com.ua/pdf/1_2022/80.pdf
2. Брижань І.А., Чевганова В.Я., Григор'єва О.В., Свистун Л.А. Підходи до прогнозування демографічних процесів в управлінні інтегрованим розвитком територій. *Економіка і прогнозування*. 2020. № 2. С. 21-42. URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/econprog_2020_2_4
3. Буяновська Л.Ю., Яворська В.В., Безуглий В.В. Демографічний потенціал Одещини: регіональні особливості. *Вісник Одеського національного університету. Географічні та геологічні науки*. 2023. Т. 28, вип. 2(43). С. 25-36. [https://doi.org/10.18524/2303-9914.2023.2\(43\).292731](https://doi.org/10.18524/2303-9914.2023.2(43).292731)
4. Гукалова І.В. Демографічні та соціальні чинники розвитку сільської місцевості в Україні: тенденції змін. *Український географічний журнал*. 2023. №2(122). С. 35-47. URL: https://ukrgeojournal.org.ua/sites/default/files/UGZ_2023_02_3_3.pdf
5. Діденко О.Г., Мирошниченко А.І. Формування ефективної регіональної політики в Україні. *Економіка і регіон*. 2023. №3 (90). С. 21-25. URL: https://reposit.nupp.edu.ua/bitstream/PoltNTU/13684/1/%D0%95%D1%96%D0%A0_3_90_2023_21-25.pdf
6. Дністрянська І. Наукові дослідження географії сільських поселень України: еволюція методологічних підходів у контексті актуальних викликів. *Вісник Львівського університету*. 2019. № 53. С. 113-124. <http://dx.doi.org/10.30970/vgg.2019.53.10662>
7. Смець В. В. Економічний розвиток у повоєнний період в Україні: регіональний та місцевий аспекти. *Економіка та держава*. 2022. № 5. С. 68–72. URL: <http://www.economy.in.ua/?op=1&z=5180&i=9>
8. Кіш Г.В. Чинники регіонального розвитку та їх стратегічне управління. *Держава та регіони. Серія: Економіка та підприємництво*. 2022. № 1 (124). С. 112-115. <https://doi.org/10.32840/1814-1161/2022-1-19>
9. Корінаєвський С.В. Історична ретроспектива формування європейської політики регіонального розвитку. *Державне управління та місцеве самоврядування*. 2020. Вип. 4(47). С. 23-32. <https://journals.politehnica.dp.ua/index.php/public/article/view/133/115>
10. Кравець І.М. Сучасні демографічні проблеми розвитку України. Інфраструктура ринку. 2019. Вип. 31. С. 515-521. URL: http://www.market-infr.od.ua/journals/2019/31_2019_ukr/78.pdf
11. Лелеченко А. П. Комплексний механізм формування й реалізації регіональної політики сталого розвитку в Україні. *Вчені записки ТНУ імені В.І. Вернадського. Серія: Державне управління*. 2020. № 2. Т. 31(70). С. 121-126. <https://doi.org/10.32838/2663-6468/2020.2/20>
12. Махначова Н.М., Семенюк І.Ю. Стратегічне планування розвитку територій з урахуванням цілей сталого розвитку. *Ефективна економіка*. 2019. № 10. URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/efek_2019_10_26
13. Медвідь Г.С. Формування стратегічно-орієнтованої моделі сталого розвитку регіонів. *Журнал стратегічних економічних досліджень*. 2022. № 6(11). С. 55-66. URL: <https://econ-vistnyk.knutd.edu.ua/wp-content/uploads/sites/17/2023/07/6-2022-5.pdf>
14. Мельнишин Л.В. Регіональна політика стосовно сталого розвитку України в контексті європейської інтеграції. *Державне управління та місцеве самоврядування*. 2020. Вип. 2(45). С. 118-126. URL: <https://grani-print.dp.ua/index.php/dridu/article/view/369/294>
15. Овдін О.В. Поняття й категорії державного управління демографічними процесами. *Вчені записки ТНУ імені В.І. Вернадського. Серія: Державне управління*. 2021. № 3. Т. 32(71). С. 8-12. <https://doi.org/10.32838/TNU-2663-6468/2021.3/02>
16. Пашкевич М.С., Шагоян С.М. Розвиток регіонів та формування регіональної політики на основі міжнародних кластерних утворень в умовах глобалізації. *Ефективна економіка*. 2022. № 2. URL: <http://www.economy.nayka.com.ua/?op=1&z=10045>
17. Приходченко Т.А. Аналіз сучасного регіонального розвитку в Україні. *Економіка та держава*. 2018. № 5. С. 43-47. URL: <http://www.economy.in.ua/?op=1&z=4056&i=9>
18. Пугачевська К. Регіональний розвиток як чинник формування конкурентоспроможності економіки регіону. *Innovation and Sustainability*. 2023. № 3. С. 63-68. <https://doi.org/10.31649/ins.2023.3.63.68>
19. Тодорова О.Л., Лесик О.В. Агенції регіонального розвитку як складова інституційного забезпечення реалізації державної регіональної політики. *Інвестиції: практика та досвід*. 2021. № 13-14. С. 72-78. <https://doi.org/10.32702/2306-6814.2021.13-14.72>
20. Харченко Ю. Виклики російсько-української війни для стратегії регіонального розвитку. *Проблеми сучасних трансформацій. Серія: економіка та управління*. 2023. № 7. <https://doi.org/10.54929/2786-5738-2023-7-05-02>
21. Шульц С.В., Луцків О.М., Сімків Л.Є. Економічне зростання регіонів: кількісні та якісні складові. *Соціально-економічні проблеми сучасного періоду України*. 2017. Вип. 4. С. 27-32. URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/sepspu_2017_4_7

Надійшла 20 березня 2023 р.

Прийнята 08 травня 2023 р.

Андрій Зигар*аспірант кафедри географії України та регіоналістики,
Чернівецький національний університет імені Юрія Федьковича,
вул. Коцюбинського, 2, м. Чернівці, 58002, Україна
email: zyhar.andrii@chnu.edu.ua, <https://orcid.org/0000-0002-3882-8829>*

ВПЛИВ ПРИРОДНО-ТЕХНІЧНОЇ ГЕОСИСТЕМИ ДНІСТРОВСЬКОЇ ГАЕС НА ДИНАМІЧНІ ПРОЦЕСИ У СЕРЕДОВИЩІ ЇЇ ФУНКЦІОНУВАННЯ

Метою дослідження є опис натурних методів вивчення впливу природно-технічної геосистеми (ПТГС) Дністровської ГАЕС на динамічні процеси в середовищі її функціонування. Для аналізу натурних методів вивчення впливу природно-технічної геосистеми (ПТГС) Дністровської ГАЕС на динамічні процеси у середовищі її функціонування використовувалася комплексна методика досліджень. Початковий етап включав аналіз результатів попередніх наукових досліджень, що стосувалися впливу інженерних гідротехнічних об'єктів на природне середовище. Це дозволило врахувати попередні висновки та визначити наявні знання в цій галузі. Далі проводився тереновий (польовий) збір даних, який включав в себе натурні вимірювання та спостереження безпосередньо в зоні функціонування об'єкта дослідження. Для цього використовувалися спеціалізовані прилади для збору інформації. Особлива увага була приділена статистичному аналізу отриманих даних, що дозволило виявити взаємозв'язки між різними факторами, що впливають на динамічні процеси середовища.

