

ISSN 2410-7360 (Print)
ISSN 2411-3913 (Online)

Міністерство освіти і науки України

ВІСНИК

**ХАРКІВСЬКОГО
НАЦІОНАЛЬНОГО УНІВЕРСИТЕТУ
імені В. Н. КАРАЗІНА**

СЕРІЯ

“ГЕОЛОГІЯ. ГЕОГРАФІЯ. ЕКОЛОГІЯ”

[illegible]

Випуск 59

Заснована 1970 року

Харків
2023

У Віснику розглянуто питання взаємодії суспільства і природи, раціонального використання та охорони природного середовища. Відображено результати досліджень у галузі геології, геохімії, гідрогеології, географії, екології та соціально-економічної географії.

Для науковців, фахівців і викладачів вищих закладів освіти.

Visnyk of V. N. Karazin Kharkiv National University, series "Geology. Geography. Ecology" is devoted to the modern studies in the field of geology, geochemistry, hydrogeology, ecology and social and economic geography.

"Visnyk" is intended for scientists, specialists and high school lecturers.

Затверджено до друку рішенням Вченої ради Харківського національного університету імені В. Н. Каразіна (протокол № 21 від 27.11.2023 р.).

Редакційна колегія: д. геол.-мін. н., проф. *В. Г. Суярко* (голова редколегії); *О. В. Чуєнко* (відповідальний секретар); д. геол. н., проф. *О. В. Барташук*; д. геол.-мін. н., проф. *І. В. Височанський*; д. геогр. н., проф. *О. М. Крайнюков*; д. геол.-мін. н., проф. *А. І. Лур'є*; д. геогр. н., проф. *Н. В. Максименко*; д. геогр. н., проф. *А. Н. Некос*; д. геогр. н., проф. *Л. М. Нємець*; д. геогр. н., проф. *В. А. Пересацько*; д. геогр. н., проф. *К. Ю. Сегіда*; д. техн. н., проф. *І. Г. Черваньов* (Харківський національний університет імені В. Н. Каразіна); д. техн. н., проф. *В. С. Білецький* (Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут»); д. геол.-мін. н., проф., член-кор. НАНУ *Е. Я. Жовинський* (Інститут геохімії, мінералогії та рудоутворення імені М. П. Семененка НАН України); д. геол.-мін. н., проф. *В. М. Загнітко* (Інститут геології Київського національного університету імені Тараса Шевченка); д. фіз.-мат. н., проф. *Г. Д. Коваленко* (Інститут фізики високих енергій і ядерної фізики ННЦ «Харківський фізико-технічний інститут» НАН України); д. техн. н., проф. *І. М. Фик* (Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут»); д. геол. н. *Ю. В. Хоха* (Інститут геології і геохімії горючих копалин НАН України).

Іноземні члени редколегії: д. габілітований *Здислав Адамчик* (Інститут прикладної геології, м. Глівіце, Польща); д. географії, проф. *Олександр Володченко* (Інститут картографії Дрезденського технічного університету, Німеччина); д. геол. н. *Георгій Мелікадзе* (Інститут геофізики Тбіліського державного університету імені Івана Джавахішвілі, Грузія); д. філософії (геологічна інженерія) *Нуреддін Сааді* (Університет Тріполі, Лівія); д. геології, проф., декан факультету геології *Ахмет Сасмаз* (Фіратський університет, Туреччина); д. габіл., проф., *Анджей Томах Солецкі* (Інституту геологічних наук Вроцлавського університету, Польща); д. географії, проф., завідувач кафедри географії і туризму *Сауліус Станайтіс* (Литовський університет освітніх наук, Литва); декан факультету гірничої справи, екології, керування процесами та геотехнології, проф. *Мичал Челар* (Кошицький Технічний університет, Словаччина); д. філософії (географія), ст. наук. співробітник *Антон Шкаруба* (Естонський університет наук про життя, Тарту, Естонія).

"Вісник" є фаховим виданням категорії А за спеціальностями 103 (науки про Землю) та 106 (географія) (наказ МОН України № 1643 від 28.12.2019 р.) та входить до наступних міжнародних баз даних: *WorldCat*, *BASE* (Bielefeld Academic Search Engine), *ResearchBible*, *TIB/UB* (German National Library of Science and Technology, University Library Hannover), *SBB* (Staatsbibliothek zu Berlin), *Ulrich's Periodicals Directory*, *EBSCO*, *Index Copernicus*, *Web of Science* (Emerging Sources Citation Index (ESCI)).

Адреса редакційної колегії: Україна, 61022, Харків, майдан Свободи, 4, ХНУ імені В. Н. Каразіна, факультет геології, географії, рекреації і туризму, тел. (057) 707-53-56;
e-mail: geoeco-series@karazin.ua; сайт: <http://periodicals.karazin.ua/geoeco>

Тексти статей представлені у авторській редакції. Автори несуть повну відповідальність за зміст статей, а також добір, точність наведених фактів, цитат, власних імен та інших відомостей.

Статті пройшли внутрішнє та зовнішнє рецензування.

Свідоцтво про державну реєстрацію KB № 21574-11474P від 20.08.2015.

© Харківський національний університет
імені В. Н. Каразіна, оформлення, 2023

EDITORIAL BOARD
of "Visnyk of V. N. Karazin Kharkiv National University,
series "Geology. Geography. Ecology"

Suyarko, Vasyl – Chairman of the Editorial Board, Doctor of Science (Geology and Mineralogy), Professor of the Department of Fundamental and Applied Geology, School of Geology, Geography, Recreation and Tourism (SGGRT), V. N. Karazin Kharkiv National University (V. N. Karazin KhNU).

Chuienko, Oleksandr – Executive Secretary, Head of Laboratory for the study of rocks, minerals and fossil organisms, SGGRT, V. N. Karazin KhNU.

Bartashchuk, Oleksii – DSc (Geology), Professor of the Department of Fundamental and Applied Geology, SGGRT, V. N. Karazin KhNU.

Vysochansky, Ilarion – DSc (Geology and Mineralogy), Professor, V. N. Karazin KhNU.

Kraynyukov, Oleksiy – DSc (Geography), Professor of the Department of Environmental Safety and Environmental Education, Karazin Institute of Environmental Sciences, V. N. Karazin KhNU.

Lurye, Anatoliy – DSc (Geology and Mineralogy), Professor of the Department of Fundamental and Applied Geology, SGGRT, V. N. Karazin KhNU.

Maksymenko, Nadija – DSc (Geography), Professor, Head of the Department Environmental Monitoring and Protected Areas, Karazin Institute of Environmental Sciences, V. N. Karazin KhNU.

Nekos, Alla – DSc (Geography), Professor, Head of the Department of Ecological Safety and Ecological Education, Karazin Institute of Environmental Sciences, V. N. Karazin KhNU.

Niemets, Liudmyla – DSc (Geography), Professor, Head of the Department of the Human Geography and Regional Studies, SGGRT, V. N. Karazin KhNU.

Peresadko, Vilina – DSc (Geography), Professor of the Department of Physical Geography and Cartography, Dean of SGGRT, V. N. Karazin KhNU.

Sehida, Kateryna – Deputy Chairman of the Editorial Board, DSc (Geography), Professor of the Department of Human Geography and Regional Studies, SGGRT, V. N. Karazin KhNU.

Chervanyov, Igor – Deputy Chairman of the Editorial Board, DSc (Technics), Professor, V. N. Karazin KhNU.

Biletsky, Volodymyr – DSc (Technics), Professor, National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute", Kharkiv.

Zhovinsky, Edward – DSc (Geology and Mineralogy), Professor, Corresponding member of the National Academy of Science of Ukraine, M. P. Semenenko Institute of Geochemistry, Mineralogy and Ore Formation of the NAS of Ukraine, Kyiv.

Zagnitko, Vasyl – DSc (Geology and Mineralogy), Professor, Institute of Geology, Taras Shevchenko National University of Kyiv, Kyiv.

Kovalenko, Grygoriy – DSc (Physics and Mathematics), Professor, Director Institute of high-energy physics and nuclear physics NSC "Kharkov Institute of Physics and Technology" National Academy of Science Ukraine, Kharkiv.

Fyk, Ilyia – DSc (Technics), Professor, Head of the Department of Oil, Gas and Condensate Production, National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute", Kharkiv.

Khokha, Yurii – DSc (Geology), Institute of Geology and Geochemistry of Combustible Minerals of NAS of Ukraine, Lviv.

INTERNATIONAL COUNCIL

Adamczyk, Zdzisław – Dr. habil., Silesian University of Technology, Gliwice (Poland).

Wolodtschenko, Alexander – DSc (Geography), Professor, Institute of Cartography, Dresden University of Technology (Germany).

Melikadze, George – DSc (Geology), Institute of Geophysics, Ivane Javakhishvili Tbilisi State University (Georgia).

Saadi, Nureddin – PhD, University of Tripoli, Department of Geological Engineering (Libya).

Sasmaz, Ahmet – DSc (Geology), Professor, Head of Geology Department, Firat University (Turkey).

Solecki, Andrzej Tomasz, Dr. habil., Professor, Institute of Geological Science University of Wrocław, Wrocław University (Poland).

Stanaitis, Saulius – DSc (Geography), Professor, Head of the Department of Geography and Tourism, Lithuanian University of Educational Science (Lithuania).

Cehlár, Michal – PhD, Professor, Dean of Faculty of Mining, Ecology, Process Control and Geotechnology, Technical University of Košice (Slovakia).

Shkaruba, Anton – PhD, Senior Researcher, Estonian University of Life Sciences (Estonia).

З М І С Т

ГЕОЛОГІЯ

Baloglanov Elnur

GEOCHEMICAL PROXIES OF THE GRYPHON BRECCIA OF MUD VOLCANOES IN EAST AZERBAIJAN: REGULARITIES IN THE DISTRIBUTION OF CHEMICAL ELEMENTS AND SPATIAL CHARACTERISTICS OF SEDIMENTATION	8

Горайнов Сергій

ТЕКТОНІЧНА ПРИРОДА УКРАЇНСЬКОГО ЩИТА	18

Mahecha Albano, Saadi Nureddin, Aboud Essam, Akira Imai, Kotaro Yonezu

EVALUATION OF GEOLOGICAL STRUCTURES AND GEOTHERMAL RESOURCES IN THE NORTH TANZANIA VOLCANIC AREA USING REMOTE SENSING AND GRAVITY DATA ANALYSIS	28

Улицький Олег, Д'яченко Наталя, Соколов Армен, Сердюкова Ольга

ДОСЛІДЖЕННЯ ЗАБРУДНЕННЯ НАФТОПРОДУКТАМИ ЗОНИ АЕРАЦІЇ ЗА ДОПОМОГОЮ МАТЕМАТИЧНОГО МОДЕЛЮВАННЯ	44

Фігура Любов, Ковальчук Мирон

ПОЛІХРОННО-ПОЛІГЕННА ПРОСТОРОВО-ПАРАГЕНЕТИЧНА ІЛЬМЕНІТОНОСІСТЬ БУКІНСЬКОЇ ДІЛЯНКИ МЕЖИРІЧНОГО РОДОВИЩА ТИТАНОВИХ РУД	55

ГЕОГРАФІЯ

Artunov Nofal, Pashayev Nariman, Gasimova Elnura

SPATIOTEMPORAL ANALYSIS OF URBAN SPRAWLING USING CHANGE DETECTION: A CASE STUDY OF SHAKI DISTRICT, AZERBAIJAN	72

Гелевера Ольга, Мостіпан Микола, Топольний Сергій

БАГАТОРІЧНА ДИНАМІКА ТЕМПЕРАТУРИ ПОВІТРЯ ЗИМОВОГО ТА ВЕСНЯНОГО СЕЗОНІВ У ЦЕНТРАЛЬНІЙ УКРАЇНІ	83

Густенко Олексій, Хоменко Інна

РЕЖИМНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ СУЦІЛЬНОЇ НИЗЬКОЇ ХМАРНОСТІ ТА ТУМАНІВ НА АЕРОДРОМІ «ОДЕСА»	95

Залюбовська Оксана, Овчаренко Аліна, Черваньов Ігор

ЛАНДШАФТНІ ДОСЛІДЖЕННЯ: ВІД ПАРАДИГМИ ЧЕРЕЗ ГІС-ТЕХНОЛОГІЮ ДО МОНІТОРИНГУ (НА ПРИКЛАДІ ТЕРИТОРІЇ НПП "СЛОБОЖАНСЬКИЙ")	110

Komilova Nilufar, Makhmudov Bakhodir, Latipov Normurod

STUDY OF CRIMES IN THE CITY OF KOKAND USING GIS TECHNOLOGIES AND SOCIOLOGICAL QUESTIONNAIRES	125

Kostrikov Sergiy, Kravchenko Kateryna, Serohin Denys, Bilianska Sofiia, Savchenko Anastasia

THE PERFORMANCE OF THE DIGITAL CITY PROJECTS IN URBAN STUDIES OF THE MEGALOPOLISES (THE CASE STUDIES OF KHARKIV AND DNIPRO CITIES)	140

Lykhovyd Pavlo

REMOTE SENSING DATA FOR DROUGHT STRESS AND CROPLANDS PRODUCTIVITY ASSESSMENT IN KHERSON REGION	166

<i>Margaryan Varduhi, Sedrakyan Armen, Sayadyan Hovik, Reshetchenko Svitlana, Dmitriiev Sviatoslav</i>	
MODERN CHANGES IN CLIMATIC CHARACTERISTICS AND MINIMUM FLOW OF THE RIVERS IN THE BASIN OF LAKE SEVAN	178
<i>Поливач Катерина</i>	
КУЛЬТУРНИЙ ЛАНДШАФТ ЯК СПАДЩИНА: ПРОПОЗИЦІЇ ДЛЯ УКРАЇНИ З ДОСВІДУ ОКРЕМИХ КРАЇН ЄВРОПИ	190
<i>Prokhorova Svitlana</i>	
AN APPROACH TO USING THE AQI COMPONENTS IN URBAN AIR POLLUTION SOURCES IDENTIFYING	209
<i>Sari Cemali, Sehida Kateryna, Çakir Gamze, Telebienieva Ievgeniia</i>	
FEATURES OF THE LOCAL COMMUNITY INVOLVEMENT IN THE SOCIAL TOURISM DEVELOPMENT (CASE STUDY – SERIK DISTRICT, ANTALYA, TURKEY)	221
<i>Тютюнник Юліан</i>	
СУЧАСНЕ ЛАНДШАФТОЗНАВСТВО ПЕРЕД ВИКЛИКАМИ ПОСТМОДЕРНУ	237
<i>Христюк Борис, Горбачова Людмила</i>	
ПРОСТОРОВО-ЧАСОВІ ТЕНДЕНЦІЇ ЛЬОДОВОГО РЕЖИМУ ВОДОСХОВИЩ ДНІПРОВСЬКОГО КАСКАДУ	249
<i>Şahin Mehmet Tahsin, Niemets Liudmyla, Yilmaz Mutlu, Kliuchko Liudmyla, Varol Çiğdem</i>	
CONTRASTING INNOVATION DYNAMICS OF PROFESSIONAL-TECHNOLOGICAL KNOWLEDGE INTENSIVE BUSINESS SERVICES IN METROPOLITAN AREAS	260

ЕКОЛОГІЯ

<i>Hajiyeva Afag, Hajiyeva Gulnar, Dadashova Khumar Khanim</i>	
LANDSCAPE-ECOLOGICAL CARCASS MODEL OF URBAN LANDSCAPE AND METHODS OF OPTIMIZE URBAN LANDSCAPES (ON THE PATTERNS OF GANJA AND MINGACHEVIR CITIES)	277
<i>Карпюк Зоя, Фесюк Василь</i>	
РОЗРОБКА ЛОКАЛЬНОЇ ЕКОМЕРЕЖІ ЛУЦЬКОЇ МІСЬКОЇ ТЕРИТОРІАЛЬНОЇ ГРОМАДИ: ОСОБЛИВОСТІ ТА ПРОБЛЕМИ	284
<i>Mehdiyeva Valida, Khalilov Ilgar, Eminov Farhad</i>	
GREENING AND AGROECOLOGICAL ASSESSMENT OF THE AGRICULTURAL SECTOR OF THE KARABAKH REGION	298
<i>Slizhe Mariia, Safranov Tamerlan, Berlinsky Nikolai, El Hadri Youssef</i>	
IMPACT OF CLIMATE CHANGE FACTOR ON THE RESOURCE (PROVIDING) ECOSYSTEM SERVICES OF THE LOWER DANUBE WETLANDS	307
<i>Ухань Ольга, Осадча Наталія</i>	
НАВАНТАЖЕННЯ БІОГЕННИМИ ЕЛЕМЕНТАМИ ТА ОРГАНІЧНИМИ РЕЧОВИНАМИ РІЧОК БАСЕЙНУ ДОНУ (СУББАСЕЙН Р. СІВЕРСЬКИЙ ДОНЕЦЬ)	320
<i>Царик Любомир, Ковальчук Іван, Царик Петро, Кузик Ігор</i>	
ПРИРОДООХОРОННІ СТАНДАРТИ ЄС – НАЦІОНАЛЬНІ І РЕГІОНАЛЬНІ РЕАЛІЇ	329

ПРАВИЛА ОФОРМЛЕННЯ МАТЕРІАЛІВ, ЩО ПОДАЮТЬСЯ ДО «ВІСНИКА ХАРКІВСЬКОГО УНІВЕРСИТЕТУ»	340

CONTENTS

GEOLOGY

Baloglanov Elnur

- GEOCHEMICAL PROXIES OF THE GRYPHON BRECCIA OF MUD VOLCANOES
IN EAST AZERBAIJAN: REGULARITIES IN THE DISTRIBUTION OF CHEMICAL
ELEMENTS AND SPATIAL CHARACTERISTICS OF SEDIMENTATION 8

Goryainov Sergey

- TECTONIC POSITION OF THE UKRAINIAN SHIELD 18

Mahecha Albano, Saadi Nureddin, Aboud Essam, Akira Imai, Kotaro Yonezu

- EVALUATION OF GEOLOGICAL STRUCTURES AND
GEOTHERMAL RESOURCES IN THE NORTH TANZANIA VOLCANIC AREA
USING REMOTE SENSING AND GRAVITY DATA ANALYSIS 28

Ulytsky Oleg, Diachenko Natalia, Sokolov Armen, Serdiukova Olga

- STUDIES OF OIL PRODUCT POLLUTION
IN THE AERATION ZONE BY MATHEMATICAL MODELLING 44

Figura Lubov, Kovalchuk Myron

- POLYCHRONIC-POLYGENIC SPATIAL-PARAGENETIC ILMENITE BEARING
OF THE BUKINSKA AREA OF THE MEZHRYCHNY DEPOSIT OF TITANIUM ORES 55

GEOGRAPHY

Artunov Nofal, Pashayev Nariman, Gasimova Elnura

- SPATIOTEMPORAL ANALYSIS OF URBAN SPRAWLING USING CHANGE
DETECTION: A CASE STUDY OF SHAKI DISTRICT, AZERBAIJAN 72

Helevera Olha, Mostipan Mykola, Topolnyi Sergii

- WINTER AND SPRING LONG-TERM DYNAMIC
OF AIR TEMPERATURE IN CENTRAL UKRAINE 83

Hustenko Oleksiy, Khomenko Inna

- FOG AND LOW-LEVEL STRATUS CHARACTERISTICS
AT THE AIRPORT OF ODESSA FROM SURFACE OBSERVATIONS 95

Zaliubovska Oksana, Ovcharenko Alina, Chervanyov Igor

- LANDSCAPE RESEARCH: FROM PARADIGM THROUGH GIS TECHNOLOGY
TO MONITORING (ON THE EXAMPLE OF THE TERRITORY
OF THE SLOBOZHANSKY NATIONAL NATURE PARK) 110

Komilova Nilufar, Makhmudov Bakhodir, Latipov Normurod

- STUDY OF CRIMES IN THE CITY OF KOKAND
USING GIS TECHNOLOGIES AND SOCIOLOGICAL QUESTIONNAIRES 125

Kostrikov Sergiy, Kravchenko Kateryna, Serohin Denys, Bilianska Sofiia, Savchenko Anastasia

- THE PERFORMANCE OF THE DIGITAL CITY PROJECTS IN URBAN STUDIES OF
THE MEGALOPOLISES (THE CASE STUDIES OF KHARKIV AND DNIPRO CITIES) 140

Lykhovyd Pavlo

- REMOTE SENSING DATA FOR DROUGHT STRESS AND
CROPLANDS PRODUCTIVITY ASSESSMENT IN KHERSON REGION 166

<i>Margaryan Varduhi, Sedrakyan Armen, Sayadyan Hovik, Reshetchenko Svitlana, Dmitriiev Sviatoslav</i>	
MODERN CHANGES IN CLIMATIC CHARACTERISTICS AND MINIMUM FLOW OF THE RIVERS IN THE BASIN OF LAKE SEVAN	178
<i>Polyvach Kateryna</i>	
CULTURAL LANDSCAPE AS HERITAGE: PROPOSALS FOR UKRAINE FROM THE EXPERIENCE OF CERTAIN EUROPEAN COUNTRIES	190
<i>Prokhorova Svitlana</i>	
AN APPROACH TO USING THE AQI COMPONENTS IN URBAN AIR POLLUTION SOURCES IDENTIFYING	209
<i>Sari Cemali, Sehida Kateryna, Çakir Gamze, Telebienieva Ievgeniia</i>	
FEATURES OF THE LOCAL COMMUNITY INVOLVEMENT IN THE SOCIAL TOURISM DEVELOPMENT (CASE STUDY – SERIK DISTRICT, ANTALYA, TURKEY)	221
<i>Tyutyunnik Yulian</i>	
MODERN LANDSCAPE SCIENCE BEFORE THE CHALLENGES OF POSTMODERNISM	237
<i>Khrystiuk Borys, Gorbachova Liudmyla</i>	
SPATIAL-TEMPORAL TENDENCIES OF THE ICE REGIME OF THE DNIPRO CASCADE RESERVOIRS	249
<i>Şahin Mehmet Tahsin, Niemets Liudmyla, Yilmaz Mutlu, Kliuchko Liudmyla, Varol Çiğdem</i>	
CONTRASTING INNOVATION DYNAMICS OF PROFESSIONAL-TECHNOLOGICAL KNOWLEDGE INTENSIVE BUSINESS SERVICES IN METROPOLITAN AREAS	260

ECOLOGY

<i>Hajiyeva Afag, Hajiyeva Gulnar, Dadashova Khumar Khanim</i>	
LANDSCAPE-ECOLOGICAL CARCASS MODEL OF URBAN LANDSCAPE AND METHODS OF OPTIMIZE URBAN LANDSCAPES (ON THE PATTERNS OF GANJA AND MINGACHEVIR CITIES)	277
<i>Karpiuk Zoia, Fesyuk Vasyl</i>	
DEVELOPMENT OF LOCAL ECO-NETWORK OF LUTSK TERRITORIAL COMMUNITY: FEATURES AND PROBLEMS	284
<i>Mehdiyeva Valida, Khalilov Ilgar, Eminov Farhad</i>	
GREENING AND AGROECOLOGICAL ASSESSMENT OF THE AGRICULTURAL SECTOR OF THE KARABAKH REGION	298
<i>Slizhe Mariia, Safranov Tamerlan, Berlinsky Nikolai, El Hadri Youssef</i>	
IMPACT OF CLIMATE CHANGE FACTOR ON THE RESOURCE (PROVIDING) ECOSYSTEM SERVICES OF THE LOWER DANUBE WETLANDS	307
<i>Ukhan Olha, Osadcha Nataliia</i>	
LOAD OF NUTRIENTS AND ORGANIC SUBSTANCES OF THE DON RIVER BASIN (SEVERSKYI DONETS SUB-BASIN)	320
<i>Tsaryk Ljubomyr, Kovalchuk Ivan, Tsaryk Petro, Kuzyk Ihor</i>	
ENVIRONMENTAL PROTECTION STANDARDS OF THE EU – NATIONAL AND REGIONAL REALITIES	329

REQUIREMENTS TO THE MATERIALS SUBMITTED TO THE “VISNYK OF V. N. KARAZIN KHARKIV NATIONAL UNIVERSITY”	340

ГЕОЛОГІЯ

<https://doi.org/10.26565/2410-7360-2023-59-01>

UDC 551.311.8+550.4+552.143

Received 19 September 2023

Accepted 31 October 2023

Geochemical proxies of the gryphon breccia of mud volcanoes in East Azerbaijan: regularities in the distribution of chemical elements and spatial characteristics of sedimentation

Elnur Baloglanov

Researcher of Department of Mud Volcanism,
Institute of Geology and Geophysics, Ministry of Science and Education Republic of Azerbaijan,
119 H. Javid Av., Baku, AZ1143, Azerbaijan,

e-mail: b.elnur2016@gmail.com,  <https://orcid.org/0009-0004-3620-0052>

ABSTRACT

The paper is devoted to the study of the patterns of distribution of major oxides and trace elements in the gryphon breccia of 12 active mud volcanoes located in various oil and gas regions (Absheron, Gobustan and Lower Kura) of Azerbaijan. Interpretations of the chemical elements found in gryphon breccia samples have allowed the composition of their source rocks, sedimentation conditions, and sedimentation areas to be determined.

Purpose. The main goal of the study is to conduct geochemical studies of gryphon breccias belonging to various oil and gas regions, determine spatial patterns, achieve their explanation, and at the same time determine the conditions for the deposition of mud sediments.

Methods. The chemical composition of mud volcanic breccia samples was analyzed using an “S8 TIGER Series 2” spectrometer and an “Agilent 7700 Series ICP-MS” mass spectrometer. Based on the results obtained, in addition to identifying patterns in the areas, modern approaches based on geochemical interpretation were used to explain them. The results on the genesis of breccias are consistent with the results of the published literature on the development of geodynamic and paleobasin conditions in the region.

Results. Samples with the lowest Si content are characteristic of the Lower Kura mud volcanoes, where the youngest (Quaternary) deposits are recorded. In samples from these mud volcanoes, relatively high contents of Mg and P are also noticeable. High contents of Ca are characteristic of volcanoes located near the Caspian Sea. These mud volcanoes are also rich in trace elements such as Li, Ga, Rb, Zr, Mo, Cs, Pr, Tl, Pb, Th, U and others, but depleted in Ni, Sr, Ba and etc.

Conclusions. Plagioclase-rich source rocks and oxygen-dominated paleobasin environments played a key role in the formation of breccia deposits belonging to the mud volcanoes of Azerbaijan. Geochemical proxies make it possible to link the paleobasin conditions of the formation of the gryphon breccia of the most mud volcanoes of South and Central Gobustan with the continental setting, especially in comparison with some volcanoes of the Lower Kura, as well as Gobustan and Absheron, located on the shores of the Caspian Sea and relatively close to it. The breccias of mud volcanoes located at a relatively large distance from the modern sea boundary and in the steepest northern part of the Lower Kura are associated with marine conditions, as are breccias of mud volcanoes located in the south of this tectonic zone (subjected to intense subsidence) and at a short distance from the Caspian Sea, may be due to geological factors.

Keywords: gryphon breccia, chemical composition, regularity of distribution, conditions of sedimentation.

In cites: Baloglanov Elnur (2023). Geochemical proxies of the gryphon breccia of mud volcanoes in east Azerbaijan: regularities in the distribution of chemical elements and spatial characteristics of sedimentation. *Visnyk of V. N. Karazin Kharkiv National University, series "Geology. Geography. Ecology"*, (59), 8-17. <https://doi.org/10.26565/2410-7360-2023-59-01>

Introduction and research status. Geochemical study of the gryphon mud makes it possible to reveal some features of their nature, as well as to reconstruct their initial mineralogical composition and formation conditions. Back in the 1980s, the study of the geochemical properties of the gryphon muds of the volcanoes of Azerbaijan led to the fact that they were first used as a therapeutic drug [5]. In recent years, several studies have been carried out on the accessory mineralization of the gryphon breccia of volcanoes registered in East Azerbaijan [3], as well as on the study [1; 7; 8; 15; 16; 17; 18] of mud brought to the surface as a result of eruptions, according to

geochemical and mineralogical proxies. Our analysis shows that, so far, the published literature has not assessed the regularity of the chemical composition of the gryphon breccia, which is characteristic of mud volcanoes located in different tectonic zones of Azerbaijan, belonging to different depths, as well as stratigraphic units. The areas of the spatial distribution of the deposits that formed them have not been studied enough. This study is based on monitoring East Azerbaijan mud volcanoes in 2017. Gryphon breccia samples were taken from active volcanoes of various tectonic zones, and their chemical composition was studied. The conducted studies made it possible to

assess the distribution of chemical elements in tectonic zones and to determine the spatial conditions of the deposits that form gryphon breccias.

Material and methods. Samples were taken from 12 mud volcanoes located in Absheron, Gobustan and Lower Kura oil and gas regions (Fig. 1). The sampling of volcanic breccia was carried out in plastic containers, which were then transported to the chemical research laboratory of the "Center for Collective Use of Analytical Devices and Equipment" of

the Institute of Geology and Geophysics of the Ministry of Science and Education of the Republic of Azerbaijan. After drying the samples in a muffle furnace at a temperature of 105 °C, the analysis of major oxides was carried out on a Bruker "S8 TIGER Series 2", and trace elements on an "Agilent 7700 Series ICP-MS" mass spectrometer. When using ICP-MS, solid samples have been dissolved. The decomposition of the samples was carried out with a mixture of nitric, hydrofluoric and perchloric acids.

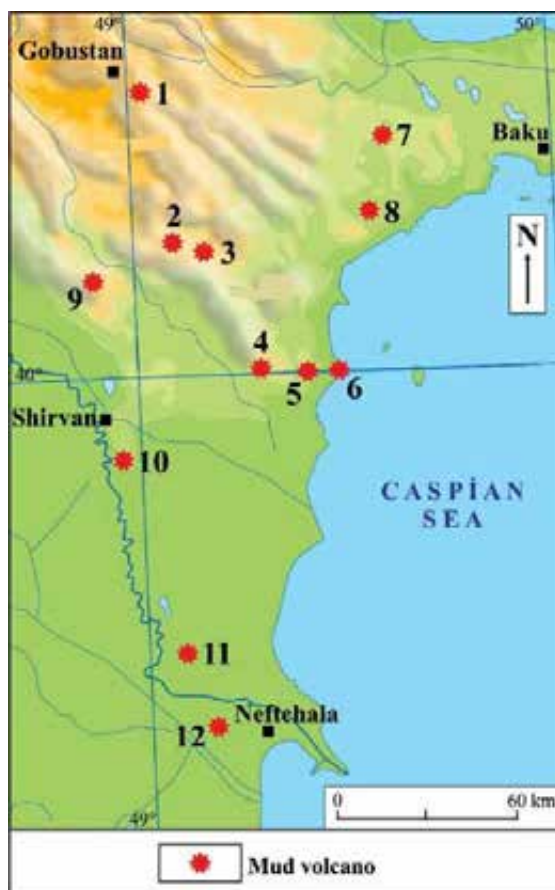


Fig. 1. Location map of the studied mud volcanoes of Eastern Azerbaijan. Mud volcanoes: 1 – Kichik Mereze, 2 – Shekikhan group, 3 – Aghdam group, 4 – Ayrantoken, 5 – Dashgil, 6 – Bahar, 7 – Deveboyun, 8 – Pilpile-Garadagh, 9 – Boyuk Heremi, 10 – Yandere, 11 – Durovdagh, 12 – Duzdagh

Geology and tectonics: a general overview. Mud volcanoes Kichik Mereze located in Central Gobustan (Bayanata microblock) belong to the Lower Miocene, but Shekikhan, Aghdam, Ayrantoken, Dashgil and Bahar are registered in South Gobustan (Toraghay microblock), as well as the mud volcanoes of the Lower Kura (Boyuk Heremi, Yandere, Durovdagh and Duzdagh), related to the Pliocene and Quaternary deposits [2; 10].

Below is a brief description of one typical mud volcano for each region.

The **Kichik Mereze mud volcano** is located 80 km west of Baku, on the top of a mountain with an absolute height of 600 m. The western and southern slopes of the hill are steep, while the northern and eastern slopes are gentle. The slopes are covered with

shallow ravines and hollows. The breccia cover is 79 ha. The volcano is located in the northwestern periclinal of the Mushkamir anticline, on Miocene deposits (Fig. 2) [2; 10].

The **Bahar mud volcano** is located 57 km southwest of Baku, 6 km northeast of the Alat railway station, on the shores of the Caspian Sea. The absolute height of the volcano is 26.2 m. The size of the volcanic edifice is 1.75 x 1.3 km, the relative height is 45 m. It consists of small hills. The area of its breccia cover is 143.8 ha, the thickness near the eruption center is 70 m, along the edges it is 20 m [2; 10]. The volcano is located in the northwestern pericline of the Alat-Deniz fold, which stretches in the west-northwest and east-southeast directions. The arched part of the fold is formed by the Productive Series (Pliocene-

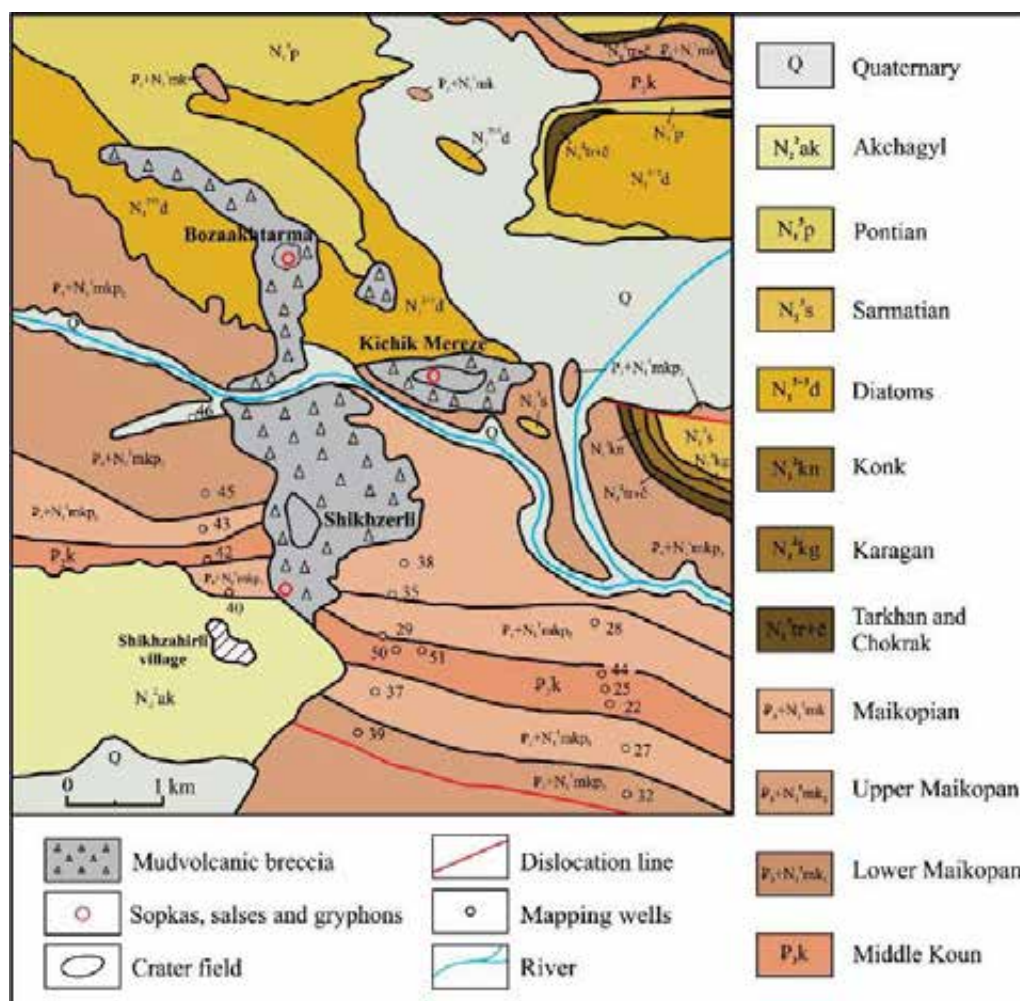


Fig. 2. Geological map of the Kichik Mereze mud volcano area

ne) deposits, and the limbs are formed by the Aghchagil (Pliocene) and Absheron deposits (Quaternary). The fold is complicated by three longitudinal and transverse faults. The volcano is located at the junction of a central longitudinal fault and a transverse fault separating the Alat Deniz and Dashgil uplifts (Fig. 3) [2; 10].

The **Durovdag mud volcano** is one of the most active (gryphon-salse activity) volcanoes in the south of Azerbaijan. It is located 16 km southeast of the city of Salyan. The relative height is 25 m, the size of the edifice is 1 x 0.8 km, and the diameter of the crater is 1 km. Volcanic breccia has an area of 54 ha, an average thickness of 60 m, and a volume of 30 million m³ [10]. This volcano is located at the intersection of longitudinal and transverse faults. According to the seismic exploration data, two transverse faults to the northwest and southeast of the volcano separate the Durovdag area as an independent tectonic block (Figure 4) [10].

Results and discussion. The obtained results on chemical compositions make it possible to reveal some regularities in terms of geological structure and space. Thus, the breccias of the Kichik Mereze mud volcano, located in the Central Gobustan, together

with Shekikhan, contain higher concentrations of Si and Al. Samples with the lowest Si content are characteristic of the Lower Kura mud volcanoes, where the youngest (Quaternary) deposits have been recorded. Relatively high contents of Mg and P are also noticeable in the samples of these mud volcanoes. High Ca is also characteristic of those volcanoes located near the Caspian Sea. The indicators showing a sharp difference among the studied samples are typical for the Agdam volcano. The sample from this volcano contains the smallest amount of SiO₂ (36.16 %) and the largest amount of Na₂O (16.62 %) (see Table 1)).

Mud volcanoes of the Lower Kura oil and gas region, located closer to the sea, are rich in trace elements such as Li, Ga, Rb, Zr, Mo, Cs, Pr, Tl, Pb, Th, U and others, but are depleted in Ni, Sr, Ba and etc. In addition, high concentrations of Li, V, Zn, Rb, Zr, Cs, Pb and some other trace elements are recorded in the samples belonging to Kichik Mereze and Shekikhan. Ni and Sr are less common in those samples. In addition to U, an excess amount of Ba is determined in the sample from Shekikhan. The sample taken from Agdam mud volcano has the lowest concentrations of Ni and Ba, but high Mo (Table 2).

The Rb/Sr vs. Rb/Ba ratios indicate an associa-

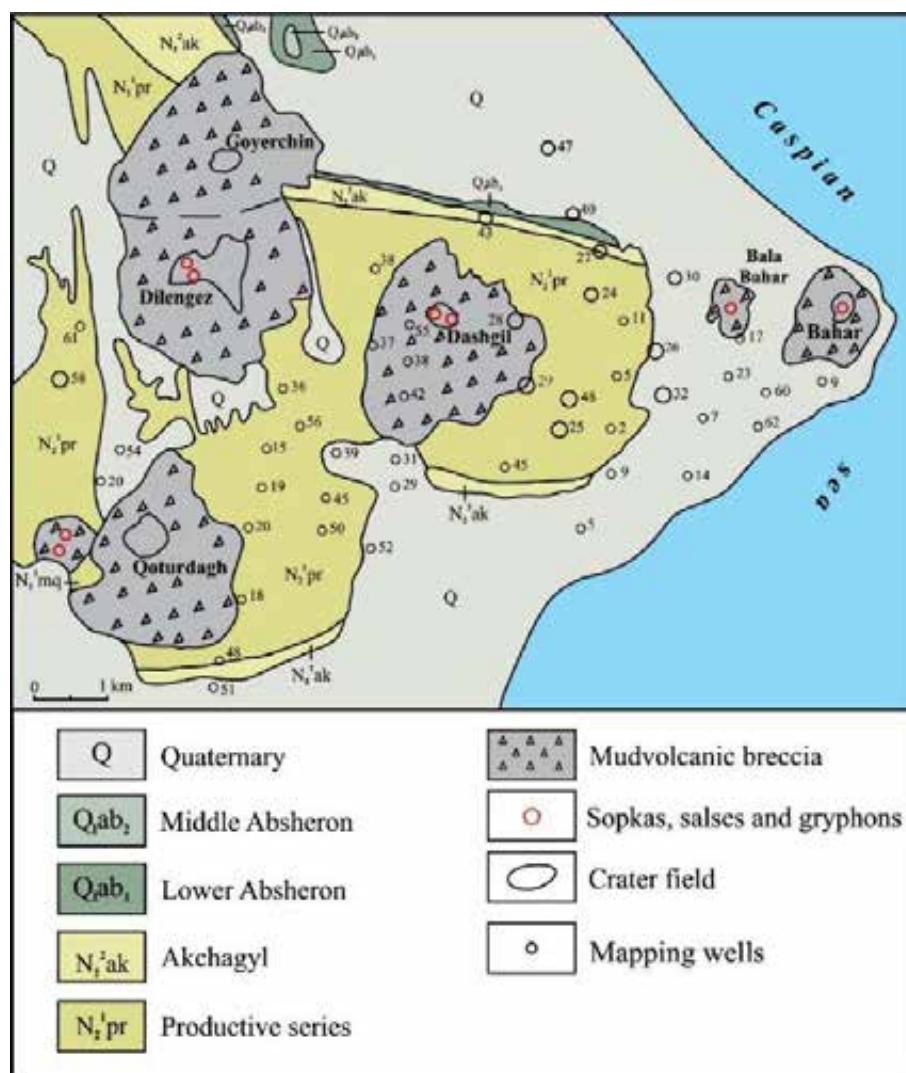


Fig. 3. Geological map of the Bahar mud volcano area

tion between mudvolcanic breccia sediments and plagioclase-rich parent rocks (Figure 5), which is considered [4] a characteristic feature of the primary sources of Cenozoic clay-rich sediments in the study region. Among the generally immature sedimentological samples, the parent rocks of some samples, especially the protolith of the Kichik Mereze mud volcano breccia, show a more mature trend. This is probably due to the higher contribution of Upper Maikop sediments to the formation of the breccia of this mud volcano. The result of studies carried out in [9] shows that the protoliths of some Upper Maikop oil shales, containing more quartz (about 40%) and having more mature features in Central Gobustan are associated with granitic sources. Another interesting issue relates to the higher U values in the Aghdam and Shekikhan samples (Table 2), which, like Kichik-Mereze, are separated from other samples in the Rb/Sr vs. Rb/Ba plot. The preservation of high amounts of U in organic-rich rocks can be explained by the role of U leached from tuffaceous rocks genetically associated with a more acidic composition. This idea is consistent with the conclusion made in

[9]. Thus, this literature shows that pyroclastic sediments brought into the paleobasin play a decisive role in the formation of Middle Eocene and Diatom oil shales [11] rich in organic matter (on average about 20 %) in Central and Southern Gobustan.

The analysis of major oxides shows that the spatial position of the paleobasin of deposits belonging to the breccias of 12 mud volcanoes is completely different. This is manifested mainly in the Mereze mud volcano, which belongs to Central Gobustan, as well as in Shekikhan, which belongs to Southern Gobustan. The localization of samples belonging to both volcanoes on the “A – K – F” diagram (Figure 6) allows us to attribute their paleobasin conditions to a more continental setting, especially in comparison with volcanoes located on the coast of the Caspian Sea. Thus, a conclusion is made about the greater influence of the marine environment on the formation of the Yandere, Duzdag and Durovdag breccia deposits located in the deepest depression of the Lower Kura. Interpretations related to the trace element composition of samples from these volcanoes also support this idea.