У 21 столітті географія стає ще більш важливою і відповідальною наукою через зростання глобальних викликів, таких як зміни клімату, природокористування, міграції населення та інші. Інтегрований підхід, дозволяє географам розглядати проблеми з різних точок зору та розробляти комплексні рішення. Сучасні технології, такі як географічні інформаційні системи (ГІС), супутникові знімки, дистанційне зондування тощо, надають географам нові можливості для збору, аналізу та інтерпретації даних, що допомагає вирішувати складні проблеми більш ефективно. Прикладом застосування інтегрованого підходу у вивченні впливу природно-технічної геосистеми Дністровського каскаду ГЕС та ГАЕС на динамічні процеси.

Дослідження в статті дають змогу розширити розуміння конкретної проблеми управління антропогенним навантаженням у природно-технічній системі. Аналіз об'єкта, що проектується, як системи, що містить дві найважливіші частини – технічну і природну, робить системний підхід не окрасою, а обов'язковою умовою роботи, природознавця: географа, еколога – союзником, поплічником проєктувальника. Проєктувати, створювати середовище, яке є оптимальним для життя людини, це означає проєктувати такі системи, конструкції, технології, щоб вони були максимально пов'язані з існуючими взаємозв'язками в природі.

Ключові слова: *геоекологія, конструктивна географія, геосистеми, річкові природно-технічні системи, ландшафтно-технічні системи, ландшафтно-інженерні системи, ГІС-технології, Дністровська ГАЕС, натурні методи.*

Як цитувати: Зигар, А. (2023). Вплив природно-технічної геосистеми Дністровської ГАЕС на динамічні процеси у середовищі її функціонування. *Часопис соціально-економічної географії*, 34, 49-56. <https://doi.org/10.26565/2076-1333-2023-34-05>

In cites: Zyhar, A. (2023). The influence of the natural and technical geosystem on the dynamic processes in the functioning environment of the Dniester PSPP. *Human Geography Journal*, 34, 49-56 [in Ukrainian]. <https://doi.org/10.26565/2076-1333-2023-34-05>

Вступ. Водосховища разом з ГЕС та ГАЕС – це надзвичайно потужні природно-технічні, природно-інженерні комплекси. Дослідження таких комплексів перш за все відноситься до сфери геоекології та конструктивної географії. З географічних позицій це особливі геосистеми, ландшафти, складові річково-басейнових геосистем загалом. Їх дослідження носять міждисциплінарний характер, поєднуючи природничі, соціально-економічні, географічні, геологічні, технічні та інші напрями. Зокрема, вони прямо стосуються планування, проєктування та управління відповідними об'єктами. Важливим інструментом сучасних досліджень природно-технічних геосистем є ГІС-технології, ГІС-моделювання.

Г.І. Денисик [3, с. 29] виділяє ландшафтно-інженерні, ландшафтно-техногенні системи та власне антропогенні ландшафти. Їм відповідають певні рівні пізнання. Вищим рівнем виступає геотехнічний. На ньому географічні знання про об'єкт поєднуються з інженерно-технічними та соціально-економічними. В

Україні розвивається ряд наукових напрямів, шкіл з досліджень геоекології річково-басейнових систем та їх складових. Також значна увага приділяється річково-долинним ландшафтно-технічним системам. Загалом дослідження річково-долинних ландшафтів – це відома складова геоекологічних, географічних досліджень. Є ряд праць географічного, ландшафтознавчого, гідрологічного характеру, які прямо чи опосередковано торкаються гідротехнічного комплексу на Дністрі. Зокрема, [4, с. 130; 10]. Комплекс Дністровських ГЕС та ГАЕС фактично замикає основну частину басейну Дністра в межах України. Комплексного конструктивно-географічного дослідження присвяченого власне геосистемі Дністровської ГАЕС поки що не виконано.

У сучасному світі питання екології та впливу людської діяльності на навколишнє середовище стають дедалі актуальнішими. Особлива увага приділяється впливу гідроенергетичних об'єктів на природні та техногенні процеси в їхньому оточенні.

У контексті цієї проблематики, одним з об'єктів, що привертають значну увагу дослідників, є Дністровська ГАЕС, яка розташована у Чернівецькій області Дністровського району на правому березі р. Дністер. [11] (рис. 1).

Проект спорудження Дністровської ГАЕС планувався саме як частина більшого проекту для каска-

ду Дністровських ГЕС і ГАЕС у 70-х роках 20 століття у співпраці з проектною установою інститутом "Гідропроект". Найбільш продуктивними виявилися питання щодо географічного та екологічного обґрунтування створення гідротехнічних комплексів на рівнинних річках і меліоративних систем.

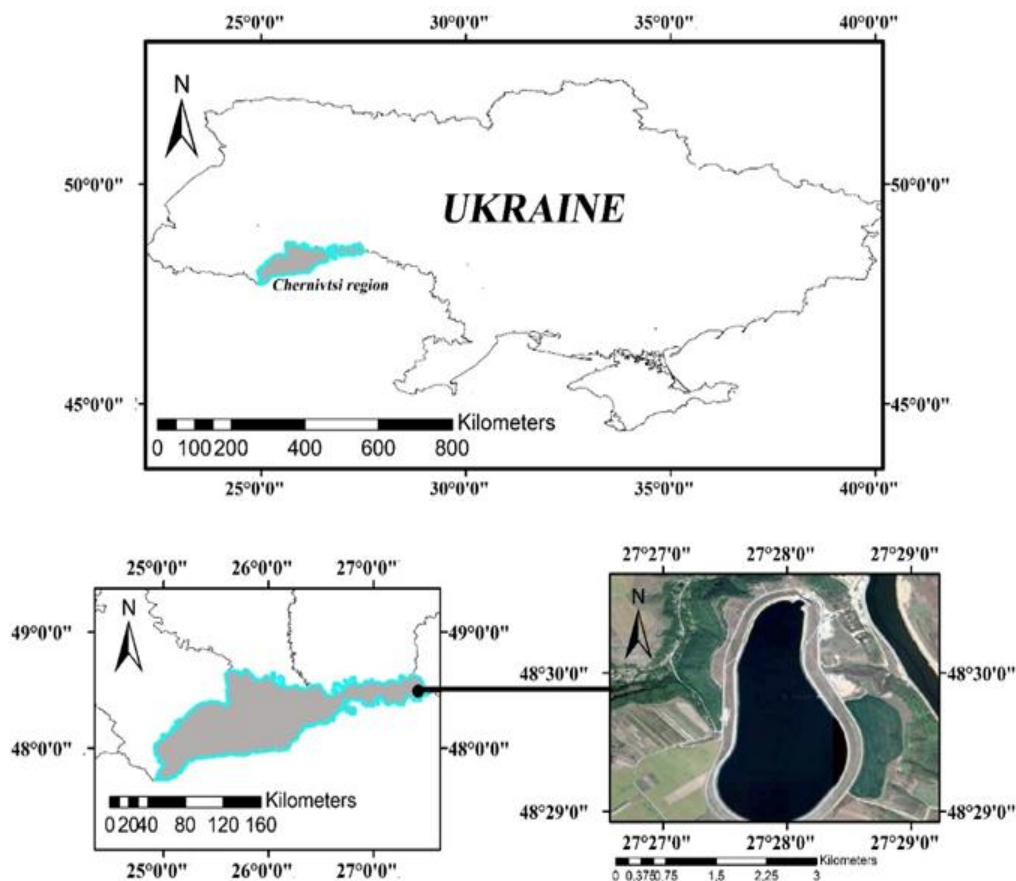


Рис. 1. Мапа розташування об'єкта досліджень
Fig. 1. Map of the research object location

У чіткому вигляді екологічне проектування було представлено у проєктах рекультивації земель. У 70-ті роки виникли перші узагальнені дослідження з рекультивації ландшафтів у СРСР, тоді ж з'явилися урядові та державні документи, які регламентують проектування та здійснення рекультивації. У СРСР перший юридично оформлений крок на шляху до екологічної експертизи - стала "Постанова ЦК КПРС та Ради Міністрів СРСР від 1 грудня 1978 р.", що в сучасній Україні втратила силу 1993 року [5], у якій було рекомендовано впровадження в практику народного господарського планування територіальних комплексних схем захисту довкілля. На жаль, в умовах суворой планової системи та монополії міністерств питання щодо охорони природи не стали дієвим інструментом екологічного проектування та експертизи. Свідченням цього стали наслідки аварії на Чорнобильській АЕС [24, с. 204], у 1986 році. Тому методичного, системного, комплексного та прозорого розгляду наслідків, планованої господарської діяльності для довкілля і здоров'я населення не проводили. Ключовою датою став 1985 рік, коли

Держбуд СРСР ухвалив Будівельні норми і правила ("СНиП"), за якими вперше від проектувальників вимагали оцінки стану довкілля та екосистем у регіоні ймовірного будівництва, а також оцінювання впливу на них з боку проекту. Так, 1985 рік відзначився значною подією в сучасній галузі географії України, зокрема в розвитку екології як наукової дисципліни [9]. На сьогодні в Україні існує програма постійного оновлення стандартів навколишнього середовища які являються науково обґрунтованими гранично допустимими нормативами стану компонентів природи, перевищення яких створює загрозу для людини, біоти ландшафту. Це Закон України «Про ландшафти» [1], Кодекс Законів України «Про надра» [6], Водний кодекс України [2], Закон України «Охорону атмосферного повітря» [7], та Закон «Про охорону навколишнього середовища» [8].

Також унормовуються радіоактивність і радіоактивне забруднення, шум, вібрація, електромагнітні хвилі, вплив транспорту, промислові та побутові відходи, стічні води та їхні опади, мінеральні добрива, безпека в надзвичайних ситуаціях, рекультивация.

Логічно припустити, що всі вище перелічені стандарти і норми врегульовують саму суть взаємодії людини, як суб'єкта господарської діяльності, з природи. А значить для задоволення власних потреб, приміром в електричній енергетиці, людство вимушене застосовувати різні комбінації знарядь і засобів праці, пов'язані з технічним втручанням у природу Землі.

Коли ми говоримо про об'єкти Земної природи, то маємо на увазі географічні системи - геосистеми.

У розглянутому випадку використовується технічне знаряддя, яким є інженерний об'єкт - Дністровська гідроакумулююча електростанція. У результаті тісної взаємодії між природними (географічними) і технічними елементами виникає таке поняття - природно технічна геосистема. Інженерний об'єкт типу Дністровської ГАЕС у природно-технічній геосистемі (геотехсистемі) діє як певний механізм, що дає змогу суспільству (людині), з одного боку, підлаштовуватися до природного середовища, а з іншого – підлаштовувати природу до забезпечення власних потреб.

Метою статті є опис натурних методів вивчення впливу природно-технічної геосистеми (ПТГС) Дністровської ГАЕС на динамічні процеси в середовищі її функціонування.

Аналіз останніх досліджень і публікацій, методика дослідження. У 21 столітті географія стає ще більш важливою і відповідальною наукою через зростання глобальних викликів, таких як зміни клімату, природокористування, міграції населення та інші. Інтегрований підхід, дозволяє географам розглядати проблеми з різних точок зору та розробляти комплексні рішення.

Сучасні технології, такі як географічні інформаційні системи (ГІС), супутникові знімки, дистанційне зондування тощо, надають географам нові можливості для збору, аналізу та інтерпретації даних, що допомагає вирішувати складні проблеми більш ефективно. Прикладом застосування інтегрованого підходу у вивченні впливу природно - технічної геосистеми Дністровського каскаду ГЕС та ГАЕС на динамічні процеси проілюстровано в роботі [28, с. 26].

Практичне значення цього дослідження полягає в розумінні впливу градієнту напруги на індукційні землетруси. Описаний метод який базується на принципах закону Кулона та теорії Мора, дозволяє дистанційно дослідити поведінку матеріалу за різних умов навантаження. Дане дослідження і розробка геомеханічної моделі дають змогу краще зрозуміти і передбачити поведінку землетрусів і визначити безпечні зони навантаження. Це має практичне значення при проектуванні та будівництві споруд, а також для оцінювання ризиків і вжиття відповідних заходів щодо забезпечення безпеки.

Для аналізу натурних методів вивчення впливу природно-технічної геосистеми (ПТГС) Дністровської ГАЕС на динамічні процеси у середовищі її функціонування використовувалася комплексна методика досліджень. Початковий етап включав аналіз результатів попередніх наукових досліджень [24, с. 28; 22, с. 16; 20, с. 43; 21, с. 394; 14, с. 2; 23, с. 3], що

стосувалися впливу інженерних гідротехнічних об'єктів на природне середовище. Це дозволило врахувати попередні висновки та визначити наявні знання в цій галузі. Далі, проводився тереновий (польовий) збір даних, який включав в себе натурні вимірювання та спостереження безпосередньо в зоні функціонування об'єкта дослідження.