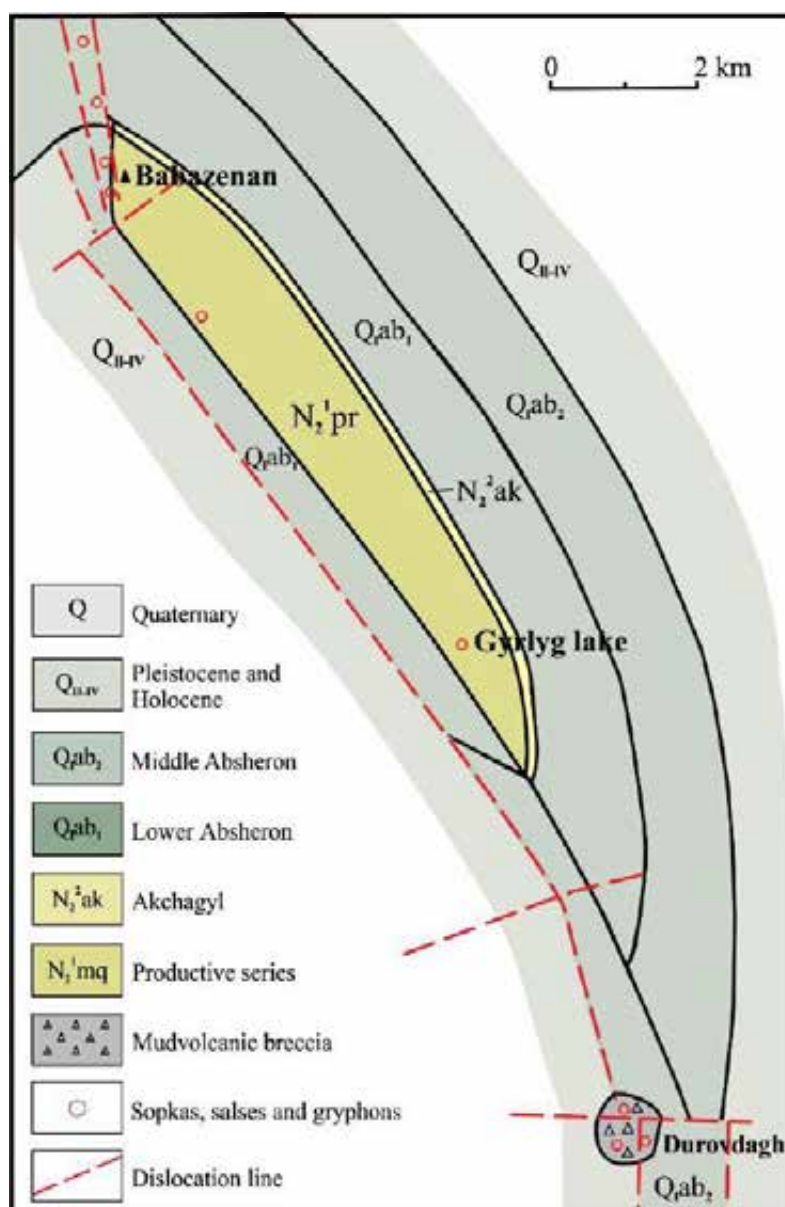


Fig. 4. Geological map of the Durovdag mud volcano area

Table 1

Oxides of major elements determined in gryphon breccia of mud volcanoes (%)

Mud volcano	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	FeO	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	P ₂ O ₅
Kichik Mereze	54.23	0.66	16.33	3.81	2.56	0.08	3.55	3.59	2.75	3.38	0.11
Shekikhan	54.47	0.62	15.55	3.25	2.78	0.08	2.85	3.16	3.47	3.00	0.13
Aghdam	36.16	0.45	11.52	2.17	2.03	0.07	2.53	2.52	16.62	2.22	0.10
Ayrantoken	52.52	0.53	12.61	2.40	2.97	0.11	2.83	8.23	3.64	2.09	0.14
Dashgil	51.24	0.55	12.40	2.92	2.23	0.09	2.50	7.09	5.34	2.23	0.14
Bahar	51.00	0.55	12.87	2.41	2.77	0.10	2.59	7.99	4.60	2.11	0.14
Deveboynu	49.33	0.58	13.81	3.35	1.98	0.13	2.74	8.91	3.19	2.72	0.13
Pilpile-Garadagh	50.48	0.61	13.91	3.48	2.30	0.11	2.78	8.43	3.28	2.26	0.14
Boyuk Heremi	49.95	0.58	12.40	2.68	2.56	0.11	2.87	8.31	4.87	1.95	0.15
Yandere	45.87	0.63	12.84	2.83	2.75	0.11	3.47	8.03	5.57	2.19	0.17
Durovdag	42.70	0.56	11.53	1.80	2.68	0.09	3.03	6.98	9.19	2.05	0.15
Duzdagh	45.08	0.59	12.23	2.84	2.39	0.09	3.42	8.67	6.36	2.09	0.17

Table 2

Trace element composition of gryphon breccia of mud volcanoes (ppm)

Trace element	Kichik Mereze	Shekikhan	Aghdam	Ayrantoken	Dashgil	Bahar	Deveboyun	Pipile-Garadagh	Boyuk Heremi	Yandere	Durovdagh	Duzdagh
Li	65,29	60,33	46,45	38,22	49,13	39,39	53,54	43,97	37,09	37,75	33,54	30,82
Be	2,38	2,11	1,51	1,52	1,57	1,43	1,95	1,66	1,22	1,72	1,55	1,36
Sc	16,92	15,34	11,93	13,57	12,93	13,59	14,07	15,17	14,50	15,46	13,21	13,66
V	189,32	232,57	151,96	126,15	130,81	125,08	136,96	139,12	125,47	134,59	115,56	126,17
Cr	112,71	103,96	78,81	83,82	79,77	79,41	86,11	87,90	85,08	103,47	97,06	110,56
Co	15,81	16,68	12,26	16,50	15,34	15,35	17,43	16,90	15,67	17,04	15,55	17,57
Ni	42,62	56,90	39,01	60,54	53,71	51,57	54,73	57,48	58,29	74,00	75,62	89,01
Cu	32,85	53,79	34,62	44,10	45,00	41,55	44,04	43,77	39,10	43,53	38,89	40,15
Zn	98,29	105,64	72,60	73,54	78,71	74,94	90,07	82,85	74,37	80,61	75,44	71,53
Ga	19,56	18,08	13,79	13,88	14,19	14,49	16,83	16,15	13,87	15,53	13,62	13,83
As	14,29	18,40	11,01	13,85	14,36	13,24	14,69	14,60	11,06	10,57	13,56	13,44
Rb	154,11	127,38	94,05	77,29	87,16	78,77	113,20	87,38	72,13	83,86	74,26	72,84
Sr	185,32	242,80	186,02	344,35	351,62	342,76	389,05	331,77	431,04	414,24	407,86	467,78
Y	19,33	18,79	14,01	16,57	16,58	15,45	18,61	17,29	15,83	15,98	14,15	15,25
Zr	125,43	110,66	86,71	81,82	85,10	72,86	100,38	96,39	71,45	83,85	64,82	71,66
Nb	11,12	10,13	7,08	7,81	8,09	7,65	9,12	8,34	7,73	9,77	8,60	9,17
Mo	1,85	10,14	6,78	3,37	3,83	1,77	4,64	2,79	1,13	1,32	1,43	1,03
Ag	0,35	0,27	0,21	0,21	0,21	0,17	0,23	0,18	0,16	0,18	0,16	0,14
Cd	0,26	1,34	0,63	0,28	0,37	0,25	0,31	0,31	0,26	0,25	0,22	0,21
Sn	3,40	2,41	1,61	1,53	1,96	1,44	2,04	1,66	1,38	2,52	1,48	1,36
Cs	11,60	8,27	6,22	4,26	5,06	4,48	7,22	5,24	4,02	5,10	4,31	3,96
Ba	285,41	380,11	273,88	385,99	347,85	372,09	526,31	364,68	366,62	366,02	353,48	408,57
La	29,65	26,65	19,34	19,84	21,59	20,28	25,95	22,55	20,62	22,39	20,17	20,96
Ce	67,41	61,99	44,45	46,08	50,51	47,31	59,49	51,97	45,56	51,84	45,36	47,50
Pr	6,97	6,38	4,67	4,84	5,31	4,91	6,35	5,51	4,85	5,40	4,77	4,89
Nd	25,56	23,40	17,05	18,48	19,88	18,27	23,12	20,43	18,17	20,51	17,89	18,22
Sm	4,97	4,69	3,40	3,89	4,07	3,75	4,53	4,17	3,77	4,18	3,66	3,73
Eu	1,04	0,97	0,70	0,87	0,89	0,87	0,96	0,96	0,87	0,93	0,84	0,89
Gd	4,27	3,92	2,80	3,37	3,54	3,39	4,02	3,74	3,45	3,63	3,16	3,33
Tb	0,68	0,62	0,47	0,54	0,56	0,53	0,64	0,60	0,55	0,58	0,50	0,53
Dy	3,66	3,54	2,62	3,04	3,07	2,90	3,44	3,24	2,98	3,11	2,70	2,91
Ho	0,73	0,68	0,53	0,60	0,62	0,58	0,67	0,64	0,58	0,60	0,53	0,55
Er	2,17	2,05	1,65	1,79	1,76	1,64	1,98	1,83	1,72	2,00	1,66	1,55
Tm	0,32	0,29	0,24	0,25	0,25	0,23	0,29	0,26	0,23	0,25	0,21	0,23
Yb	2,13	1,99	1,57	1,62	1,63	1,54	1,91	1,72	1,57	1,52	1,46	1,48
Lu	0,31	0,30	0,26	0,24	0,24	0,22	0,26	0,25	0,23	0,23	0,21	0,21
Hf	3,34	2,93	2,18	2,05	2,28	1,93	2,69	2,43	2,03	2,12	1,81	1,89
Ta	0,83	0,70	0,51	0,53	0,55	0,52	0,64	0,59	0,52	0,65	0,58	0,58
W	2,41	1,53	1,01	0,96	1,10	1,00	1,51	1,06	0,96	1,14	1,05	0,94
Tl	0,60	0,80	0,42	0,35	0,41	0,33	0,51	0,39	0,31	0,36	0,32	0,30
Pb	20,63	17,65	11,65	14,07	14,60	13,47	16,99	15,16	12,43	14,50	12,65	12,27
Th	11,03	9,58	6,84	6,44	7,23	6,54	9,23	7,29	6,79	7,47	6,90	6,50
U	2,41	4,55	3,02	2,23	2,24	1,66	2,91	1,96	1,59	1,84	1,75	1,71

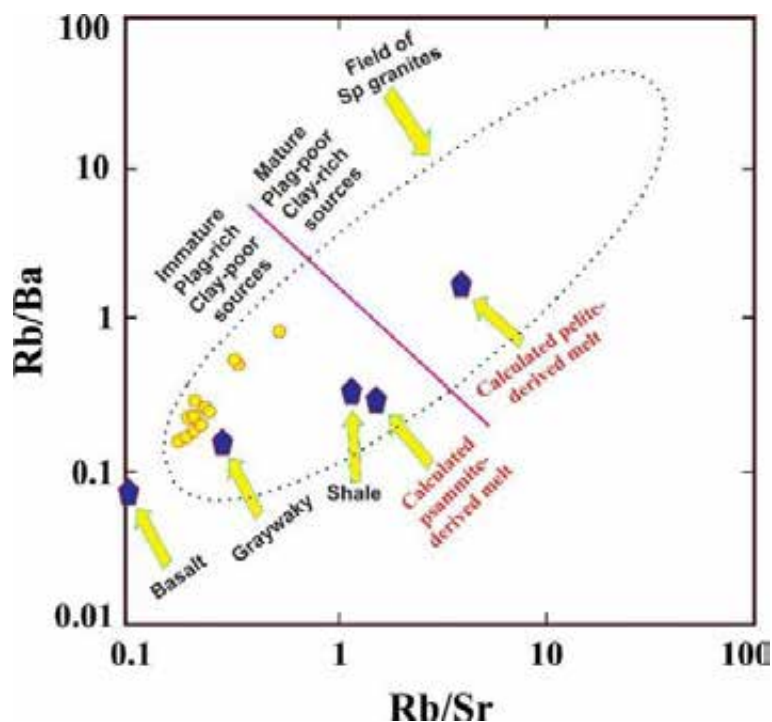


Fig. 5. Diagram of Rb/Sr vs. Rb/Ba for breccia samples

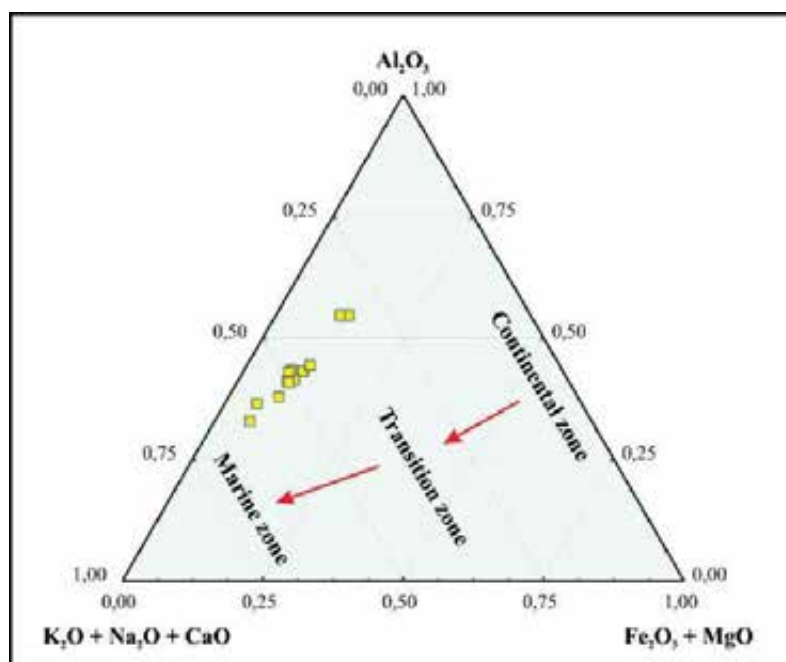


Fig. 6. “A – K – F” diagram showing the spatial distribution of paleobasins of sediments that formed breccias of mud volcanoes (diagram boundaries are presented with reference to [14])

As can be seen from Table 2, Ba and Sr are the trace elements found in the samples in the largest amount. The amount of these elements has different values for all studied volcanoes. However, an interesting genetic typomorphism is observed in the Ba/Sr ratios. As is known, isovalent, perfect Ba-Sr substitution occurs in most minerals, including Ba (as well as in Sr)-containing compounds. Depending on the ratio of these two elements in a mineral, its genetic nature changes [12]. Thus, a high Sr/Ba ratio in a mineral is indicative of the mineral's genesis with marine

deposits, but relatively low depositional rates are associated with land-sea transition or continental areas [6]. The paleobasin conditions of the breccias of 8 of the 12 studied mud volcanoes clearly show a closer relationship with the sea, which is also confirmed by the “A – K – F” diagram in terms of the composition of major elements (Figure 7). For greater clarity, the samples related to the mud volcanoes Kichik Mereze, Shekikhan, Aghdam, and Deveboyun are consistent with the setting of the land-sea transition. However, samples from Ayrantoken, Dashgil, Bahar and

Pilpile-Garadagh, and especially Yandere and Boyuk Heremi, located in the north of the Lower Kura, as well as the mud volcanoes Durovdagh and Duzdagh of the same region, located closer to the boundaries of the modern sea, show a connection with the marine environment.

The V/Cr indicators of the samples point to the dominant role of oxygen-rich environments in the

formation of breccia belonging to the mud volcanoes of Azerbaijan (Figure 8). From this point of view, the samples related to the mud volcanoes of Lower Kura are particularly different. Samples from the Shekikhan and Aghdam mud volcanoes show a connection with paleobasin conditions that are comparatively less oxygenated.

Some of the obtained results on the spatial posi-

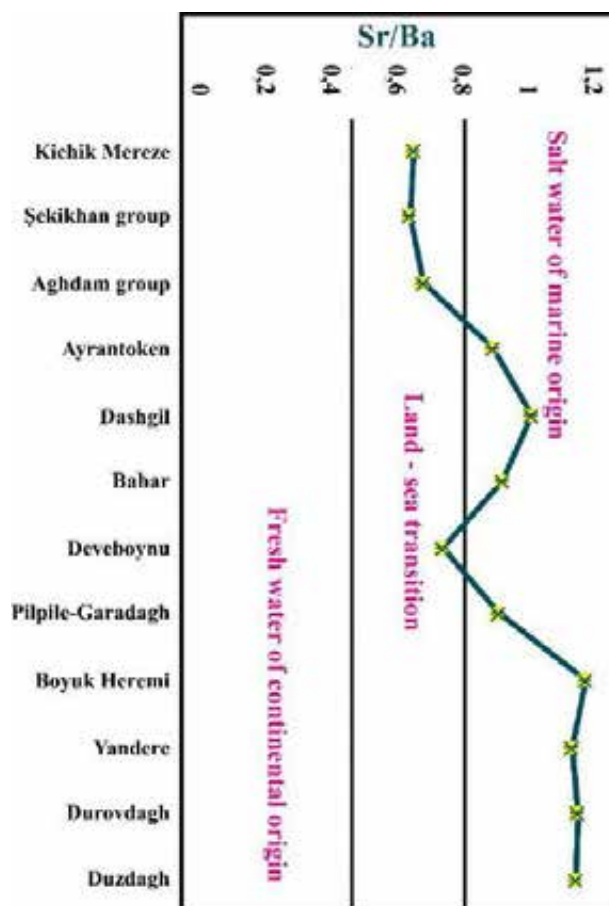


Fig. 7. Diagram showing the areas of spatial occurrence of sediments associated with the sampled mud volcanic breccias (diagram boundaries are presented with reference to [14])

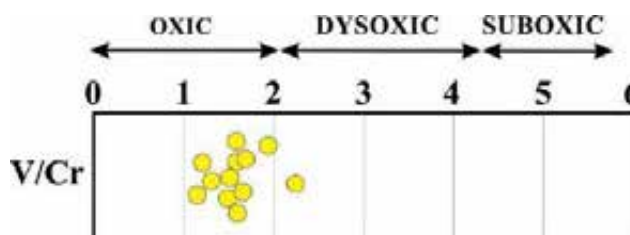


Fig. 8. V/Cr plot showing paleoredox conditions of mud volcanic breccia samples

tion of the paleobasin deserve attention. Thus, the fact that the Boyuk Heremi and Yandere, located far from the modern sea boundary, in the north of the Lower Kura, and the volcanoes of the same region, located not far from the modern sea, show a connection with marine sediments requires explanation. In our opinion, this can most likely be explained by the geological age of the deposits that made up the composition of the breccia and the depth of the mud chambers under the mud volcanoes. It is known that

deposits belonging to different stratigraphic units contribute to the formation of breccias to varying degrees. The thickness of the sedimentary cover in coastal areas belonging to the deepest part of the Lower Kura depression is about 20 km, half of which consists of Neogene and younger deposits [19]. However, the thickness of the sedimentary cover in the areas of the volcanoes belonging to the northern part is much less; therefore, the maximum contribution of older deposits, Paleogene, especially Eocene, to the

formation of breccias belonging to these volcanoes cannot be ruled out [9]. If we take into account the published results of studies of the relationship of Eocene deposits with the sea in East Azerbaijan [13; 14], the correctness of our conclusion is beyond doubt. On the other hand, when studying volcanoes with different morphological characteristics, it was found [20; 21] that the depths of primary mud chambers in conical mud volcanoes are greater than in flat-topped ones. If we refer to such a pattern, then we can assume that the initial chambers of all four volcanoes of the Lower Kura, which belongs to plateau-like volcanoes, are relatively close to the earth's surface. Since the breccias studied by us belong to the gryphon (and not the product of the eruption), it can be assumed that mud related to the primary mud chamber participated in their formation to a greater extent. Approaching from this point of view, the contribution of deeper deposits to the formation of breccias of mud volcanoes located in the south of the Lower Kura, in the coastal zone, where the sedimentary layer is quite thick, can be considered minimal. This means that the role of Eocene deposits, better connected to the sea [13; 14], in their formation is less, and this influence was higher for volcanoes noted in the steeper north of this area. However, the fact that the sediments formed by the breccias of mud volcanoes located in the southern coastal parts of the Lower Kura were deposited under marine conditions is not at all denied. The main issue is the explanation of a closer connection with the sea, in which, in our opinion, geological factors had a decisive influence.

Conclusion. Compared to the mud volcanoes recorded in the areas where the Quaternary sediments are spread in Lower Kura, the breccia of the Kichik

Mereze mud volcano located in the northernmost part of Gobustan (in the areas where the Maykop sediments are spread) contains higher Si and Al together with Shekikhan. High Ca is characteristic for volcanoes located near the Caspian Sea.

Plagioclase-rich source rocks and oxygen-dominated paleobasin environments played a key role in the formation of breccia deposits belonging to the mud volcanoes of Azerbaijan.

Geochemical proxies make it possible to link the paleobasin conditions of the formation of the gryphon breccia deposits of most mud volcanoes of Southern Gobustan, including Kichik-Mereze, located in Central Gobustan, with the continental setting, especially in comparison with some volcanoes of the Lower Kura, as well as Gobustan and Absheron, located on the shores of the Caspian Sea and relatively close to it.

The fact that the breccias of mud volcanoes located at a relatively large distance from the modern sea boundary and in the steepest northern part of the Lower Kura are associated with marine conditions, as are breccias of mud volcanoes located in the south of this tectonic zone (subjected to intense subsidence) and at a short distance from the Caspian Sea, may be due to geological factors. This is explained by the fact that: 1) the thickness of the sedimentary cover of the deep-depression part of the Lower Kura (coastal zone) is about 20 km, half of it consists of Neogene and Quaternary deposits; 2) the thickness of the sedimentary cover in the volcanic regions located in the north of this zone is much less and the role of older (Paleogene) deposits in the formation of mud volcanic breccias here, especially Eocene ones deposited under marine settings in East Azerbaijan.

References

1. Baloglanov, E.E., Babayev, E.E. (2023). *Geological and geochemical study of mud volcano breccia in eastern Azerbaijan*. Young researcher, IX, 1, 66-74 [in Azerbaijan].
2. Aliyev, Ad.A., Bayramov, A.A. (1999). *Some aspects of tectonics of mud volcanic zones of Gobustan*. ANAS Transactions, Earth Sciences, 1, 129-131.
3. Aliyev, Ad.A., Shnyukov, Ye. F. (2018). *The investigation of accessory mineralization of breccia in mud volcanoes in Azerbaijan as one of the ways for studying their genesis*. ANAS Transactions, Earth Sciences, 1, 11-23. DOI: <http://dx.doi.org/10.33677/ggianas20180100002>
4. Aliyev, Ad.A., Abbasov, O.R., Aghayev, A.M., Khuduzade, A.I., Hasanov, E.H. (2022). *Mineralogy, geochemistry and paleoweathering characteristics of Paleogene-Miocene oil shales in Azerbaijan*. SOCAR Proceedings, 1, 24-36. <http://dx.doi.org/10.5510/OGP20220100625>
5. Alizade, Ak.A., Efendiyeva, F.M., Aliyev, Ad.A. (1983). *Mud solution of the gryphon mud of mud volcanoes of Azerbaijan - a new medicinal preparation*. DAN Azerb. SSR, 39(3), 49-51.
6. Qodovikov, A.A. (1983). *Mineralogy*, M.: 328.
7. Ershov V.V., Nikitenko, O.A., Perstneva, Ju.A., Baloglanov, E.E., Abbasov, O.R. (2017). *Geochemical studies of products related to the activity of mud volcanoes in Azerbaijan*. V All-russian youth geological conference "Geology, geoeology and resource potential of the Urals and adjacent territories". Ufa, September 25-30. 117-123.
8. Nikitenko, O.A., Ershov V.V., Perstneva, Ju.A., Bondarenko D.D., Baloglanov, E.E., Abbasov, O.R. (2018). *Substance composition produced by mud volcanoes of Sakhalin Island and Azerbaijan: the first comparison*. Geosystems of Transition Zones, 2(4), 346-358. <http://dx.doi.org/10.30730/2541-8912.2018.2.4.346-358>
9. Abbasov, O.R. (2022). *Eocene-Miocene oil shales in Azerbaijan: Stratigraphic controls on formation, distribution and hydrocarbon generation*. Stratigraphy and sedimentology of oil-gas basins, 1, 39-55. DOI: <http://dx.doi.org/10.35714/ggistrat20220100004>

10. Aliyev Ad.A., Guliyev, I.S., Dadashev, F.G., Rahmanov, R.R. (2015) Atlas of mud volcanoes in the world. Baku: Publishing house "Nafta-Press", "Sandro Teti Editore", 321.
11. Aliyev, Ad.A., Abbasov, O.R., Ibadzade, A.J., Mammadova, A.N. (2018). Genesis and organic geochemical characteristics of oil shale in Eastern Azerbaijan. SOCAR Proceedings, 3, 4-15. <http://dx.doi.org/10.5510/OGP20180300356>
12. Aliyev, A., Abbasov, O., Agayev, A. (2019). Mineralogy and geochemistry of oil shale in Azerbaijan: Classification, palaeoweathering and maturity features. Visnyk of V. N. Karazin Kharkiv National University, series "Geology. Geography. Ecology", 50, 11-26. <https://doi.org/10.26565/2410-7360-2019-50-01>
13. Aliyev, Adil A., Abbasov, Orhan R. (2019). Nature of the provenance and tectonic setting of oil shale (Middle Eocene) in the Greater Caucasus southeastern plunge. Geodynamics, 1(26), 43-59. <https://doi.org/10.23939/jgd2019.01.043>
14. Aliyev, A.A., Abbasov, O.R. (2019). Mineralogical and geochemical proxies for the Middle Eocene oil shales from the foothills of the Greater Caucasus, Azerbaijan: Implications for depositional environments and paleoclimate. Mineralia Slovaca, 51(2), 157-174.
15. Aliyev, A.A., Abbasov, O.R. (2020). Distribution patterns, organic geochemistry and mineralogy of oil shales in Azerbaijan. Gornyi Zhurnal, 8, 13-18. <https://doi.org/10.17580/gzh.2020.08.02>
16. Baldermann, Andre, Abbasov, Orhan Rafael, Bayramova, Aygun, Abdullayev, Elshan, Dietzel, Martin (2020). New insights into fluid-rock interaction mechanisms at mud volcanoes: Implications for fluid origin and mud provenance at Bahar and Zenbil (Azerbaijan). Chemical Geology, 537, 119479. <https://doi.org/10.1016/j.chemgeo.2020.119479>
17. Baloglanov, E.E., Abbasov, O.R., Akhundov, R.V. (2018). Mud volcanoes of the world: classifications, activities and environmental hazard (informational-analytical review). European Journal of Natural History, 5, 12-26.
18. Bayramova, Aygun, Abbasov, Orhan R., Aliyev, Adil A., Baloglanov, Elnur E., Stamm, Franziska M., Dietzel, Martin, Baldermann, Andre (2023). Tracing water-rock-gas reactions in shallow productive mud chambers of active mud volcanoes in the Caspian Sea region (Azerbaijan). Minerals, 13(5), 696. <https://doi.org/10.3390/min13050696>
19. Liu, Jiarui., Treude, Tina, Abbasov, Orhan R., Baloglanov, Elnur E., Aliyev, Adil A., Harris, Carolyn M., Leavitt, William D., Young, Edward D. (2023). Clumped isotope evidence for microbial alteration of thermogenic methane in terrestrial mud volcanoes. Geology, 52 (1), 22-26. <https://doi.org/10.1130/G51667.1>
20. Odonne, Francis, Imbert, Patrice Imbert, Dupuis, Matthieu, Aliyev, Adil A., Abbasov, Orhan R., Baloglanov, Elnur E., Vendeville, Bruno C., Gabalda, Germain, Remy, Dominique, Bichaud, Victori, Juste, Rémy, Pain, Maëlys, Blouin, Arthur, Dofalc, Anthony, Gertaudac, Mathieu. (2020). Mud volcano growth by radial expansion: Examples from onshore Azerbaijan. Marine and Petroleum Geology, 112, 104051. <https://doi.org/10.1016/j.marpetgeo.2019.104051>
21. Odonne, Francis, Imbert, Patrice Imbert, Remy, Dominique, Gabalda, Germain, Aliyev, Adil A., Abbasov, Orhan R., Baloglanov, Elnur E., Bichaud, Victori, Juste, Rémy, Dupuis, Matthieu, Bonvalot, Sylvain. (2021). Surface structure, activity and microgravimetry modeling delineate contrasted mud chamber types below flat and conical mud volcanoes from Azerbaijan. Marine and Petroleum Geology, 34, 105315. <https://doi.org/10.1016/j.marpetgeo.2021.105315>

Геохімічні прояви сопкової брекчії грязьових вулканів Східного Азербайджану: закономірності розподілу хімічних елементів та просторові характеристики осадо накопичення

Ельнур Балогланов

наук. співробітник відділу грязьового вулканізму

Інституту геології та геофізики

Міністерства науки та освіти Азербайджанської Республіки,

пр. Г. Джавіда, 119, м. Баку, AZ1143, Азербайджан

Ця стаття була присвячена дослідженню вмісту хімічних елементів у сопкових брекчіях 12 активних грязьових вулканів у таких нафтогазоносних районах Азербайджану, як Абшерон, Гобустан та Нижня Кура. Хімічний склад зразків брекчії, використаних у дослідженні, було проаналізовано з використанням сучасних приладів, таких як спектрометр "S8 TIGER Series 2" та мас-спектрометр "Agilent 7700 Series ICP-MS". У дослідженнях представлена велика інформація про особливості геологічних характеристик грязьових вулканів, розташованих у різних тектонічних зонах, а також детально описані супутні елементи, такі як Si, Mg, P, Li, Ga, Rb, Zr, Mo, Cs, Pr, Tl, Pb, Th, U, Ni, Sr, Ba та інші. На основі отриманих даних було виявлено джерела матеріалів, які відіграли роль у відкладенні брекчії вулканів на території Азербайджану, а також за допомогою комплексних геохімічних методів було реконструйовано середовище накопичення осадів. На основі результатів, які були отримані з використанням геохімічних індикаторів, також оцінено характеристики палеобасейну, що впливають на формування сопкових брекчій в Абшеронському районі, на Південному та Центральному Гобустані, а також на півночі та півдні Нижньої Кури. Відмінність у хімічній природі брекчій розглядається між вулканічними зонами Азербайджану, які розташовані як поблизу, так і далеко від Каспійського моря. У цих відмінностях особлива увага приділяється ролі морфологічних особливостей вулканів, глибини залягання грязьових камер та головним чином геологічним факторам. На основі отриманих даних узгоджуються закономірності у тектонічних зонах та районах, а також були визначені відповідні зміни у хімічному складі, та пропонуються нові ідеї, які пов'язані з регіоном та з урахуванням відповідних сучасних літературних матеріалів.

Ключові слова: сопочна брекчія, хімічний склад, закономірності розподілу, умови осадо накопичення.

Received 19 September 2023

Accepted 31 October 2023

Тектонічна природа Українського щита

Сергій Горяйнов,

к. геол.-мін. н., доцент, кафедра фундаментальної та прикладної геології,
Харківський національний університет імені В. Н. Каразіна,
майдан Свободи 4, Харків, 61022, Україна,
e-mail: gorjainov@karazin.ua

У позаальпійських регіонах Європи широко розвинуті ларамійські (післякрейдові – доеоценові) деформації. Вони простежуються регіональним кутовим неузгодженням між мезозоем та кайнозоем від Каспію до Великої Британії. Площа розвитку ларамійської складчастості охоплює і Український щит. Виникає питання його структурної позиції. Північна границя ларамійської складчастої області в Україні простежується по лінії Чернігів–Лисичанськ. На південь ларамійські деформації посилюються, але нерівномірно. Південніше границі розвинута смуга складок та насувів мезозою шириною біля 100 км. Довжина складок сягає десятків – сотень кілометрів, амплітуда становить 1–2 км. Смуга деформацій обмежує Український щит з північного сходу. На шельфах Чорного, Азовського морів та у Північному Криму встановлено субширотну смугу ларамійських насувів та складок шириною 150–200 кілометрів. Амплітуди складок сягають 1–2 км, амплітуди окремих насувів сягають 8–10 км. Складки та насуви перекриті кайнозоем. Ця смуга деформацій обмежує з півдня південний схил Українського щита. Південніше, у Гірському Криму, деформації посилюються. З'являються широкі меланжеві зони північно-західної вергентності. На схилах щита складчасті деформації мезозою згасають. Тому Український щит зі своїми схилами є серединним масивом, що облямовується смугами дислокацій по периметру. Цей серединний масив має будову антекклізи з докембрійськими породами у ядрі. Західне крило антекклізи перекривається насувами Карпат аттичного (післяміоценового) віку. Таким чином, у сучасній геологічній структурі Український щит є ядром антекклізи серединного масиву у ларамійській складчастій області. Як тектонічне підняття він сформувався у палеоцені. У пізньокрейдовій епосі він ще був похований під шельфовими карбонатними відкладами. Розмив цього підняття сформував матеріал для кайнозойських відкладів України зі специфічною мінералогічною спеціалізацією. Врахування ларамійської складчастості дозволяє узгодити різнопланові геологічні явища регіону в єдину систему без протиріч.

Ключові слова: Український щит, ларамійська складчастість, антеккліза, серединний масив.

Як цитувати: Горяйнов Сергій. Тектонічна природа Українського щита / Сергій Горяйнов // Вісник Харківського національного університету імені В. Н. Каразіна, серія «Геологія. Географія. Екологія», 2023. – Вип. 59. – С. 18–27. <https://doi.org/10.26565/2410-7360-2023-59-02>

In cites: Goryainov Sergey (2023). Tectonic position of the Ukrainian shield. Visnyk of V. N. Karazin Kharkiv National University, series "Geology. Geography. Ecology", (59), 18–27. <https://doi.org/10.26565/2410-7360-2023-59-02> [in Ukrainian]

Постановка загальної проблеми. Український кристалічний щит у тектонічній літературі описується як "підняття кристалічного фундаменту Східноєвропейської платформи" [42]. І справді, на його території на поверхню або близько до неї виходять докембрійські метаморфічні та магматичні породи. Але глибоке буріння та геофізичні дослідження показують, що ті самі породи і утворювані ними геологічні структури простежуються також і далеко за його межі під осадовими утвореннями змінної, у тому числі багатокілометрової, товщини. Зокрема, залізородні формації Криворіжжя простежуються на північ як залізрудний басейн Курської магнітної аномалії Воронезького кристалічного масиву.

Тому виникає питання – чому саме ця частина докембрійського кристалічного фундаменту є піднятою? Чому, на відміну від багатьох інших щитів світу, Український щит частково перекритий кайнозойськими відкладами? Яку структурну позицію Український щит займає у сучасній геологічній структурі?

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Український щит як регіональний тектонічний елемент геології Європи ("Українська кристаліч-

на смуга") відомий з середини XIX сторіччя [37]. Він відображений на оглядових дрібномасштабних картах України останнього покоління [1, 2, 31, 36]. Деталізація геологічної будови щита і його обмежень проведено в рамках складання оновлених карт середнього масштабу 1:200000 вже у XXI ст. [20 та ін.]. Згідно до цих карт Український щит як область виходів докембрію простежується з північного заходу на південний схід приблизно на 1000 км за шириною до 250 км. Загальна площа виходів перевищує 130 тис. км².

Оскільки докембрійські утворення на флангах щита поступово занурюються під осадові породи палеозою та мезозою, то обмеження власне щита прийняті по ізогіпсі поверхні розмиву докембрію у –300 м. Це було зроблене для зручності планування геологозйомочних робіт з глибинного геологічного картування територій.

Така границя є умовною. При такому виділенні тектонічного елементу залишаються неясними його геологічна природа та структурна позиція. Щит, таким чином, визначається як географо-петрографічне поняття – це просто така "область, де на поверхню виходять метаморфічні породи".

Геологічні карти України показують майже повну відсутність мезозойських відкладів у межах Українського щита і широке перекриття його території горизонтально залягаючими кайнозойськими відкладами. Стратиграфія та літологія цих стратиграфічних рівнів досліджені дуже ретельно та регіонально [32, 34].

Найбільш поширеною формацією мезозою у регіоні є пізньокрейдова крейдово-мергельна формація. У Європі вона простежується майже широтно від Каспійського регіону до Великої Британії. На довготах України ширина розвитку цієї формації складає 500–600 км. Фаціальний склад формації вказує на її органогенно-уламкове мілководне (шельфове) походження. Карбонатний склад цих відкладів досить витриманий, що й дало назву всій крейдовій системі.

На Українському щиті ці карбонатні відклади присутні тільки на його схилах і відсутні у центральній частині. Тому на палеогеографічних картах крейдового віку площа Українського щита зображена як острів серед шельфу [29].

Аналіз геологічних карт України виявляє наявність ларамійської (післяпізньокрейдкової – доолігоценної) складчастості [20–28]. Вона охоплює майже всю Україну і на її території має північно-східну границю розповсюдження – приблизно вздовж лінії Чернігів – Лисичанськ.

Результати аналізу геологічної будови Європи вказують на широкий розвиток ларамійських деформацій у позаальпійських регіонах. Вони простежуються за кутовим неузгодженням між складчастим мезозоем та нескладчастим кайнозоем як мінімум від Передкавказзя до Великої Британії [40]. Ларамійські деформації Європи утворились завдяки акреції мікроконтинентів палеоокеану Тетіс з південною окраїною Євразії на стадії його закриття [17, 18, 30, рис. 1].

Авторські дослідження уточнили вергентність ларамійських тектонічних рухів [4–10, 13, 15]. Вона виявилась північно-західною. Ці деформації сформували комплекс тектонітів відповідної вергентності, які перетинають верхню крейду і усі більш древні геологічні утворення, але перекриваються підшвою кайнозоем з розмивом, без зміщень. Цей комплекс тектонітів отримав назву сокольцовського [4].

Комплекс тектонітів має сіткоподібну форму. У комітках сітки розміщені тектонічні блоки різної геологічної будови – зокрема з порушенням (у тому числі складчастим) заляганням мезозойського осадового чохла. Денудація поверхні таких блоків та перекриття їх кайнозойськими відкладами і формує регіональне кутове неузгодження між мезозоем та кайнозоем, що і притаманне ларамійській складчастості.

В межах щита у підшві кайнозоем, як і у ін-

ших регіонах розвитку ларамійської складчастості, присутні і розмиви, і кутове неузгодження.

Синхронно з сокольцовським комплексом тектонітів в Україні сформувався острогомільський комплекс тектоногенних метасоматитів (аргілізитів, березитів тощо). У Східній Україні він сформував ларамійську металогенічну провінцію ртутно-поліметалічної (з золотом) спеціалізації [6, 17].

Невирішена частина загальної проблеми.

Ларамійська складчастість відома вже більше 100 років у Донбасі та на його околицях [3]. Саме на ларамійських складках розміщений навчальний геологічний полігон Харківського університету. На ньому студенти навчаються складати геологічні карти вже більше 60 років. На *геологічних* картах України ларамійські деформації відображені. Але на *тектонічних* картах України ларамійська складчастість відсутня і не бере участі у тектонічному або металогенічному районуванні [31, 36].

Площа розвитку ларамійської складчастості Європи охоплює і Український щит. Але на його флангах деформації мезозою в цілому незначні. Виникає питання – яку структурну позицію займає Український щит у структурі ларамійської складчастої області?

Звертає на себе увагу також протиріччя в уявленнях про утворення крейдово-мергельної формації. Велика площа розвитку карбонатів верхньої крейди та витриманість їхнього *карбонатного* складу суперечить можливому існуванню посеред неї острова, складеного *силікатними* породами. Вивітрювання таких порід на острові площею більше сотні тисяч квадратних кілометрів, їхня ерозія та абразія призвели б до суттєво силікатного літогенезу на оточуючому шельфі. Але цього у складі крейдово-мергельної формації не спостерігається.

Мета статті – уточнити сучасну структурну позицію та тектонічну природу Українського щита.

Матеріали і методи дослідження. Вихідними даними для дослідження були сучасні дрібно-, середньо- та крупномасштабні геологічні карти України [1, 2, 20–28, 31, 36 та ін.]. Також використовувались тектонічні узагальнення, зроблені для Кримського регіону [39], Чорноморського та Азовського шельфів [33, 35]. Враховувались авторські польові дослідження особливостей ларамійського тектогенезу, що охоплювали регіони від Закарпаття до Криму і Приазов'я [6, 30]. Всі ці матеріали оброблялись у середовищі ГІС MapInfo.

Було застосовано метод тектонічного районування мезозойського структурного поверху за характером і інтенсивністю прояву складчастих і

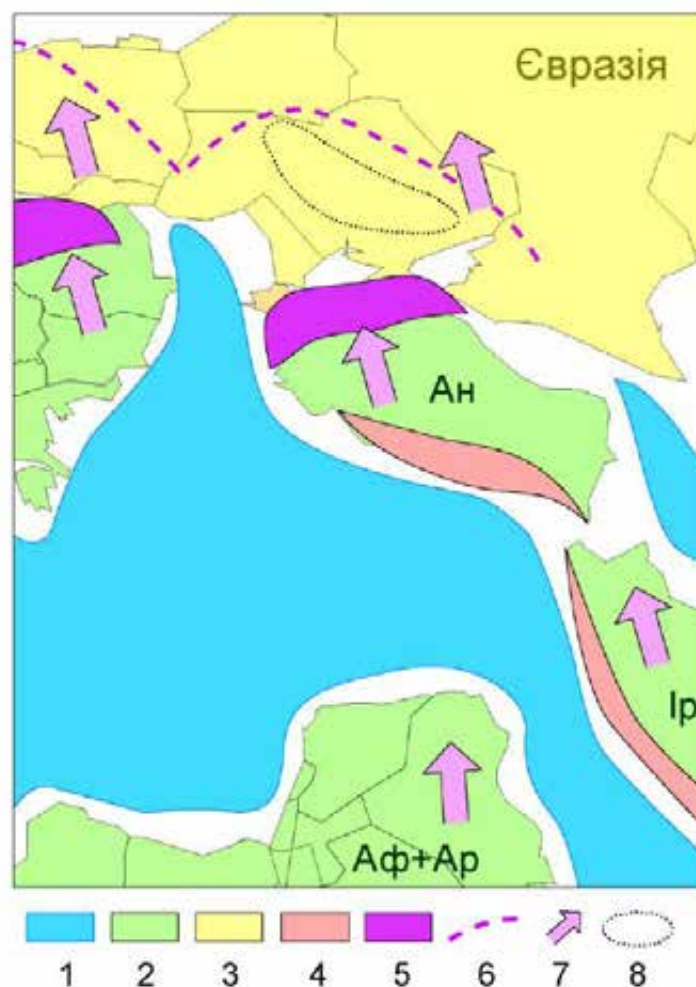


Рис. 1. Схема колізійних деформацій ларамійського віку [30]:

1 – океанічні плити; 2 – "гондванські" фрагменти (Аф+Ар – Африкано-Аравійський, Ір – Іранські мікроконтиненти; Ан – Анатолія); 3 – Євразія; 4 – активні континентальні окраїни та енсїалічні островні дуги; 5 – зони максимальних деформацій складчастих областей; 6 – північна границя ларамійської складчастості у Євразії; 7 – напрямок відносних рухів плит; 8 – контури Українського щита /

Fig. 1. Scheme of collisional deformations of the Laramian age [30]:

1 – oceanic plates; 2 – "Gondwana" fragments (Аф+Ар – African-Arabian, Ір – Iranian microcontinents; Ан – Anatolia); 3 – Eurasia; 4 – active continental margins and ensialic island arcs; 5 – zones of maximum deformations of folded areas; 6 – the northern border of the Laramie folding in Eurasia; 7 – the direction of the relative movements of the plates; 8 – contours of the Ukrainian shield

розривних деформацій [38]. Складчасті деформації аналізувались методами ізоліній на основі побудови стратоізогіпс підшошви мезозою. Це давало можливість оцінити орієнтацію складок, їхню морфологію та амплітуди. Зокрема, це дозволило виявити орієнтацію осьових поверхонь складок.