Для цього використовувалися спеціалізовані прилади для збору інформації [26, с. 2; 17]. Особлива увага була приділена статистичному аналізу отриманих даних, що дозволило виявити взаємозв'язки між різними факторами, що впливають на динамічні процеси середовища. Крім того, проводилися модельні параметричні експерименти з використанням сучасних систем параметричного проектування, які раніше не використовувалися для дослідження даної теми [13]. Це дозволило отримати більш деталізовані дані та вивчити механізми впливу на мікрорівнях [19]. Усі ці етапи були інтегровані з метою отримання комплексного розуміння впливу природно-технічної геосистеми (ПТГС) на динаміку природного середовища, що забезпечило можливість відповісти на питання "Як?" і «Чому?» у контексті даного дослідження (рис. 2).

Виклад основного матеріалу. Аналізуючи роботу, присвячену даній тематиці, можна виявити цікаві тенденції та ключові аспекти, які відображають стан сучасного дослідження в галузі. На особливу увагу заслуговує дослідження [17, с. 18]. В праці подано аналіз досліджень результатів геотехнічного моніторингу (рис. 3), поведінки ґрунтів, який реалізовано на основі інклінометричних вимірювань на території Дністровської ГАЕС.

Визначено кількісні параметри розподілу горизонтальних переміщень у інклінометричних свердловинах. Це дало можливість виявити динамічні процеси у геологічних шарах (рис. 4).

На основі результатів моделювання було підтверджено зміну знаку деформацій під дією додаткового навантаження. Дане дослідження стало можливе завдяки сучасним програмним комплексам параметричного проектування базовані на алгоритмах використання методів кінцевих елементів [12, с. 20]. Коло дослідження не обмежувалося дослідженням вертикальних рухів. Зокрема, проведено унікальні вишукування вертикальних коливань геологічних шарів на глибину 20 метрів від поверхні, під впливом полів механічних напружень.

Результати проведеного дослідження підтвердили, що між змінами рівня води та деформацією ґрунту існує певна залежність. У цьому випадку, роль генератора напружень виконує циклічна зміна навантажень на ложе резервуара водосховища, тобто резервуар ГАЕС відіграє роль осцилятора поперечних коливань.

Крім того, дослідження виявило, що градієнти вертикальних коливань рівня води та ґрунту мають значні перекриття, що свідчить про наявність резонансних явищ у системі "конструктив-основа". Низькочастотні хвилі можуть бути виявлені за допомогою сейсмічних приладів, таких як сейсмометри (рис. 5).



Рис. 2. Концептуальна схема дослідження
Fig. 2: Conceptual diagram of the study

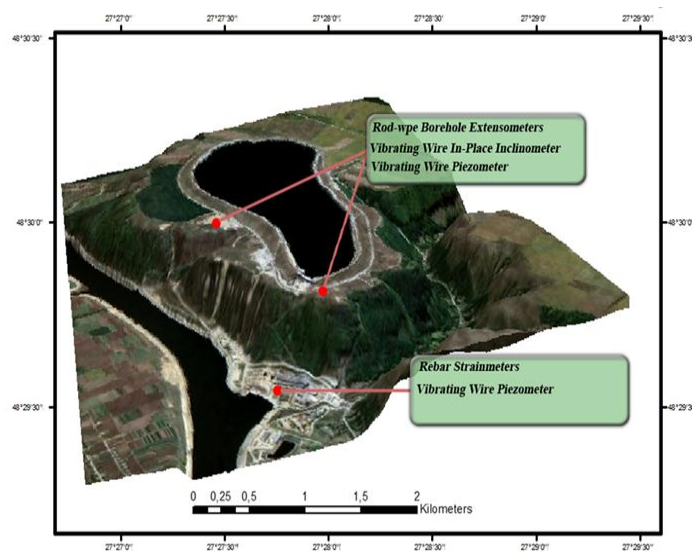


Рис. 3. Локалізація датчиків геотехнічного контролю [26, с. 3]
Fig. 3. Location of geotechnical monitoring sensors [26, с. 3]

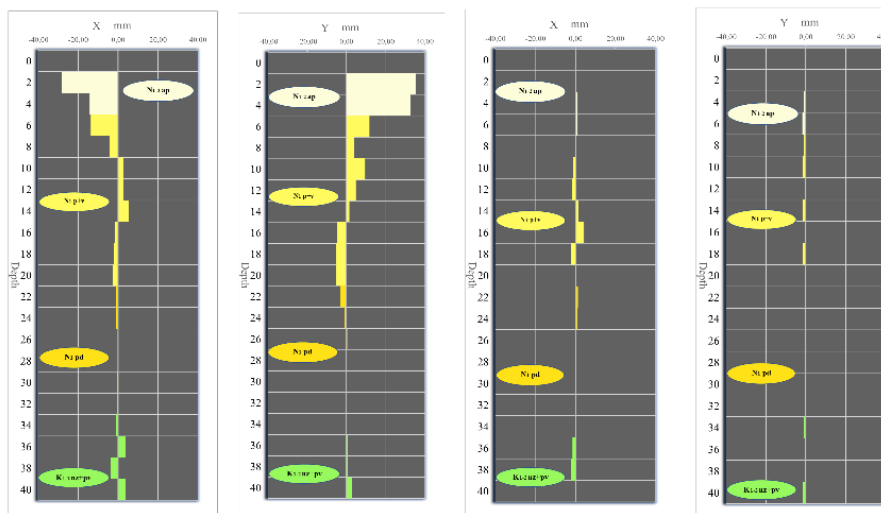


Рис. 4. Кумулятивні профілі горизонтальних переміщень свердловини № 1, № 2 [28, с. 3]
Fig. 4. Cumulative horizontal profiles of wells No. 1 and No. 2 [28, с. 3]

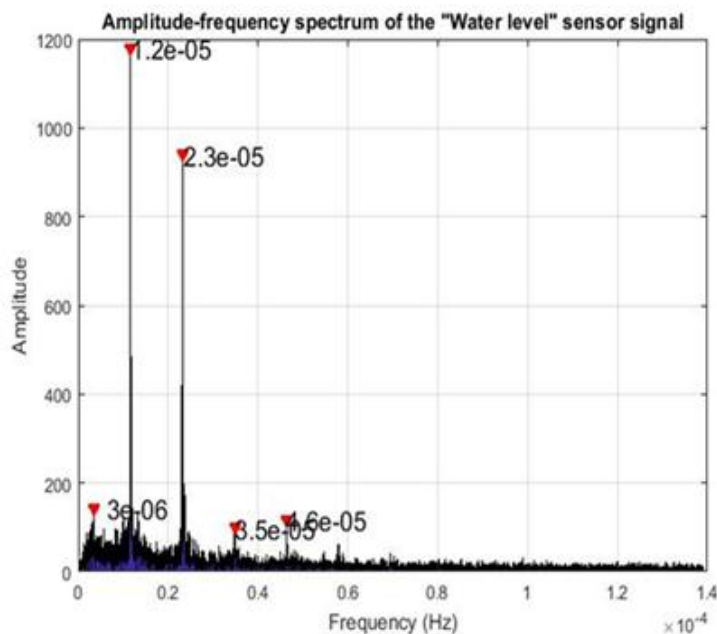


Рис. 5. Амплітудно-частотний спектр коливань рівня води у водосховищі [27, с. 4]
Fig. 5. Amplitude-frequency spectrum of water level fluctuations in the reservoir [27, p. 4]

Результати цього дослідження допоможуть коригувати аналіз та інтерпретацію сейсмограм, що важливо для розуміння процесів, які відбуваються в зоні експлуатації гідроелектростанції. Варто зауважити що для отримання описаних результатів аналізу використовувалися математичні методи обробки сигналів, що не притаманно для класичних методів географічних досліджень, зокрема метод швидкого перетворення Фур'є [15, с. 226]. Застосування мате-

матичних методів обробки сигналів в галузі географічних досліджень допоможе не лише розширити можливості аналізу, але й сприятиме подальшому розвитку методології викладання географії в Україні.

Описаний метод який базується на принципах закону Кулона та теорії Мора, дозволяє дистанційно дослідити поведінку матеріалу за різних умов навантаження (рис. 6).

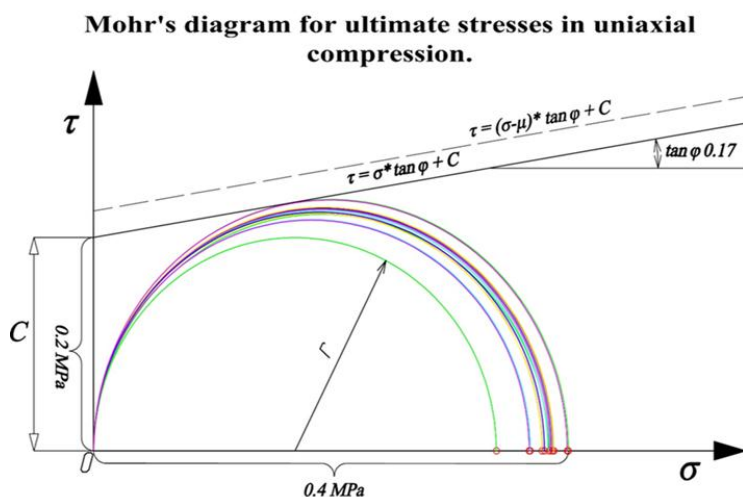


Рис. 6. Діаграма Мора для граничних напружень у ґрунтах, розташованих у зоні експлуатації Дністровського водосховища [28, с. 25]
Fig. 6. Mohr's diagram for the ultimate stresses in soils located in the Dniester reservoir operation area (Zyhar et al., 2023).

Дане дослідження і розробка геомеханічної моделі дають змогу краще зрозуміти і передбачити поведінку землетрусів і визначити безпечні зони навантаження. Унікальність цього дослідження в порівнянні з аналогічними у регіоні є те, що застосо-

вуються принципи закону Кулона та теорії Мора для дослідження геомеханічної моделі в регіоні. Це має практичне значення при проектуванні та будівництві споруд, а також для оцінювання ризиків і вжиття відповідних заходів щодо забезпечення безпеки.

Висновки. У результаті глибокої взаємодії між природними і технічними компонентами в природно-технічній геосистемі виявляється величезна кількість зв'язків, які надзвичайно важливі для функціонування системи в цілому. Ці зв'язки настільки міцні та взаємозалежні, що жодна з складових окремо не може повністю виконати всі соціально-економічні функції, які покладаються на весь комплекс геосистеми.

Таким чином, природно-технічна геосистема виявляється складною та взаємозалежною системою, де кожен елемент має свою важливу роль у забезпеченні стабільності та функціонування всього комплексу. Взаємодія між природними та технічними складовими відкриває нові можливості для збалансованого розвитку, але водночас вимагає ретельного розуміння та управління цими взаємозв'язками для запобігання негативним наслідкам для природи та суспільства.

Враховуючи цю взаємодію, необхідно розвивати комплексні стратегії та методи управління геосистемою, спрямовані на забезпечення її стійкості та ефективності. Це передбачає розробку інтегрованих

підходів до планування та управління територіями, врахування впливу людської діяльності на природні процеси, а також створення спеціалізованих систем моніторингу для постійного контролю за станом геосистеми. Тільки шляхом узгодженої дії та взаєморозуміння всіх зацікавлених сторін можна досягти балансу між потребами суспільства та збереженням природних ресурсів для майбутніх поколінь.

Наукова новизна. Дослідження в статті дають змогу розширити розуміння конкретної проблеми управління антропогенним навантаженням в природно-технічній системі.

Практична значущість. Аналіз інженерного об'єкта, що проектується, як системи, що містить дві найважливіші частини - технічну і природну, робить системний підхід не окрасою, а обов'язковою умовою роботи, природознавця: географа, еколога - союзником, поплічником проектувальника. Проектувати, створювати середовище, яке є оптимальним для життя людини, це означає проектувати такі системи, конструкції, технології, щоб вони були максимально пов'язані з існуючими взаємозв'язками в природі.

Список використаної літератури:

1. Верховна рада України ухвалила закон. *Офіційний портал Верховної Ради України*. URL: https://www.rada.gov.ua/news/news_kom/Povidomlennya/56942.html?search=Закон%20Про%20ландшафти (дата звернення: 23.03.2023).
2. Водний кодекс України. *Офіційний вебпортал парламенту України*. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/en/213/95-vp?lang=uk> (дата звернення: 23.03.2023).
3. Денисик Г.І. Антропогенне ландшафтознавство: початок ХХІ століття. *Український географічний журнал*. 2008. № 1. С. 28-30.
4. Дутчак М. Ландшафтні комплекси Середнього Придністер'я та їх зміни під впливом гідротехнічної системи. Чернівці: «РОДОВІД», 2013. 160 с.
5. Про визнання такими, що втратили чинність, деяких рішень Уряду України з питань охорони атмосферного повітря. *Офіційний вебпортал парламенту України*. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/78-93-п#Text> (дата звернення: 23.03.2023).
6. Про надра. *Офіційний вебпортал парламенту України*. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/en/132/94-vp?lang=uk#Text> (дата звернення: 23.03.2023).
7. Про охорону атмосферного повітря. *Офіційний вебпортал парламенту України*. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2707-12#Text> (дата звернення: 23.03.2023).
8. Про охорону навколишнього природного середовища. *Офіційний вебпортал парламенту України*. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1264-12#Text> (дата звернення: 23.03.2023).
9. Про оцінку впливу на довкілля. *Офіційний вебпортал парламенту України*. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2059-19#Text> (дата звернення: 23.03.2023).
10. Стратегічні напрями адаптації до змін клімату в басейні Дністра. <https://www.osce.org/>. URL: <https://www.osce.org/files/f/documents/4/d/320221.pdf> (дата звернення: 23.03.2023).
11. Філія «Дирекція з будівництва Дністровської ГАЕС» Укргідроенерго. *Укргідроенерго*. URL: https://uhe.gov.ua/filiyi/dyrektsiya_z_budivnytstva_dnistrovskoyi_haes (дата звернення: 06.03.2020).
12. An introduction to the finite element method. *Engineering analysis*. 1986. Vol. 3, no. 1. P. 62. URL: [https://doi.org/10.1016/0264-682x\(86\)90196-6](https://doi.org/10.1016/0264-682x(86)90196-6) (date of access: 23.03.2023).
13. Autodesk. <https://www.autodesk.eu/>. URL: <https://www.autodesk.eu/> (date of access: 23.03.2023).
14. Brusak I., Tretyak K., Pronyshyn R. Preliminary studies of seismicity caused by the water level changes in dnister upper reservoir. *International conference of young professionals «geoterrace-2022»*, Lviv, Ukraine, 2022. URL: <https://doi.org/10.3997/2214-4609.2022590022> (date of access: 23.03.2023).
15. Cooley J.W., Tukey J.W. An algorithm for the machine calculation of complex Fourier series. *Mathematics of computation*. 1965. Vol. 19, no. 90. P. 297. URL: <https://doi.org/10.1090/s0025-5718-1965-0178586-1> (date of access: 23.03.2023).
16. Geodynamics / A. Zyhar et al. *Geodynamics*. 2021. Vol. 1(30)2021, no. 1(30). P. 17-24. URL: <https://doi.org/10.23939/jgd2021.01.017> (date of access: 23.03.2023).
17. GEOKON® geotechnical + structural instrumentation. *GEOKON® Geotechnical + Structural Instrumentation*. URL: <https://www.geokon.com/> (date of access: 23.03.2023).