Виділення ларамійських розривних порушень з загального числа різновікових розломів України проведено за допомогою авторської методики вергентного аналізу [11, 12, 14]. Вона дозволила діагностувати тектоніти соколицького комплексу у кожному одиничному пункті спостережень. Встановлювалась кінематика і істинні амплітуди зміщень по окремих змішувачах. Загалом це дозволило простежити сітку тектонітів соколицького комплексу в межах Східної Укра-

їни [16, 30]. Це дало змогу провести порівняльний аналіз щільності розвитку таких порушень на різних територіях.

Також аналізувався загальний характер літології стратонів крейди та кайнозою з точки зору порівняння хімічного складу уламкового та хемогенного матеріалу в областях живлення та осадоконакопичення.

Виклад основного матеріалу досліджень.

На геологічних картах докайнозойських утворень України чітко простежується північна границя ларамійської складчастої області (рис. 2). При переході через неї на північ зникають складки мезозою (рис. 3) і кутове неузгодження у підшіві кайнозою [1, 16]. За літературними даними ця границя простежується і у межі Польщі [30, 41].

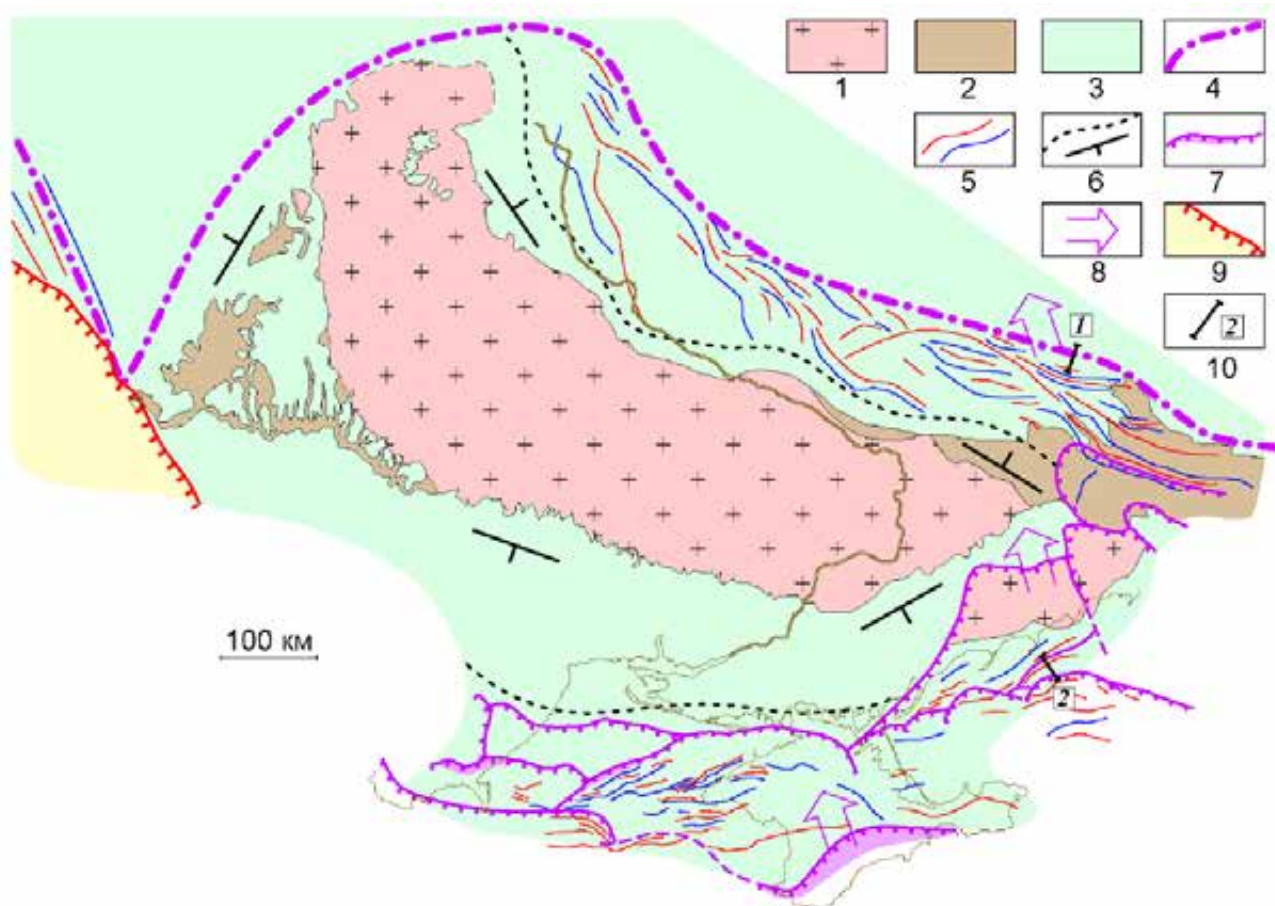


Рис. 2. Тектонічна позиція Українського щита:

1 – виходи докембрійських порід під підшву кайнозою; 2 – палеозойські відклади; 3 – мезозойські відклади; 4–7 – область ларамійської складчастості: 4 – зовнішня границя ларамійської складчастої області; 5 – осі складок мезозойських відкладів: антиклінальних (червоні) та синклінальних (сині); 6 – приблизна границя серединного масиву та напрямок нахилу осадового чохла на ньому; 7 – насуви та меланжеві зони ларамійського віку; 8 – вергентність ларамійських тектонічних рухів; 9 – зовнішня границя аттичної складчастої області Карпат; 10 – розміщення геологічних розрізів, показаних на рис. 3 і 4

Fig. 2. Tectonic position of the Ukrainian Shield:

1 – outcrops of Precambrian rocks under the basement of Cenozoic; 2 – Paleozoic sediments; 3 – Mesozoic sediments; 4–7 – area of Laramie folding: 4 – outer border of Laramie folded area; 5 – fold axes of Mesozoic sediments: anticlinal (red) and synclinal (blue); 6 – the approximate border of the middle massif and the direction of the slope of the sediment cover on it; 7 – thrusts and melange zones of the Laramie age; 8 – vergence of Laramie tectonic movements; 9 – the outer border of the Attic folded region of the Carpathians; 10 – placement of geological sections shown in fig. 3 and 4

Якщо на північ складчастість згасає (рис. 3), то на південь вона повинна посилюватись. Аналіз карт виявляє неоднорідність розвитку цих деформацій.

Безпосередньо південніше границі складчастої області розвинута смуга лінійних та брахіформних складок північно-західного простягання довжиною у десятки – сотні кілометрів. Амплітуда складок сягає 1–2 км. Вони подекуди мають ундулюючі шарніри через ускладнення соляними діпірами. Смуга розвитку цих складок простежується через усю Україну, обмежуючи Український щит з північного сходу. Ширина цієї смуги – порядку 100 км.

На схилах Українського щита складчасті де-

формації мезозою згасають, і мезозой там залягає полого та моноклінально.

В межах південно-західної частини Донбасу з наближенням до Приазов'я ларамійські складки також згасають. Замість них спостерігається численна серія дугоподібних насувів північно-західної вергентності (Селідівський, Центральний, Добропільський та ін.). У розділених ними тектонічних блоках складки ларамійської генерації поодинокі. Спостерігаються релікти герцинської складчастої споруди Донбасу.

Приазовський кристалічний масив ларамійськими порушеннями насунуто на південну частину Донбасу [6] та на крейдові відклади південного схилу Українського щита ("Конксько-Ялин-

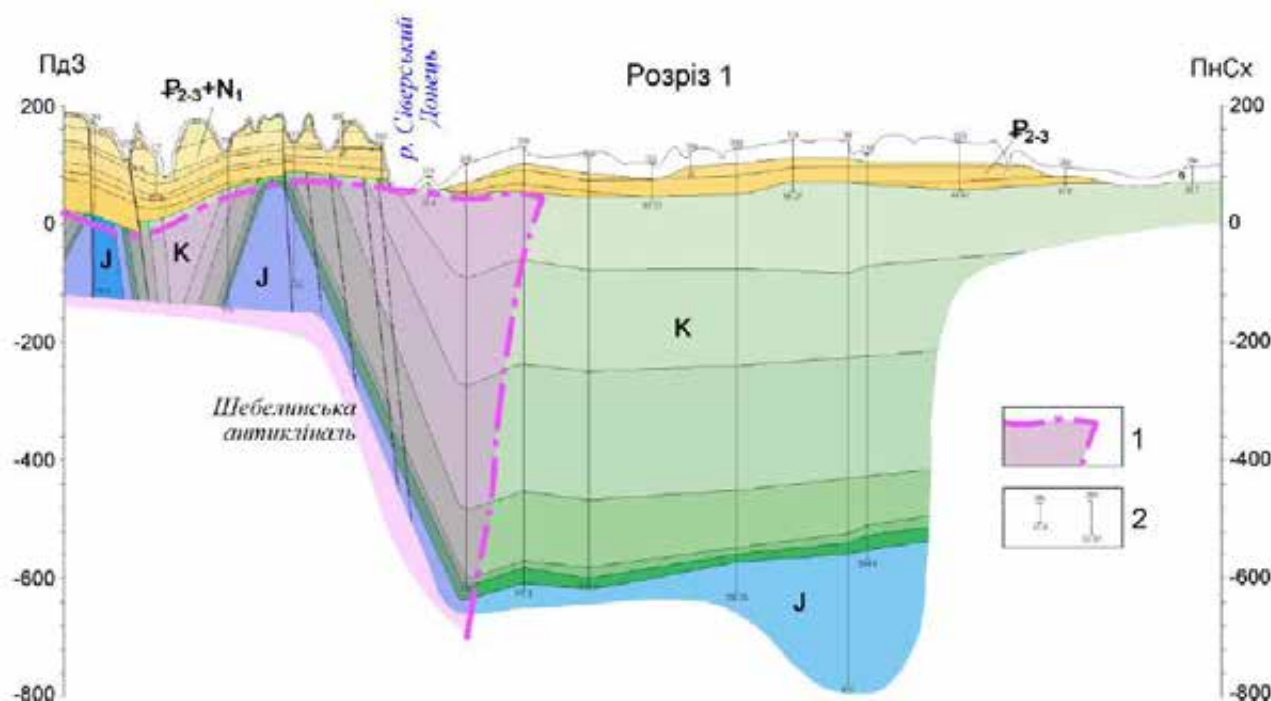


Рис. 3. Північна границя ларамійської складчастої області [26]:

1 – ларамійська складчаста область; 2 – картувальні свердловини. Вертикальний масштаб збільшено відносно горизонтального у 40 разів. Розміщення розрізу – на рис. 2 /

Fig. 3. The northern border of the Laramie folded region [26]:

1 – Laramie folded region; 2 – mapping wells. The vertical scale is increased relative to the horizontal by 40 times. Placement of the section – in fig. 2.

ську западину") [20]. Це неодноразово підтверджено бурінням та прямими геологічними спостереженнями [19].

Південніше, на шельфах Чорного, Азовського морів та у Північному Криму, геофізичними

роботами та бурінням встановлені численні ларамійські (післякрейдові – докайнозойські) насуви та лінійні складки субширотного простягання та північно-західної вергентності (рис. 4). Амплітуда окремих насувів сягає 8–10 км, а амплітуди

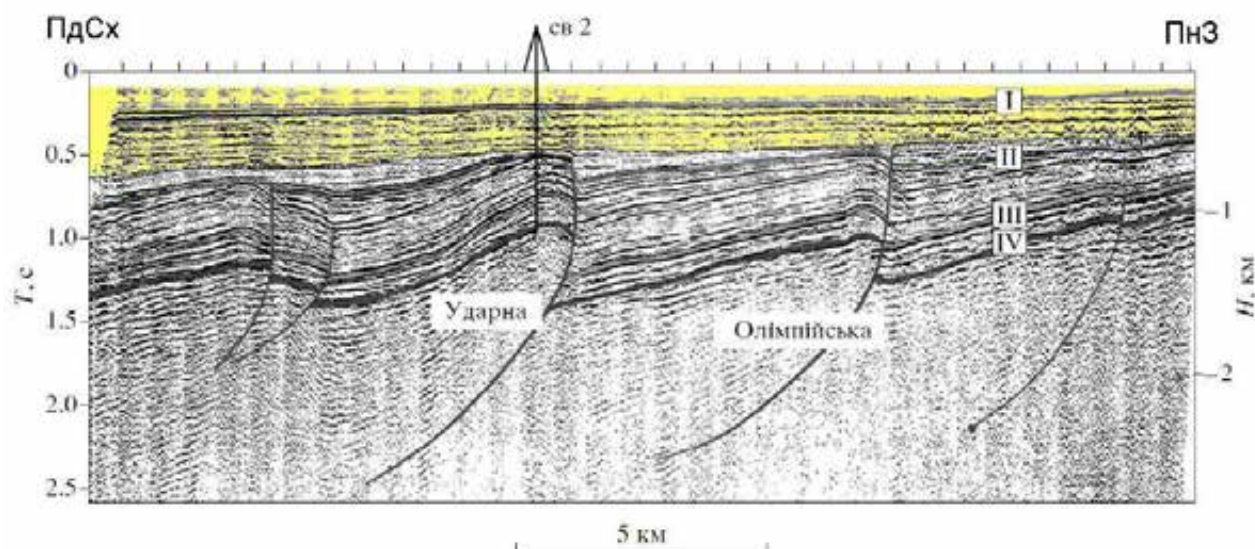


Рис. 4. Ларамійські складки та насуви в акваторії Азовського моря [33].

Положення цього сейсмогеологічного розрізу показано на рис. 2.

Жовтим позначені еоценові та більш молоді відклади. Підписані назви антиклінальних складок.

Чітко видно кутове неузгодження у підшві еоцену /

Fig. 4. Laramie folds and thrusts in the Sea of Azov water area [33].

The position of this seismic-geological section is shown in fig. 2. Eocene and younger sediments are marked in yellow. Signed names of anticlinal folds. An angular unconformity under the Eocene basement is clearly visible

принасувних складок сягають 1–2 км. Вони є об'єктами нафтогазопошукових робіт.

Складчасто-насувна зона Причорномор'я простежується від устя Дунаю через Азовське море до Передкавказзя. Вона має ширину 150–200 кілометрів [33, 35, 39]. Ця смуга складок та насувів обмежує з півдня південний схил Українського щита (рис. 2). У сучасній структурі ці ларамійські складки та насуви перекриті кайнозойськими відкладами (рис. 4).

Південніше, у Гірському Криму, деформації ще посилюються. Складки та насуви змінюються широкими та протяжними меланжевими зонами [39], по яких проходило насування блоків у північно-західному напрямку [6, 9, 18, 30].

Таким чином, у межах розвитку ларамійської складчастості спостерігається нерівномірність інтенсивності деформацій. Поруч із загальним зростанням інтенсивності деформацій на південь виявляється велика площа майже повної відсутності складок мезозою. Вона оконтурюється смугами розвитку складок та насувів з північного сходу, сходу та півдня (рис. 1). Такі малодислоковані блоки у межах складчастих областей називаються *серединними масивами*.

Серединний масив ларамійської складчастої області у межах України має будову великої положистої антиклінальної складки. Крила складки утворені осадовими породами палеозою та мезозою. Її північно-східне крило має нахил у північно-східному напрямку, південне – у південному, північно-західне – у північно-західному, і т.п. Кути нахилу вимірюються першими градусами або менше. Така положиста антиклінальна складка великої площі є *антеклізою*. Західне крило антеклізи перекривається більш молодими насувами Карпатської складчастої споруди аттичного (післяміоценового) віку.

В ядрі антеклізи з-під мезозойського та палеозойського осадового чохла виходять докембрійські метаморфічні та магматичні породи. Вони, власне, і є Українським щитом. Таким чином, у сучасній геологічній структурі Український щит є ядром антеклізи серединного масиву у ларамійській складчастій області. Саме ларамійська складчастість сформувала цю антеклізу, про що опосередковано свідчить її будова. Її північні крила вужчі за південні і мають більш круті кути нахилу, що свідчить назагал про північну вергентність її формування. Саме така вергентність притаманна ларамійським деформаціям [4–10].

Впродовж пізньої крейди, до складчастості, територія щита покривалась суцільним мілководним шельфом з карбонатною седиментацією. Майбутній кристалічний щит був перекритий відкладами крейди повністю. Ларамійська складчастість не тільки сформувала антеклізу, але й підня-

ла докембрійський фундамент в область ерозійного руйнування. І тільки завдяки тектонічним деформаціям у палеоцені серед карбонатного шельфу з'явилась суша.

Поява великого острова посеред шельфу в умовах (суб)тропічного клімату різко змінила характер літогенезу в регіоні. Карбонатні породи крейди з ядерної частини антеклізи були еродовані повністю, залишившись лише на її крилах. На поверхню вийшли силікатні породи докембрію, що їх підстиляли. Формування зрілих кір вивітрювання цих силікатних порід та руйнування їх ерозією та абразією зумовили всі ті риси літології, що притаманні кайнозойським відкладам України. Утворились скляні кварцові піски, вторинні каоліни, глауконіти, фосфорити, родовища марганцю, прибережно-морські розсипи важких мінералів та бурштину і т. ін. На острівній суші сформувався Придніпровський басейн бурого вугілля. Поступове руйнування цього острова з часом призвело до перекриття його малопотужними прибережно-морськими відкладами кайнозою.

Обмеженість розвитку ларамійських деформацій з півночі пояснює, чому північне продовження субмеридіональних докембрійських структур Українського щита на Воронежському кристалічному масиві і досі знаходиться під палеозойськими, мезозойськими та кайнозойськими відкладами. Воронежський кристалічний масив ларамійськими рухами не деформувався і тому зараз майже не виходить на денну поверхню.

Формування Альпійського складчастого поясу мало вплив і на території Українського щита. За межами Карпат на ньому проявились лише незначні деформації [4], але вони підняли його як височини рельєфу (Подільську та Придніпровську) – так само, як і Донецький кряж та Приазовську височину [6, 16, 18]. Водночас з цим зниження рівня Світового океану в пліоцені через регіональні зледеніння призвели до осушення території та активізації глибинної ерозії річкової мережі. Через це сучасні ерозійні врізи перетинають кайнозойський осадовий чохол і розкривають докембрійські утворення України. Сформувалась "область, де на поверхню виходять метаморфічні породи".

Наукова новизна. Введення у аналіз тектонічної будови регіону об'єктивно існуючої ларамійської складчастості дозволяє зняти багато протиріч та узгодити різномірні явища у єдину систему:

- з'ясувати структурну позицію щита у ларамійських деформаціях;
- показати, що щит як тектонічне підняття сформувався у палеоцені;
- пояснити відсутність карбонатів крейди на щиті при відсутності силікатних порід у верхній

крейди на оточуючих територіях;

- пояснити зміну карбонатної седиментації пізньої крейди на переважно силікатну седиментацію палеогену;

- узгодити мінерагенічну спеціалізацію осадового кайнозою з історією тектонічного розвитку кристалічного щита;

- показати причини перекриття Українського щита кайнозоєм та розмив цього покриття у сучасну геологічну епоху.

Висновки. 1. Ларамійська складчастість повинна враховуватись у тектонічному районуванні України та Європи.

2. Український щит у сучасній геологічній структурі займає місце ядра антеклизі серединно-

го масиву у ларамійській складчастій області.

3. Як тектонічне підняття щит сформувався у палеоцені. У пізній крейди він ще був похований під шельфовими карбонатними відкладами.

4. За рахунок розмиву цього підняття сформувались кайнозойські відклади України зі специфічною мінерагенічною спеціалізацією.

5. Обмеженість розповсюдження ларамійських деформацій на північ залишила північне продовження структур Українського щита – Воронежський кристалічний масив – перекритим фанерозойським осадовим чохлам.

6. Врахування ларамійської складчастості дозволяє узгодити різнопланові геологічні явища регіону в єдину систему без протиріч.

Список використаної літератури

1. Геологічна карта докайнозойських утворень України. Масштаб 1:1000000 / Під ред. В.І. Калініна. – Держ. геол. служба України. – 2007.
2. Геологічна карта України. Масштаб 1:1000000 / Під ред. В.Я. Великанова – Держ. геол. служба України. – 2007.
3. Геология месторождений угля и горючих сланцев СССР / Под ред. И.А. Кузнецова. – М.: Госгеолтехиздат. – 1963. – 1210 с.
4. Горяйнов С.В. Метаморфические и метасоматические комплексы Среднего Побужья / С.В. Горяйнов, Д.В. Денисенко, О.А. Дивизкий. – Харьков : Экограф. – 2003. – 168 с.
5. Горяйнов С.В. Метаморфические и метасоматические комплексы Кировоградского блока Украинского щита / С.В. Горяйнов, В.Н. Бухтатый, Д.С. Горяйнов, Е.П. Исаева, А.А. Курило, Ю.А. Литвиненко. – Харьков : Экограф. – 2004. – 174 с.
6. Горяйнов С.В. Метаморфические и метасоматические комплексы Приазовья и Южного Донбасса / С.В. Горяйнов, С.В. Аксенов, А.С. Алтухов, С.В. Воробьев, Е.П. Исаева, В.В. Коренев. – Харьков: Экограф, 2009. – 304с.
7. Горяйнов С.В. Об альпийском усложнении структуры Украинского щита // Геологія і стратиграфія докембрію Українського щита. Тези доповідей Всеукраїнської міжвідомчої наради. – Київ, 1998. – С. 130–132.
8. Горяйнов С.В. Об альпийском усложнении структуры Украины // Нафта і газ України. Збірник наукових праць. Матеріали 5-ої Міжнародної конференції "Нафта і газ України" (Полтава, 15-17 вересня 1998 р.). – Полтава, 1998. – Т.1. – С. 31–32.
9. Горяйнов С.В. Об альпийском усложнении геологической структуры в различных регионах Украины // Доповіді НАНУ, 1999. – №8. – С. 106–111.
10. Горяйнов С.В. Кайнозойские тектонические движения Украины // Вісник Харківського національного університету імені В.Н. Каразіна. Серія «Геологія – Географія – Екологія», 2003. – №604. – С. 9-13.
11. Горяйнов С.В. Методика геологосъемочных работ. Учебное пособие. – Харьков, 2003. – 85 с.
12. Горяйнов С.В. Теоретичні основи геологічного картування для ГІС-технологій // Геоінформатика, 2003. – №2. – С. 79–82.
13. Горяйнов С.В. О ларамийском усложнении геологических структур Украины – Доповіді НАНУ, 2004. – №12. – С. 114–121.
14. Горяйнов С.В. К методике выделения нестратифицированных метаморфических и метасоматических комплексов // Геологічний журнал, 2005 – № 2. – С. 118–126.
15. Горяйнов С.В. Кинематика кайнозойских тектонических движений юга Украины // Азово-Черноморский полигон изучения геодинамики и флюидодинамики формирования месторождений нефти и газа. Тезисы докладов на 8-й Международной конференции "Крым-2009" (14–18 сентября 2009, г. Ялта). – С. 39–42.
16. Горяйнов С.В. Співвідношення газонасної та ртутно-поліметалічної провінцій Східної України // Питання розвитку газової промисловості України. – Вип. 44 – Харків: УкрНДІГаз: зб. наук. праць. – 2016. – С. 50–53.
17. Горяйнов С.В. Кайнозойские тектонические движения Восточной Европы // Геология и полезные ископаемые Мирового океана. – 2013, №3. – С. 55–65.
18. Горяйнов С.В. О положении Черноморского региона в общей схеме кайнозойских тектонических движений Восточной Европы и Ближнего Востока // Вісник Харківського національного університету імені В.Н. Каразіна, серія «Геологія – Географія – Екологія». – Вип. 48. – 2018. – С. 52–62. <https://doi.org/10.26565/2410-7360-2018-48-04>
19. Горяйнов С.В., Коренев В.В. Перекрестно-надвиговая структура зоны сочленения Донбасса с Приазовским блоком Украинского щита // Геологія та питання геологічного картування і вивчення докембрійських утворень Українського щита. Матеріали IV науково-виробничої наради геологів-зйомщиків України (8-12 жовтня 2007р., м. Кривий Ріг). – Дніпропетровськ, 2007. – С. 102–104.

20. Державна геологічна карта України. Масштаб 1:200000. Аркуш L-37-I (Пологи) / А.А. Петренко, В.О. Шпильчак. – КП "Південукргеологія". – 2002.
21. Державна геологічна карта України. Масштаб 1:200000. Аркуші L-37-II (Донецьк); L-37-III (Іловайськ); L-37-VIII (Маріуполь); L-37-IX (Таганрог) / Б.В. Бородиня. – КП Південукргеологія. – 2007.
22. Державна геологічна карта України. Масштаб 1:200000. Аркуші М-34-XVII (Рава-Руська), М-35-XIII (Червоноград) / А.А. Плотніков. – ДП "Західукргеологія". – 2004.
23. Державна геологічна карта України. Масштаб 1:200000. Аркуші М-34-XXIII (Пшемисль), М-34-XXIV (Дрогобич) / Л.С. Герасімов, С.В. Чалий, І.І. Герасімова. – ДП "Західукргеологія". – 2003.
24. Державна геологічна карта України. Масштаб 1:200000. Аркуші М-34-XXXV (Ужгород), L-34-V (Самумаре) / Б.В. Мацьків, Ю.В. Ковальов, Б.П. Пукач. – ДП "Західукргеологія". – 2003.
25. Державна геологічна карта України. Масштаб 1:200000. Аркуш М-35-XIX (Львів) / Л.С. Герасімов, С.В. Чалий, І.І. Герасімова. – ДП "Західукргеологія". – 2004.
26. Державна геологічна карта України. Масштаб 1:200000. Аркуші М-37-XIX (Харків) / Ю.А. Борисенко та ін. – КП "Південукргеологія". – 2007.
27. Державна геологічна карта України. Масштаб 1:200000. Аркуш М-37-XXV (Лозова) / Л.П. Проць та ін. – ДРГП Донецькгеологія. – 2006.
28. Державна геологічна карта України. Масштаб 1:200000. Аркуш М-37-XXVI (Слов'янськ) / Бондарь О.П. и др. – Артемівськ: Артемівська ГРЕ. – 1993.
29. Іванников А.В. Геологическая история Украины в меловое время. – Киев: Карбон Лтд, 2005. – 46 с.
30. Ковалев А.А., Горайнов С.В. Особенности кайнозойской тектоники Восточной Европы и Ближнего Востока – М.: Изд-во МГУ, 2019 – 28 с.
31. Металогенічна карта України / В.А. Колосовська, В.Я. Великанов, А.С. Войновський, А.П. Волик, Л.О. Демехін / під ред. Д.С. Гурського – 2004.
32. Науменко А.Д. Трансгрессия моря на северо-западную часть Украинского щита в верхнемеловое время // Геология и полезные ископаемые Мирового океана. – 2017. – № 4 (50). – С. 88–94.
33. Попков В.И. Складчато-надвиговые дислокации в осадочном чехле Азовского моря // Геотектоника, 2009, №4. – С. 1–10.
34. Стратиграфія верхнього протерозою, палеозою та мезозою України / під ред. П.Ф. Гожика. – Київ : ІГН НАН України – Логос, 2013. – 637 с.
35. Тектоника южного обрамления Восточно-Европейской платформы (Объяснительная записка к тектонической карте Черноморско-Каспийского региона. Масштаб 1:2500000) / Под ред. В.Е. Хаина, В.И. Попкова. – Красн-р: Кубан. гос. ун-т, 2009. – 107 с.
36. Тектонічна карта України. Масштаб 1:1000000 / під ред. С.С. Круглова, Д.С. Гурського. – Держ. геол. служба України. – 2007.
37. Чебаненко І.І. Розломна тектоніка України. – Київ: Наукова думка, 1966. – 180 с. https://collectedpapers.com.ua/ru/tectonics_ukraine/rozlomi-centralnoyi-chastini-ukrayinskogo-shhita
38. Чиков Б.М. Основы методологии тектонического районирования / Б.М. Чиков. – Новосиб-к: Наука, 1985. – 166 с.
39. Юдин В.В. Геодинамика Крыма / В.В. Юдин. – Симферополь: ДИАЙПИ, 2011. – 336 с.
40. International Geological Map of Europe and Mediterranean region 1:5000000 / H.-R. Gaerther, H.W. Walter. – International Geological Congress: Bundesanstalt für Bondeforschung and UNESCO, 1971.
41. Karnkowski P.H. Computer-aided modelling for exploration in the Polish Basin // Геоінформатика: теоретичні та прикладні аспекти. Праці 6-ої Міжнародної конференції (Київ, 21-23 березня 2007 р.). – Київ : ІГН НАНУ, 2007.
42. Електронний ресурс: <https://geodictionary.com.ua/node/4278>

Tectonic position of the Ukrainian shield

Sergey Goryainov,

PhD (Geology and Mineralogy), Associate Professor,
Department of Fundamental and Applied Geology,
V.N. Karazin Kharkiv National University,
4 Svobody Sq., Kharkiv, 61022, Ukraine

ABSTRACT

Statement of the general problem. The analysis of the geological structure of Europe indicates a wide development of Laramian (post-Cretaceous - pre-Cenozoic) deformations in non-Alpine regions. They are traced by the regional angular unconformity between the folded Mesozoic and non-folded Cenozoic from the Caspian Sea to Great Britain. The area of development of the Laramie folding of Europe also covers the Ukrainian shield.

An unsolved part of the overall problem. The Ukrainian crystalline shield is described as "uplift of the crystalline foundation of the East European platform", where Precambrian rocks come to the surface. But the same rocks can also be

traced far beyond its borders. The question arises - what structural position does the Ukrainian shield occupy in the structure of the Laramie folded region?

Analysis of recent research and publications. On the geological maps of the pre-Cenozoic formations of Ukraine, the northern border of the Laramie folded region can be traced along the Chernihiv-Lysychansk line. Mesozoic folds and an angular unconformity in the Cenozoic basement disappear further north. To the south, the Laramie deformations intensify, but unevenly.

The purpose of the article is identification of modern structural position of Ukrainian crystalline shield.

Research materials and methods. Were involved more than 120 geological maps of Ukrainian regions and author's digital geological model of East Ukraine.

Presentation of the main research material. A band of Mesozoic folds and NW vergence thrusts tens to hundreds of kilometers long is developed immediately south of the border of the folded region. The amplitude of the folds is 1.5–2 km. The band of development of these folds and thrusts with a width of about 100 km limits the Ukrainian shield from the northeast.

To the south of the Ukrainian Shield, on the shelves of the Black and Azov Seas and in Northern Crimea, a sub-latitude band of Laramie thrusts and folds with a width of 150–200 kilometers has been established. Amplitudes of thrust folds reach 1–2 km, amplitudes of separate thrusts reach 8–10 km. This band of folds and thrusts limits the southern slope of the Ukrainian shield from the south. These Laramie folds and thrusts are overlain by Cenozoic sediments.

To the south, in the Mountainous Crimea, the deformations are still intensifying. Folds and thrusts are replaced by wide and extended mélange zones of northwestern vergence.

The Ukrainian shield is bypassed by the development of folds and thrusts from the northeast, east, and south. On the slopes of the Ukrainian shield, Mesozoic fold deformations subside, and the Mesozoic there lies gently sloping and monoclinal. Such poorly deformed blocks within folded regions are called middle massifs. This middle massif of the Laramie fold region within Ukraine has an antecline structure. In the core of the antecline, Precambrian metamorphic and igneous rocks emerge from under the sedimentary cover. The western wing of the antecline is overlain by younger thrusts of the Carpathian folded structure of Attic (post-Miocene) age.

Scientific novelty. In the modern geological structure, the Ukrainian shield is the core of the antecline of the middle massif in the Laramie folded region.

Conclusions. As a tectonic uplift, shield was formed in the Paleocene. In the Late Cretaceous, it was still buried under shelf carbonate deposits. Erosion of this uplift formed the Cenozoic deposits of Ukraine with a specific mineragenic specialization. Taking into account the Laramian folding allows us to reconcile the diverse geological phenomena of the region into a single system without contradictions.

Keywords: Ukrainian shield, Laramian folding, antecline, middle massif.

References

1. Geological map of pre-Cenozoic formations of Ukraine (2007). Scale 1:1000000. Ed. V.I. Kalinin. State Geological Service of Ukraine [in Ukrainian].
2. Geological map of Ukraine (2007). Scale 1:1000000. Ed. V.Ya. Velikanov. State Geological Service of Ukraine [in Ukrainian].
3. Geology of coal deposits and oil shale of the USSR (1963). Ed. I.A. Kuznetsov. M., Gosgeoltekhizdat, 1210.
4. Goryainov S.V. et al. (2003). Metamorphic and metasomatic complexes of the Middle Pobuzhya. Kharkov, Ekograf, 168.
5. Goryainov S.V. et al. (2004). Metamorphic and metasomatic complexes of the Kyrovohrad block of the Ukrainian shield. Kharkov, Ekograf, 174.
6. Goryainov S.V. et al. (2009). Metamorphic and metasomatic complexes of the Priazov region and Southern Donbass. Kharkov, Ecograph, 304.
7. Goryainov S.V. (1998). On the Alpine Complexion of the Structure of the Ukrainian Shield. Precambrian Geology and Stratigraphy of the Ukrainian Shield. Abstracts of reports of the All-Ukrainian Interdepartmental Meeting. Kyiv, 130–132.
8. Goryainov S.V. (1998). On the alpine complexity of the structure of Ukraine. Oil and gas of Ukraine. Collection of scientific works. Materials of the 5th International Conference "Oil and Gas of Ukraine" (Poltava, September 15-17, 1998). – Poltava, 1, 31–32.
9. Goryainov S.V. (1999). On the alpine complication of the geological structure in various regions of Ukraine. Reports of the National Academy of Sciences, 8, 106–111.
10. Goryainov S.V. (2003). Cenozoic tectonic movements of Ukraine. Visnyk of V. N. Karazin Kharkiv National University, series "Geology. Geography. Ecology", 604, 9-13.
11. Goryainov S.V. (2003). Methodology of geological surveys. Educational manual. Kharkov, 85.
12. Goryainov S.V. (2003). Theoretical foundations of geological mapping for GIS technologies. Geoinformatics, 2, 79–82.
13. Goryainov S.V. (2004). On the Laramie complex of geological structures of Ukraine. Reports of the National Academy of Sciences, 12, 114–121.
14. Goryainov S.V. (2005). To the method of allocation of unstratified metamorphic and metasomatic complexes. Geological Journal, 2, 118–126.

15. Goryainov S.V. (2009). Kinematics of Cenozoic tectonic movements of the south of Ukraine. Azov-Black Sea Polygon for the Study of Geodynamics and Fluid-Predynamics of the Formation of Oil and Gas Fields. Abstracts of presentations at the 8th International Conference "Crimea-2009" (September 14–18, 2009, Yalta), 39–42.
16. Goryainov S.V. (2013). Cenozoic tectonic movements of Eastern Europe. *Geology and mineral resources of the world ocean*, 3, 55–65.
17. Goryainov S.V. (2016). The interrelation of gas-bearing and mercury-polymetallic provinces of Eastern Ukraine. Issues of the development of the gas industry of Ukraine. Kharkiv, UkrNDIGaz, Coll. of science works, 44, 50–53 [in Ukrainian].
18. Goryainov S.V. (2018). On the position of the Black Sea region in the general scheme of the Cenozoic tectonic movements of Eastern Europe and the Middle East. *Visnyk of V. N. Karazin Kharkiv National University, series "Geology. Geography. Ecology"*, 48, 52–62. <https://doi.org/10.26565/2410-7360-2018-48-04>
19. Goryainov S.V., Korenev V.V. (2007). Cross-thrust structure of the junction zone of the Donbass with the Azov block of the Ukrainian shield. *Geology and issues of geological mapping and study of Precambrian formations of the Ukrainian shield. Materials of the 4th scientific and industrial meeting of geologists-surveyors of Ukraine* (October 8–12, 2007, Kryvyi Rih). Dnipropetrovsk, 102–104.
20. State geological map of Ukraine (2002). Scale 1:200000. Sheet L-37-I (Pology). *Pivdenukrheologia* [in Ukrainian].
21. State geological map of Ukraine (2007). Scale 1:200000. Sheets L-37-II (Donetsk); L 37-III (Ilovaik); L-37-VIII (Mariupol); L-37-IX (Taganrog). *Pivdenukrheologia* [in Ukrainian].
22. State geological map of Ukraine (2004). Scale 1:200000. Sheets M-34-XVII (Rava-Ruska), M-35-XIII (Chervonograd). *Zakhidukrheologia* [in Ukrainian].
23. State geological map of Ukraine (2003). Scale 1:200000. Sheets M-34-XXIII (Przemysl), M-34-XXIV (Drohobych) *Zakhidukrheologia* [in Ukrainian].
24. State geological map of Ukraine (2003). Scale 1:200000. Sheets M-34-XXXV (Uzhhorod), L-34-V (Satu-Mare). *Zakhidukrheologia* [in Ukrainian].
25. State geological map of Ukraine (2004). Scale 1:200000. Sheet M-35-XIX (Lviv). *Zakhidukrheologia* [in Ukrainian].
26. State geological map of Ukraine (2007). Scale 1:200000. Sheet M-37-XIX (Kharkiv). *Pivdenukrheologia* [in Ukrainian].
27. State geological map of Ukraine (2006). Scale 1:200000. Sheet M-37-XXV (Lozova). *Donetskgeologia* [in Ukrainian].
28. State geological map of Ukraine (1993). Scale 1:200000. Sheet M-37-XXVI (Slovyansk). *Artemivsk, Artemivska GRE* [in Ukrainian].
29. Ivannikov A.V. (2005). *Geological history of Ukraine in the Cretaceous*. Kyiv, Karbon Ltd., 46.
30. Kovalev A.A., Goryainov S.V. (2019). *Features of the Cenozoic tectonics of Eastern Europe and the Middle East*. M., M. State University Publishing House, 28.
31. Metallogenic map of Ukraine (2004). Scale 1:1000000. Govt. geol. service of Ukraine [in Ukrainian].
32. Naumenko A.D. (2017). Transgression of the sea to the northwestern part of the Ukrainian shield in the Upper Cretaceous. *Geology and mineral resources of the World Ocean*, 4 (50), 88–94.
33. Popkov V.I. (2009). Fold-thrust dislocations in the sedimentary cover of the Sea of Azov. *Geotektonika*, 4, 1–10.
34. *Stratigraphy of the Upper Proterozoic, Paleozoic and Mesozoic of Ukraine* (2013). Kyiv, IGN NAS of Ukraine, Logos, 637 [in Ukrainian].
35. *Tectonics of the southern border of the East European platform (Explanatory note to the tectonic map of the Black Sea-Caspian region. Scale 1: 2500000)* (2009). Krasnodar, Kuban State University, 107.
36. *Tectonic map of Ukraine* (2007). Scale 1:1000000. Govt. geol. service of Ukraine. [in Ukrainian].
37. Chebanenko I.I. (1966). *Fault tectonics of Ukraine*. Kyiv, Naukova dumka, 180 [in Ukrainian] https://collectedpapers.com.ua/ru/tectonics_ukraine/rozlomi-centralnoyi-chastini-ukrayinskogo-shhita
38. Chikov B.M. (1985). *Fundamentals of the methodology of tectonic regionalization*. Novosibirsk, Nauka, 166.
39. Yudin V.V. (2011). *Geodynamics of Crimea*. Simferopol, DYAYPY, 336.
40. *International Geological Map of Europe and Mediterranean region 1:5000000* (1971). International Geological Congress, Bundesanstalt für Bodenforschung and UNESCO.
41. Karnkowski P.H. (2007). Computer-aided modelling for exploration in the Polish Basin. *Geoinformatics: theoretical and applied aspects. Proceedings of the 6th International Conference* (Kyiv, March 21–23, 2007). Kyiv, IGN NANU.
42. <https://geodictionary.com.ua/node/4278>

Evaluation of geological structures and geothermal resources in the North Tanzania Volcanic area using remote sensing and gravity data analysis

Albano Mahecha^{1, 3}

Department of Corporate Program for Resources Engineering, Faculty of Engineering,

¹ Kyushu University, Fukuoka, Japan;

³ Tanzania Geothermal Development Company Limited, Dar es Salaam, Tanzania,

e-mail: albanho6@gmail.com,  <https://orcid.org/0000-0001-9340-7448>;

*Nureddin Saadi*²

Department of Geological Engineering, Faculty of Engineering, ² University of Tripoli, Libya,

e-mail: n.saadi@uot.edu.ly,  <https://orcid.org/0000-0003-0593-8578>;

Essam Aboud^{4, 5}

Geohazards Research Center, ⁴ King Abdulaziz University, Jeddah, Saudi Arabia;

⁵ National Research Institute of Astronomy and Geophysics, Cairo, Egypt,

e-mail: eaboudishish@kau.edu.sa,  <https://orcid.org/0000-0002-1087-1059>;

*Akira Imai*¹

Department of Earth Resources Engineering, Faculty of Engineering,

e-mail: imai@mine.kyushu-u.ac.jp,  <https://orcid.org/0000-0002-3058-9915>;

*Kotaro Yonezu*¹

Department of Earth Resources Engineering, Faculty of Engineering,

e-mail: yone@mine.kyushu-u.ac.jp, Scopus ID [22959316100](https://orcid.org/0000-0002-3058-9915)

ABSTRACT

Problems Statement and Purpose. Northern Tanzania Volcanic terrain has been a subject of evaluation for geothermal potential in the last four decades. The region is characterized by Neogene to Recent volcanic and tectonic activities. This preliminary study based on remote sensing, water chemistry, gravity data, geological structures and volcanic centers distribution reports the geothermal manifestations identified and discusses the implications on geothermal fluid pathways. Oxygen-hydrogen isotope data from water samples indicate that there were involved in the hydrothermal system.

Tectono-Volcanic Structures. The Northern Tanzania Divergence (NTD) area characterized by Neogene to Recent volcanic and tectonic activities. Recent volcanic and tectonic activities are ash cone and lava dome eruption at the floor of Meru crater a century ago, dyke intrusion and volcanic eruption south of Gelai volcano, and Oldoinyo-Lengai volcano, respectively. Fumarolic activities and hot springs are dominant in a relatively young volcanic area to the north-eastern and northern part of the NTD.

Data and Methods. Shuttle Radar Topography Mission (SRTM), Landsat 8 Operational Land Imager (OLI) image, water isotope analysis and gravity data were used to extract and analyze the surface and subsurface geological lineaments and map the hydrothermal alteration zones in the study area. The hydrothermal alteration is used to evaluate and identify the permeable structures. Analysis and interpretation of the length and trends of extracted lineaments were used to investigate the tectonic evolution. Geological map of a study area was digitized from the existing geological maps and the age of rocks to delineate volcanic activity and associated lineaments based on the age of the lithological domain. Digital image processing was applied to enhance the visual interpretation. Gravity data were used to give insight into the subsurface structure in the study area.

Results and Discussion. The higher $\delta^{18}\text{O}$ values and large deviation from meteoric water lines suggest that is due to the interaction of fluids with host rocks at elevated temperatures. These are consistent with open structures that act as conduits for fluid flow. The potential field gravity data reveal a basin-like structure trending in the NNW direction. The gravity data show that the basement units gradually deepen towards the central part and that it is controlled by two main fault systems that trend N-S and NW-SE respectively. The gravity data presented here provides new constraints on the tectonic evolution and geothermal resources of the study area.

Keywords: Remote sensing, gravity, geothermal, Tanzania, Structures, Isotope.

In cites: Mahecha Albano, Saadi Nureddin, Aboud Essam, Imai Akira, Yonezu Kotaro (2023). Evaluation of geological structures and geothermal resources in the North Tanzania Volcanic area using remote sensing and gravity data analysis. *Visnyk of V. N. Karazin Kharkiv National University, series "Geology. Geography. Ecology"*, (59), 28-43. <https://doi.org/10.26565/2410-7360-2023-59-03>

1. Introduction

Located in the northern part of Tanzania, the study area is characterized by numerous hot springs, fumaroles and Neogene to recent volcanic and tectonic activities. The area presents the potential for geothermal resources and has been a subject of several volcanic and geothermal-oriented researches (Fairhead,

1980; Nzaro, 1970).

Remote sensing data with a combination of geophysical data has been applied over a number of applications in geoscience studies (Calvin et al., 2015). The applications range from mineral and geothermal exploration to volcanic activity monitoring. In geothermal exploration and volcanologic studies, remote

sensing data are widely used for mapping the geological structures, volcanic eruptive center distribution, thermal anomaly or surface temperature distribution, and hydrothermal alterations (Mia and Fujimitsu, 2013; Calvin et al., 2015; Ulusoy, 2016). On the other side, gravity data is widely used to study the geological structures and subsurface features in various geological and tectonic settings (Rymer and Brown, 1986; Simiyu and Keller, 1997).

In this study, Shuttle Radar Topography Mission (SRTM), satellite imagery data acquired from Operational Land Imager (OLI), water isotope analysis and gravity data are used to image surface and subsurface geological lineaments and map the hydrothermal alteration in the Northern Tanzania Volcanic area, with the aim of evaluating the geothermal resources and fluid pathways.

Three dominant structural trends (N-S, NW-SE and NE-SW) were recognized in the study area reflecting the tectonic setting of the Northern Tanzania Divergence (NTD). The gravity data show a deep graben structure in the central part of the study area. The different maxima of the horizontal gradient data indicate the existence of horst and graben blocks within the basin. The water isotopic analysis suggests that it has interacted with rocks at elevated temperatures before being discharged through permeable structures. The results provide constraints to the structure and tectonic history of the study area and an insight into the potential of future geothermal exploration in the North Tanzania Volcanic area.

2. Approach and Material

The hydrothermal alteration is used to evaluate and identify the permeable structures extracted from SRTM data (Mshiu et al., 2015). Statistical analysis of lineament length and trends based on the age of the geological formations provides useful information about the tectonic evolution of the area of interest (Saadi and Watanabe, 2008). Principal Component Analysis (PCA) and color normalization transformation (Chavez et al., 1991) were used to evaluate their efficiency in improving the visual interpretation and identifying the hydrothermal alterations in this study.

Gravity data provides a general overview of the subsurface structure in the area of interest (Bilim, 2007). A horizontal gradient (HG) filter is applied to the gravity data to locate the edges of the geological structure (Pilkington, 2007).

A total of nine (9) water samples from hot spring, surface and lake water were collected from the study area for isotope analysis to identify the origin of water and how water interacts in subsurface conditions.

3. Geological Setting

The Great Rift of East Africa is an approximately N-S trending structure extending from the

Gulf of Aden, NE Africa to Mozambique, SE Africa (Fig. 1). It is comprised of two branches; the eastern arm which is referred as "Gregory Rift" and the western arm referred as "Albertine Rift". Gregory Rift extends from the Gulf of Eden through Ethiopia and Kenya to northern Tanzania where the Rift seems to be widening from approximately 50 km in southern Kenya to approximately 200 km wide splitting into three differently oriented branches; the Natron–Manyara, the Eyasi–Wembere and the Pangani rifts (Mollet et al., 2008). The NE - SW trending tilted fault blocks, south of Lake Natron, is referred to as Eyasi–Wembere Rift, NNE–SSW trending Manyara Rift and NNW - SSE trending Pangani fault system, south of roughly E–W volcanic chain of Essimangor – Kilimanjaro (Fig. 2); this split is referred as Northern Tanzania Divergence (Le Gall et al., 2008). The rift then continues to central Tanzania Archean Craton, at this point the rift is not as continuous as north of NTD. It extends further south to the triple junction intersecting with the Albertine Rift.

The structure of this elongated N–S rift is dominated by Ethiopian and Kenya domal uplift which geological studies and geochronological examinations have shown to have developed simultaneously with the rift system during Cenozoic faulting and volcanism (Fairhead, 1976).

The Neogene volcanic province of NTD is recognized to be younger than the volcanic provinces in Kenya and Ethiopia where magmatism commenced around 40 Ma (Baker et al., 1972; Dawson, 2008) suggesting mantle uprising is liable for intra-plate magmatism and crustal fracturing in this province (Dawson, 2008). The province is underlain by the Precambrian basement and bordered by Precambrian metamorphic rocks to the east and Archean craton rocks of central and northern Tanzania to the west. The province is dominated by Pliocene to recent volcanic and tectonic activities.

Previous geological studies confirmed that the major rift faulting episodes in northern Tanzania are around 2.1 Ma and 1.2 Ma (Wilkinson et al., 1986). It was also suggested that the existing rift escarpments progressed later than c. 1.2 Ma and major fault escarpments prevailed by c. 3 Ma (Foster et al., 1997).

Chronological studies indicated that the volcanoes of Essimangor, Oldoinyo Sambu, Ngorongoro, Monduli and Tarosero emerged between 4.8 - 2.01 Ma; then followed by the eruption of Ketumbeine, Gelai and Burko volcanoes (Fig. 5) and by effusion of trachy-basalt lavas between 1.5 - 0.6 Ma (Dawson, 2008; Mollet et al., 2008; Mana et al., 2015). The youngest volcanoes are Kerimasi, Kilimanjaro, Meru, and Oldoinyo Lengai which developed in 1 Ma (Wilkinson et al., 1986; Mana et al., 2015). The rock type of the volcanoes in the region is diverse varying

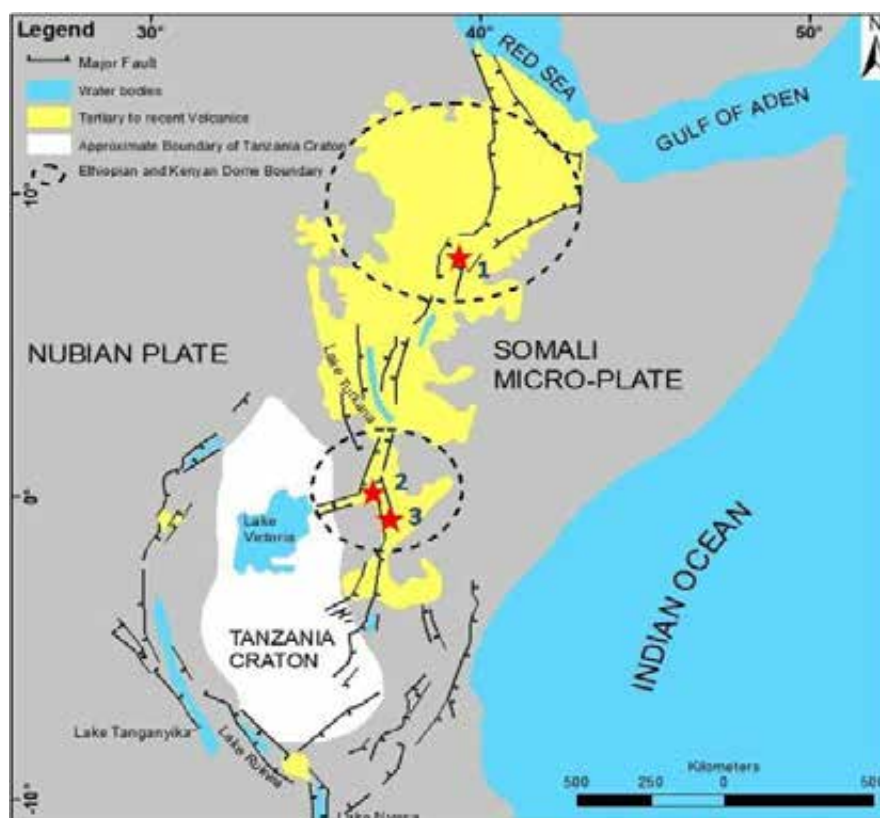


Fig. 1. Tectonic map of East Africa showing major faults, Tertiary to Recent volcanic and geothermal fields (after Dawson, 2008). Aluto Langano geothermal field with 8 MWe power plant (1), Menengai geothermal field (2) and Olkaria geothermal field (3), the largest geothermal field in Africa with installed capacity > 600 Mwe

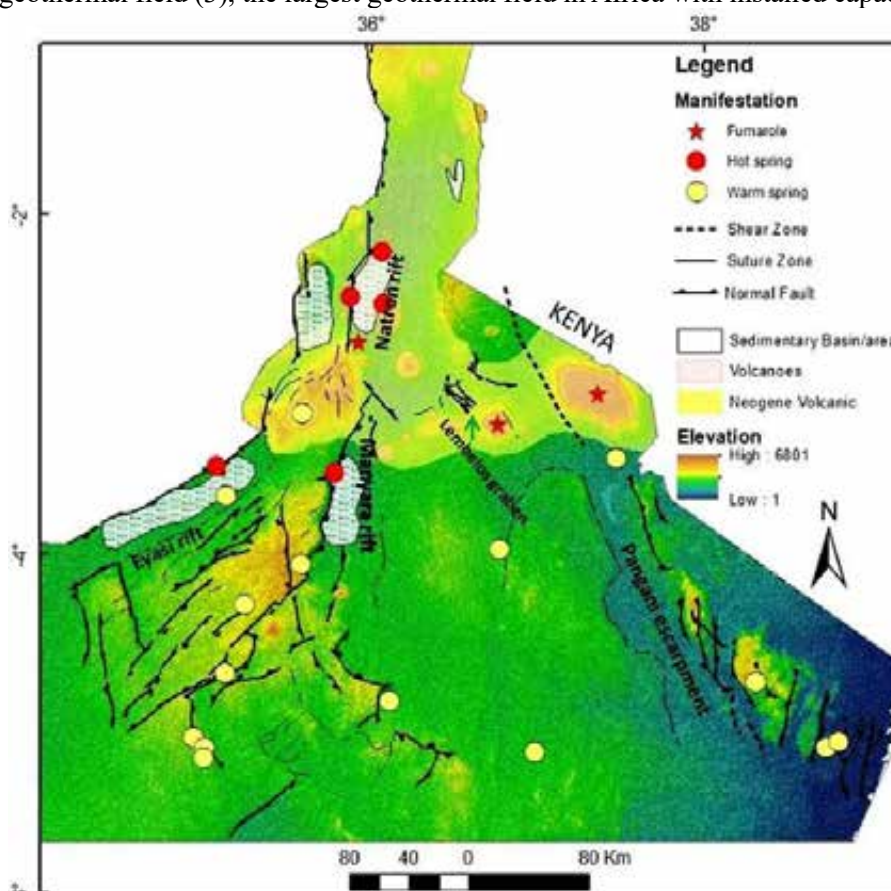


Fig. 2. The tectonic and general geology of Northern Tanzania. Note the geothermal activities become more diffuse in the basement area south of the volcanic region, occurring in the form of warm springs (modified from Le Galle et al, 2008)

from basalt-trachyte-phonolite to nephelinite-phonolite associations (Fairhead, 1980; Dawson, 2008).

4. Data Processing

4.1 Remote sensing data

Satellite imagery and Digital Elevation Model (DEM) from the United States Geological Survey (USGS) are used in this work. The DEM derived from SRTM and Landsat imagery derived from OLI data (path 168/Row 062 and path 169/Row 062 acquired on October 13, 2016, and September 23, 2017, respectively). The spatial resolutions of the data sets are 3-arc seconds (approximately 90 m) and 30 m pixel resolution for SRTM and Landsat 8 respectively. These data sets are used to extract geologic lineaments, hydrothermal alterations and map the volcanic and tectonic landforms for the study area. The Landsat 8 band combinations were selected following initial experiments concerning the suitability of various band combinations to enhance the visual appearance and visual interpretation of geological lineaments (Saadi and Watanabe, 2008). The selected combinations have the advantage of preserving morphological features as well as displaying different lithological units in various colors because bands within the VNIR and SWIR portions of the electromagnetic spectrum were used (Sabins, 1997; Abdelsalam et al., 2000). Band 8 of Landsat 8 imagery (15 m) is used to enhance visual inspection of lineament extraction on SRTM data using Intensity-Hue-Saturation (IHS) Pan-sharpening (Mitchell, 2010).

Different azimuths of the sun are used to enhance and improve the image for visual interpretation. The sun angle used is 60° while sun azimuth varied from 45° to 315° to accommodate all possible trends of the lineaments under investigation.

Slope angle map of SRTM was used to recognize geological lineaments, volcanic centers, and cones in the study area (Fig. 3).

All lineaments and landforms observed within the shaded relief maps are manually mapped through on-screen digitization. The manual extraction criteria for lineaments and visual interpretation are based on image characteristics (tone and texture), lithological boundaries (rock units) and geomorphologic features (drainage patterns). Volcanic centers and their spatial distribution are mapped based on their circular shape and elevation above the immediate surrounding area specifically within the volcanic area. Hutchison et al. (2015) argued that the distribution and orientation of vents or craters can be used to assess the geometry of feeder dikes and eventually evaluate the structural controls on magma pathways.

The lineaments extracted from remote sensing data are aligned predominantly in the N-S direction, while the NW-SE and NE-SW trends are subordinate (Fig. 4). The extracted lineaments were divided into three groups based on age of the geological forma-

tions. Three formations were cut by the extracted lineaments; Precambrian, Plio-Early Pleistocene and Middle-Late Pleistocene (Fig. 5). Rose diagrams (Fig. 6) depict the distribution and orientations of lineaments on the three geological formations.

PCA (Fig. 7) and Directed Principle Component Analysis (DPCA) (Fig. 8) are applied to map the possible alteration patterns (Loughlin, 1991; Ali and Pour, 2014). DPCA (Pour et al., 2013) of four band ratios; 5/4 representing vegetation index, 4/2 for ferric iron oxide index, 6/5 for ferrous oxide index and 6/7 for hydroxyl/clay index (band ratio equivalent for OLI bands) has been applied to reduce the effects of vegetation in identifying the hydrothermal alterations. The principal component (PC) image combination of PC2:PC3:PC4 in RGB is used to discriminate different surface alterations, whereby PC2, PC3 and PC4 represent the transformation of band ratios of 4/2, 6/5 and 6/7 respectively. This allows detailed spectral characterization of surface targets, particularly of those belonging to the groups of minerals with diagnostic spectral features in this wavelength range. Pan sharpening of the resultant PC image was applied using band 8 of Landsat 8. Surface alteration is a result of fluid-rock interaction which indicates the fluid pathways, which can be used to map permeability. The importance of alterations is to identify the permeable zone on which hydrothermal fluid permeated to interact with the host rock.

4.2 Gravity data

The data was obtained from Sandwell and Smith (2009), and Sandwell et al., (2013, 2014) and used to delineate the possible subsurface structures in relation to the ones delineated from SRTM and satellite imagery (https://topex.ucsd.edu/cgi-bin/get_data.cgi). This data is corrected and ready to be used for interpretation and modelling (Sandwell and Smith (2009), Sandwell et al., 2013, 2014). Gravity map values range from -87 to 146 mGal (Fig. 9). The study area shows a basin-like structure, located in the central part of the area (blue anomalies). The volcanoes (pink anomalies) are located inside the basin and towards the edges. A profile was selected (AA') crossing the basin and some volcanoes to show the 2D structure (Fig. 10). Horizontal gradient analysis is used to enhance and sharpen the geological edges (Fig. 11). The horizontal gradient method has been used intensively to locate boundaries of density contrast from gravity or magnetic data (Ma et al., 2006; Bilim, 2007). It can be estimated from:

$$HG = \sqrt{Hx^2 + Hy^2} \quad (1)$$

Where Hx and Hy are the derivatives in the x and y directions, respectively (Philips, et al., 2007).

Trends can be traced well, taking various directions (N-S, NE-SW, and E-W). The basin-like struc-

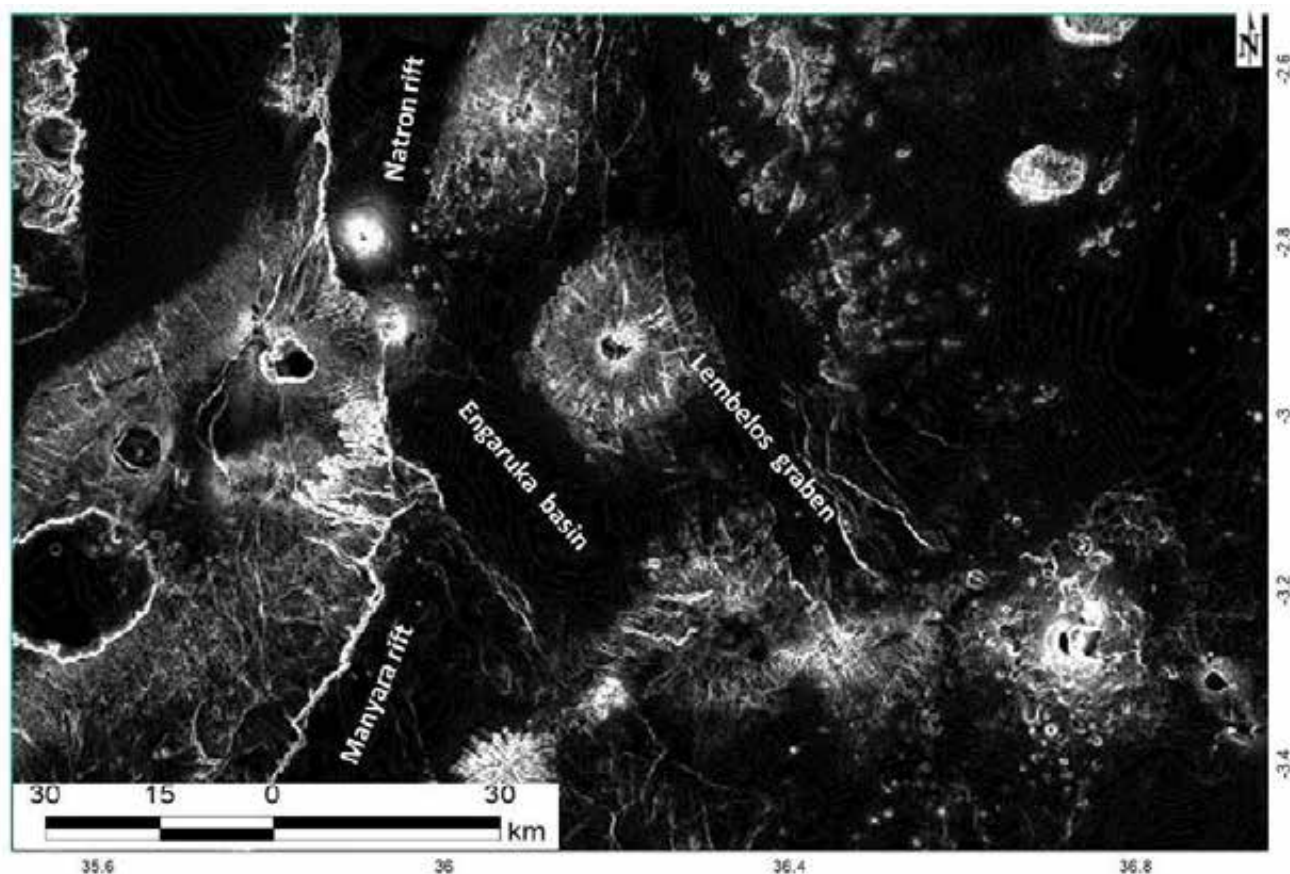


Fig. 3. Slope angle map of SRTM highlights geological lineaments (white line), volcanic centers, and cones (white spots) south East of Meru and South of Gelai Volcano

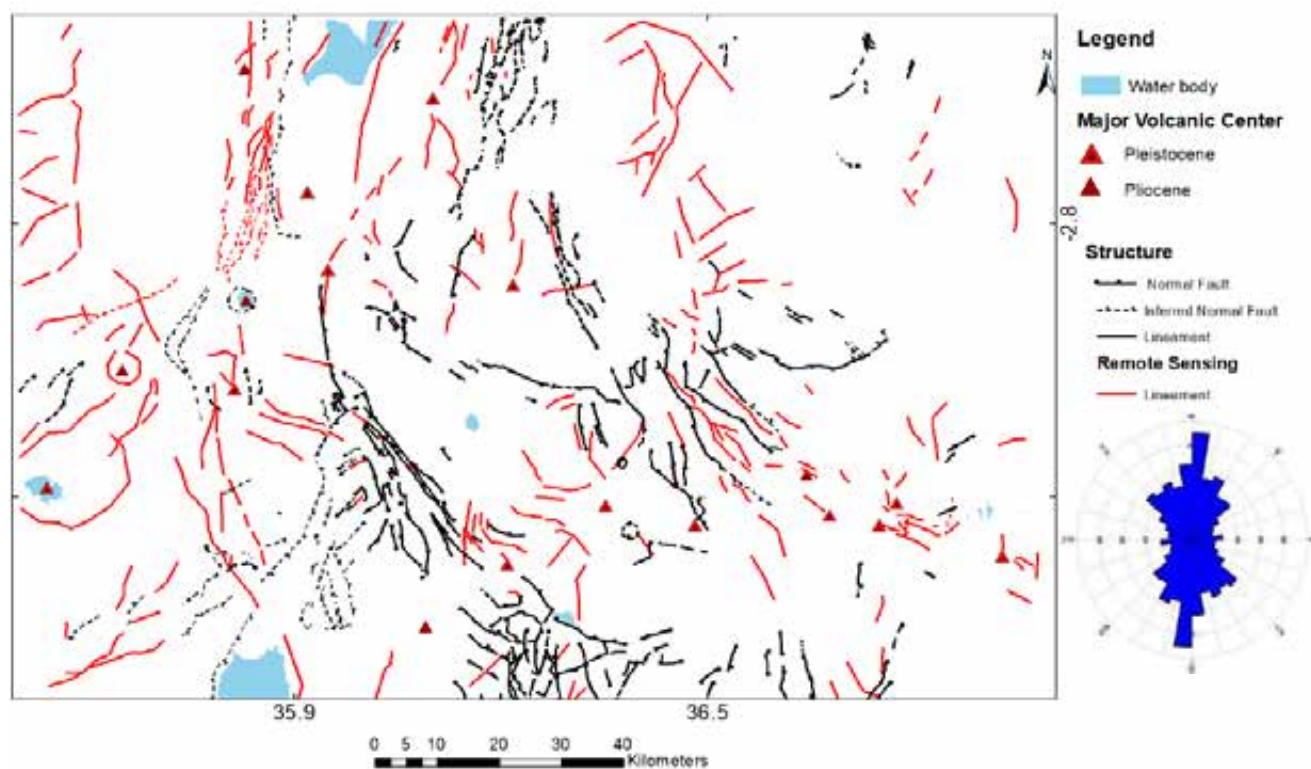


Fig. 4. Structural map of the study area, red color lineaments extracted from remote sensing data. The rose diagram shows the dominance of three major trends; N-S, NW-SE, and NE-SW. The N-S trend reflecting the East Africa Rift System general trend has a higher frequency, the rose diagram is based on azimuth frequency

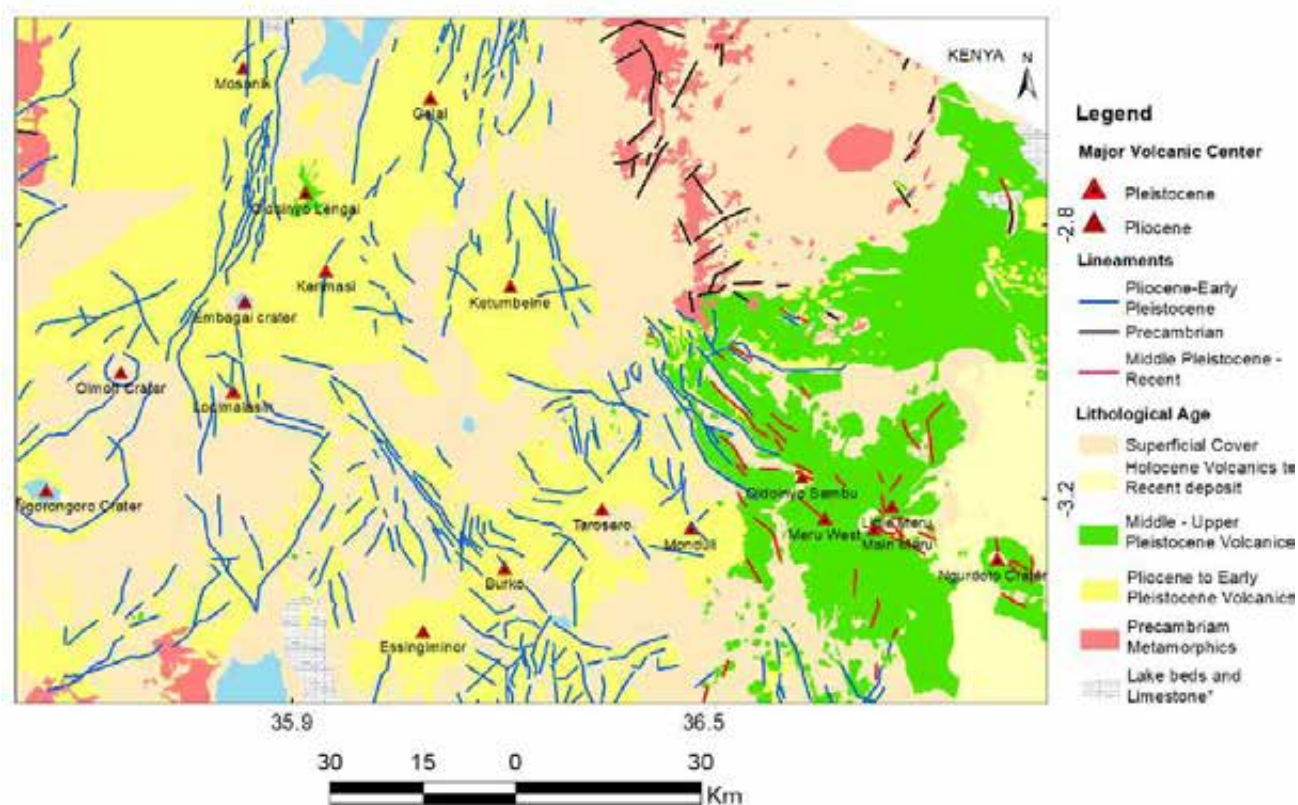


Fig. 5. Geology map of the study area based on age. Lineaments were overlaid on the map to deduce their association with the lithological age (*Age is unknown)

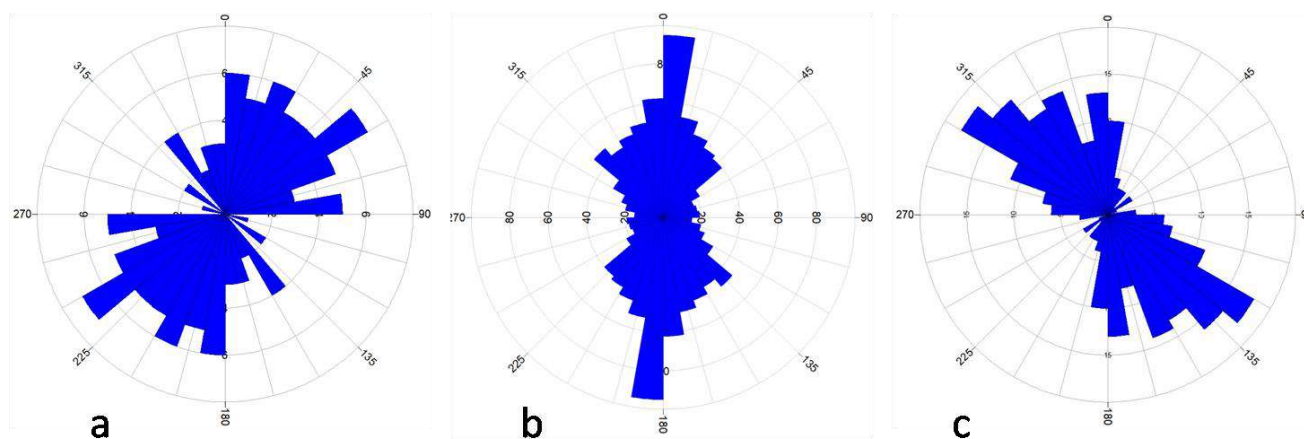


Fig. 6. The rose diagrams of the extracted lineaments based on the underlying age of the lithological domain. (a) Precambrian lineaments domain show the NE-SW trend which is considered to be pre-rift deformation, (b) represents the Plio-Early Pleistocene age which is predominantly N-S, during early magmatism and rifting episodes in northern Tanzania, and (c) Middle- Late Pleistocene age is dominated by the NW-SE structural trend and represents youngest volcanic and tectonic activity

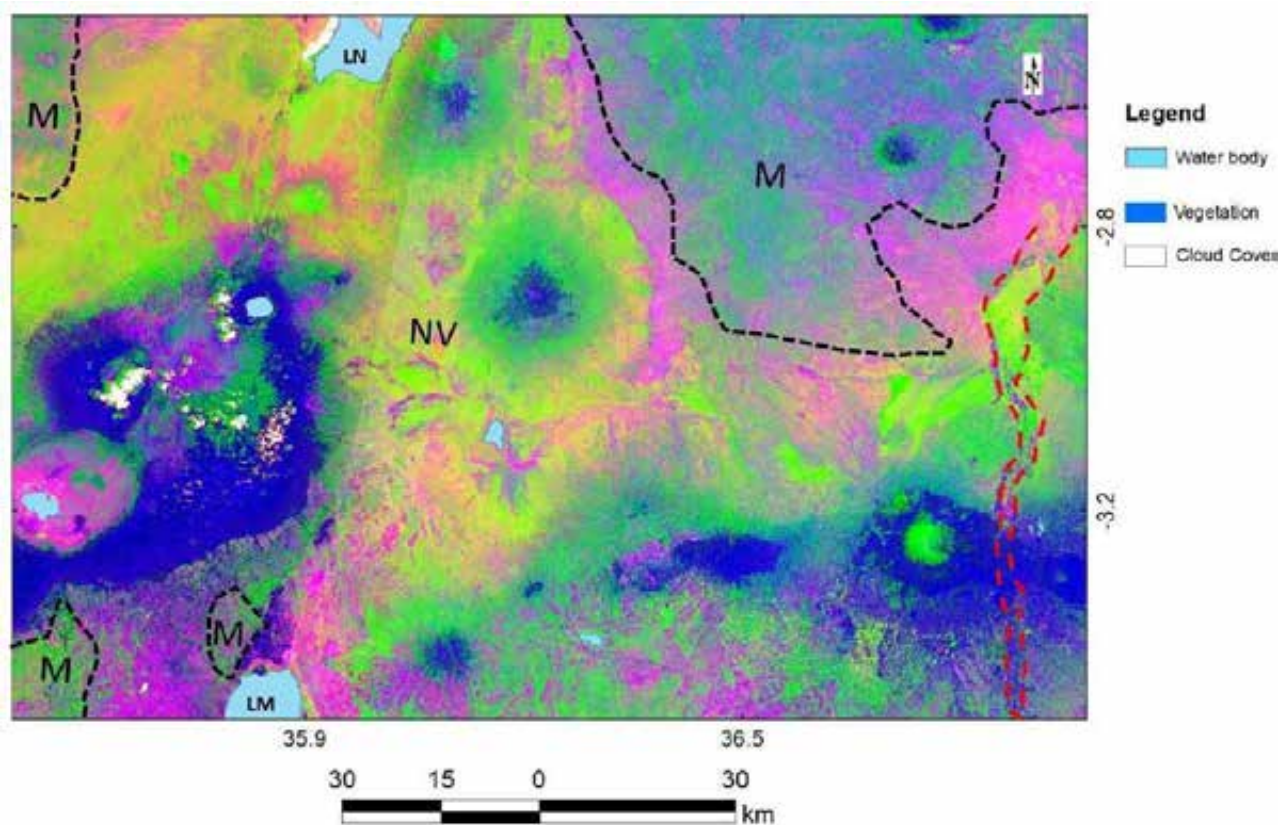


Fig. 7. Principal Component Analysis of six bands (2-7) image in RGB (PC1:PC2:PC3), used to mark the proximate boundaries of a dominant lithological domain in black color line and graben structure running N-S (red color) which is reflected on the low gravity anomaly of the section A-A'.

The red color may represent the lake beds and limestone found in the respective areas.

M= Precambrian Metamorphic; NV=Neogene Volcanic; LN=Lake Natron; LM= Lake Manyara

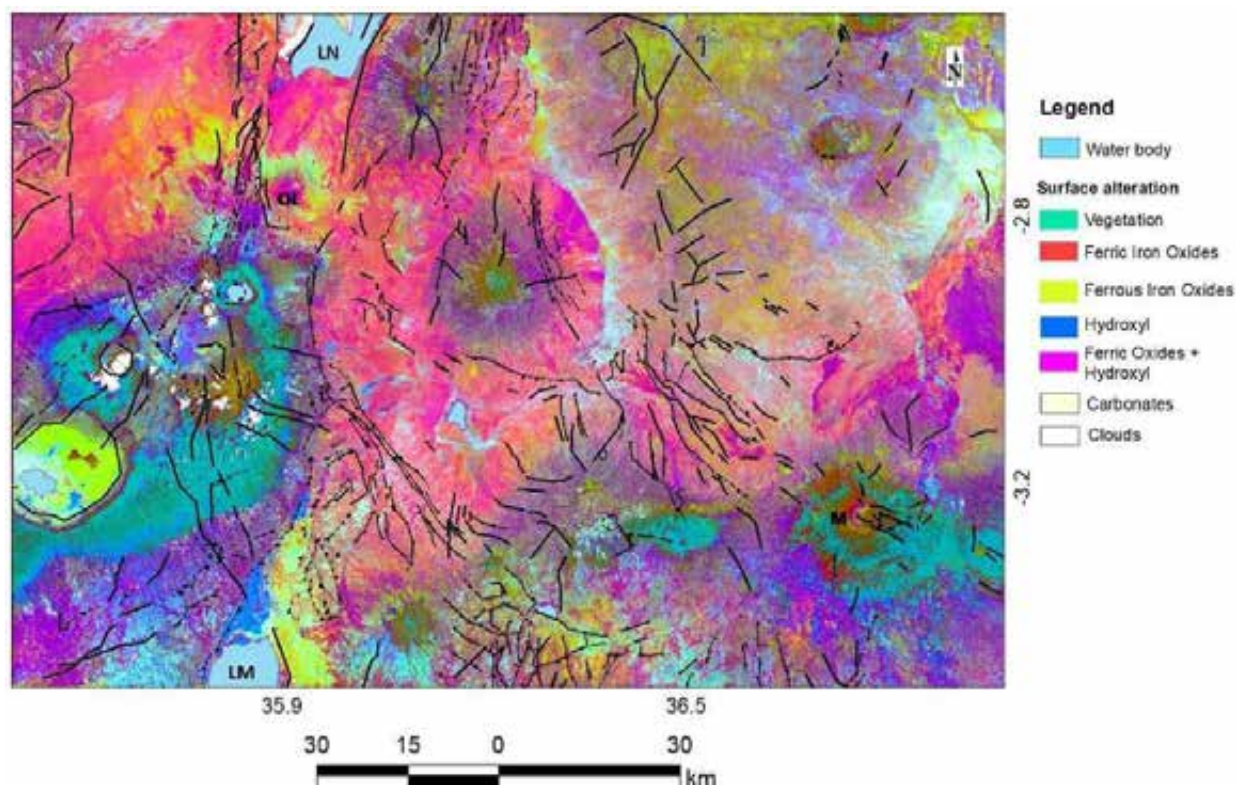


Fig. 8. Directional Principal Component Analysis (DPCA) of four band ratios (5/4, 4/2, 6/5, 6/7) are represented as RGB (PC2:PC3:PC4) overlaid by geologic structures. Ferric oxides dominate the volcanic area probably due to weathering of iron-bearing minerals in mafic volcanic rocks

ture extracted from the gravity map (Fig. 11) trending in NNW-SSE direction in the northern part and NE-SW in the southern part is well-matched with the SRTM slope angle map (Fig. 3). Notably, some anomalies have a circular shape and others have elongated shapes which indicate various structural features in the study area.

To get a more quantitative representation of the subsurface structure of the study area, a 2D gravity model was constructed along the NW-SE profile. The gravity model along the profile AA' is about 176 km long. The Analytic Signal (AS) method was used to calculate the depth to the basement on profile. This method is designed to be applied to magnetic data. When using gravity data, the vertical derivative of gravity is applied (Phillips, 1997; Nabighian, 1972, 1974). The basement is estimated at a depth of about 4 km in the central part to about 2 km east and west. This reflects the basement relief underneath the volcanic area.

4.3 Water Chemistry

Oxygen and hydrogen stable isotopic composition are used to identify the origin of the water. A total of nine (9) water samples from the study area and two (2) samples from the Olkaria geothermal field (Table 1). The fieldwork was conducted between 7th and 13th

September 2017. Samples were analyzed using Liquid Water Isotope Analyzer (IWA-35/45EP) in Kyushu University Lab. SMOW (Standard Meteoric Ocean Water) and 11 water samples were set and measured 24 times for each. As the principal, this analyzer emits the laser to the samples and then, the isotopic composition is determined by comparing the intensity of the laser passing through samples and the original intensity of the laser. In the process of removing largely deviated data as outliers, Smirnov-Grubbs verification was applied. This verification assumes that the results measured 24 times for each sample are distributed normally. The results with low significance levels were removed. The first step of this verification is to calculate a formula (1).

$$|x - \text{ave}| / \text{dev} \quad (2)$$

x (%): most deviated δ value from average in 24 values;

ave (%): average value of 24 values;

dev: standard deviation of 24 values.

If the result of equation (2) is more than Smirnov-Grubbs constant, x should be removed. After removing the value, the average and deviation have to be recalculated, and the same process will be performed in 23 samples. When the value of equation

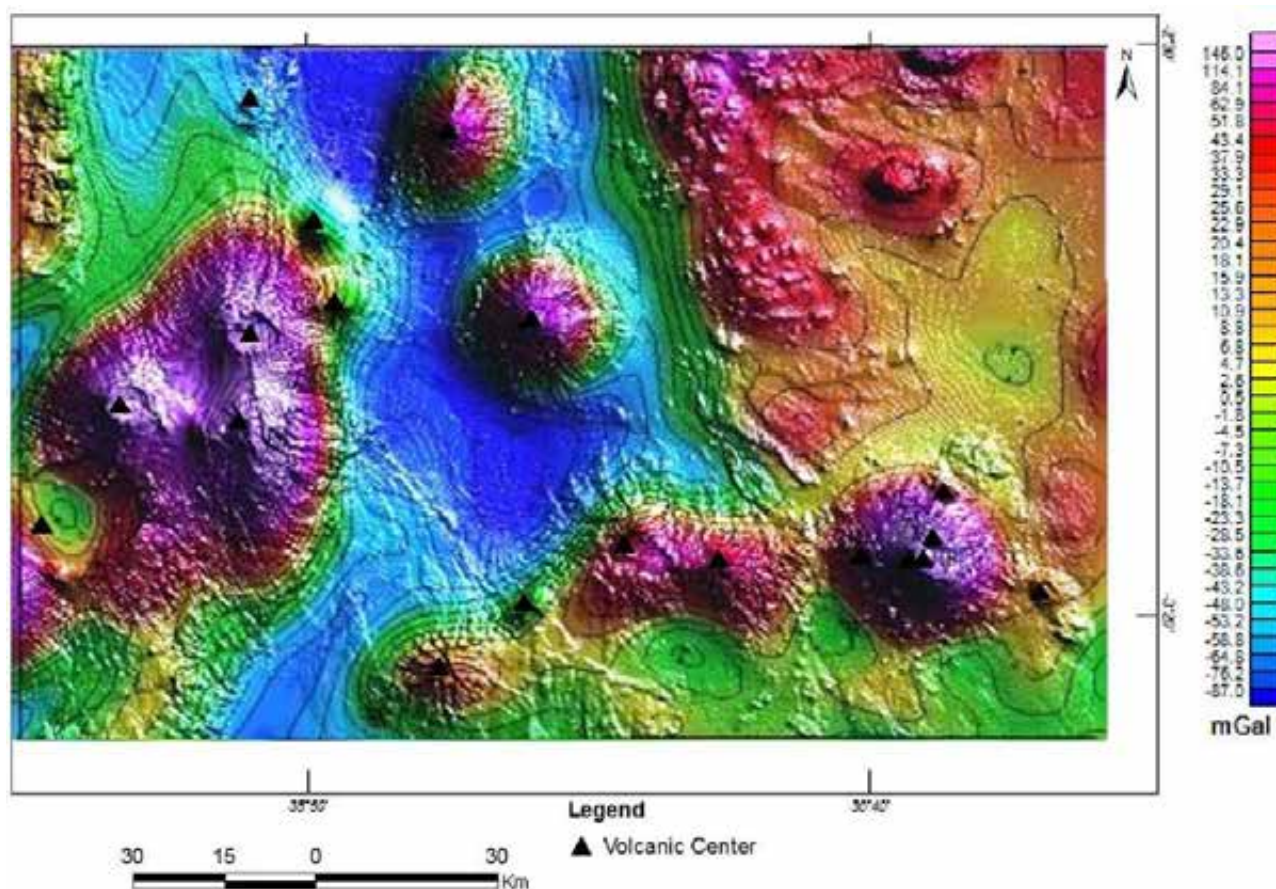


Fig. 9. Bouguer gravity map for the study area, high positive anomaly highlighted the volcanic features and low negative anomaly reflects a major structural trend N-S orientation. Volcanic features seem to be rooted in this major structural trend in a roughly N-S direction.