18. Matlab. *MathWorks – Makers of MATLAB and Simulink – MATLAB & Simulink*. URL: <https://www.mathworks.com/products/matlab.html> (date of access: 23.03.2023).
19. Savchyn I. Local geodynamics of the territory of dnister pumped storage power PLANT. *Acta geodynamica et geomaterialia*. 2018. P. 41-46. URL: <https://doi.org/10.13168/agg.2018.0002> (date of access: 23.03.2023).
20. Savchyn I., Pronyshyn R. Differentiation of recent local geodynamic and seismic processes of technogenic-loaded territories based on the example of Dniester Hydro Power Complex (Ukraine). *Geodesy and geodynamics*. 2020. Vol. 11, no. 5. P. 391-400. URL: <https://doi.org/10.1016/j.geog.2020.06.001> (date of access: 23.03.2023).
21. Sidorov I.S., Periy S., Sarnavskiy V.H. Geodynamics. *Geodynamics*. 2015. Vol. 2(19)2015, no. 2(19). P. 15-25. URL: <https://doi.org/10.23939/jgd2015.02.015> (date of access: 23.03.2023).
22. Tretyak K., Zayats O., Hrabovyi O. Combined adjustment of GNSS observation results and slit meter measurements for the displacement detection at the Dniester HPP dam. *Applied geomatics*. 2023. URL: <https://doi.org/10.1007/s12518-023-00502-1> (date of access: 23.03.2023).
23. Vainberg A. I. Forces in the casing of the aggregate shafts of the Dnestrovsk water-storage electric power plant. *Journal of mining science*. 1993. Vol. 29, no. 1. P. 27-31. URL: <https://doi.org/10.1007/bf00734327> (date of access: 23.03.2023).
24. Voice E. The radiological consequences of the Chernobyl accident. *Environmental reviews*. 1997. Vol. 5, no. 3-4. P. 203-205. URL: <https://doi.org/10.1139/a97-011> (date of access: 23.03.2023).
25. Zyhar A. Complex automatic control system of structures in the area of operation of the dnister PSPP. *International conference of young professionals «geoterrace-2022»*, Lviv, Ukraine, 2022. URL: <https://doi.org/10.3997/2214-4609.2022590005> (date of access: 23.03.2023).
26. Zyhar A. Geodynamics. *Geodynamics*. 2023. Vol. 1(34)2023, no. 1(34). P. 19-27. URL: <https://doi.org/10.23939/jgd2023.01.019> (date of access: 23.03.2023).
27. Zyhar A., Yushchenko Y., Savchyn I. Geodesy, cartography and aerial photography. *Geodesy, cartography and aerial photography*. 2023. Vol. 97, 2023, no. 97. P. 24-31. URL: <https://doi.org/10.23939/istcgcap2023.97.024> (date of access: 23.03.2023).

Andrii Zyhar

PhD Student, Department of Geography of Ukraine and Regional Studies,
Chernivtsi National University named after Yuriy Fedkovich, Kotsyubynskoho Str., 2, Chernivtsi, 58000, Ukraine
email: zyhar.andrii@chnu.edu.ua, <https://orcid.org/0000-0002-3882-8829>

THE INFLUENCE OF THE NATURAL AND TECHNICAL GEOSYSTEM ON THE DYNAMIC PROCESSES IN THE FUNCTIONING ENVIRONMENT OF THE DNIESTER PSPP

The aim is to describe the field methods for studying the impact of the Dniester PSPP natural and technical geosystem (NTGS) on dynamic processes in the environment of its operation. A comprehensive research methodology was used to analyse the field methods for studying the impact of the Dniester PSPP natural and technical geosystem on dynamic processes in the environment of its operation. The initial stage included an analysis of the results of previous scientific studies on the impact of hydraulic engineering facilities on the environment. This made it possible to take into account previous findings and identify existing knowledge in this area. Next, we carried out on-site (field) data collection, which included in-situ measurements and observations directly in the area of the research object. For this purpose, specialised data collection devices were used. Particular attention was paid to the statistical analysis of the data obtained, which allowed us to identify the relationships between various factors that affect the dynamic processes of the environment.

In the 21st century, geography is becoming an even more important and responsible science due to the growth of global challenges, such as climate change, environmental management, population migration, and others. An integrated approach allows geographers to look at problems from different perspectives and develop comprehensive solutions. Modern technologies, such as geographic information systems (GIS), satellite imagery, remote sensing, etc., provide geographers with new opportunities for collecting, analysing and interpreting data, which helps to solve complex problems more efficiently. An example of the application of an integrated approach in studying the impact of the natural and technical geosystem of the Dniester cascade of HPPs and PSPs on dynamic processes. Scientific novelty.

The research in the article allows us to expand the understanding of the specific problem of managing anthropogenic load in a natural and technical system. The analysis of the object being designed as a system containing two most important parts – technical and natural - makes the systems approach not a decoration, but a prerequisite for the work of a natural scientist: geographer, ecologist – an ally, an associate of the designer. Designing, creating an environment that is optimal for human life means designing such systems, structures, and technologies so that they are as closely related to the existing relationships in nature as possible.