Data source (https://topex.ucsd.edu/cgi-bin/get_data.cgi)

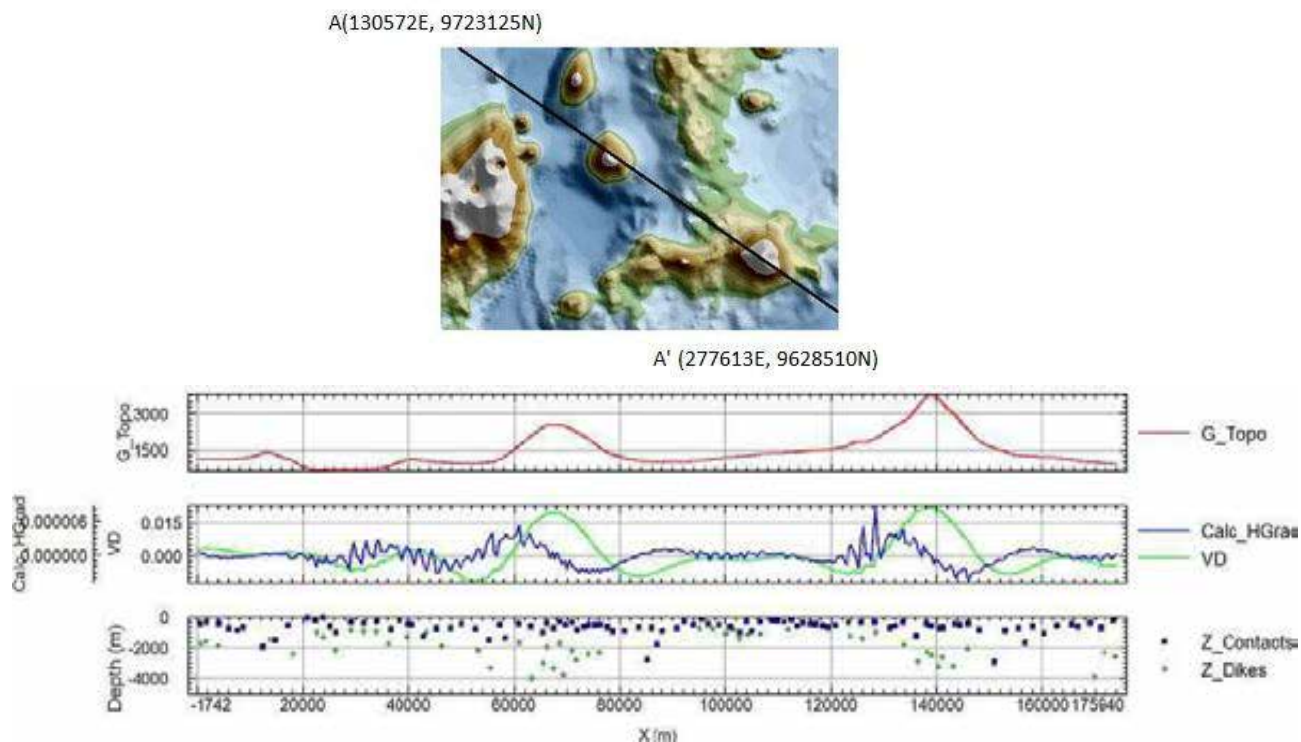


Fig. 10. Estimated depth to the basement using analytic signal method along the section AA'. The concentration of dikes is related to volcanoes across the section

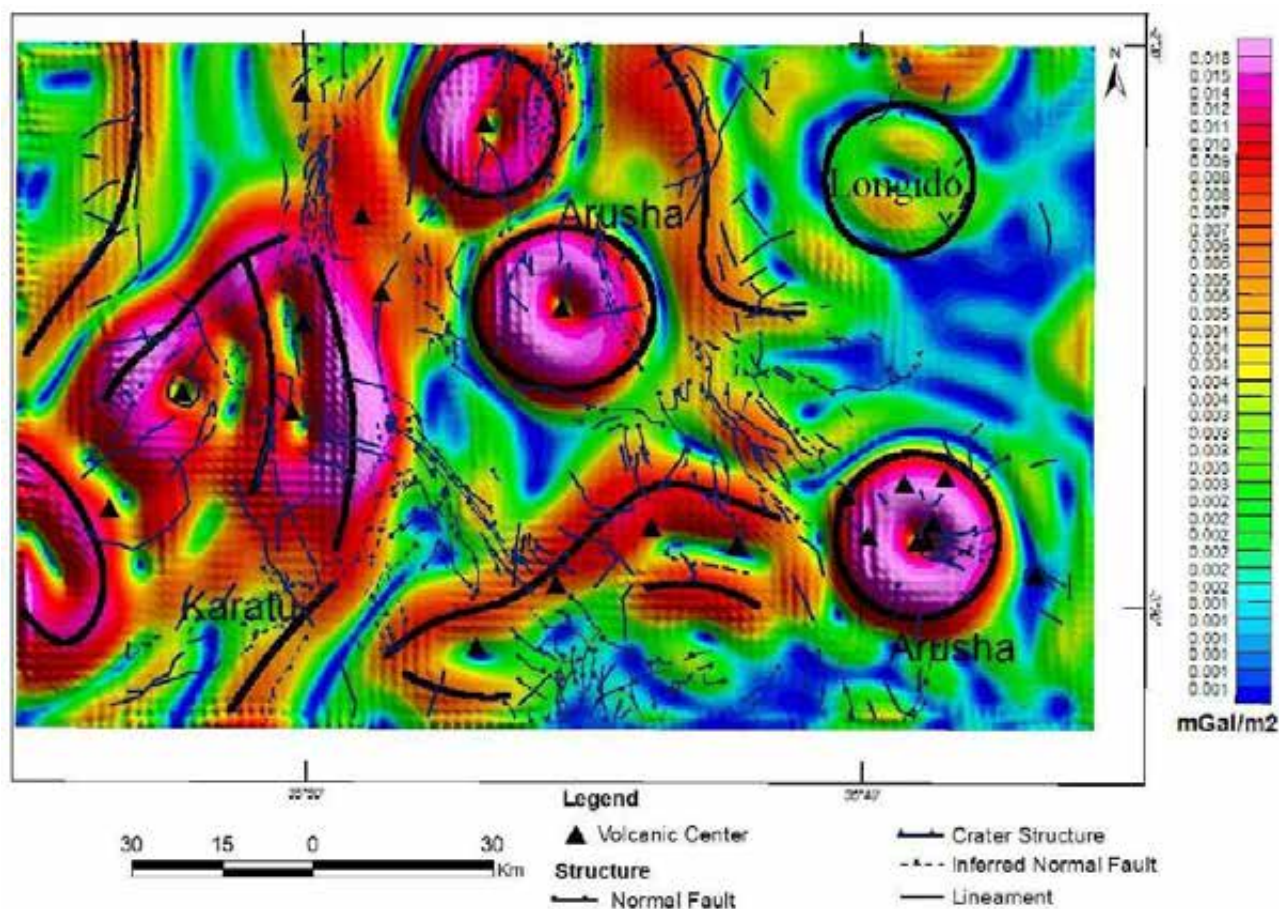


Fig. 11. Horizontal gradient map deduced from gravity data overlaid by geological lineaments extracted from remote sensing. Circles show borders of volcanic fields and thick black lines show the predicted structures. The circle on the top right corner is a Longido mountain, the circular shape and sharpness, suggest that it may be formed as a result of the magmatic intrusion

(2) is less than Smirnov-Grubbs's constant, then the result is regarded as liable. δD and $\delta^{18}O$ values were calculated using the formulae (3) and (4):

$$\delta D (\text{‰}) = [(D/H) \text{ sample} / (D/H) \text{ SMOW-1}] \times 1000 \quad (3)$$

$$\delta^{18}O (\text{‰}) = [(^{18}O / ^{16}O) \text{ sample} / (^{18}O / ^{16}O) \text{ SMOW-1}] \times 1000 \quad (4)$$

A number of selected volcano-related geothermal fields and the onset age of magmatism which contributed to the geothermal system development are hereby revisited.

5. Discussion

NTD is a tectono-volcanic area characterized by Neogene to Recent volcanic and tectonic activities.

Recent volcanic and tectonic activities are ash cone and lava dome eruption at the floor of Meru crater a century ago (Wilkinson et al., 1986), dyke intrusion and volcanic eruption south of Gelai volcano, and Oldoinyo-Lengai volcano, respectively (Albaric et al., 2010; Himematsu and Furuya, 2015). Fumarolic activities and hot springs are dominant in a relatively young volcanic area to the north-eastern and northern part (Kilimanjaro, Meru and Oldoinyo-Lengai) of the NTD. The regional geology map of a study area (Fig. 5) was digitized from the existing geological maps and the age of rocks (Wilkinson et al., 1986; Dawson, 1992; Mana et al., 2015) to delineate volcanic activity and associated lineaments based on the age of the lithological domain. Three dominant structural trends

Table 1

Water samples information

ID	Location	Type	Altitude (m)	pH	Temperature
Aru-G1	Meru Area	Groundwater	1448	9.65	23.9
Aru-L2	Meru Area (Small Momella)	Lake water	1444	9.68	22.8
Aru-L3	Meru Area (Tulusia)	Lake water	1441	10.1	25.8
Nat-H1	Lake Natron	Hot spring	602	9.76	48.3
Nat-H2	Lake Natron	Hot spring	602	9.77	50.8
Nat-H3	Lake Natron	Hot spring	601	9.77	50.1
Nat-H4	Lake Natron	Hot spring	605	9.77	45.6
Nat-H5	Lake Natron	Hot spring	608	9.75	49.7
Nat-H6	Lake Natron	Warm spring	605	9.74	31.7
Olk-H1	Olkaria area	Thermal water	2065	12*	71.7
Olk-H2	Olkaria area	Thermal water	2065	11*	79.5

*refers to quick measurement.

in the study area which reflect the tectonic setting of the NTD are identified, N-S, NW-SE and NE-SW (Fig. 4). Based on lithological domains; the NE –SW trending geological lineaments are dominant on the Precambrian rocks. The N-S and NW-SE structures are dominant and associated with Plio-Early Pleistocene and Middle-Late Pleistocene lithological domains, respectively. Mana et al. (2015) suggested that the Natron and Manyara Rift basin structures show north to south younging direction. On the other hand, early magmatism started in the southwestern area of the NTD and progressed towards the northern and eastern parts of the NTD.

Comparing NTD with other existing volcanic hosted geothermal fields, Rosenberg (2017) suggested that magmatism beneath the Wairakei geothermal field might have reinforced the development of a geothermal system during the past 0.3 Ma. At the Hengill-Hellisheidi geothermal field, the high-temperature geothermal system is associated with an age limit of about 0.4 Ma (Franzson et al., 2005).

Furthermore, more than 200 volcanoes extend-

ing SW-NE in the active tectono-volcanic zone of Iceland aged (< 0.8 Ma) host high-temperature geothermal fields (Björnsson, 2010). The volcanic activity at Menengai caldera, which hosts the geothermal field, is suggested to have started at 0.18 Ma (Leat, 1991). Very young volcanoes may not have the potential for sustainable geothermal resources due to the immaturity of a cap and possible heat exchange system which may support the heat storage.

Kerimasi, Gelai, Kilimanjaro, Meru, and Oldoinyo-Lengai volcanoes have been developed during the last ~ 1 Ma (Wilkinson et al., 1986; Mana et al., 2015). While Kerimasi, Gelai and Oldoinyo-Lengai volcanoes are accommodated in the N-S structural corridor, Meru volcano lies in the approximate location of intersection between the NW- SE and N-S structures, delineated from remote sensing, and the E-W structure delineated, from the gravity data (Fig. 9 and Fig. 11).

Ebinger et al. (2017) noted that pressurized magma chambers exist beneath Natron – Manyara zones, such as Oldoinyo-Lengai, Naibor Saito mono-

genetic cones complex, south of Gelai volcano and sill complex between Gelai volcano and Oldoinyo-Lengai. Furthermore, they argued that zones of seismicity beneath the Naibor Saito monogenetic cones may be a reflection of the presence of sills or to have been produced by hot, gas-rich magmatic fluids from the lower magma chamber. This is still an active system which continues to replenish this ~1Ma volcanic complex.

Lineaments deduced from gravity data highlight the existence of an E-W interesting 'hidden structure' (Essimigor – Meru volcanic chain). The trend of the NW-SE structures north of the volcanic chain could explain the onset of the development of 'transform fault' (Fairhead, 1980). South of roughly E-W trending volcanic chains of Essimigor – Meru chain, the geothermal and volcanic activity becomes more diffused. However, the Manyara Rift segment, on the western border fault, along the shore of the lake, which runs from the Magadi-Natron basin, hosts the hottest hot spring in the region about 70.8° C. It emanates from the basement rocks (Nzaro, 1970).

Slope modelling of SRTM data highlights major faults, major volcanoes and substantial presumed scoria/parasitic cones southeast of Meru volcano and the Naibor-saito monogenetic cone complex that is located south of Gelai volcano (Ebinger et al., 2017). Craters and calderas are well demarcated on the slope angle map (Fig. 3).

The dominant trend delineated from remote sensing is in line with the dominant low gravity anomaly running N-S, which has been interpreted as a subsurface structure and continuation of the East Africa Rift (Fig. 9). The horizontal gradient map (Fig. 11) shows the persistence of N-S structures and the roughly E-W subordinate structures associated with the extracted lineaments.

The gravity cross section running NW-SE (Fig. 10) depicts the low negative anomaly bodies in the lake Natron which may represent a deep structure possibly buried graben and probably altered zone with surficial alteration depicted on Landsat image (Fig. 8). The high positive anomaly coincides with Ketumbeine and Meru volcano and likely represents magmatic bodies. The low anomaly east of Meru volcano may represent a graben or an altered zone depicted on lineament extraction and PCA, RGB map of PC1, PC2 and PC3 (Fig. 7). Fairhead (1980) estimated the depth of volcanic and sedimentary pile to be 800 m at the Lembelos Graben NW of Meru, and depth to the basement to be around 1 km.

Patches of alteration deduced from the Landsat image display a dominant N-S orientation (Fig. 8) that coincides with the trends of lineaments. The hydroxyl (clay?) bearing alteration NW of Lake Manyara is bounded with N-S faults. The same alteration exhibits an N-S trend NE of Meru volcano south of

Oldoinyo-Lengai at the peak of Gelai volcano. Carbonates are seen at the peak of Oldoinyo-Lengai, defining an N-S orientation west of Lake Natron, attesting to them being structural controlled. Noteworthy is the presence of numerous hot springs within this area. Ferrous iron oxides exhibit preferential N-S and E-W orientation within the volcanic region which is not seen within the Precambrian metamorphic area. This suggests that the structures acted as "hydrothermal fluid pathways" that allowed fluid-rock interaction and eventual alteration of the host rocks. The iron oxide that dominates the volcanic region is probably a result of weathering of iron-bearing minerals from the mafic rocks.

The alteration zones observed during the fieldwork (Fig. 12) are located on WNW and ENE of the internal wall of the resurgent ash cone at the floor of Meru crater. They are characterized by acidic alteration in the form of grains of native sulphur observed during the fieldwork. This observation suggests that the structures trending NW- SE (west of Meru, Lembelos graben) extend beyond the Meru central crater and facilitate fluid flow well beyond its boundaries.

Based on the structural analysis, the orientation of volcanic centers and thermal manifestation in the study area we suggest that the N-S and NW - SE trending regional structures are responsible for the hydrothermal fluid flow and present potential target areas for further investigation for geothermal exploration.

In the Meru volcanic area, lake water samples (Aru-L2 and Aru-L3) largely deviated from WMWL (World Meteoric water line) and CARL (Continental Africa Rainwater Line) as well as having higher δD and $\delta^{18}O$ values (Fig. 13).

The higher δD or $\delta^{18}O$ values can result from evaporation or water-rock interaction at elevated temperature. Due to evaporation, the light hydrogen and oxygen isotopes are likely to be removed resulting in the abundance of the heavy hydrogen and oxygen isotopes. On the other hand, the higher $\delta^{18}O$ values and large deviation from meteoric water lines can be caused by the water-rock interaction at elevated temperatures. During water-rock interaction, ^{16}O in spring water and ^{18}O in the rock are exchanged leading to the ratio of $\delta^{18}O$ being larger than the meteoric water lines (maybe need another source). Altogether, this suggests that the structures within these areas act as fluid pathways that are connected to the deep reservoir.

Hot and warm spring at Lake Natron emanates from fractures and colluviums at the base of the fault trending N-S. A carbon fluxes survey conducted by Lee et al. (2016) showed that CO_2 emanates from deep mantle sources, suggesting that the faults are conduits for fluid from the magmatic sources. These further support our inference that there is the existen-



Fig. 12. Photos were taken during the fieldwork showing the alteration within the cone rim, which emerged on the floor of the Meru crater after the sector collapse

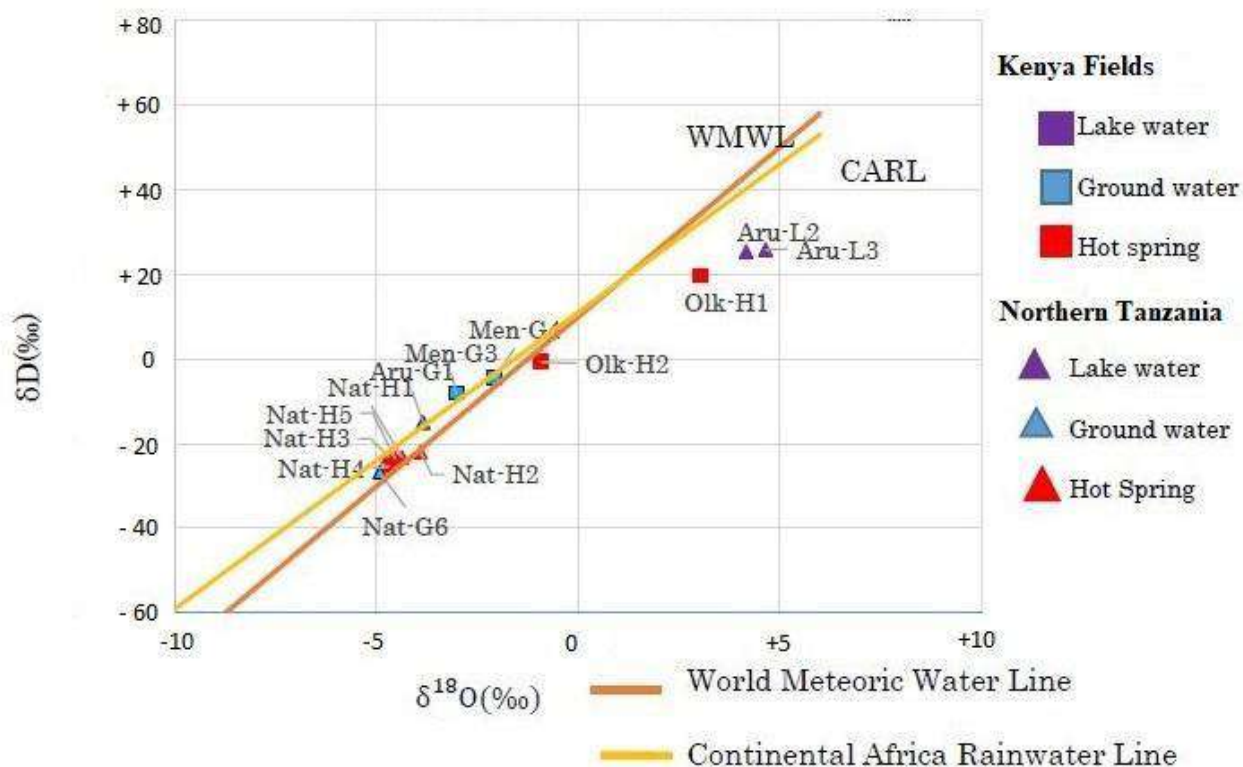


Fig. 13. Results of the hydrogen-oxygen stable isotopic composition of δD and $\delta^{18}\text{O}$.
(Nat- Lake Natron area, Aru – Meru Volcano area(Arusha National Park),
Olk –Olkaria geothermal field, Men- Menengai geothermal field

Table 2

Isotopic values of water collected during the fieldwork				
Sample ID	$\delta^{18}\text{O}$	δD	Locality	Water type
Aru-G1	-3.85	-15.07	Meru	Ground water
Aru-L2	4.18	25.16	Meru	Lake water
Aru-L3	4.65	25.64	Meru	Lake water
Nat-H1	-4.37	-23.32	Natron area	Hot spring
Nat-H2	-3.92	-22.00	Natron area	Hot spring
Nat-H3	-4.71	-23.22	Natron area	Hot spring
Nat-H4	-4.69	-25.25	Natron area	Hot spring
Nat-H5	-4.53	-23.66	Natron area	Hot spring
Nat-G6	-4.92	-26.84	Natron area	Hot spring
Olk-H1	3.03	19.54	Olkaria	Thermal water
Olk-H2	-0.91	-0.63	Olkaria	Thermal water
Men-G3	-3.03	-8.26	Menengai	Ground water
Men-G4	-2.07	-4.58	Menengai	Ground water

ce of open faults that are permeable to allow the flow of hydrothermal fluid.

In the Natron area, almost all hot springs (Nat-H1, Nat-H2 ~Nat-H5) slightly deviate from meteoric water lines. This can be explained in terms of mixing meteoric water with magmatic fluid. These springs are controlled by the N-S structure along the shore of Lake Natron. The results from the analysis of one water sample (Olk-H1) from a geothermal well at Olkaria geothermal field, exhibit higher δD and $\delta^{18}\text{O}$ values that deviate from the meteoric water line toward higher $\delta^{18}\text{O}$ (Table 2). We suggest that these higher $\delta^{18}\text{O}$ values resulted from water-rock interaction at an elevated temperature at depth.

6. Conclusions

Understanding and evaluating the geological structure for the exploration of potential geothermal resources and other epithermal deposit is of principal importance. Open structures act as the conduits for hydrothermal fluids from their sources. These structures can be potential areas for drilling targets. The magmatism and tectonics of northern Tanzania make it a potentially substantial geothermal resource. The analysis of structures, on the basis of remote sensing and gravity data, suggests that, the areas affected by the N-S and NW–SE trending structures, present high potential for geothermal systems associated with tectono-volcanic activities during Pleistocene to recent.

References

1. Abdelsalam, M., Stern, R.J., Berhane, W.G. (2000). Mapping gossans in arid environments with Landsat TM and SIR-C images: the Beddaho alteration zone in northern Eritrea. *Journal of African Earth Sciences*, 30 (4): 903–916. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0899-5362\(00\)00059-2](https://doi.org/10.1016/S0899-5362(00)00059-2)
2. Albaric, J., Déverchère, J., Perrot, J., Jakovlev, A., Deschamps, A. (2010). Contrasted Seismogenic and Rheological Behaviours from Shallow and Deep Earthquake Sequences in the North Tanzanian Divergence, East Africa. *Journal of African Earth Sciences*, 58 (5): 799–811. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jafrearsci.2009.09.005>
3. Ali, A., Pour, A. (2014). Lithological Mapping and Hydrothermal Alteration Using Landsat 8 Data: A Case Study in Ariab Mining District, Red Sea Hills, Sudan. *International Journal of Sciences: Basic and Applied Research*, 3 (3): 199–208. DOI: <https://doi.org/10.14419/ijbas.v3i3.2821>
4. Baker, B.H., Mohr, P.A., Williams, L.A.J. (1972). *Geology of the Eastern Rift System of Africa*. Geological Society of America, (136) 67. DOI: <https://doi.org/10.1130/SPE136>
5. Bilim, F. (2007). Investigations into the tectonic lineaments and thermal structure of Kutahya-Denizli region, western Anatolia, from using aeromagnetic, gravity and seismological data. *Physics of the Earth and Planetary Interiors*, 165 (3–4): 135–146. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.pepi.2007.08.007>
6. Björnsson, H. (2010). Understanding jökulhlaups: from tale to theory. *Journal of Glaciology*, 56 (200), 1002–1010. DOI: <https://doi.org/10.3189/002214311796406086>
7. Calvin, W.M., Littlefield, E.F., Kratt, C. (2015). Remote Sensing of Geothermal-Related Minerals for Resource Exploration in Nevada. *Geothermics*, 53: 517–526. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.geothermics.2014.09.002>
8. Chavez, P.S., Sides, S.C., Anderson, J.A. (1991). Comparison of three different methods to merge multi-resolution and multi-spectral data: Landsat TM and SPOT panchromatic. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 56: 459–467.
9. Dawson, J.B. (1992). Neogene Tectonics and Volcanicity in the North Tanzania sector of the Gregory Rift Valley: contrasts with the Kenya sector. *Tectonophysics*, 204 (1–2): 81–92. DOI: <https://doi.org/10.1016/0040->

[1951\(92\)90271-7](#)

10. Dawson, J.B. (2008). *The Gregory Rift Valley and Neogene-Recent Volcanoes of Northern Tanzania*. Geological Society of London, 33 (1–91).
11. Ebinger, C.J., Weinstein, A., Oliva, S.J., Roecker, S., Tiberi, C., Aman, M., Lambert, C., Witkin, E., Albaric, J., Gautier, S., Peyrat, S., Muirhead, J.D., Muzuka, A.N.N., Mulibo, G., Kianji, G., Wambura, R.F., Msabi, M., Rodzianko, A.R., Hadfield, R., Illsley-Kemp, F., Fischer, T.P. (2017). Fault-Magma Interactions during Early Continental Rifting: Seismicity of the Magadi-Natron-Manyara Basins. *Geochemistry, Geophysics, Geosystems*, 18 (10): 3662–3686. DOI: <https://doi.org/10.1002/2017GC007027>
12. Fairhead, J.D. (1976). The Structure of the Lithosphere beneath the Eastern Rift, East Africa, Deduced from Gravity Studies. *Tectonophysics*, 30 (3–4): 269–298. DOI: [https://doi.org/10.1016/0040-1951\(76\)90190-6](https://doi.org/10.1016/0040-1951(76)90190-6)
13. Fairhead, J.D. (1980). The Structure of the Cross-Cutting Volcanic Chain of Northern Tanzania and Its Relation to the East African Rift System. *Tectonophysics*, 65 (3–4): 193–208. DOI: [https://doi.org/10.1016/0040-1951\(80\)90074-8](https://doi.org/10.1016/0040-1951(80)90074-8)
14. Foster, A.N., Ebinger, C.J., Mbede, E., Rex, D. (1997). Tectonic development of the northern Tanzanian sector of the East African Rift System. *Journal of Geological Society, London*, 154: 689–700. DOI: <https://doi.org/10.1144/gsjgs.154.4.0689>
15. Franzson, H., Kristjansson, B.R., Gunnarsson, G., Björnsson, G., Hjartarson, A., Steingrímsson, B., Gunnlaugsson, E., Gislason, G. (2005). The Hengill-Hellisheiði Geothermal Field. Development of a Conceptual Geothermal Model. In *Proceedings of the World Geothermal Congress, Antalya, Turkey*. <https://www.geothermal-energy.org/pdf/IGAS-standart/WGC/2005/2632.pdf>
16. Himematsu, Y., Furiya, M. (2015). Aseismic Strike-Slip Associated with the 2007 Dike Intrusion Episode in Tanzania. *Tectonophysics*, 656: 52–60. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.tecto.2015.06.005>
17. Hutchison, W., Mather, T.A., Pyle, D.M., Biggs, J., Yirgu, G. (2015) Structural controls on fluid pathways in an active rift system: a case study of the Aluto volcanic complex. *Geosphere*, 11 (3): 542–562. DOI: <https://doi.org/10.1130/GES01119.1>
18. Le Gall, B., Nonnotte, P., Rolet, J., Benoit, M., Guillou, H., Mousseau-Nonnotte, M., Albaric, J., Deverchère, J. (2008). Rift Propagation at Craton Margin. Distribution of Faulting and Volcanism in the North Tanzanian Divergence (East Africa) during Neogene Times. *Tectonophysics*, 448 (1–4): 1–19. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.tecto.2007.11.005>
19. Leat, P.T. (1991). Volcanological development of the Nakuru area of the Kenya rift valley. *Journal of African Earth Sciences*, 13 (3–4): 483–498. DOI: [https://doi.org/10.1016/0899-5362\(91\)90111-B](https://doi.org/10.1016/0899-5362(91)90111-B)
20. Lee, H., Fischer, T.P., Muirhead, J.D., Ebinger, C.J., Kattenhorn, S.A., Sharp, Z.D., Kianji, G., Takahata, N., Sano, Y. (2016). Massive and Prolonged Deep Carbon Emissions Associated with Continental Rifting. *Nature Geoscience*, 9 (2): 145–149. DOI: <https://www.nature.com/articles/ngeo2622#affil-auth>
21. Loughlin, W.P. (1991). Principal Component Analysis for Alteration Mapping. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 57 (9): 1163–1169. DOI: https://www.asprs.org/wpcontent/uploads/pers/1991journal/sep/1991_sep_1163-1169.pdf
22. Ma, Z.J., Gao, X.L., Song, Z.F. (2006). Analysis and tectonic interpretation to the horizontal gradient map calculated from Bouguer gravity data in the China mainland. *Chinese Journal of Geophysics*, 49 (1): 106–114. DOI: <https://doi.org/10.1002/cjg2.816>
23. Mana, S., Furman T., Turrin B.D., Feigenson M.D., Swisher, C.C. (2015). Magmatic Activity across the East African North Tanzanian Divergence Zone. *Journal of the Geological Society*, 172 (3): 368–389. DOI: <https://doi.org/10.1144/jgs2014-07>
24. Mia, M.B., Fujimitsu, Y. (2013). Landsat Thermal Infrared Based Monitoring of Heat Losses from Kuju Fumaroles Area in Japan. *Procedia Earth and Planetary Science*, 6: 114–120. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.proeps.2013.01.016>
25. Mitchell, H.B. (2010). *Image Fusion: Theories, Techniques and Applications*, Springer: Berlin Heidelberg, 247 pp.
26. Molle, G.F., Swisher, C.C., Feigenson, M.D., Carr, M.J. (2008). Geochemical Evolution of Ngorongoro Caldera, Northern Tanzania: Implications for Crust-Magma Interaction. *Earth and Planetary Science Letters*, 271 (1–4): 337–47. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.epsl.2008.04.014>
27. Mshiu, E.E., Gläßer, C., Borg, G. (2015). Identification of hydrothermal paleofluid pathways, the pathfinders in the exploration of mineral deposits: A case study from the sukumaland greenstone belt, Lake Victoria Gold Field, Tanzania. *Advances in Space Research*, 55(4): 1117–1133. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.asr.2014.11.024>
28. Nabighian, M.N. (1972). The Analytic Signal of Two-Dimensional Magnetic Bodies with Polygonal Cross-Section: Its Properties and Use for Automated Anomaly Interpretation. *Geophysics*, 37 (3): 507–517. DOI: <https://doi.org/10.1190/1.1440276>
29. Nabighian, M.N. (1974). Additional Comments on the Analytic Signal of Two-Dimensional Magnetic Bodies with Polygonal Cross-Section. *Geophysics*, 39 (1): 85–92. DOI: <https://doi.org/10.1190/1.1440416>
30. Nzaro, M.A. (1970). Geothermal Resources of Tanzania. *Geothermics*, 2 (2): 1039–1043. DOI: [https://doi.org/10.1016/0375-6505\(70\)90412-8](https://doi.org/10.1016/0375-6505(70)90412-8)
31. Pilkington, M. (2007). Locating geologic contacts with magnitude transforms of magnetic data. *Journal of Applied Geophysics*, 63 (2): 80–89. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jappgeo.2007.06.001>
32. Phillips, J.D. (1997). Potential-Field Geophysical Software for the PC, version 2.2. USGS, Open-File Report 97-725. DOI: <https://doi.org/10.3133/ofr97725>
33. Phillips, J.D., Hansen, R.O., Blakely, R.J. (2007). The use of curvature in potential-field interpretation. *Exploration Geophysics*, 38 (2): 111–119. DOI: <https://doi.org/10.1071/EG07014>

34. Pour, A. B., Hashim, M., Genderen, J. (2013). Detection of Hydrothermal Alteration Zones in a Tropical Region Using Satellite Remote Sensing Data: Bau Goldfield, Sarawak, Malaysia. *Ore Geology Reviews*, 54: 181–196. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.oregeorev.2013.03.010>
35. Rosenberg, M. (2017). Volcanic and Tectonic Perspectives on the Age and Evolution of the Wairakei-Tauhara Geothermal System. PhD Thesis, Victoria University of Wellington, New Zealand, 258–263. DOI: <http://hdl.handle.net/10063/6436>
36. Rymer, H., Brown, G.C. (1986). Gravity Fields and the Interpretation of Volcanic Structures: Geological Discrimination and Temporal Evolution. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 27 (3–4): 229–254. DOI: [https://doi.org/10.1016/0377-0273\(86\)90015-6](https://doi.org/10.1016/0377-0273(86)90015-6)
37. Saadi, N.M., Watanabe, K. (2008). Lineaments extraction and analysis in Eljufra area, Libya. *Journal of Applied Remote Sensing*, 2 (1), 023538. DOI: <https://doi.org/10.1117/1.2994727>
38. Sabins, F. (1997). *Remote Sensing Principles and Interpretation*, 3rd ed.; W.H. Freeman & Co: New York, 494 pp.
39. Sandwell, D.T., Smith W.H.F. (2009). Global marine gravity from retracked Geosat and ERS-1 altimetry: Ridge Segmentation versus spreading rate. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, 114 (B1): B01411. DOI: <https://doi.org/10.1029/2008JB006008>
40. Sandwell, D.T., Garcia, E., Soofi, K., Wessel, P., Smith, W.H.F. (2013). Toward 1-mGal Accuracy in Global Marine Gravity from CryoSat-2, Envisat, and Jason-1. *The Leading Edge*, 32 (8): 892–899. DOI: <https://topex.ucsd.edu/sandwell/publications/144.pdf>
41. Sandwell, D.T., Müller, R.D., Smith, W.H.F., Garcia, E., Francis, R. (2014). New global marine gravity model from CryoSat-2 and Jason-1 reveals buried tectonic structure. *Science*, 346 (6205): 65–67. DOI: <https://doi.org/10.1126/science.1258213>
42. Simiyu, S.M., Keller, G.R. (1997). An Integrated Analysis of Lithospheric Structure across the East African Plateau Based on Gravity Anomalies and Recent Seismic Studies. *Tectonophysics*, 278 (1–4): 291–313. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0040-1951\(97\)00109-1](https://doi.org/10.1016/S0040-1951(97)00109-1)
43. Ulusoy, İ. (2016). Temporal Radiative Heat Flux Estimation and Alteration Mapping of Tendürek Volcano (Eastern Turkey) Using ASTER Imagery. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 327: 40–54. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jvolgeores.2016.06.027>
44. Wilkinson, P., Mitchell, J.G., Cattermole, P.J., Downie, C. (1986). Volcanic Chronology of the Men-Kilimanjaro Region, Northern Tanzania. *Journal of the Geological Society*, 143 (4): 601–605. DOI: <https://doi.org/10.1144/gsjgs.143.4.0601>

Authors Contribution: All authors have contributed equally to this work

Оцінка геологічних структур і геотермальних ресурсів у вулканічній зоні Північної Танзанії за допомогою дистанційного зондування та аналізу даних гравітації

Альбано Махеча^{1, 3}

кафедра корпоративних програм ресурсного інжинірингу,
інженерний факультет, ¹ Університет Кюсю, Фукуока, Японія;

³ Танзанія Геотермал Девелопмент Компані Лімітед, Дар-ес-Салам, Танзанія;

Нуреддін Сааді²

кафедра геологічної інженерії, инженерний факультет,
² Університет Тріполі, Університетська дорога, Тріполі, Лівія;

Ессам Абауд^{4, 5}

Центр дослідження геонебезпек,

⁴ Університет короля Абдулазіза, Джидда, Саудівська Аравія;

⁵ Національний науково-дослідний інститут астрономії та геофізики, Каїр, Єгипет;

Акіра Імаї¹

кафедра інженерії ресурсів Землі, инженерний факультет;

Котаро Йонезу¹

кафедра інженерії ресурсів Землі, инженерний факультет

Вулканічна місцевість Північної Танзанії була предметом оцінки геотермального потенціалу протягом останніх чотирьох десятиліть. Регіон характеризується вулканічною та тектонічною активністю від неогену до сучасності. Це попереднє дослідження, засноване на даних дистанційного зондування, хімії води, даних гравітації, геологічних структурах і розподілі вулканічних центрів, повідомляє про виявлені геотермальні прояви та обговорює наслідки для шляхів геотермальних рідин. Киснево-водневі ізотопні дані з проб води вказують на те, що вони були залучені до гідротермальної системи. Район розбіжності Північної Танзанії (NTD), що характеризується вулканічною та тектонічною діяльністю від неогену до сучасності. Останні вулканічні та тектонічні дії включають

виверження попелового конуса та лавового купола на дні кратера Меру століття тому, вторгнення даїк та виверження вулкана на південь від вулкана Гелай та вулкана Олдойньо-Ленгаї відповідно. Фумарольна діяльність і гарячі джерела домінують у відносно молодому вулканічному районі на північному сході та в північній частині NTD. Місія Shuttle Radar Topography Mission (SRTM), зображення Landsat 8 Operational Land Imager (OLI), аналіз ізотопів води та гравітаційні дані були використані для вилучення та аналізу поверхневих і підповерхневих геологічних ліній і картування зон гідротермальних змін у досліджуваній області. Гідротермальна зміна використовується для оцінки та ідентифікації проникних структур. Аналіз та інтерпретація довжини та трендів вилучених лінеamentів були використані для дослідження тектонічної еволюції. Геологічна карта досліджуваної території була оцифрована з існуючих геологічних карт і віку гірських порід, щоб окреслити вулканічну активність і пов'язані з нею лінеamenti на основі віку літологічного домену. Більш високі значення $\delta^{18}\text{O}$ та велике відхилення від ліній метеоритної води припускають, що це пов'язано з взаємодією флюїдів із вміщуваними породами при підвищених температурах. Вони відповідають відкритим структурам, які діють як канали для потоку рідини. Дані потенційної сили тяжіння показують басейноподібну структуру, що тягнеться в напрямку Пн-Пн-3. Гравітаційні дані показують, що блоки фундаменту поступово поглиблюються до центральної частини і що вони контролюються двома основними системами розломів, спрямованих відповідно на Пн-Пд та Пн-3-Пд. Гравітаційні дані, представлені тут, надають нові обмеження щодо тектонічної еволюції та геотермальних ресурсів досліджуваної території.

Ключові слова: *дистанційне зондування, гравітація, геотермальний, Танзанія, структури, ізотоп.*

Внесок авторів: всі автори зробили рівний внесок у цю роботу

Надійшла 25 вересня 2023 р.

Прийнята 27 жовтня 2023 р.

Дослідження забруднення нафтопродуктами зони аерації за допомогою математичного моделювання

Олег Улицький¹

д. геол. наук, професор, директор ННІ Екобезпеки та управління
¹ Державної екологічної академії післядипломної освіти та управління,
вул. Митрополита Василя Липківського, 35, корп. 2, м. Київ, 03035, Україна,
e-mail: olegulytsky@gmail.com,  <https://orcid.org/0000-0003-2674-2208>;

Наталя Д'яченко¹

к. геол. н., ст. наук. співробітник, доцент кафедри екологічної безпеки,
e-mail: natalidyachenko1969@gmail.com,  <https://orcid.org/0000-0002-4852-0203>;

Армен Соколов¹

студент магістратури

e-mail: staroilua@gmail.com,  <https://orcid.org/0009-0007-1385-8873>;

Ольга Сердюкова²

ст. викладач, кафедра фундаментальної та прикладної геології,

² Харківський національний університет імені В.Н. Каразіна,
майдан Свободи, 4, м. Харків, 61022, Україна,

e-mail: serd.64@ukr.net,  <http://orcid.org/0000-0002-8946-0243>

У статті наведено результати дослідження забруднення зони аерації за рахунок витоку нафтопродуктів (НП) під час руйнування нафтобази «Амік Україна» у м. Бородянка за допомогою математичного моделювання. Витік світлих нафтопродуктів (СНП) створив техногенну екологічну ситуацію, яка вимагала визначення: механізмів аварійного проникнення НП у ґрунт та підземні води, площі забруднення та науково-обґрунтованих способів очищення ґрунту від НП. Для оцінки площі забруднення та механізму аварійного проникнення СНП у ґрунт і підземні води проаналізовані існуючі моделі проникнення поллютантів при аварійному розливі НП, створено математичні просторові моделі геоморфологічних, гідрогеологічних та дослідно-фільтраційних даних за рахунок використання прийомів математичної інтерполяції та градієнтного аналізу. Останні дозволили виявити напрями руху поверхневого та підземного стоку на локальній площі нафтобази. У роботі розраховано гідрравлічні ухили, коефіцієнт фільтрації ґрунтів, створено просторову математичну модель локального підземного градієнту потоку підземних вод з координатною прив'язкою до космоснімку завдяки ГІС-проектуванню. Досліджено, що напрямок підземного потоку (рідини з поллютантом) контролюється зоною локальної депресії, яка виражена пониженням абсолютних відміток природної літологічної товщі з перепадом висот близько 0,4 м або максимальними значеннями височини лінзи забруднення. Напрямок простягання цієї зони з півночі на південь. Проведено розрахунок потужності лінзи забруднення, яка в середньому склала 0,3 м. При цьому показнику площа забруднення налічує 4169 м², об'єм забруднення – 1250,7 м³ який відповідає заявленому витоку. Але, враховуючи анізотропію фільтраційних властивостей літологічних різновидів у різних напрямках усередині зони аерації, присутність розчиненої води за рахунок дисперсії, наявність локальних акумуляційних депресій літологічної товщі варіанти з іншими показниками потужності (0,5 м та 0,1 м) також прийнятні. Апроксимовані сумарні площі розповсюдження НП адаптовані до супутникового знімку сервісу Google Earth. Дослідження мають практичні рекомендації щодо очищення території від СНП, запобігання розповсюдженню поллютанту за рахунок відкачування нафтопродуктів зі змодельованої та фактично підтвердженої лінзи забруднення. Згідно з рекомендаціями здійснене буріння 140 свердловин глибиною до 5,2 м, діаметром 0,11–0,168 м, загальним метражем 710 м, які дали можливість запобігти розповсюдженню СНП та повторно їх використати після очищення.

Ключові слова: нафтопродукти, лінза забруднення, зона аерації, математична модель, дослідно-фільтраційні, поверхневий стік, зондувальні свердловини, градієнт потоку, надзвичайна ситуація, ГІС-проект.

Як цитувати: Улицький Олег. Дослідження забруднення нафтопродуктами зони аерації за допомогою математичного моделювання / Олег Улицький, Наталя Д'яченко, Армен Соколов, Ольга Сердюкова // Вісник Харківського національного університету імені В. Н. Каразіна, серія «Геологія. Географія. Екологія», 2023. – Вип. 59. – С. 44–54. <https://doi.org/10.26565/2410-7360-2023-59-04>

In cites: Ulytsky Oleg, Diachenko Natalia, Sokolov Armen, Serdiukova Olga, (2023). Studies of oil product pollution in the aeration zone by mathematical modelling. Visnyk of V. N. Karazin Kharkiv National University, series "Geology. Geography. Ecology", (59), 44–54. <https://doi.org/10.26565/2410-7360-2023-59-04> [in Ukrainian]

Постановка проблеми.

Масштабні військові дії 2022–2023 років проти України на жаль призвели до серйозного пошкодження інфраструктури, включаючи нафтобази. Цей фактор має широкий вплив не тільки на економіку країни та життя мешканців, але суттєві негативні наслідки з точки зору екологічної

безпеки.

Зруйнування нафтобаз може мати серйозний вплив на довкілля. Виток нафти в природне середовище завжди має негативний вплив на водні ресурси, ґрунт, рослинність, тваринний світ і загальний екологічний баланс або руйнування екологічних систем [1]. Забруднення водних ресурсів

внаслідок витоку в річку, озеро або підземні води може мати довготривалі наслідки залежно від розміру забруднення і можливостей його очищення [2]. Саме тому, з метою зменшення впливу на довкілля, необхідно завчасно розробляти та вживати превентивні заходи для очищення нафтових забруднень.

У 2022 році внаслідок війни була частково зруйнована нафтобаза компанії «Amic Україна», що розташована в м. Бородянка Київської області. Відбувся миттєвий витік політантів у вигляді світлих нафтопродуктів (СНП) на ґрунт прилеглої території. В такому випадку надходження нафтопродуктів у ґрунт впливає не тільки на зменшення його біологічної продуктивності, але призводить до подальшого проникнення нафтопродукту в води зони аерації та у підземні води. Результат - техногенна екологічна ситуація, що вимагала після деокупації не тільки негайної ліквідації аварійного розливу, але й визначення площі аварійного проникнення СНП у ґрунт та підземні води.

Оскільки аварійна ситуація сталася під час бойових дій на тимчасово окупованій території, документування, візуальний контроль за розливом для збору інформації з метою виявлення, визначення, оцінки та контролю сценарію розливу, що відбувався, та для створення загальної оперативної картини реагування були неможливі. На сьогодні ще не створено стандартизованих підходів щодо вирішень прикладних завдань еколого-гідрогеологічного напрямку у таких складних ситуаціях. Саме тому, виникла необхідність у створенні ПС-проекту з залученням результатів математичного моделювання геоморфологічних, гідрогеологічних, інженерно-геологічних та дослідно-фільтраційних даних з використанням гео-даних сервісу Google Earth з метою визначення механізму, площі та глибини забруднення.

Аналіз останніх досліджень і публікацій.

Більша частина сучасних досліджень стосовно аварійного розливу нафтопродуктів присвячена надзвичайним ситуаціям в переробній, хімічній та транспортній промисловості. Як правило, для визначення радіусу розливу використовуються моделі гравітаційного розтікання, які не враховують просочення СНП вглибину. У роботі [3] розглядаються всі представлені моделі для прогнозування площі, досягнутої розливом рідини в стані рівноваги, та ефективність цих моделей. За думкою авторів, існує декілька сценаріїв розливу легкозаймистих рідин, запропонованих ще у 70-х роках минулого століття (модель Бетчелора, Райсбека та Мохтаді) та у сучасні часи (модель Хассена), але найбільш ефективними є моделі площі розливу як функції об'єму розливу, тому що експериментальні дані показують, що площа розливу лінійно збільшується з об'ємом

розливої рідини. В випадку руйнування нафтобази «Amic Україна» об'єм фактичного розливу був відомий приблизно, бо достеменно невідомо скільки СНП згоріло під час руйнації та пожежі.

За оцінкою фахівців [2, 4-6], СНП надходячи у зону аерації у рідинному стані, мігрують як рідина, яка не змішується з водою. В результаті на поверхні ґрунтових вод формується мобільна лінза забруднення, яка в залежності від нахилу поверхні ґрунтових вод, проникності вміщуючих порід, нахилу земної поверхні може мігрувати на значні відстані та досягати місць природного розвантаження ґрунтових вод (водойми, водотоки) або зосереджуватися під джерелом витоку.

При цьому, за висновками в роботі [7], ця лінза являє собою «тіло» концентрованих рухомих вуглеводнів, які концентруються в локальній зоні вуглеводневого насичення ґрунтів, та зосереджуються безпосередньо над дзеркалом ґрунтових вод. Міграція СНП у зоні аерації має менш складний характер, ніж у підземних водах. Існування на межі зони аерації та водонасиченої товщі «капілярної облямівки», за рахунок присутності «порогового» тиску, поряд з низькою щільністю нафтопродуктів по відношенню до води, призводить до формування лінзи з надлишковим вмістом політантів. Залежно від гідрогеологічних умов, тривалості та інтенсивності надходження нафтових продуктів, потужність такої лінзи може змінюватися від сантиметрів до декількох метрів. Максимальні значення потужності завжди присвячені центральній частині лінзи, а мінімальні характерні для крайових частин. Саме в нафтопродуктовій лінзі зосереджена основна маса мобільного СНП, яку можна вилучити з можливістю їх подальшого використання.

У дослідженнях Бодачівської Л. Ю. [8] зроблено висновок, що швидкість і напрям руху вуглеводневої рідини залежать як від властивостей ґрунту і від співвідношення нафтопродуктів, повітря й води в багатозафазній рухомій системі. «Капілярне просочування відбувається переважно у вертикальному напрямі та у бік гідралічного ухилу до межі шарів ґрунту – водоупору й рівня підстилаючих вод».

Вивчення питань нафтового забруднення геологічного середовища на прикладі дендропарку «Олександрія» [9] показало, що нафтові вуглеводні здатні мігрувати впродовж кількох десятиліть до природних об'єктів вздовж основного напрямку руху потоку підземних вод і передбачуваної міграції забруднюючих речовин.

Результати моделювання на основі даних гідрогеологічного буріння та фізичної розвідки [2] в м. Ібінь (Китай), показали, що вертикальна інфільтрація забруднюючих речовин після витоку з нафтового резервуару була основним шляхом

проникнення забруднюючих речовин через ґрунт у ненасичену зону під нафтобазою. При визначенні шляхів забруднення підземних вод, ненасичена зона визначена важливим захисним бар'єром для середовища підземних вод, оскільки вона має здатність перехоплювати забруднюючі речовини та перешкоджати їх проникненню. Моделювання показало, що витік з нафтобази вплинув на підземні води навколишнього середовища навколо нафтобази та вниз за градієнтом у напрямку потоку підземних вод.

При цьому, інтенсивність просочення політантау за дослідженнями [10] залежить від фізичних властивостей рідини і підстилаючої поверхні. Інтенсивність просочення буде тим більшою, чим меншою є кінематична в'язкість рідини. При цьому, просочення рідини вглибину підстилаючої поверхні зменшує розміри (площу) розливу. Тобто, ґрунти з невисокою проникністю сприятимуть виникненню лінзи СНП. Автори запропонували модель розтікання рідини у випадку миттєвого розливу (при катастрофічному руйнуванні ємності із рідиною) у вигляді системи рівнянь, що містять δ -функцію Дірака, але, за висновками досліджень «знаходження аналітичного розв'язку є неможливим внаслідок нелінійності рівнянь по невідомим функціям (товщини шару рідини і глибини просочення). Отже для цього мають бути застосовані чисельні методи, зокрема, метод сіток». В той же час, запропонований авторами метод оцінки параметрів моделі просочення рідини вглиб ґрунту включає вимірювання глибини просочення в певні моменти часу. Ці висновки послужили відправною точкою для здійснення дослідно-фільтраційних спостережень на території нафтобази та за її межами.

Теоретичні складові попередніх досліджень були використані у цій роботі при розв'язанні прикладних завдань еколого-гідрогеологічного напрямку, питань стосовно визначення механізмів аварійного проникнення політантів у ґрунт та підземні води та планування дослідно-фільтраційних робіт.

Виділення невирішених раніше частин загальної проблеми.

Загалом, велику роль у розповсюдженні забруднення на денній поверхні, окрім геологічної будови ділянки аварійного розтікання та просочування, грає геоморфологічні характеристики земної поверхні (рельєф), які створюють умови пряму стоку рідини з нафтопродуктами, але аналітичні розв'язання розрахунку площі розливу та глибини аварійного проникнення СНП практично відсутні або не можуть бути застосовані за рахунок невідповідності вихідних даних досліджуваної ситуації модельним умовам. Виходячи з вищенаведеного, сформульована мета представлених

досліджень.

Формулювання мети статті.

Метою цієї статті є розкриття механізму проникнення СНП у ґрунт і підземні води та розробка заходів з очищення геологічного середовища від політантів, розрахунок глибини та площі розповсюдження забруднення з використанням математичного моделювання даних цифрових моделей рельєфу (морфометричні параметри - (величина ухилу, експозиція схилу, різні види кривизни земної поверхні, напрямок стоку) та дослідно-фільтраційних робіт (гідрогеологічні параметри) за умови залучення геоданих сервісу Google Earth.

Виклад основного матеріалу дослідження.

Початкова оцінка розливу, яка повинна проводитися в перші 3-6 годин, в умовах військових дій була недоступна. Саме тому, база геопросторових даних сервісу Google Earth стала основою отримання вихідних картографічних продуктів. Оброблені космічні знімки високої роздільної здатності попередніх років дали нам можливість розпланувати місця дослідно-фільтраційних робіт, зробити планово-висотне обґрунтування з подальшою математичною обробкою та моделюванням [11], знизити грошові та трудові витрати на підготовку та виконання геодезичних робіт за рахунок камеральної обробки просторових геоданих [12].

Для досягнення мети в роботі використані наступні методи досліджень: цифровізація рельєфу земної поверхні (створення цифрової моделі місцевості за матеріалами даних сервісу Google Earth та наявних картографічних матеріалів), прийоми морфометричного аналізу у вигляді просторової інтерполяції висотних показників рельєфу та градієнтного аналізу цієї поверхні, структурно-геологічні та дослідно-фільтраційні прийоми (графічне моделювання та метод визначення гідродинамічних параметрів інженерно-геологічного елементу), математично-розрахункові методи (традиційні гідрологічні розрахунки) та прийоми просторового математичного моделювання методом часткових похідних по напрямках максимального ухилу земної поверхні (з уточненням на локальному рівні).

Особливості математичного моделювання геоморфологічних, гідрогеологічних, інженерно-геологічних та дослідно-фільтраційних даних в поєднанні з матеріалами космічної зйомки.

Територія досліджень (рис. 1, а) належить до Київського Полісся, де розповсюджені палеоген-неогенові дочетвертинні породи. Абсолютні відмітки рельєфу земної поверхні навколо смт. Бородянка варіюють в межах +136 - +158 м (рис. 1, б). Але за рахунок штучно створеної поверхні території «Amic Україна», останні дорівнюють + 139,8 -

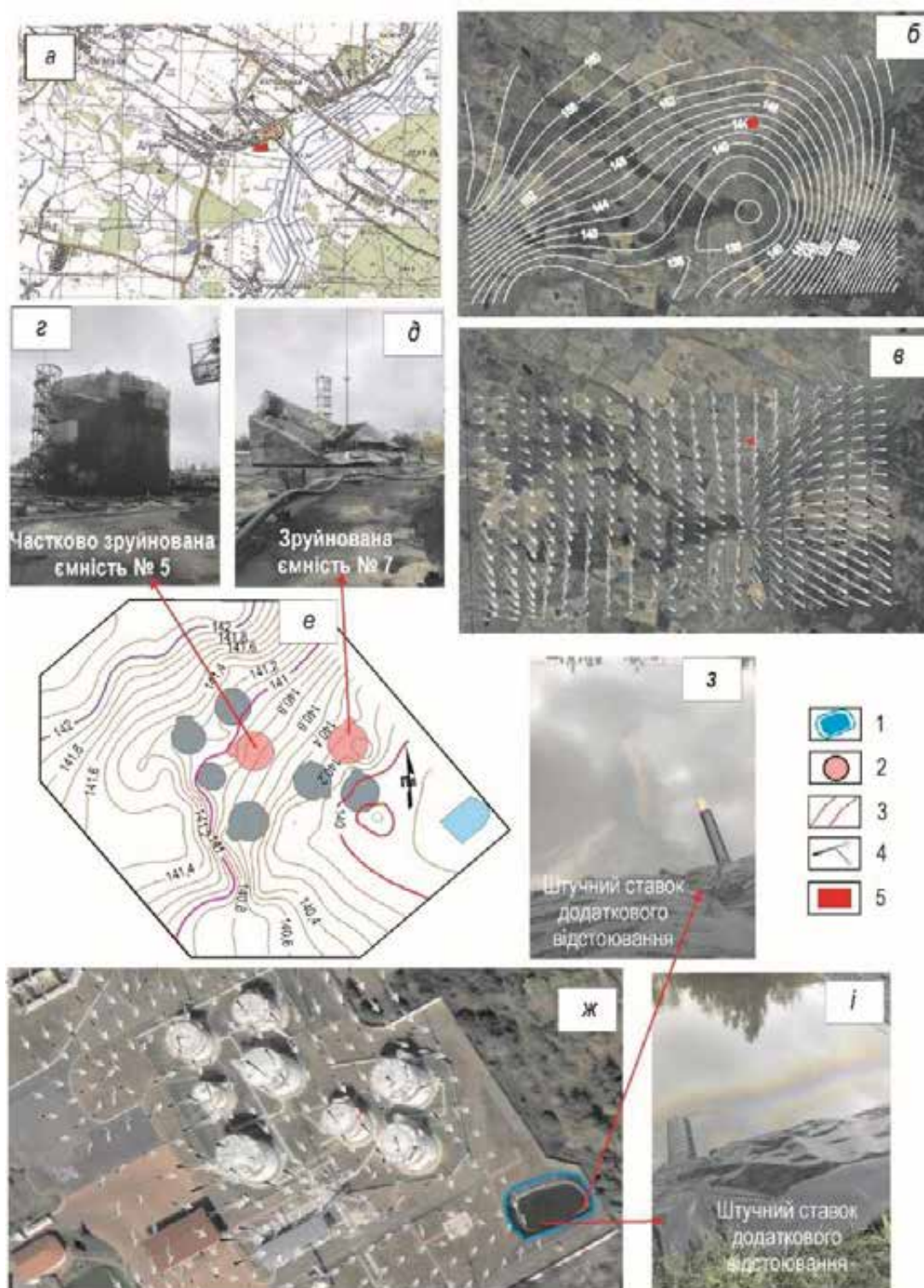


Рис. 1. Результат математичного просторового моделювання напрямків поверхневого стоку з наступними деталями: фрагмент номенклатурного аркушу (а), цифрова векторна модель рельєфу місцевості в ізолініях (б); градієнтна модель напрямків поверхневого стоку навколо Бородянки (в); цифрова векторна модель штучно створеного рельєфу території нафтобази (е); градієнтна модель напрямків поверхневого стоку на території нафтобази (ж); фото витіку СНП в штучну водойму (з, і); фото зруйнованих ємностей (г, д). *Умовні позначки:* 1 – штучний ставок додаткового відстоювання, 2 – зруйновані ємності, 3 - ізолінії рельєфу, 4 – вектор напрямків поверхневого стоку, 5 – територія дослідження /

Fig. 1. The result of mathematical spatial modeling of surface runoff directions with the following details: a fragment of the nomenclature sheet (a), digital vector model of the terrain in isolations (б); gradient model of surface runoff directions around Borodyanka (в); digital vector model of the artificially created relief of the territory of the oil depot (е); gradient model of surface runoff directions on the territory of the oil depot (ж); photos of oil products leaking into an artificial reservoir (з, і); photos of destroyed tanks (г, д)

+ 141,8 м (рис. 1, е). Територією течуть невеликі річки: Вабля, Бучка та Здвиж.

Застосування методу часткових похідних (градієнтний аналіз [13,14]) дозволило створити просторові математичні моделі напрямів поверхневого стоку як штучно створеного на теренах нафтобази (рис. 1, ж), так й прилеглої місцевості (рис. 1, в) за рахунок математичної обробки цифрових векторних моделей рельєфу земної поверхні на локальному та загальному рівнях (рис. 1, б, е) методом часткових похідних по напрямках максимального ухилу (кривизни лінії профілю, закладеної вздовж напрямку лінії стоку).

Аналіз отриманих результатів моделювання дозволив встановити, що рух поверхневих вод здійснюється в межах водозбірної формуючої басейну до річкової долини (рис. 1, б), який посилюється за рахунок наявності системи водознижувальних каналів, що створені для додаткового осушення прилеглих територій навколо нафтобази. Але, в межах ділянки, зруйнованої під час військової агресії нафтобази (рис. 1, з, д, штучно створений рельєф створив додаткові локальні умови напрямів поверхневого стоку, який суттєво вплинув на площу проникнення нафтопродуктів у ґрунт та розповсюдження у підземні води (рис. 1, ж). Аналіз отриманих моделей показав, що рух потоку фіксується у південно-східному напрямку, що підтверджено фактичною присутністю політанту у воді ставку додаткового відстоювання (рис. 1, з, і).

Для розв'язання означених завдань, нами було створено ГІС-проект, який дозволив об'єднати різноманітні поверхні (модельні та фактичні) та проаналізувати гідрогеологічні умови поверхневого стоку в єдиній системі координат.

Проведені під час польових робіт влітку 2022 року обстеження місцевості та інженерно-геологічні вишукування досліджуваної території дозволили вивчити геологічну будову ділянки досліджень шляхом буріння зондувальних свердловин (ЗС) глибиною до 5,2 м з координатною прив'язкою до місцевості за допомогою GPS технологій. Кількість опитних свердловин для моніторингу рівня води для верифікації моделі стоку склала 9 одиниць, Розташування ЗС планувалося згідно з отриманими передчасно результатами математичного моделювання (див. рис.1).

Аналіз результатів буріння свердловин дозволив виділити наявні інженерно-геологічні елементи: I – ґрунтово-рослинний шар, потужністю 0,2 м; II – пісок мілкий, малого ступеню водонасичення, середньої щільності, від сірого до жовто-сірого кольору, потужністю 1,3-1,4 м; III – су-пісок легко-пластичної консистенції, сіро-жовтого кольору, потужністю 0,7-0,8 м; IV - пісок середньозернистий, насичений водою, середньої

щільності, від світло-жовтого до світло-сірого кольору, розкритою потужністю до глибини 5,1-5,2 м.

Слід зазначити, що СНП, потрапляючи у ґрунт, опускаються вертикально вниз під впливом гравітаційних сил і поширюються вшир під впливом поверхневих і капілярних сил. Швидкість просування СНП залежить від їх властивостей, виду та фільтраційних властивостей ґрунту, конструкції «дорожнього» покриття і співвідношення СНП, повітря і води в багатофазній системі, що рухається. Під час досліджень, визначені властивості нафтопродуктів – густина, в'язкість, молекулярна маса, поверхневий натяг (сталагмометричний метод) з урахуванням густини палива дизельного ДП-3- Є-80 (0,733 г/мл) з вмістом сірки до 10% та густини води (0,9982 г/мл).

Дослідно-фільтраційні роботи здійснювалися по 9 характерним ЗС (рис.2, а, б). Вибір місця закладки останніх обумовлено зоною формування лінзи розтікання політанту (рис. 2, в, з) та напрямком поверхневого стоку.

За рахунок цих робіт, було визначено та підтверджено коефіцієнт фільтрації (K_f) ґрунтів на теренах нафтобази шляхом аналітичного аналізу даних, що були отримані під час відкачувань рідини з ЗС. Для пісків середньозернистих K_f сягає 10 м/добу. При цьому, кількість нафтопродукту [Q], що відкачувалася із свердловини (Т4) не приводило до певного зниження стовпа рідини. Це свідчить про те, що об'єм припливу рідини (СНП) значно перевищує об'єм відкачки. Крім того, нами було зафіксовано, що об'єм відкачки із зазначеної свердловини (Т4) протягом 5 хвилин склав 12 л нафтопродукту або 144 л/год. Водночас здійснені заміри рівня залягання верхньої межі рідини з СНП (h_1) й рівня дзеркала ґрунтових вод (нижній рівень рідини з політантом (h_2)).

На ділянці поза межами нафтобази тільки 20% свердловин мали наявність рідини політантів (Т7-Т9). Під час буріння в окремих свердловинах зафіксовано рівень підземних вод на глибині 4,78 – 5,13 м від поверхні землі, який відповідає абсолютним відміткам земної поверхні: +134,65 - +135,80 м. Водонасні горизонти інших комплексів не розглядались.

Під час досліджень виконано математичне моделювання даних польових замірів рівня підземних вод по свердловинах розташованих по площі нафтобази у вигляді картограми гідроізогіпс (рис. 2, б) рівня підземних вод (поверхні рідини – політантів). Залучення прийомів градієнтного аналізу щодо отриманої математичної моделі гідроізогіпс, дозволило розробити просторову математичну модель локального підземного градієнту потоку підземних вод (рис. 2, б). Координатна прив'язка отриманих моделей до космо-знімку зроблена завдяки ГІС-проектуванню. На-

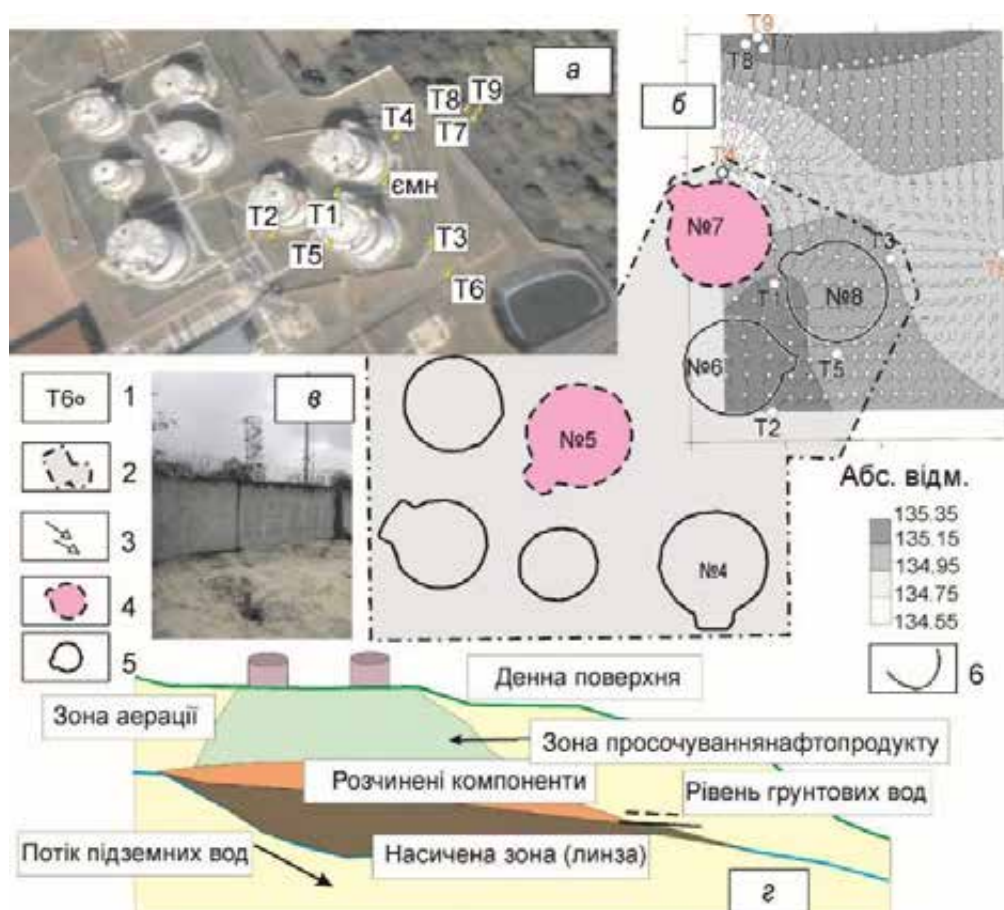


Рис. 2. Фрагмент супутникового фото сервісу Google Earth з координатною прив'язкою ЗС польового спостереження (а) з деталізацією: картограм гідроізогіпс рівня підземних вод та локального підземного градієнту потоку підземних вод (б); фото зондувальної свердловини (в); схеми формування насиченої нафтопродуктами лінзи (г). Умовні позначки: 1 – свердловина польового спостереження, 2 – територія нафтобази, 3 – напрямок локального підземного градієнту потоку підземних вод, 4 – зруйновані ємності, 5 – непошкоджені ємності, 6 – ізолінії гідроізогіпс рівня підземних вод /

Fig. 2. Fragment of Google Earth satellite photo with coordinate reference to the field observation station (а) with details: hydroisohypsum maps of groundwater level and local underground gradient of groundwater flow (б); photo of the probing well (в); scheme of formation of the oil-saturated lens (г)

правлення підземного потоку (рідини з поліютантом) показує акумуляцію останнього в зоні локальної депресії (див. рис. 2, б), яка виражена пониженням абсолютних відміток природної літологічної товщі з перепадом висот близько 0,4 м або максимальними значеннями височини лінзи забруднення (рис. 2, г). Простягання цієї зони фіксується з півночі на південь.

Вона може розглядатися як зона максимального накопичення рідини з нафтопродуктів. Саме тут розташовані свердловини, які на момент проведення відкачок за невеликий проміжок часу (5 хв) дозволили відкачати 12 л рідини (Т4). Така ж сама ситуація спостерігалася в свердловинах Т3 (рис. 2, в) та Т6. Абсолютні відмітки рівня рідини знаходяться у межах +135,3 - +135,75 м. Напрямок підземного потоку дозволяє створити схему розповсюдження поліютантів та розрахувати гідравлічні ухили (L_h), які за проведеними розрахунками склали – 0,001 – 0,016.

Прийнята модель розтікання паливної рідини та розрахунок потужності лінзи СНП.

Як вже було вказано вище, існуючи сучасні моделі розтікання паливної рідини, що призначені для оцінки площі розливу, стосуються горизонтальних та похилих поверхонь, коли розтікання двофазних потоків (система вода-СНП) має форму кола або форму лінзи. Моделі миттєвого розливу та розтікання рідини з одночасним її просоченням, де математична модель процесу являє собою сукупність диференціального рівняння параболічного типу, враховують просочення СНП вглиб підстилаючої поверхні лише в вертикальному напрямку. Виходячи з того, що за характером розтікання розрізняють миттєвий розлив і такий, що триває у часі. Перший має місце при катастрофічному руйнуванні ємності із рідиною (ємність № 7 в нашому випадку), а другий – при ушкодженні ємності, яке призводить до поступового витікання рідини з неї (ємність № 5). Багато

дослідників стверджують [15-17], що миттєве витікання є граничним випадком довготривалого витікання, якщо час витікання скорочується, прямуючи до нуля, а загальний об'єм розлитої рідини залишається сталим.

В нашому випадку характер розтікання та проміжок часу витоку нам невідомий, бо об'єкт був пошкоджений під час окупації території смт. Бородянка. Тому, прийнятним рішенням з погляду міграційного процесу, що описує окремі стадії міграції – інфільтрацію через зону аерації та міграцію по поверхні ґрунтових вод, є розрахунок міграційної лінзи легких нафтопродуктів у рамках спрощених аналітичних рішень, заснованих на рівняннях багатофазної фільтрації.

В досліджуваному випадку полютанти, що знаходяться у рідкому стані, не змішуються з водою. Слід зазначити, що забруднення зосереджене у верхній частині водоносного горизонту, а з глибиною концентрації нафтопродуктів знижуються. При міграції у гірських породах вони, займаючи частину порового простору, формують самостійну фазу, що перебуває у контакті з водною фазою. При цьому, процес супроводжується міжфазним масообміном, що призводить до формування ареалів забруднення підземних вод розчиненими компонентами. При досягненні забруднювача ґрунтового водоносного горизонту, самостійна фаза легких нафтопродуктів утворила плаваючі на поверхні підземних вод (вод зони аерації) скупчення – лінзи, міграція яких контролюється градієнтом природного фільтраційного потоку [18].

Для подолання капілярного тиску та проникнення у водонасичене пористе середовище необхідно накопичення достатнього шару (потужності) нафтопродуктів, значення якого визначається за формулою [19]:

$$h_{min} = \frac{2\sigma_{нв} \cos \theta}{g_{гк} [\rho_{н} - \rho_{в}]} \quad (1)$$

де h_{min} – мінімальна потужність нафтопродукту, м;

$\sigma_{нв}$ – поверхневий натяг на контакт нафтопродукту та води, 21 дин/см;

θ – крайовий кут змочування, 15°;

g – прискорення вільного падіння, 9,8 м/с²;

$g_{гк}$ – радіус пір ґрунту, 0,05 мм;

$\rho_{н}$ – щільність нафтопродукту, 0,75 г/см³;

$\rho_{в}$ – щільність води, 1 г/см³.

За результатами розрахунків в нашому випадку мінімальна потужність нафтопродукту в лінзі (h_{min}) складає 0,3 м.

Розрахунок радіусу та площі розповсюдження лінзи СНП у зоні аерації. Виходячи з того, що при досягненні забрудненням ґрунтових водоносних горизонтів самостійна фаза СНП утворила плаваючі на поверхні підземних вод (вод зони аерації) скупчення – лінзу, яка має деяку площу, окрім потужності лінзи СНП слід розрахувати радіус ореолу забруднення.

Виходячи з вищенаведеного, керуючись підрахунками приблизних об'ємів витоку СНП, у дослідженні у першому наближенні, розраховані радіус лінзоподібного скупчення на поверхні ґрунтових вод, яке здатне мігрувати у підземній гідросфері у вигляді самостійної фази. Радіус лінзи забруднення СНП навколо порушених ємностей розраховується за формулою:

$$R = \sqrt{\frac{V}{h\pi}} \quad (2)$$

де: R – радіус лінзи полютантів, м; V – об'єм нафтопродуктів, що потрапив до зони аерації, м³; h – висота стовпа забруднювача у свердловині, м

При рішенні рівняння (1), мінімальна потужність лінзи нафтопродуктів склала 0,3 м (висота стовпа рідини). Але, при виконанні польових робіт (дослідно-фільтраційні відкачки методом желонування з зондувальних свердловин) зафіксовано, що висота стовпа у центральній частині площі нафтобази складала 0,5м, 0,47м, 0,33м, а за межами нафтобази - до 0,1м. Тому, для виконання поставленого завдання, розрахунки проводилися з урахуванням максимального (h_1 - 0,5 м), розрахункового середнього (h_2 - 0,3 м) та мінімального фактичного (h_3 - 0,1 м) стовпом рідини. Оскільки витік горючої рідини здійснювався з двох ємностей, розрахунок здійснено для окремих джерел витоку та апроксимовано у єдину площу ореолу забруднення. Розраховані радіуси розповсюдження лінзи полютанту за формулою (2) та їх сумарна площа наведено в таблиці 1.

Розраховані та апроксимовані сумарні площі розповсюдження ареалу нафтопродуктів у зоні аерації винесено з координатною прив'язкою на супутникове фото сервісу Google Earth (рис. 3).

Таблиця 1 / Table 1

Розраховані показники радіусів лінзи та площ забруднення /
Calculated values of lens radii and contamination areas

Висота стовпа рідини (h),м	Ємність № 5			Ємність № 7			Площа, S, м ²
	R ₁ , м	R ₂ , м	R ₃ , м	R ₁ , м	R ₂ , м	R ₃ , м	
$h_1=0,5$	11,3			22,6			2691
$h_2=0,3$		14,57			32,58		4169
$h_3=0,1$			25,24			56,5	10306



Рис. 3. Результат апроксимації розрахованої площі розповсюдження нафтопродуктів у зоні аерації з координатною прив'язкою до супутникового фото сервісу Google Earth.

Умовні позначки: 1 – свердловина польового спостереження, 2 – контур забруднення з $h_1=0,5$ м, 3 – контур забруднення з $h_2=0,3$ м, 4 – контур забруднення з $h_3=0,1$ м /

Fig. 3. The result of approximation of the calculated area of oil products spreading in the aeration zone with coordinate reference to the Google Earth satellite photo service

Рекомендації щодо очищення території від СНП.

Проведені дослідження сприяли визначенню науково-обґрунтованих способів ліквідації наслідків розливу СНП. Досить ефективним способом усунення забруднення є відкачування забрудненої рідини із свердловин (механічний збір [20]), які необхідно облаштувати в оконтуреній зоні ураженої території. Саме тому, було здійснене буріння 140 свердловин глибиною до 5,2 м, діаметром 0,11-0,168 м, загальним метражем 710 м, які дали можливість запобігти розповсюдженню політанта за рахунок відкачування нафтопродуктів. Більш того, такий спосіб дозволив повторне використання нафтопродуктів після додаткового очищення. Інший рекомендований підхід - створення геохімічного бар'єру або сорбентної екранізації. По своїй суті, такий екран виконує роль своєрідного фізичного та геохімічного бар'єру між джерелом аварійного скиду політанта та зоною аерації. Параметри (площа, потужність шару забрудненої рідини) на аварійно-небезпечній території визначені геоморфологічними особливостями конкретної місцевості.

Висновки.

Забруднення довкілля нафтопродуктами є одним з найбільш масштабних та небезпечних видів техногенного впливу на навколишнє середовище. Визначення параметрів ореолу забруднення та його інтенсивності здійснено на основі проведення комплексу інженерно-геологічних, гідрогеологічних та морфологічних досліджень з використанням сучасних програмних продуктів для математичного моделювання та платформи су-

путникових знімків Google Earth. В результаті оцінки створених у дослідженні математичних моделей поверхневого стоку, поверхні рівня ґрунтових вод, локального підземного градієнту потоку підземних вод й поверхні рідини – політантів, встановлено: що поверхневий стік здійснюється від цистерн № 5 (пошкоджена), № 6, № 7 (зруйнована), № 8 у основному напрямку з північного-західного на схід; напрямлення потоку лінзи забруднення (рідини з політантом) показує акумуляційну здатність в зоні депресії, яка виражена у вигляді пониження абсолютних відміток природної літологічної товщі з перепадом висот близько 0,4 м (простягання зони орієнтовано з півночі на південь, саме вона розглядається як зона максимального накопичення рідини з нафтопродуктів).

За результатами проведених розрахунків висота стовпа лінзи забруднення склала $h_{роз} = 0,3$ м. При цьому показнику площа забруднення налічує 4169 м^2 , об'єм забруднення – $1250,7 \text{ м}^3$ який відповідає заявленим збиткам (витоку). Але, враховуючи анізотропію фільтраційних властивостей літологічних різновидів у різних напрямках усередині зони аерації, присутність розчиненої води за рахунок дисперсії, наявність локальних акумуляційних депресій літологічної товщі варіанти з іншими показниками h (0,5 м та 0,1 м) також прийнятні. Розраховані та апроксимовані сумарні площі розповсюдження ареалу нафтопродуктів у зоні аерації винесено з координатною прив'язкою на супутникове фото сервісу Google Earth. Проведені дослідження дозволили надати практичні рекомендації щодо очищення території від СНП та

їх повторного використання після очищення, запобігти розповсюдженню поллютанту за рахунок відкачування нафтопродуктів зі змодельованої та фактично підтвердженої лінзи забруднення.

Список використаної літератури

1. Kabyl, A. Bibliometric Analysis of Accidental Oil Spills in Ice-Infested Waters [Текст] / Almat Kabyl, Ming Yang [et al.] // Int. J. Environ. Res. Public Health. – 2022. – Vol. 19, No. 22. – P. 15190. <https://doi.org/10.3390/ijerph192215190>
2. Bai, X. Health Risk Assessment of Groundwater Contaminated by Oil Pollutants Based on Numerical Modeling [Текст] / X. Bai, K. Song [et al.] // Int. J. Environ. Res. Public Health. – 2019. – Vol. 16, No. 18. – P. 3245. <https://doi.org/10.3390/ijerph16183245>
3. Raja, S. Equilibrium models for predicting areas covered by accidentally spilled liquid fuels and an assessment of their efficacy / S. Raja, T. Abbasi [et al.] // Process Safety and Environmental Protection. – 2019. Vol. 130. P. 153–162. <https://doi.org/10.1016/j.psep.2019.08.009>
4. Гаврилюк Р.Б. Типізація умов формування осередків нафтохімічного забруднення на військових аеродромах України [Текст] / Р.Б. Гаврилюк, Ю.В. Загородній, О.І. Плюсінна // Київ: ІГН НАН України, 36. наук. пр. Інституту геологічних наук НАН України. – 2009. – Вип. 2. – С. 245–251.
5. Огняник М.С. Розвиток моніторингових досліджень підземних вод, забруднених нафтопродуктами [Текст] / М.С. Огняник, А.Л. Брикс, Р.Б. Гаврилюк // Геологічний журнал. – №1 (358). – С. 37–46. <https://doi.org/10.30836/igs.1025-6814.2017.1.99650>
6. Брикс А.Л. Формирование зоны нефтехимического загрязнения вблизи дендропарка «Александрья» (г. Белая Церковь) [Текст] / А.Л. Брикс, Ю.А. Негода // Геологічний журнал. – №4 (325). – С. 106–112.
7. Велин А. С. Особенности миграции углеводородов в грунтах зоны аэрации и подземных водах в местах расположения крупных нефтехранилищ [Текст] / А.С. Велин // Вестник ВГУ. Серия Геология. – 2017. – № 1. – С. 142–147 <https://doi.org/10.17308/geology.2018.1/1464>
8. Бодачівська Л.Ю. Запобігання розповсюдженню та ліквідація вуглеводневих забруднень [Текст] / Л.Ю. Бодачівська // Екологія довкілля та безпека життєдіяльності. – 2008. – №5. – С. 55–58.
9. Bricks A. L. Hazard of petrochemical pollution of ponds of the “Olexandria” arboretum (Bila Tserkva) [Текст] / A.L. Bricks, R.B. Gavryliuk, Yu. O. Negoda // Journ. Geol. Geograph. Geocology. – 2020. – 29 (2). – С. 243–251 <https://doi.org/10.15421/112022>
10. Абрамов Ю. О., Басманов О. С., Олійник В. В. Моделирование розтікання горючої рідини внаслідок аварії на залізничному транспорті [Текст] / Ю.О. Абрамов, О.С. Басманов, В.В. Олійник // Проблеми надзвичайних ситуацій. – 2021. – № 1(33). – С. 30–41.
11. Д'яченко Н.О. Оцінка аварійного розливу світлих нафтопродуктів [Текст] / Н.О. Д'яченко, О.М. Савлущинський [та інші.] // Сталый розвиток: захист навколишнього середовища. Енергоощадність. Збалансоване природокористування. VII Міжнародний конгрес, 12–14 жовтня 2022, Україна, Львів: Збірник матеріалів. – Київ: Яроченко Я.В. – 2022. – С. 82. <https://doi.org/10.51500/7826-07-0>
12. Улицький О.А. Методика застосування ортотрансформованих космічних знімків для оцінки стану навколишнього середовища [Текст] / О.А. Улицький, В.М. Єрмаков, В.М. Луньова, О.В. Буглак // Космічна наука і технологія. – 2019. – № 25 (4). – С. 48–56. <https://doi.org/10.15407/knit2019.04.048>
13. Krcho J. Morphometric analysis and digital elevation models [Текст] / J. Krcho. – Bratislava: VEDA. – 1990. – 427 p. [in Slovak]
14. Д'яченко Н.А. Особенности выявления зон деформационных аномалий земной поверхности и расшифровка их геологической природы в условиях подработки массива горных пород [Текст] / Н.А. Д'яченко, Е.А.Панова, [та інші.] // 36. наук. праць ДонНТУ: серія гірничо-геологічна. – 2006. – Вип. 111. – С. 119–128.
15. Newell, C. Light Nonaqueous Phase Liquids / Charles J. Newell, Steven D. Acree [et al.] // Environmental Research Laboratory Ada. Oklahoma. – 2015. – 28 p. URL: <https://www.epa.gov/sites/default/files/2015-06/documents/lnapl.pdf>.
16. Огняник Н.С. Основы изучения загрязнения геологической среды легкими нефтепродуктами [Текст] / Н.С. Огняник, Н.К. Парамонова [та інші.]. – Київ: [А.П.Н.]. – 2006. – 278 с.
17. Гаврилюк Р.Б. Типізація умов формування осередків нафтохімічного забруднення на військових аеродромах України [Текст] / Р.Б. Гаврилюк, Ю.В. Загородній, О.І. Плюсінна // 36. наук. праць ІГН НАН України. – 2009. – Вип. 2. – С. 245–251.
18. Schwille, F. Groundwater pollution by mineral oil products [Текст] / F. Schwille // Roceedings of the moscow Symposium. – 1975. – No 103. – P. 226–240.
19. Mercer. J. A Review of immiscible fluids in the subsurface: Properties, models, characterization and remediation [Текст] / J. Mercer, R. Cohen // Journal of Contaminant Hydrology. – 1990. – V. 6. – Issue 2. – P. 107–163.
20. Назаренко С.К. Сучасні методи ліквідації аварійних розливів нафти на водних об'єктах суходолу [Текст] / С.К. Назаренко, Л.М. Архипова // Науковий вісник ІФНТУНГ. – 2016. – № 1(40). – С. 72–79.

Внесок авторів: всі автори зробили рівний внесок у цю роботу

Studies of oil product pollution in the aeration zone by mathematical modelling

Oleg Ulytsky¹

DSc (Geology), Professor, Director of Educational Scientific Institute «Ecosecurity and Management»,

¹ State Ecology Academy of Postgraduate Education and Management,
35 Metropolitan Vasyl Lypkivskiy St., corps 2, Kyiv, 03035, Ukraine;

Natalia Diachenko¹

PhD (Geology), Senior Research, Associate Professor
of the Department of Environmental Safety;

Armen Sokolov¹

MSc student;

Olga Serdiukova²

Senior Lecturer, Department of Fundamental and Applied Geology,

² V.N. Karazin Kharkiv National University, 4 Svobody Sq., Kharkiv, 61022, Ukraine

ABSTRACT

Formulation of the problem. The article presents the results of a study to assess the pollution of the aeration zone due to the leakage of oil products as a result of the destruction of the «Amik» oil depot during the military operations in the town of Borodyanka. The destruction of the tanks resulted in an immediate leakage of light oil products onto the soil of the surrounding area. The result was a technogenic environmental situation that required immediate determination of the mechanisms of accidental penetration of pollutants into the soil and groundwater, determination of the area of contamination and scientifically sound methods of soil remediation of oil products. The article highlights the issues of organising mathematical modeling of various data for solving applied problems using Google Earth data.

Materials and methods. In order to assess the contamination area and determine the mechanism of accidental penetration of oil products into the soil and groundwater, the existing models of pollutant penetration in case of accidental oil spill were analysed and mathematical spatial models of geomorphological, hydrogeological, engineering-geological and experimental filtration data were created using interpolation, mathematical approximation and gradient analysis. The latter made it possible to identify the directions of surface and groundwater flow both in the local area of the oil depot and in adjacent areas. Using the investigation and filtration parameters obtained during the field work, hydraulic gradients and soil filtration coefficients were calculated, and a spatial mathematical model of the local subterranean gradient of groundwater flow was created.