Keywords: *Geoecology, constructive geography, geosystems, river natural and technical systems, landscape technical systems, landscape engineering systems, GIS technologies, Dniester PSPP, field methods.*

References:

1. Verkhovna rada Ukrainy ukhvalyla zakon. Ofitsiyniy portal Verkhovnoi Rady Ukrainy [Verkhovna Rada of Ukraine adopted the law. Official portal of the Verkhovna Rada of Ukraine]. Retrieved from https://www.rada.gov.ua/news/news_kom/Povidomlennya/56942.html?search=Закон%20Про%20ландшафти [in Ukrainian].
2. Vodnyi kodeks Ukrainy. Ofitsiyniy vebportal parlamentu Ukraini. [Verkhovna Rada of Ukraine adopted the law. Official portal of the Verkhovna Rada of Ukraine]. Retrieved from <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/en/213/95-vr?lang=uk> [in Ukrainian].
3. Denysyk, H.I. (2008). Antropogenne landshaftoznavstvo: pochatok XXI stolittya [Anthropogenic Landscape Studies: the Beginning of the 21st Century.] *Ukrainskyi geografichnyi zhurnal*, 1, 28-30 [in Ukrainian].
4. Dutchak, M. (2013). Landshaftni kompleksi Sereдниого Prydnisterya ta ikh zminy pid vplyvom hidrotekhnichnoi systemy. Chernivtsi [Landscape complexes of the Middle Dniester region and their changes under the influence of the hydraulic system]: «RODOVID», 160 s. [in Ukrainian].
5. Pro vyznannya takymy, shcho vtratyly chynnist, deyakykh rishen Uryadu Ukrainy z pytan okhorony atmosferного povitrya. Ofitsiyniy vebportal parlamentu Ukraini. [On the invalidation of certain decisions of the Government of Ukraine on air protection. Official web portal of the Parliament of Ukraine]. Retrieved from <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/78-93-p#Text> [in Ukrainian].
6. Pro nadra. Ofitsiyniy vebportal parlamentu Ukrainy. [Code of Laws on Subsoil. Official web portal of the Parliament of Ukraine]. Retrieved from <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/en/132/94-vr?lang=uk#Text> [in Ukrainian].
7. Pro okhoronu atmosferного povitrya. Ofitsiyniy vebportal parlamentu Ukrainy [Law on the Protection of Atmospheric Air. Official web portal of the Parliament of Ukraine]. Retrieved from <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2707-12#Text> [in Ukrainian].
8. Pro okhoronu navkolyshniogo pryrodного sereдовyshcha. Ofitsiyniy vebportal parlamentu Ukrainy [Law on Environmental Protection. Official web portal of the Parliament of Ukraine]. Retrieved from <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1264-12#Text> [in Ukrainian].
9. Pro otsinku vplyvu na dovkillya. Ofitsiyniy vebportal parlamentu Ukrainy [On Environmental Impact Assessment. Official web portal of the Parliament of Ukraine]. Retrieved from <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2059-19#Text> [in Ukrainian].
10. Stratehichni napryamy adaptatsii do zmin klimatu v baseini Dnistra [Strategic directions of climate change adaptation in the Dniester basin.] <https://www.osce.org/> Retrieved from <https://www.osce.org/files/f/documents/4/d/320221.pdf> [in Ukrainian].
11. Filiya «Direktsiya z budivnytstva Dnistrovskoi GAES» Ukgidroenergo. [Branch "Directorate for the Construction of the Dniester PSPP" [in Ukrainian].
12. An introduction to the finite element method (1986). *Engineering analysis*, 3(1), 62. [https://doi.org/10.1016/0264-682x\(86\)90196-6](https://doi.org/10.1016/0264-682x(86)90196-6)
13. Autodesk. <https://www.autodesk.eu/>. Retrieved from <https://www.autodesk.eu/>
14. Brusak, I., Tretyak, K., & Pronyshyn, R. (2022). Preliminary studies of seismicity caused by the water level changes in dnister upper reservoir. *International conference of young professionals «geoterrace-2022»*, Lviv, Ukraine. <https://doi.org/10.3997/2214-4609.2022590022>
15. Cooley, J.W., & Tukey, J.W. (1965). An algorithm for the machine calculation of complex Fourier series. *Mathematics of computation*, 19(90), 297. <https://doi.org/10.1090/s0025-5718-1965-0178586-1>
16. Geodynamics / A. Zyhar et al. (2021). *Geodynamics*, 1(30), 17-24. <https://doi.org/10.23939/jgd2021.01.017>
17. GEOKON® geotechnical + structural instrumentation. *GEOKON® Geotechnical + Structural Instrumentation*. Retrieved from <https://www.geokon.com/>
18. Matlab. *MathWorks – Makers of MATLAB and Simulink – MATLAB & Simulink*. Retrieved from <https://www.mathworks.com/products/matlab.html>
19. Savchyn, I. (2018). Local geodynamics of the territory of dnister pumped storage power PLANT. *Acta geodynamica et geomaterialia*. P. 41-46. <https://doi.org/10.13168/agg.2018.0002>
20. Savchyn, I., & Pronyshyn R. (2020). Differentiation of recent local geodynamic and seismic processes of technogenic-loaded territories based on the example of Dnister Hydro Power Complex (Ukraine). *Geodesy and geodynamics*. 11(5), 391-400. <https://doi.org/10.1016/j.geog.2020.06.001>
21. Sidorov, I.S., Periy, S., & Sarnavskiy, V.H. (2015). Geodynamics. *Geodynamics*, 2(19), 15-25. <https://doi.org/10.23939/jgd2015.02.015>
22. Tretyak, K., Zayats, O., & Hrabovyi, O. (2023). Combined adjustment of GNSS observation results and slit meter measurements for the displacement detection at the Dniester HPP dam. *Applied geomatics*. <https://doi.org/10.1007/s12518-023-00502-1>
23. Vainberg, A.I. (1993). Forces in the casing of the aggregate shafts of the Dnestrovsk water-storage electric power plant. *Journal of mining science*, 29(1), 27-31. <https://doi.org/10.1007/bf00734327>
24. Voice, E. (1997). The radiological consequences of the Chernobyl accident. *Environmental reviews*, 5(3-4), 203-205. <https://doi.org/10.1139/a97-011>
25. Zyhar, A. (2022). Complex automatic control system of structures in the area of operation of the dnister PSPP. *International conference of young professionals «geoterrace-2022»*, Lviv, Ukraine. <https://doi.org/10.3997/2214-4609.2022590005>
26. Zyhar, A. (2023). Geodynamics. *Geodynamics*, 1(34), 19-27. <https://doi.org/10.23939/jgd2023.01.019>
27. Zyhar, A., Yushchenko, Y., & Savchyn, I. (2023). Geodesy, cartography and aerial photography. *Geodesy, cartography and aerial photography*, 97, 24-31. <https://doi.org/10.23939/istcgecap2023.97.024>

Received 30 March 2023

Accepted 12 May 2023

Правила оформлення та подання статей

«Часопис соціально-економічної географії» приймає до друку матеріали обсягом понад 20 друкованих сторінок до рубрики «Горизонти науки», понад 15 сторінок до рубрики «Наукові повідомлення», до 5 сторінок до рубрики «Рецензії», до 3 сторінок до рубрики «Постаті», до 1 сторінки до рубрик «Хроніка» та «Ювілеї».