Results. It was shown that the direction of the underground flow is controlled by a zone of local depression, which is expressed by a decrease in the absolute height of the natural lithological layer with a height difference of about 0.4 m or the maximum values of the height of the contamination lens. The direction of extension of this zone has been determined to be from north to south. This zone can be considered the zone of maximum accumulation of liquid with oil products.

Based on the survey results, the thickness of the contamination lens was calculated to be 0.3 m on average. Using this indicator, the area of contamination is 4169 m², the volume of contamination is 1250.7 m³, which corresponds to the claimed damage. However, taking into account the anisotropy of the filtration properties of the lithological types in different directions within the aeration zone, the presence of dissolved water due to dispersion and the presence of local accumulation depressions in the lithological strata, options with other indicators (0.5 m / 0.1 m) are also acceptable. The calculation of the contamination areas was carried out taking into account the power variations. The approximate total areas of oil product distribution in the aeration zone were plotted with reference to Google Earth imagery.

Conclusions. The research enabled practical recommendations to be made for cleaning up the area of oil products and preventing the spread of the pollutant by pumping oil products out of the modelled and actually confirmed pollution lens. In accordance with the recommendations, 140 wells were drilled to a depth of 5.2 m, with a diameter of 0.11-0.168 m and a total length of 710 m, which made it possible to prevent the spread of the contaminant by pumping out the oil products and reusing them after clean-up.

Keywords: oil products, pollution lens, aeration zone, mathematical model, pilot filtration, surface runoff, probe wells, flow gradient, emergency, GIS project.

References

- 1 Kabyl, A., Yang, M., Shah, D., Ahmad, A. (2022). Bibliometric Analysis of Accidental Oil Spills in Ice-Infested Waters. *Int. J. Environ. Res. Public Health*, 19 (22), 15190; DOI: <https://doi.org/10.3390/ijerph192215190>
- 2 Bai, X., Song, K., Liu, J., Khalifa, A., Mou, C. (2019). Health Risk Assessment of Groundwater Contaminated by Oil Pollutants Based on Numerical Modeling. *Int. J. Environ. Res. Public Health*, 16, 3245; DOI: <https://doi.org/10.3390/ijerph16183245>
- 3 Raja, S., Abbasi, T., Tausef, S., Abbasi, S. (2019). Equilibrium models for predicting areas covered by accidentally spilled liquid fuels and an assessment of their efficacy. *Process Safety and Environmental Protection*, Vol. 130, P. 153–162. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.psep.2019.08.009>

- 4 Gavrilyuk R.B., Zagorodnyi Y.V., Plyusnina O.I. (2009). Conditions typification of petroleum contamination spreading at military airfields in Ukrainian. *Journal of scientific papers of the Institute of Geological Sciences of the National Academy of Sciences of Ukrainian*. 2, 245-251 [in Ukrainian].
- 5 Ognianik, N.S., Bricks, A.L., Havryliuk, R.B. (2017) Development of the monitoring recherche of groundwater contaminated by petroleum products. *Geological Journal*, 1 (358), 37-46. DOI: <https://doi.org/10.30836/igs.1025-6814.2017.1.99650> [in Ukrainian]
- 6 Bricks, A.L., Negoda, Yu.A. (2008). Oil contamination zone forming near the territory of dendrological park «Aleksandria». *Geological Journal*, 4 (325), 106-112 [in Ukrainian].
- 7 Velin, A. S. (2017). Peculiarities of migration of hydrocarbons in the soils of the aeration area in the locations of large oil reservoirs. *Proceedings of VSU. Series: Geology*, 1, 142-147 DOI: <https://doi.org/10.17308/geology.2018.1/1464>
- 8 Bodachivska L.Y. (2008). Prevention of the spread and elimination of hydrocarbon pollution. *Environmental ecology and life safety*, 5, 55-58 [in Ukrainian].
- 9 Bricks, A. L., Gavryliuk, R. B., Negoda, Yu. O. Hazard of petrochemical pollution of ponds of the «Olexandria» arbo-retum (Bila Tserkva). (2020). *Journ. Geol. Geograph. Geoecology*, 29 (2), 243–251. DOI: <https://doi.org/10.15421/112022>
- 10 Abramov Y. O., Basmanov O. E., Oliynyk V. V. (2021). Modeling of the spreading of combustible liquid as a result of an accident on railway transport. *Problems of emergency situations*, 1(33), 30-41 [in Ukrainian].
- 11 Diachenko, N.O., Savluchynskyi, O.M., Ulytsky, O.A. (2022). Evaluation of an emergency spill of light petroleum products. Sustainable development: environmental protection. Energy saving. Balanced nature management. Collection of materials of the VII International Congress (12-14 october 2022). Kyiv: E. Y. V. Yarochenko, Collection of abstracts. P. 82. DOI: <https://doi.org/10.51500/7826-07-0> [in Ukrainian].
- 12 Ulytsky, O., Yermakov, V., Lunova, O., Buglak, O. (2019). Technique for orthotransformed satellite imagery application in environmental assessment. *Space Science and Technology*, 25 (4). 48-56. DOI: <https://doi.org/10.15407/knit2019.04.048> [in Ukrainian].
- 13 Krcho, J. (1990). *Morphometric analysis and digital elevation models*. Bratislava: VEDA [in Slovak], 427.
- 14 Diachenko, N.A., Panova, E.A., Privalov, V.A. (2006). Features of detection of zones of deformation anomalies of the earth's surface and decoding of their geological nature in the conditions of rock masses mining. *Collection of scientific works of Donetsk National Technical University: Mining and Geological Series*, 111, 119-128.
- 15 Charles J. Newell, Steven D. Acree, Randall R. Ross, and Scott G. Huling. (2015). *Light Nonaqueous Phase Liquids*. Environmental Research Laboratory Ada, Oklahoma, 28. URL: <https://www.epa.gov/sites/default/files/2015-06/documents/lnapl.pdf>
- 16 Ognyanik N.S., Paramonova N.K., Brix A.L. et al. (2006). *Fundamentals of the study of pollution of the geologic environment by light oil products*. Kiev: [A.P.N.], 278 [in Ukrainian].
- 17 Gavryliuk, R.B. Zagorodnyi, Yu.V., Plyusnina, O.I. (2009). Typification of conditions for the formation of petrochemical pollution centers at military airfields of Ukrainian Collection of scientific works of the Institute of Geological Sciences of the National Academy of Sciences of Ukrainian, 2, 245-251 [in Ukrainian].
- 18 Schwille, F. (1975). Groundwater pollution by mineral oil products. *Roceedings of the moscow Symposium*, 103, 226–240.
- 19 Mercer, J. Cohen, R. (1990). A Review of immiscible fluids in the subsurface: Properties, models, characterization and remediation. *Journal of Contaminant Hydrology*, 6, 2, 107–163.
- 20 Nazarenko, S.K., Arkhipova, L.M. (2016). Modern methods of liquidation of emergency oil spills on water bodies of land. *Scientific Bulletin of Ivano-Frankivsk National Technical University of OG*, 2016, 1(40), 72-79 [in Ukrainian].

Authors Contribution: All authors have contributed equally to this work

Received 21 September 2023

Accepted 29 October 2023

Поліхронно-полігенна просторово-парагенетична ільменітоносність Букінської ділянки Межирічного родовища титанових руд

Любов Фігура¹

к. геол. н., ст. наук. співробітник,¹ Інститут геологічних наук НАН України,

вул. Олеся Гончара, 55-б, м. Київ, 01601, Україна,

e-mail: liuba_figura@ukr.net,  <https://orcid.org/0000-0001-8009-2854>;

Мирон Ковальчук¹

д. геол. н., професор, зав. відділом літології,

e-mail: kms1964@ukr.net,  <https://orcid.org/0000-0001-9265-9707>

Наведено відомості щодо геологічної будови Букінської ділянки Межирічного родовища титанових руд. З'ясовано, що рудоносний потенціал Букінської ділянки визначений полігенно-поліхронною просторово-парагенетично пов'язаною рудною системою, яка складена титановмісними породами кристалічного фундаменту Володарськ-Волинського комплексу, їхніми корами вивітрювання, нижньокрейдовими континентальними (іршанська світа, апт-альб), верхньокрейдовими узбережно-морськими (мошно-руднянська світа, турон) продуктами розмиву і перевідкладення елювію і меншою мірою і частково різногенетичними утвореннями четвертинної системи. Основний рудоносний потенціал ільменіту Букінської ділянки міститься в корі вивітрювання кристалічних порід фундаменту та апт-альбських алювіальних відкладах, які виповнюють поховані річкові палеодолини та утворилися за рахунок розмиву і перевідкладення елювію. На базі координат, опису і опробування 1613 свердловин створена цільова база даних, на основі якої побудовано комплект карт (карти латерального розподілу середнього вмісту ільменіту в кристалічних породах фундаменту, у жорстві і елювіальних каолінах кори вивітрювання, у флювіальних каолінах і пісках іршанської світи, у піщано-кременевих породах мошно-руднянської світи; карта рельєфу поверхні кристалічних порід фундаменту, карти рельєфу підшови, поверхні і товщини жорстви, елювіальних каолінів, перевідкладених каолінів і пісків іршанської світи, піщано-кременевих порід мошно-руднянської світи) та досліджено структурні (характер рельєфу підшови, поверхні, товщина) і речовинні (літологічний склад, латеральний і вертикальний розподіл ільменіту) параметри рудовміщувальних відкладів. Досліджено напрямленість і силу кореляційних зв'язків між рельєфом підшови і покривлі ільменітвмісних порід; між вмістом ільменіту і товщиною рудовмісних утворень; між товщиною рудовмісних утворень і рельєфом їхньої підшови. З'ясовано особливості розподілу ільменіту у вертикальному перетині різновікових і різногенетичних утворень.

Ключові слова: Коростенський плутон, Межирічне родовище, Букінська ділянка, ільменітоносність, кристалічні породи фундаменту, кора вивітрювання, відклади крейдової системи, іршанська та мошно-руднянська світи.

Як цитувати: Фігура Любов. Поліхронно-полігенна просторово-парагенетична ільменітоносність Букінської ділянки Межирічного родовища титанових руд / Любов Фігура, Мирон Ковальчук // Вісник Харківського національного університету імені В. Н. Каразіна, серія «Геологія. Географія. Екологія», 2023. – Вип. 59. – С. 55-71. <https://doi.org/10.26565/2410-7360-2023-59-05>

In cites: Figura Lubov, Kovalchuk Myron (2023). Polychronic-polygenic spatial-paragenetic ilmenite bearing of the Bukinska area of the Mezhyrichny deposit of titanium ores. Visnyk of V. N. Karazin Kharkiv National University, series "Geology. Geography. Ecology", (59), 55-71. <https://doi.org/10.26565/2410-7360-2023-59-05> [in Ukrainian]

Вступ. Україна входить до десятки провідних країн світу за обсягами розвіданих запасів руд титану та забезпечує понад 6% їх світового видобутку (Інвестиційний атлас..., 2021). У межах її території зосереджено 20% усіх розвіданих світових запасів титанової руди. Обліковано 27 родовищ і понад 30 рудопроявів різного ступеня вивченості (Інвестиційний атлас..., 2021). Основним титановмісним мінералом є ільменіт. Титан становить основну сировину у виробництві медпрепаратів, фарб, аерокосмічної продукції. Україна володіє найбільшими в Європі запасами та ресурсами титану і є однією з небагатьох країн, яка має у своєму розпорядженні унікальну титанову галузь, представлену як сировинними, так і промисловими підприємствами (Таранюк, Макаренко, 2019). Титанова підгалузь є єдиною в кольоровій металургії України, яка має практично повний виробничий цикл, що дозволило державі зайняти

провідне місце серед країн виробників титанової губки, пігменту двоокису титану, титанових концентратів (Таранюк, Макаренко, 2019, Mineral Commodity..., 2020). Проблема забезпечення вітчизняної промисловості титановою сировиною має стратегічне значення для економіки і для розвитку й функціонування військово-промислового комплексу держави. Майже 55% металевого титану використовується у світі для потреб промисловості, 29% – для космічної галузі і 8% – для воєнно-промислового комплексу (Битва за титан, 2023). Таким чином, країни, які володіють значними запасами титанових мінералів і сучасними технологіями їх обробітку будуть займати провідні місця у світі за економічною та воєнною потужністю (битва за титан). Серед восьми районів, в яких зосереджено основні запаси високоякісних титанових руд, одним з найбільш значущим і розвіданим є Волинський, у межах якого поширені

ендогенні (апатит-ільменітові, апатит-ільменіт-титаномagnetитові), елювіальні (апатит-ільменітові, ільменітові) і розсипні (цирконій-титанових мінералів з апатитом) родовища (Державна геологічна карта, 2001; Гурський та ін., 2005; Титановые..., 1967). Серед найбільших і найрозвіданіших розсипних родовищ континентального генезису є Межирічне, розташоване в межах Волинського мегаблоку, в центральній частині Коростенського плутону, в північно-східній частині Володарсько-Волинського масиву, в Житомирському та Коростенському районах Житомирської області, на вододілі річки Ірша й її притоки річки Тростяниці. (Титановые..., 1967; Фігура, Ковальчук, 2022). Родовище є південним обрамленням Іршинського титанового регіону, в межах якого ільменітові розсипи – це типові розсипи ближнього знесення, які тісно просторово та парагенетично пов'язані з корінними джерелами – ільменітовмісними породами габро-анортозитового комплексу (Гурський та ін., 2005; Титановые..., 1967; Фігура, Ковальчук, 2022; Цымбал и др., 1977). Ільменітові концентрати з Іршинських розсипів призначені для сірчаноокислотної переробки на пігментний діоксид титану (70% від загального випуску), для металургійної переробки на титан (20%), для виробництва феросплавів (10%).

Першочерговим завданням, спрямованим на забезпечення потреб у власній титановій сировині, є якнайшвидше введення в експлуатацію родовищ, в яких просторово-парагенетично поєднуються різногенетична та різновікова рудоносність і, які є достатньо детально дослідженими. Такі полігенно-поліхронні просторово-парагенетичні рудоносні об'єкти загалом володіють значним рудоносним потенціалом, зосередженим на різних стратиграфічних рівнях і є інвестиційно привабливими (Ковальчук, Сукач, 2018; Ковальчук, 2019). До таких об'єктів належить Межирічне родовище, в межах якого виокремлено декілька ділянок, серед яких – Букінська, запаси якої зараз перебувають в резерві (Титановые..., 1967; Фігура, Ковальчук, 2022).

Матеріали та методи дослідження. Методико-методологічною основою досліджень були напрацювання відділу літології Інституту геологічних наук НАН України зі структурно-літологічного моделювання розсипів важких мінералів, які апробовані на золототомісних, монацитових, ільменітових і циркон-ільменітових розсипах Українського щита та оприлюднені на наукових конференціях різного рівня, у наукових статтях і колективних монографіях (Ковальчук, Сукач, 2018; Фігура, Ковальчук, 2022; Хрущов та ін., 2017). Фактичним матеріалом для досліджень розсипів Букінської ділянки були виробничі звіти (Рубан Н.И. Генеральный подсчет запасов титана

по Междуречному и Лемненскому россыпным месторождениям ильменита по состоянию на 01.01.1959 г. Отчет о результатах геолого-поисковых и разведочных работ, выполненных Житомирской экспедицией в бассейнах р. Ирши и верхнего течения р. Уж в Житомирской области. Киев, 1959; Дудрович Е.Ю., Мухин Ю.М., Трохименко В.М. Отчет о детальных геологоразведочных работах, выполненных геологоразведочной партией Иршинского ГОКа на Букинском участке Междуречного месторождения Житомирской области УССР в 1976-77 гг. с подсчетом запасов двуокиси титана на 01.07.1978 г. Иршанск, 1978; Костенко М.М. та ін. Геологічна будова та корисні копалини басейну верхньої течії р. Уж. Звіт геологозйомного загону № 10 Житомирської КГРП і Правобережної геофізичної партії за 1991-99 рр. по геологічному довивченню масштабу 1:200000 території аркуша М-35-ХІ (Коростень). Київ: Геоінформ, 1999; Нестеренко Т. Звіт «Повторна геолого-економічна оцінка запасів Межирічного родовища титанових руд (ділянки Середня, Емільвська, Юрська, Осінова та Букінська)». Кривий Ріг, 2018) та наукові публікації (Титановые..., 1967; Фігура, Ковальчук, 2022; Цымбал и др., 1977).

Для картографічного моделювання структури (гіпсометрії покрівлі та підшви рудоносних відкладів та їх товщини) та якісних показників (розподіл вмісту ільменіту за латераллю і у вертикальному перетині свердловин) рудоносних порід була створена цільова база даних, яка містить дані координат 1635 свердловин, їх опис, результати опробування. Картографічні побудови здійснено з використанням ГІС-технологій у програмних забезпеченнях Inkscape, Golden Software Strater, Golden Software Surfer. Для побудови карт латерального розподілу ільменітоносності відкладів використовувався його середній вміст у свердловині. Кореляційні зв'язки між певними параметрами рудовмісних відкладів досліджувалися в Microsoft Excell.

Аналіз попередніх досліджень. Підвищений вміст ільменіту в корі вивітрювання основних порід Волинського габро-анортозитового масиву та в алювії р. Ірша (с. Стара Борова Рудня) були встановлені в 1928–1938 рр. під час геологічної зйомки масштабу території під керівництвом С.В. Бельського, Ф.А. Піонтковського та інших (Титановые..., 1967). Протягом цього періоду Волинською експедицією Інституту прикладної мінералогії було здійснено (1930–1931 рр.) розвідку деяких ділянок ільменітовмісної кори вивітрювання Волинського масиву основних порід та алювіальних відкладів русла р. Ірша, а геологічними партіями Київського геолого-гідро-геодезичного тресту виконано роботи (1935 р.) з дослідження ільменітоносності кори вивітрювання, алювію р. Ір-

ша та її притоків (Титановые..., 1967). Комплексна геологічна карта УРСР, аркуш М–35–Б, яка охоплювала район Межирічного родовища була складена у 1945 р. Геологічна партія № 1 ГРЕ № 19 тресту «Союзспецрозвідка» у 1950 р. встановила підвищений вміст ільменіту в алювії долини р. Ірша поблизу села Старики, що дало підстави продовжити пошуки і розвідку розсипів ільменіту. З 1952 року змінилася стратегія пошуку розсипів ільменіту на відкриття давніх похованих розсипів, яка увінчалася успіхом у 1954 році, коли на підставі результатів буріння трьох магістральних ліній на межиріччі Ірші-Тростяниці, було відкрите поховане розсипне родовище ільменіту – Межирічне (Титановые..., 1967). Упродовж 1953–1958 рр. Житомирською експедицією було відкрито родовища титану у корі вивітрювання кристалічних порід фундаменту і в континентальних флювіальних відкладах осадового чохла.

Подальша розвідка і комплексне дослідження геологічної та геоморфологічної будови, речовинного складу рудоносних порід сприяли виокремленню в межах родовища декількох ділянок з різним ступенем розвіданості і перспективності: Осінова, Юрська, Середня, Емільвська, Букінська, Ісаківська, Південна, Рихтинська (Титановые..., 1967; Фігура, Ковальчук, 2022). Геологорозвідувальною партією Іршинського гірничозбагачувального комбінату упродовж 1976–1977 рр на Букінській ділянці здійснено геологорозвідувальні роботи в результаті яких були підраховані запаси двоокису титану. У 2001 р. за матеріалами геологічного довивчення території аркуша М-35-ХІ (Коростень), яке було здійснено геолого-знімальним загonom № 10 Житомирської Комплексної геолого-розвідувальної партії «Північгеологія» разом із Правобережною геофізичною партією протягом 1991–1999 рр., складено Державну геологічну карту України (Костенко та ін., 2001). З 1995 року на Межирічному родовищі триває експлуатаційне буріння. У 2015 році отримано Спеціальний дозвіл на користування надрами Межирічного родовища з метою видобування титанових руд для отримання ільменітового концентрату та піску; 2017 року відбулась повторна геолого-економічна оцінка залишку усіх виявлених запасів корисних копалин на ділянках Середня, Емільвська, Юрська, Осінова та Букінська із розглядом і затвердженням їх Державною комісією України по запасах корисних копалин; 2018 року здійснено повторну геолого-економічну оцінку запасів Межирічного родовища титанових руд. (Фігура, Ковальчук, 2022). У результаті названих робіт були охарактеризовані геологічна будова родовища, морфологія рудних тіл; речовинний склад і технологічні властивості руд за геолого-промисловими типами; технології збагачення руд

і перспективи промислової переробки концентратів; гідрогеологічні, інженерно-геологічні та гірничотехнічні умови розробки родовища; оцінено вплив розробки родовища на стан довкілля; висвітлена методика геологорозвідувальних робіт.

Серед інших ділянок родовища, Букінська ділянка залишилася найменше охарактеризованою, через те, що її запаси перебувають у резерві. Поза увагою Букінську ділянку залишили й науковці. Дана стаття покликана ліквідувати цей пробіл і дати комплексну оцінку ільменітоносності різногенетичних і різновікових утворень, які у сукупності складають рудоносний потенціал ділянки.

Мета публікації. Дослідити ільменітоносність полігенно-поліхронної просторово-парагенетичної рудоносної системи в межах Букінської ділянки, яка складена рудоносними породами фундаменту, їх корою вивітрювання, континентальними алювіальними (апт-нижньоальбськими) відкладами (утворилися за рахунок розмиву і перевідкладення елювію) та узбережно-морськими (туронськими) утвореннями (утворилися за рахунок розмиву і перевідкладення нижньокрейдового алювію і частково кори вивітрювання).

Результати досліджень. Букінська ділянка займає східний фланг Межирічного родовища і безпосередньо прилягає до північно-західної околиці села Буки (рис. 1). На півдні ділянки протікає р. Добринка.

У геологічній будові Букінської ділянки беруть участь різні за віком і генезисом породи кристалічного фундаменту, їхня кора вивітрювання, мезозойські (нижньокрейдові континентальні та верхньокрейдові узбережно-морські), палеогенові (морські та континентальні), неогенові та четвертинні континентальні відклади (Титановые..., 1967; Фігура, Ковальчук, 2022).

Породи кристалічного фундаменту представлені утвореннями коростенського інтрузивного комплексу палеопротерозою; нестратифіковані утворення кристалічного фундаменту представлені переважно породами основного складу габро-анортозитового комплексу, серед яких домінують анортозити, габро-анортозити (Костенко та ін., 2001). У породах кристалічного фундаменту ільменіт утворює нерівномірну вкрапленість. Мінерал присутній у вигляді зростків з титаномagnetитом, голчастих індивідів у тріщинах піроксенів та інших нерудних мінералів, а також у вигляді окремих зерен розміром до 1,5 мм у складі анортозитів, габро-анортозитів; утворює вкрапленість у вигляді ізометричних, призматичних, ідіоморфних зерен, агрегатів розміром 0,03–3,0 мм і агрегатів на периферії зерен піроксену – у габро, габро-норитах та норитах (Титановые..., 1967; Фігура, Ковальчук, 2022).

На відміну від інших ділянок Межирічного



Рис. 1. Розташування Букінської ділянки на карті з порталу Google Earth Pro (контури ділянки подано в системі координат WGS-84) /

Fig. 1. The position of the Bukinska area on the map from the Google Earth Pro portal (the contours of the area are presented in the WGS-84 coordinate system)

родовища, у межах Букінської ділянки значні запаси ільменіту пов'язані з каоліновою корою вивітрювання. Кора вивітрювання кристалічних порід фундаменту має повсюдне поширення та вертикальну зональну будову. Промислово значуще зрушення ільменіту приурочене до кір вивітрювання габро-перидотитів і дрібнозернистого олівінового габро, де воно досягає 6-6,8 %. Максимальний вміст ільменіту в корі вивітрювання Букінської ділянки – $721,8 \text{ кг/м}^3$. Нижній горизонт кори вивітрювання представлений жорсткою з каоліном. Ільменіт слабо змінений і містить до 52 % TiO_2 . Верхній горизонт кори вивітрювання – це каолінітова порода з домішкою монтморилоніту. Тут ільменіт значно перетворений, зазнав регенерації та перекристалізації з утворенням зерен правильних обрисів і характеризується підвищеним вмістом TiO_2 (51,7-65,0 %); вміст сумарного заліза ($\text{FeO}+\text{Fe}_2\text{O}_3$) – 43,5-45,7%.

Континентальні флювіальні утворення іршанської світи (апт-нижній альб) виповнюють палеодепресії в корі вивітрювання кристалічних порід фундаменту. Вони представлені алювіальними і алювіально-делювіальними фаціями, які з розмивом залягають на корі вивітрювання кристалічних порід фундаменту, для яких вона є плотиком, а у разі її відсутності – на кристалічних породах фундаменту. Представлені нижньокрейдові відклади пісками каоліністими кварцовими, рідше кварц-польовошпатовими, різно-крупнозер-

нистими з гравієм і галькою кристалічних порід та флювіальними перевідкладеними каолінами піщанистими з гравієм та незначною кількістю дрібної гальки. Подекуди трапляються верстви пісків кварцових, грубозернистих і гравійних. Глинисті мінерали представлені каолінітом з підпорядкованим вмістом гідрослюд. Піски і каоліни самостійно складають розріз, перешаровуються між собою, утворюють одне в одному лінзи і прошарки. Типові геологічні розрізи Букінської ділянки представлено на рис. 2.

Максимальний вміст ільменіту (кг/м^3) в пісках – 1007,7; перевідкладених каолінах – 558,2; в делювіальних каолінах – 685,5.

Піщано-кремеві породи мошно-руднянської світи утворилися за мілководних узбережно-морських умов (Титановые..., 1967; Фігура, Ковальчук, 2022). Представлені відклади кременевим горизонтом з окремими, значної товщини прошарками і лінзами пісковика і окременілих вапняків, а також різнозернистими глауконіт-кварцовими пісками, у нижній частині горизонту зазвичай каоліністими, які виповнюють порожнини серед стяжінь кременю та утворюють невеликі прошарки. Верхня частина горизонту суттєво піщана. Залягають відклади здебільшого на утвореннях мошно-руднянської світи, іноді на корі вивітрювання кристалічних порід фундаменту. Вміст ільменіту до $527,8 \text{ кг/м}^3$.

Вище за розрізом залягають глини вуглисті

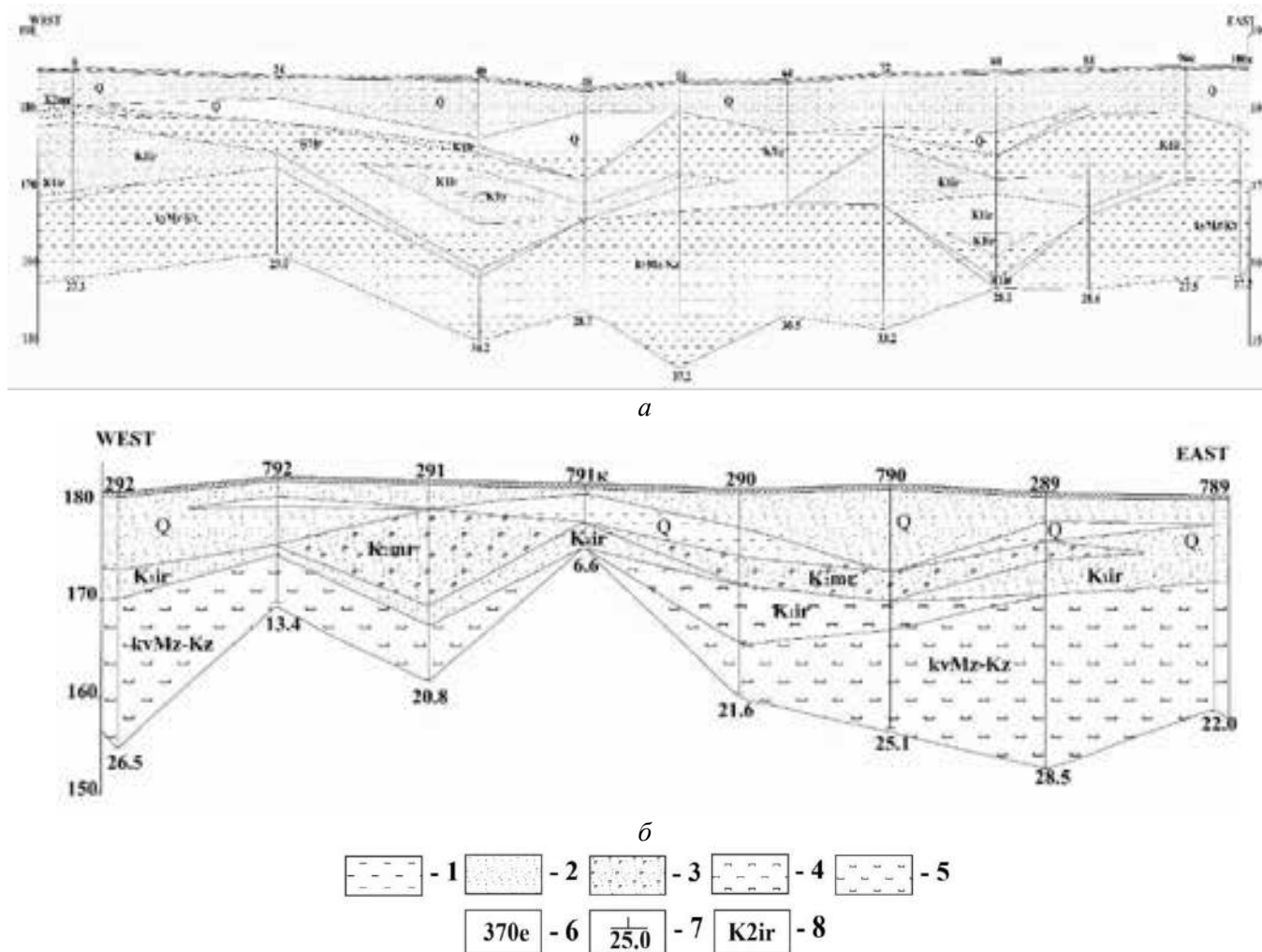


Рис. 2. Типові геологічні розрізи Букінської ділянки (побудовано за даними Нестеренко Т., 2018):

1 – суглинки, супіски; 2 – пісок; 3 – піщано-кремений горизонт; 4 – каолін перевідкладений, флювіальний; 5 – каолін елювіальний; 6 – номер свердловини; 7 – глибина свердловини; 8 – вік порід /

Fig. 2. A typical geological section of the Bukinska are (constructed according to the data of Nesterenko T., 2018):

1 – loam, sandy loam; 2 – sand; 3 – sand-silica horizon; 4 – redeposited, fluvial kaolin; 5 – eluvial kaolin; 6 – well number; 7 – depth of the well; 8 – the age of rocks

середнього еоцену, товщиною до 1,0 м, в яких вміст ільменіту досягає 8,2 кг/м³. Перекриваються вони утвореннями київської світи: глинами глауконітовими і пісками глауконітовими, глинистими товщиною до 2,0 м і 5,0 м відповідно і відповідним вмістом ільменіту 2,8 та 9,7 кг/м³. Відклади палеогену мають обмежене поширення. Над ними залягають підморенні (глини, суглинки, піски), моренні (суглинки, супіски) та надморенні (супіски, піски) відклади в яких максимальний вміст ільменіту встановлено у підморенних пісках (28,7 кг/м³). Завершують розріз четвертинні суглинки, супіски і піски в яких вміст ільменіту досягає 4,6-5,1 кг/м³.

Використовуючи координати 1613 свердловин, їх опис та дані опробування нами створено цільову базу даних, на основі якої побудовано ряд карт (карти латерального розподілу середнього вмісту ільменіту в кристалічних породах фундаменту, у жорстві і елювіальних каолінах кори

вивітрювання, у флювіальних каолінах і пісках іршанської світи, у піщано-кремєневих породах мошно-руднянської світи; карта рельєфу поверхні кристалічних порід фундаменту, карти рельєфу підшви, поверхні і товщини жорстви, елювіальних каолінів, каолінів і пісків іршанської світи та піщано-кремєневих порід мошно-руднянської світи) та графіки розподілу ільменіту у вертикальному перетині свердловин (рис. 3–7). Це дозволило дослідити структурні (характер рельєфу підшви, поверхні, товщина) і речовинні (літологічний склад, латеральний і вертикальний розподіл ільменіту) параметри рудовміщувальних відкладів. Глибина залягання поверхні кристалічних порід 2,0–47,5 м. Абсолютні відмітки покрівлі кристалічних порід фундаменту становлять 127,09–175,3 м (рис. 3 а). Товщина порід, на яку здійснювалося опробування – 0,15–17,4 м. Середньозважений вміст ільменіту 0,18–21,71 кг/м³ (рис. 3 б).

Рудне тіло кори вивітрювання пластової мор-

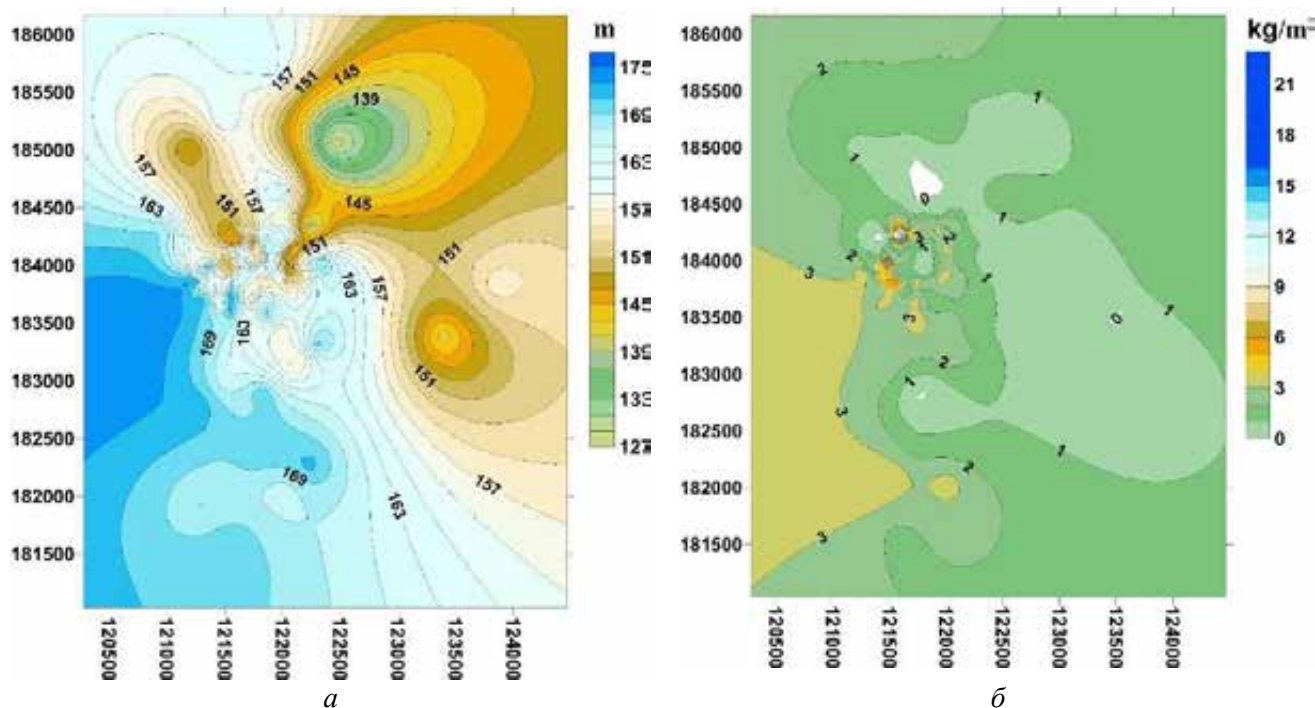


Рис. 3. Карти ізогіпс поверхні (а) кристалічних порід фундаменту та латерального розподілу в них середнього вмісту (кг/м³) ільменіту (б) /

Fig. 3. Maps of isogypses of the top (a) of the crystalline rocks of the foundation and lateral distribution in their of the average content (kg/m³) of ilmenite (b)

фології, має площове поширення, залягає горизонтально, субгоризонтально і складене каолінітом, монтморилонітом, гідрослюдами; в нижній частині профілю присутні неповністю розкладені породоутворювальні та рудні мінерали; у місцях понижень покрівлі незмінених корінних порід присутня їх жорстка та уламки.

Абсолютні відмітки підосви і покрівлі горизонту жорсткості становлять 180,1-142,2 м (перепад висот 37,9 м) та 143,6-183,1 м (перепад висот 39,5 м) відповідно; товщина – 0,4-14,0 м (рис. 4, а, б, в). Середньозважений вміст ільменіту становить 2,02-232,95 кг/м³ (рис. 4 г). Вміст ільменіту в жорсткості понад 150 кг/м³ приурочений до абсолютних відміток покрівлі і підосви 171,4-168,5 м та 166,5-169,4 м відповідно; товщина відкладів – 1,0-2,0 м.

Абсолютні відмітки підосви і покрівлі елювіальних каолінів становлять 180,1-127,09 м (перепад висот 53,01 м) та 151,3-182,2 м (перепад висот 30,9 м) відповідно; товщина – 0,5-38,05 м (рис. 5 а, б, в). Середньозважений вміст ільменіту становить 1,05-403,65 кг/м³ (рис. 5 г). Вміст ільменіту в каолінах понад 200 кг/м³ приурочений до абсолютних відміток покрівлі і підосви 170,99-165,1 м та 159,5-167,3 м відповідно; товщина відкладів – 0,5-8,1 м.

Алювіальні та алювіально-делювіальні розсипи залягають у формі горизонтальних та субгоризонтальних пластів, лінзоподібних тіл; часто лінійно видовжені в плані, рідше – мають форму

неправильних конфігурацій. Алювіально-делювіальні відклади залягають здебільшого у верхній частині континентальної товщі, зрідка – в базальній. Ширина алювіально-делювіальних розсипів іноді понад 1,0 км; товщина пласта розсипу становить 3,0-14,0 м збільшуючись до центральної частини ділянки. Середній вміст ільменіту на пласт становить 39-86 кг/м³.

Абсолютні відмітки підосви і покрівлі пісків іршанської світи становлять 187,1-161,5 м (перепад висот 25,6 м) та 153,3-184,07 м (перепад висот 30,77 м) відповідно; товщина 0,5-25,5 м (рис. 6 а, б, в). Середньозважений вміст ільменіту – 0,15-674,5 кг/м³ (рис. 6 г). Вміст ільменіту в пісках понад 500 кг/м³ приурочений до абсолютних відміток покрівлі і підосви 176,2-168,1 м та 165,5-173,2 м відповідно; товщина відкладів – 1,0-5,0 м. У переважній більшості рудне тіло представлено одним пластом, рідкісно – двома.

Абсолютні відмітки підосви і покрівлі перевідкладених каолінів іршанської світи становлять 186,5-158,6 м (перепад висот 27,9 м) та 154,6-180,90 м (перепад висот 26,3 м) відповідно; товщина 0,3-19,0 м (рис. 7 а, б, в). Середньозважений вміст ільменіту – 0,45-399,35 кг/м³ (рис. 7 г). Вміст ільменіту в каолінах понад 300 кг/м³ приурочений до абсолютних відміток покрівлі і підосви 177,7-174,37 м та 170,95-176,7 м відповідно; товщина відкладів – 1,0-5,0 м.

Абсолютні відмітки підосви і покрівлі піщано-кременевого горизонту мошно-руднянської

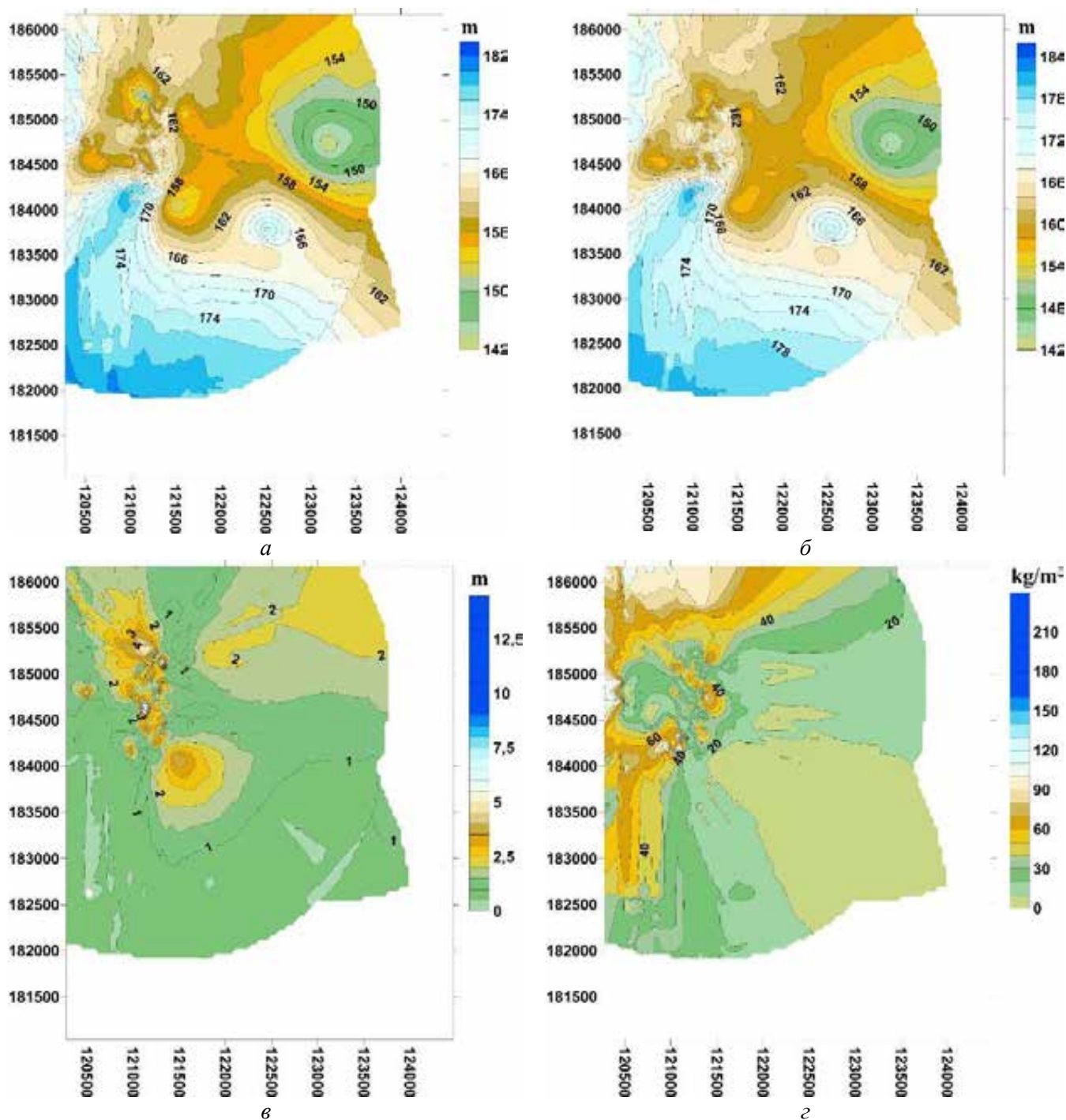


Рис. 4. Карти ізогіпс підосви (а), поверхні (б), ізопакіт товщини (в) жорстви та латерального розподілу в породі середнього вмісту (кг/м³) ільменіту (г) /

Fig. 4. Maps of isogypses of the bottom (a), of the top (b), isopachites of the thickness (c) of gruss and the lateral distribution in the rock of the average content (kg/m³) of ilmenite (d)

світи становлять 185,57-157,8 м (перепад висот 27,77 м) та 156,8-184,57 м (перепад висот 27,77 м) відповідно; товщина 0,5-14,0 м (рис. 8 а, б, в). Середньозважений вміст ільменіту – 0,1-382,05 кг/м³ (рис. 8 г).