Згідно з вимогами ДАК України оригінальна стаття у фаховому виданні має складатися з таких розділів:

- 1) постановка проблеми у загальному вигляді та її зв'язок із важливими науковими чи практичними завданнями;
- 2) аналіз останніх досліджень і публікацій, в яких започатковано розв'язання даної проблеми і на які спирається автор. Згідно з вимогами, що висуваються до наукових видань міжнародного рівня, статті мають містити глибокий аналіз попередніх досліджень;
- 3) виділення невирішених раніше частин загальної проблеми, яким присвячується дана стаття;
- 4) формулювання цілей статті (постановка завдання);
- 5) виклад основного матеріалу дослідження з повним обґрунтуванням отриманих наукових результатів;
- 6) висновки з даного дослідження і перспективи подальших розвідок у даному напрямі.

Вимоги до оформлення статті: Текстовий редактор Microsoft Word. Всі поля по 20 мм, формат 210x297 мм, шрифт Times New Roman 14 пт, інтервал 1,5. Для статті необхідно вказати УДК (у лівому верхньому куті), нижче посередині рядка ім'я та прізвище автора, під ними – його науковий ступінь, вчене звання та посада. Нижче наводяться e-mail та ORCID ID автора, відомості про устанovu, її поштова адреса з індексом. Після цього з нового рядка посередині великими буквами наводиться заголовок статті.

Під заголовком з абзацу наводиться **анотація статті** (не менш як 1800 знаків) та **ключові слова** (5 – 8 слів чи словосполучень) українською мовою (шрифт 10 пт). Нижче наводяться ім'я та прізвище автора, назва статті, реферат та ключові слова англійською мовою (шрифт 10 пт).

Вимоги до реферату: обсяг не менше 1800 знаків; інформативність (не містити загальних речень); оригінальність; змістовність (відображати головний зміст статті та результати досліджень); структурованість (відповідати логіці опису результатів у статті).

Нижче наводиться **текст статті**. Таблиці та рисунки мають бути розміщені у тексті статті. У статтях українською мовою необхідно назви рисунків і таблиць дублювати англійською мовою.

Список використаних джерел подається в кінці статті в алфавітному порядку і оформляється згідно з *ДСТУ 8302:2015*. До списку обов'язково повинна бути включена література за останні п'ять років.

Нижче подається **перелік посилань (References)** (кирилиця транслітерується в латиницю) та його переклад англійською мовою, який необхідно оформляти згідно міжнародного бібліографічного стандарту *APA (American Psychological Association)*.

Посилання на джерела слід давати у прямокутних дужках [] із зазначенням порядкового номера, а в окремих випадках і сторінок.

Автори подають окремим файлом **особисті дані** українською та англійською мовами: прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання, місце роботи, посада, поштова адреса установи з індексом, контактний телефон, e-mail, ORCID ID.

Рукописи, що не оформлені належним чином, не приймаються до публікації.

Редакція залишає за собою право проводити редакційну правку рукопису.

Статті перевіряються на наявність плагіату та проходять внутрішнє і зовнішнє рецензування.

Автори опублікованих матеріалів несуть повну відповідальність за підбір, точність наведених фактів, власних імен тощо.

Submission Requirements and Conditions of Paper Acceptance

«Human Geography Journal» seeks to publish those papers that are most influential in the fields or across the fields of Social and Economic Geography and that will significantly contribute to the advances of scientific understanding. We also welcome all other relevant subject areas. Selected papers should present novel and broadly important data, syntheses, concepts as well as some narrower research in the subject area. We welcome submissions from all fields of Geography and from any source. We are committed to the prompt evaluation and publication of submitted papers. «Human Geography Journal» is published in print twice per year.

«Human Geography Journal» accepts papers to the following sections: «Science Skylines» (more than 20 pages); «Research reports» (more than 15 pages); «Reviews» (up to 5 pages); «Personalities» (up to 3 pages); «Chronicle» (up to 1 page); «Jubilees» (up to 1 page).

All authors must agree to be so listed and must have seen and approved the manuscript, its content, and its submission to the Journal. The Journal will send an email to all authors to confirm receipt of each paper. Submission of a paper that has not been approved by all authors may result in immediate rejection without further appeal.

According to the requirements of HAC Ukraine original articles in professional journals should contain the following sections:

- 1) Problem definition and its connection with important scientific and practical tasks;
- 2) Analysis of recent research and publications discussing the problem the author relies on;
- 3) Pointing out unresolved part of the problem which the article concerns;
- 4) Formulation of the purpose of the article (setting a problem);
- 5) The main material of the research and explanation of the obtained scientific results;
- 6) Conclusion from the research and prospects for further development in this direction.

Requirements to the Manuscript: Every page field is 20 mm; 210x297 mm page format; Times New Roman 14; spacing 1.5. For his/her paper the author must specify universal decimal classification number (on the left) and the author's name is printed on the right (in the same line). The paper title is printed in the following line in capitals.

An abstract (up to 1800 characters) and **key words** (5 – 8) in Ukrainian (font 10) should be placed just below the paper title. It is followed by the author, a paper title, **summary** (200 – 250 words) and **key words** in both English.

The summary must be: up to 1800 characters; informative (not include general sentences); original; profound (show the main content of articles and research results); structuring (meet the description logic results in the article).

The paper text is placed just below this summary. All illustrations and figures should be embedded in the paper text. All visuals must be in black and white.

The list of references is placed in the end of the paper in alphabetical order. References should be given in the square brackets [] indicating the number of source in the list. In some cases the reference source pages should be indicated too. The list of references is given transferred to Latin (transliterated and translated into English if there is English version of the source) and links placed in accordance with international standards APA (American Psychological Association).

Authors should submit the following **personal information**: full name, academic degree and academic status, place of employment, position, address of the organization, contact phone number, e-mail, ORCID ID.

Manuscripts that are not designed properly, will not be accepted for publication.

Editors reserve the right to make editorial revision of the manuscript.

Наукове видання

ЧАСОПИС соціально-економічної географії

Збірник наукових праць

Випуск 33

Українською та англійською мовами

Комп'ютерне верстання – *Юрій Кандиба*

Підписано до друку 01.06.2023 р. Формат 60x84/8. Папір офсетний.
Друк цифровий. Ум. друк. арк. 5,2. Обл.-вид. арк. 6,1.
Наклад 50 пр. Ціна договірна.

Видавець та виготовлювач
Харківський національний університет імені В.Н. Каразіна
61022, Харків, майдан Свободи, 4
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи ДК № 3367 від 13.01.09.