Таким чином, морфологія ільменітвмісних відкладів кори вивітрювання, іршанської та мошно-руднянської світ складна, зі значними перепадами висот їхньої підосви і покрівлі – 25,6-53,01 м та 26,3-39,5 м відповідно. Рельєф підос-

ви і покрівлі здебільшого нерівний з западинами і підвищеннями (див. рис. 3 а; 4 а, б; 5 а, б; 6 а, б; 7 а, б; 8 а, б).

Між рельєфом підосви і покрівлі кристалічних порід фундаменту (нижня межа визначалася за глибиною опробування), жорстви кори вивітрювання, піщано-кременевого горизонту кореляційним аналізом встановлено прямий сильний кореляційний зв'язок («+» 0,962; «+» 0,939; «+» 0,862 відповідно); між рельєфом підосви і покрі-

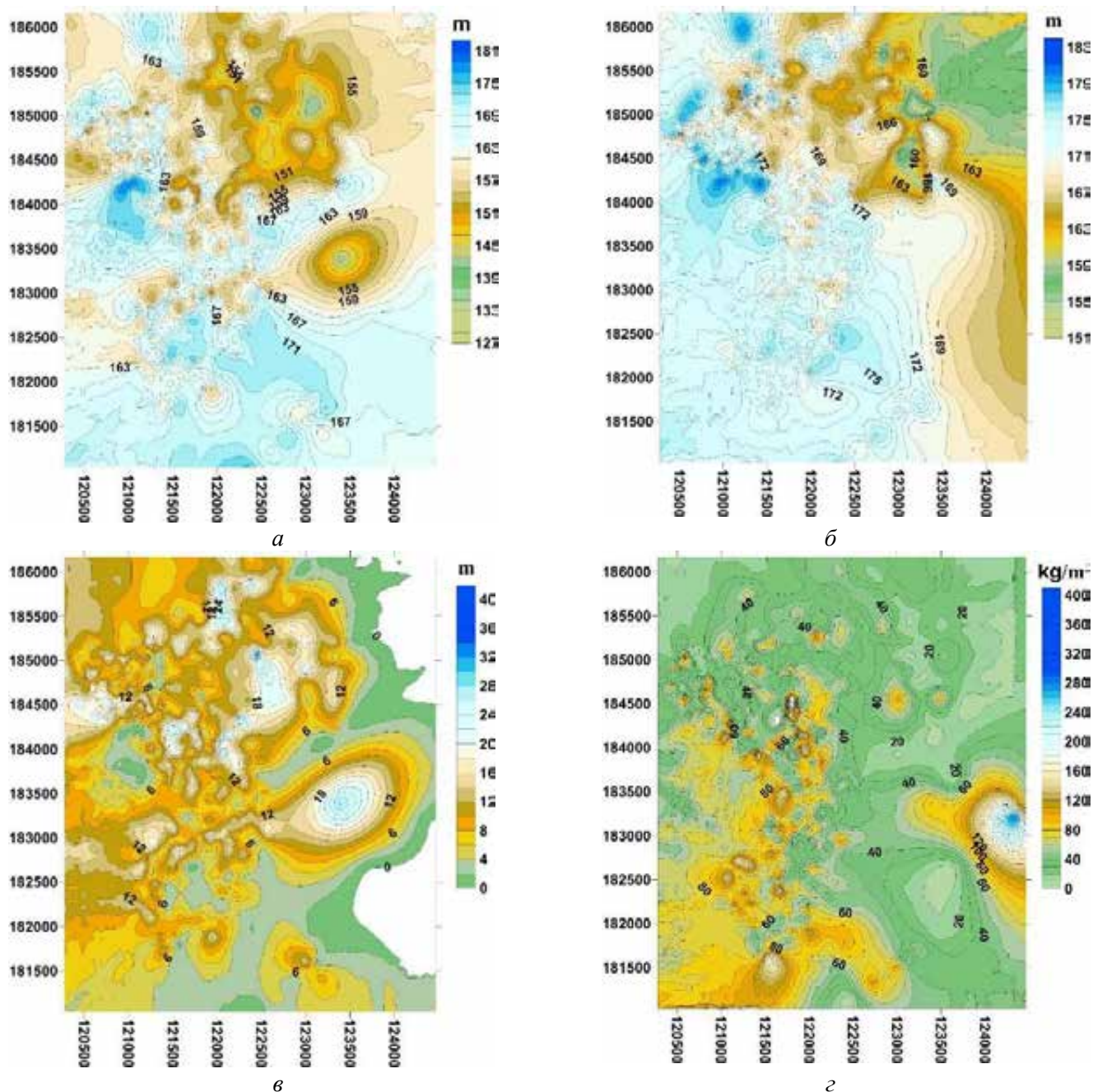


Рис. 5. Карти ізогіпс підшови (а), поверхні (б), ізопакіт товщини (в) елювіальних каолінів та латерального розподілу в породі середнього вмісту ($\text{кг}/\text{м}^3$) ільменіту (г) / Fig. 5. Maps of isogypses of the bottom (a), of the top (b), isopachites of the thickness (c) of eluvial kaolins and the lateral distribution in the rock of the average content (kg/m^3) of ilmenite (d)

влі елювіальних каолінів, флювіальних каолінів, алювіальних пісків встановлено прямий середній кореляційний зв'язок («+» 0,513; «+» 0,527; «+» 0,585 відповідно).

Кореляційні зв'язки між вмістом ільменіту і товщиною рудовмісних утворень дуже слабкі: прямі – для кристалічних порід (інтервал опробування) фундаменту («+» 0,155), флювіальних каолінів («+» 0,123), піщано-кремневого горизонту («+» 0,165) та зворотні – для жорсткості («-» 0,178), елювіальних каолінів («-» 0,193), флювіальних пісків («-» 0,117).

Різні за силою зворотні кореляційні зв'язки встановлено між товщиною рудовмісних утворень і рельєфом їхньої підшови: в породах кристалічного фундаменту, в жорсткості, в алювіальних каолінах, в піщано-кремневого горизонті помірної сили («-» 0,442; «-» 0,318; «-» 0,355; «-» 0,378 відповідно); в елювіальних каолінах – сильний («-» 0,788), алювіальних пісках – середній («-» 0,636).

Дослідження вертикального розподілу ільменіту в перетині свердловин представлено на рис. 9. Розподіл ільменіту у вертикальному перетині

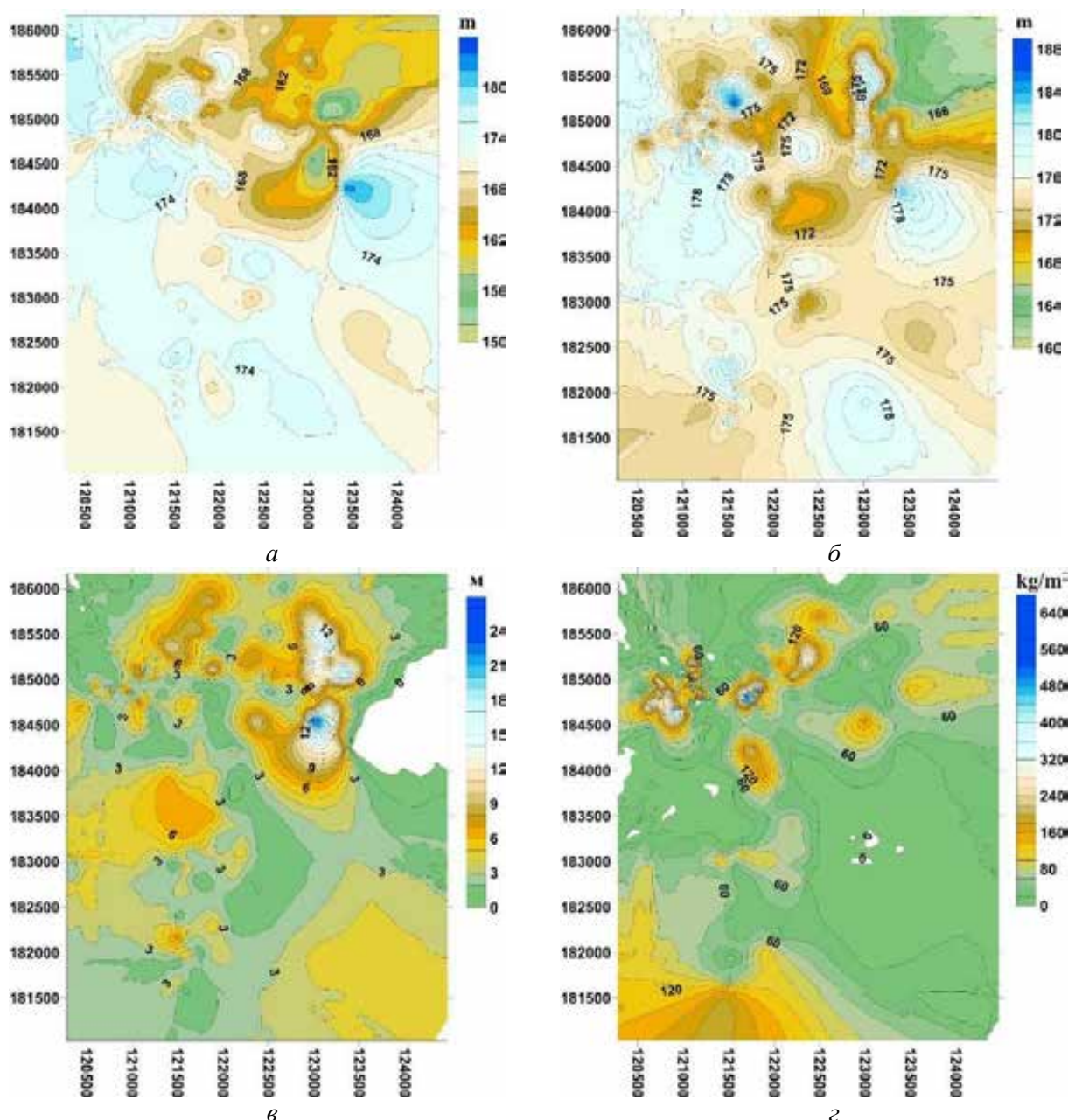


Рис. 6. Карти ізогіпс підшови (а), поверхні (б), ізопахіт товщини (в) пісків іршанської світи та латерального розподілу в породі середнього вмісту (kg/m^3) ільменіту (г) /
Fig. 6. Maps of isogypses of the bottom (a), of the top (b), isopachites of the thickness (c) of sands of the Irshan suite and the lateral distribution in the rock of the average content (kg/m^3) of ilmenite (d)

порід такий: у кристалічних породах фундаменту – рівномірний (див. рис. 9 е, є); у жорсткі з незначними горизонтами збагачення (див. рис. 9 з, и, і); в елювіальних каолінах – нерівномірний з горизонтами збагачення здебільшого у середній (див. рис. 9 а, б, в, е, з), верхній (див. рис. 9 г, д), іноді горизонти збагачення наявні у нижній, середній і верхній (див. рис. 9 є) частинах розрізу, іноді розподіл мінералу рівномірний (див. рис. 9 и, і); у пісках іршанської світи – в нижній (див. рис. 9 з), середній і верхній (див. рис. 9 а) частинах розрізу; у перевідкладених флювіальних каолінах – у верхній (див. рис. 9 є), нижній (див. рис. 9 г), нижній і середній (див. рис. 9 ж), середній (див. рис. 9 д),

е) частинах розрізу; в піщано-кремневому горизонті – здебільшого рівномірний, іноді збільшується вгору за розрізом (див. рис. 9 в), а іноді зменшується (див. рис. 9 д).

У відкладах іршанської світи у випадку перешаровування пісків з каолінами вміст ільменіту у пісках, що залягають вище за розрізом менший за вміст у пісках, що залягають нижче (див. рис. 9 г, д, і).

Висновки.

Використовуючи координати 1613 свердловин, їх опис та дані опробування авторами укладено цільову базу даних, на основі якої створено: карти латерального розподілу середнього вмісту

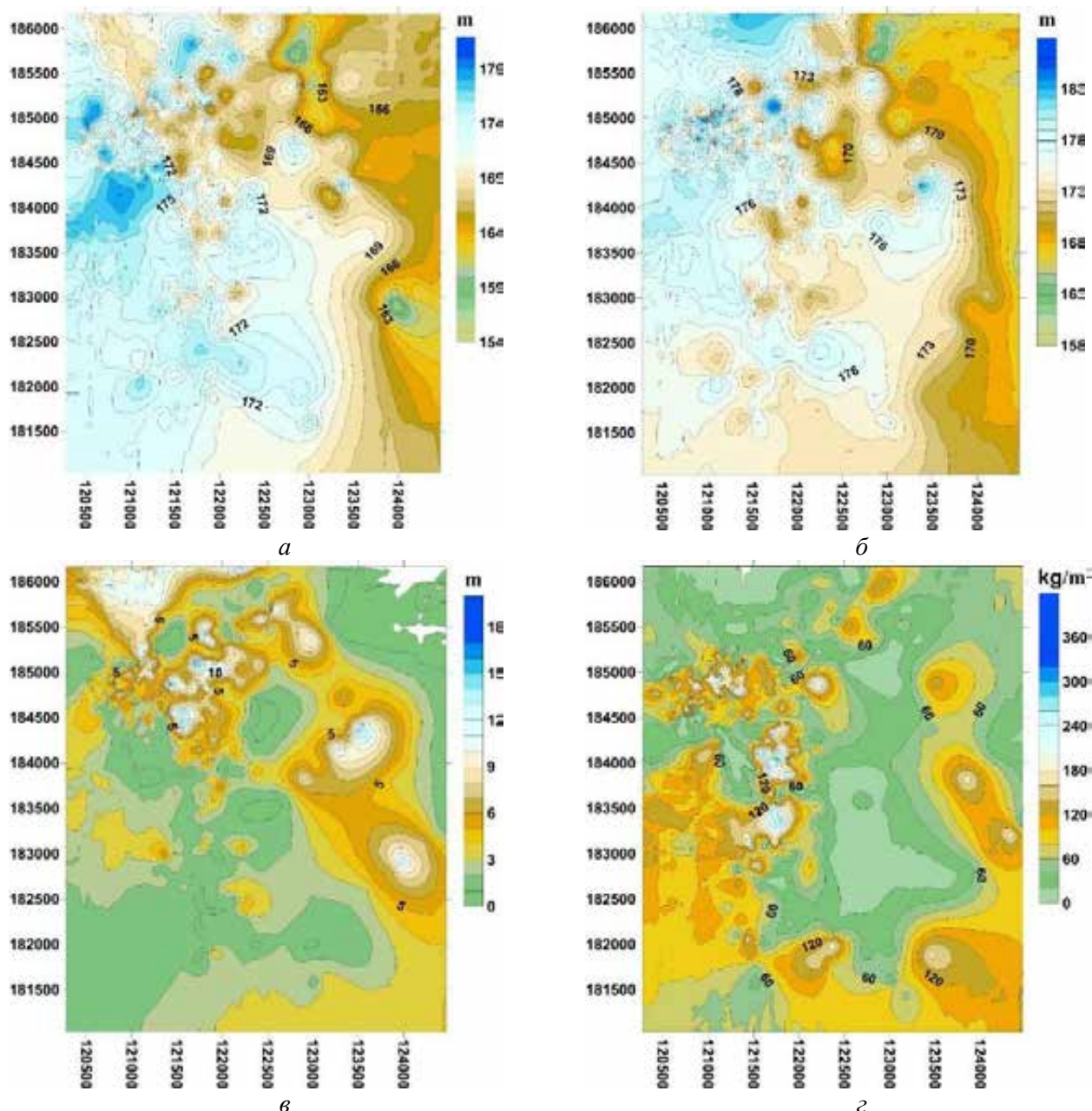


Рис. 7. Карти ізогіпс підосви (а), поверхні (б), ізопахіт товщини (в) флювіальних каолінів іршанської світи та латерального розподілу в породі середнього вмісту (кг/м³) ільменіту (г) /
 Fig. 7. Maps of isogypses of the bottom (a), of the top (b), isopachites of the thickness (c) of fluvial kaolins of the Irshansky suite and the lateral distribution in the rock of the average content (kg/m³) of ilmenite (d)

ільменіту в кристалічних породах фундаменту, у жорстві і елювіальних каолінах кори вивітрювання, у флювіальних каолінах і пісках іршанської світи, у піщано-кремневих породах мошно-руднянської світи; карта рельєфу поверхні кристалічних порід фундаменту, карти рельєфу підосви, поверхні і товщини жорстви, елювіальних каолінів, каолінів і пісків іршанської світи та піщано-кремневих порід мошно-руднянської світи, а також та побудовано графіки розподілу ільменіту у вертикальному перетині свердловин. Це дозволило дослідити структурні (характер рельєфу підосви, поверхні, товщина) і речовинні (літологічний склад, латеральний і вертикальний

розподіл ільменіту) параметри рудовміщувальних відкладів та якісно і кількісно оцінити рудоносний потенціал полігенно-поліхронної просторово-парагенетичної системи Букінської ділянки.

Рудоносність Букінської ділянки представлена різночасовою і різногенетичною просторово-парагенетичною рудною системою, яка складена титановмісними породами кристалічного фундаменту, їхніми корах вивітрювання, континентальними (апт-альб) продуктами розмиву і перевідкладення елювію (іршанська світа), узбережно-морськими (турон) продуктами (мошно-руднянська світа) часткового розмиву і перевідкладення континентальних відкладів апту-

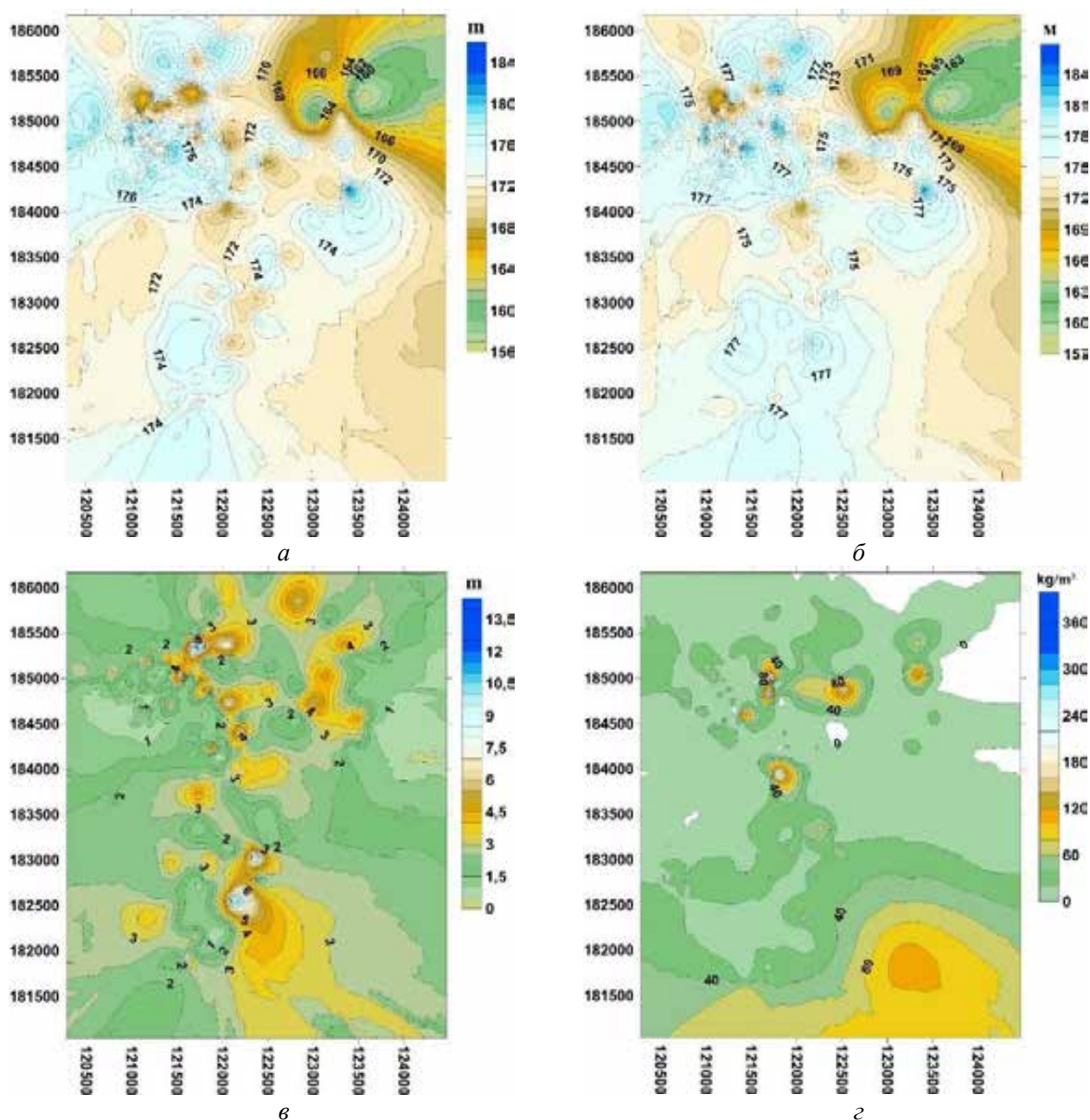


Рис. 8. Карти ізогіпс підосви (а), поверхні (б), ізопакіт товщини (в) піщано-кремєневих порід мошно-руднянської світи та латерального розподілу в породі середнього вмісту ($\text{кг}/\text{м}^3$) ільменіту (г) / Fig. 8. Maps of isogypses of the bottom (a), of the top (b), isopachites of the thickness (c) of sand-siliceous rocks of the moshno-rudnyan suite and the lateral distribution in the rock of the average content (kg/m^3) of ilmenite (d)

альбу.

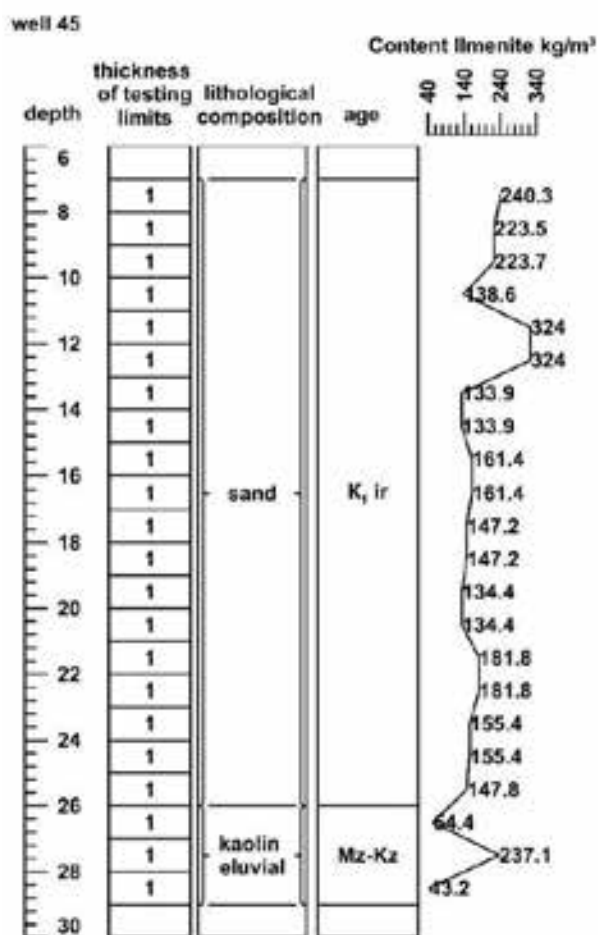
Кора вивітрювання кристалічних порід фундаменту слугувала плотиком для алювіальних (частково алювіально-делювіальних, делювіальних) нижньокрейдових відкладів іршанської світи, а подекуди й піщано-кремєневих утворень мошно-руднянської світи.

Продуктивні поклади ільменіту локалізовані в корі вивітрювання кристалічних порід фундаменту та у пісках і каолінах іршанської світи аптунижнього альбу, які виповнюють палеодепресії в елювіальній товщі та є її продуктом розмиву і перевідкладення. Іноді до складу верхньої частини

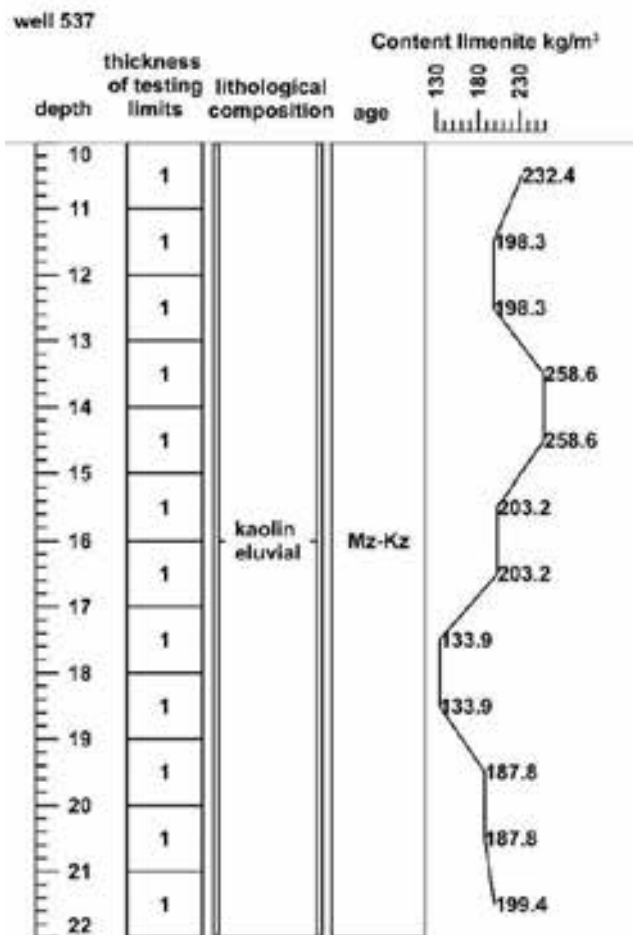
промислового пласта можна залучати піщано-кремєністі породи мошно-руднянської світи, якщо вміст ільменіту сягає понад $15 \text{ кг}/\text{м}^3$.

Морфологія ільменітвмісних відкладів кори вивітрювання, іршанської та мошно-руднянської світ складна, зі значними перепадами висот їхньої підосви і покрівлі – 25,6-53,01 м та 26,3-39,5 м відповідно. Рельєф підосви і покрівлі здебільшого нерівний із западинами і підвищеннями. Значний перепад висот покрівлі і підосви продуктивних відкладів обумовив складну конфігурацію розсипу.

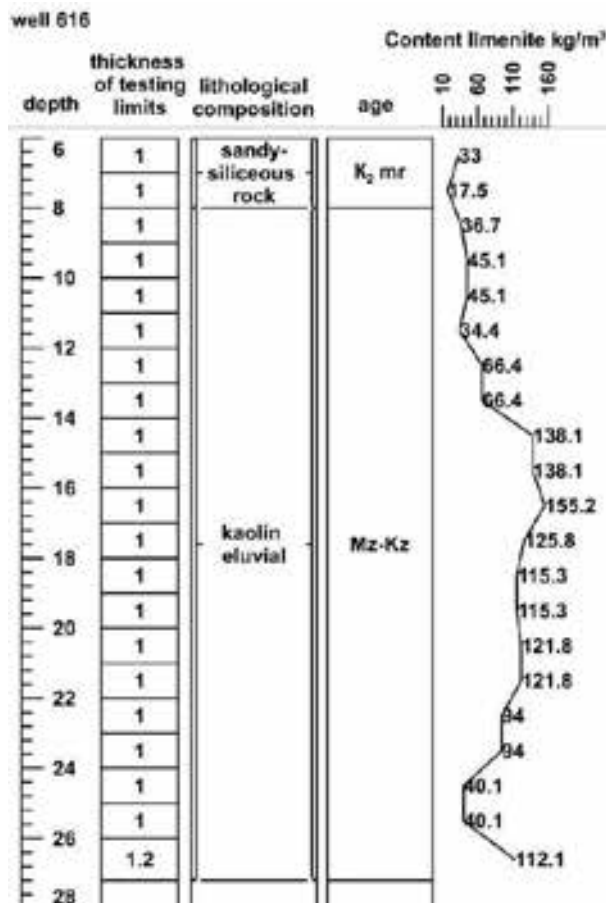
Фаціальна неоднорідність відкладів іршансь-



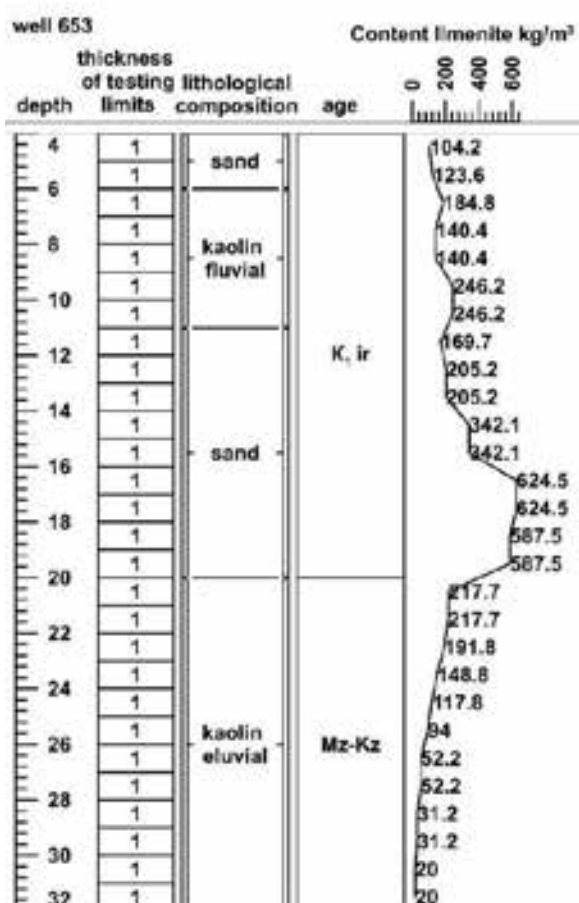
a



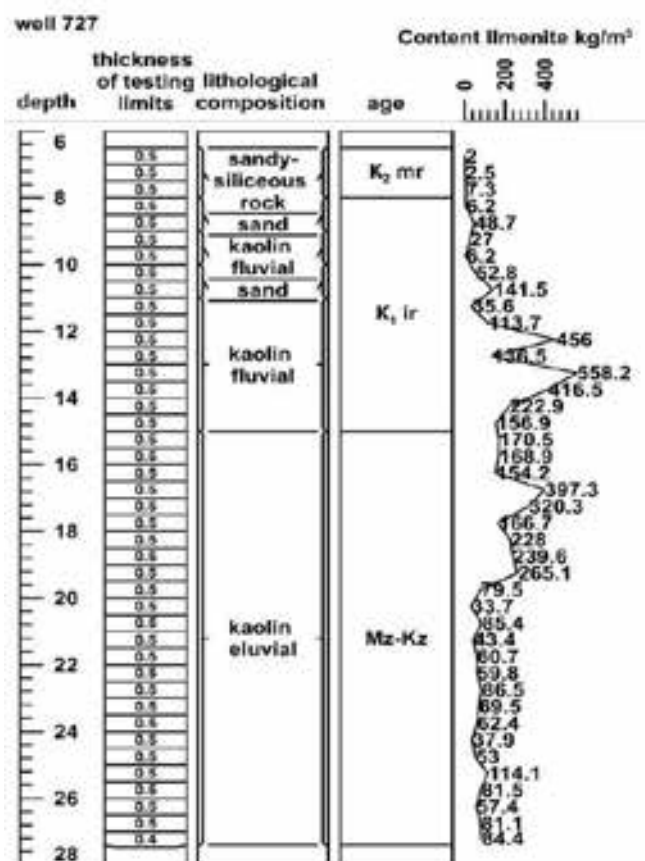
b



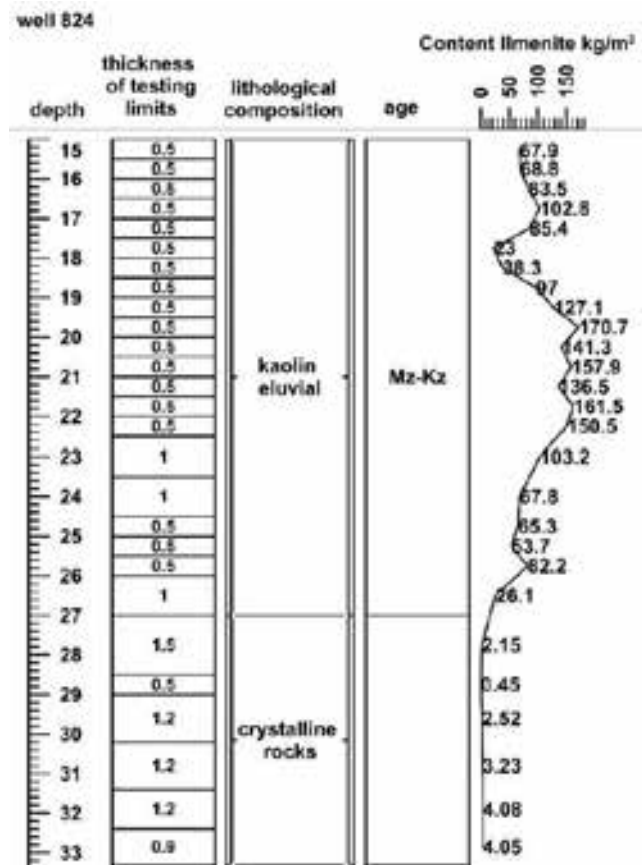
6



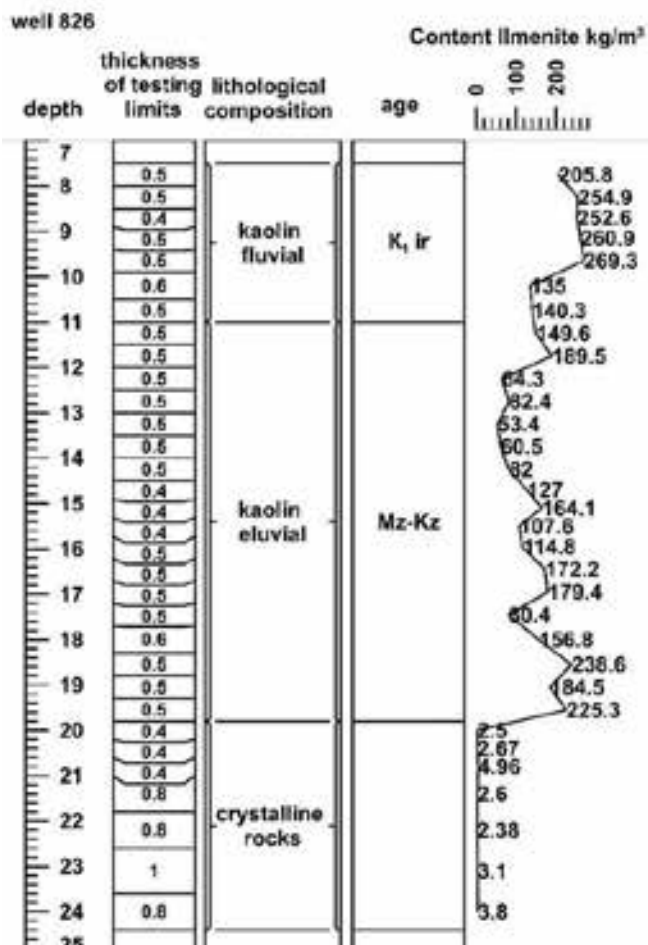
2



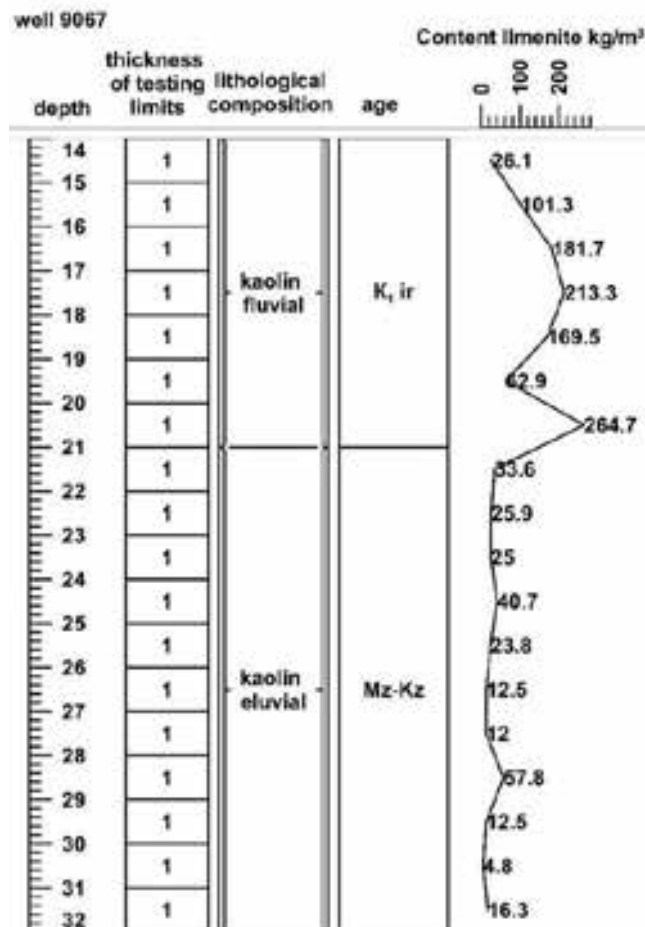
d



e



c



ж

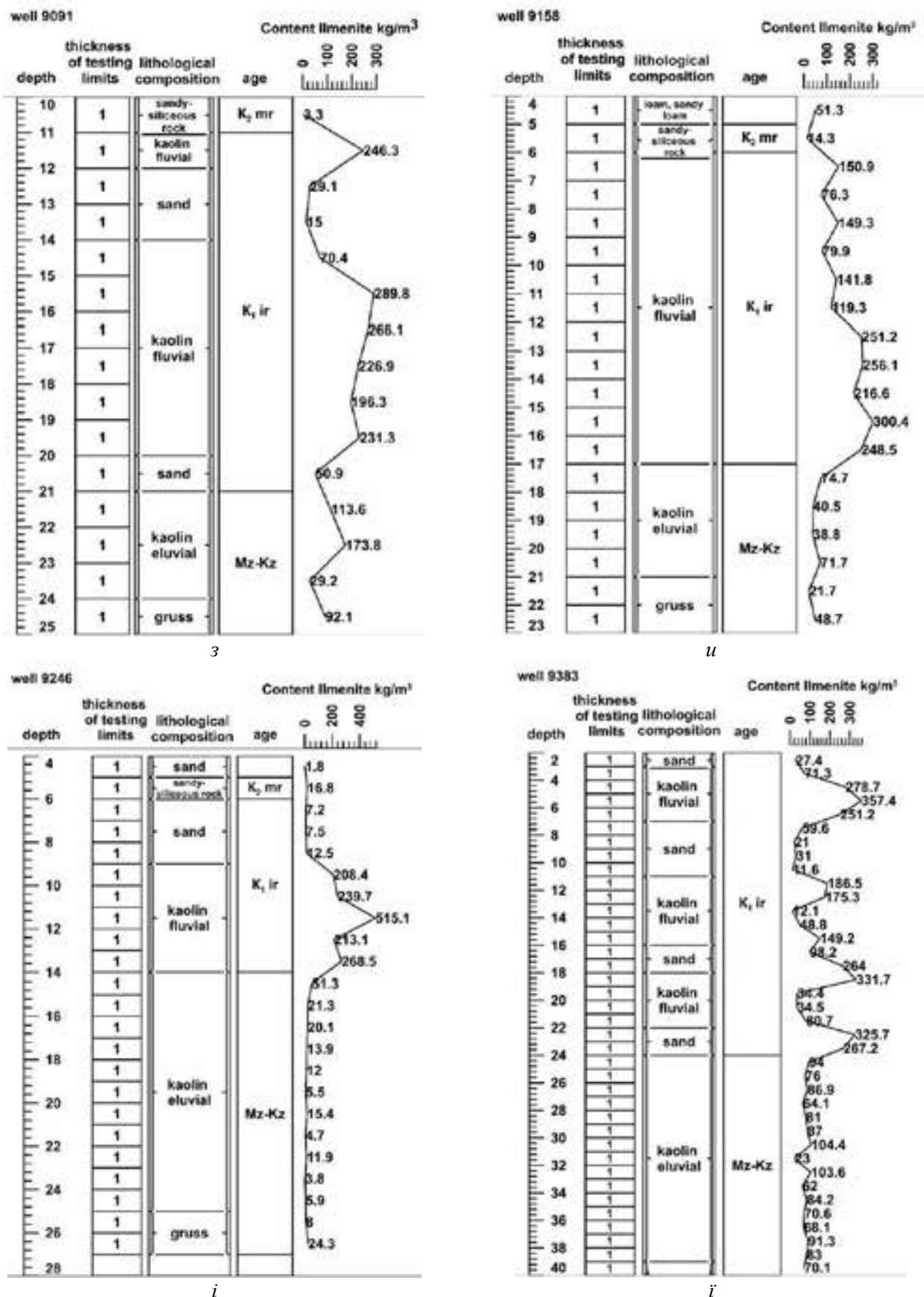


Рис. 7. Колонки розподілу ільменіту у вертикальному перетині свердловин:

а – № 45; б – № 537; в – № 616; г – № 653; д – № 727; е – № 824; є – № 826;

ж – № 9067; з – № 9091; у – № 9158; і – № 9246; і – № 9383 /

Fig. 7. Columns of distribution of ilmenite in the vertical cross-section of wells: a – № 45; b – № 537; c – № 616; d – № 653; e – № 727; f – № 824; g – № 826; h – № 9067; i – № 9091; j – № 9158; k – № 9246; l – № 9383

кої світи обумовила різну будову геологічного розрізу на окремих ділянках, перешаровування, виклинування певних літотипів, їх лінзоподібну, стрічкоподібну форму.

Продуктивний горизонт в межах Букінської ділянки має різну будову і представлений різними за віком, генезисом та літологічним складом породами: корою вивітрювання кристалічних порід фундаменту, континентальними флювіальними каолінами, пісками іршанської світи та їх перешаровуванням. Іноді до продуктивного горизонту (за відповідного вмісту ільменіту) включають міководні узбережно-морські піщано-кремневі породи мошно-руднянської світи.

Збагачення ільменітом кори вивітрювання є віддзеркаленням його розподілу і вмісту у материнських породах кристалічного фундаменту, натомість вертикальний і латеральний розподіл ільменіту у відкладах апту-альбу здебільшого визначається фаціальними обстановками їх утворення та літологічним складом відкладів і, меншою мірою – наявністю ділянок збагачення в елювіальній товщі. Вміст ільменіту у відкладах мошно-руднянської світи турону обумовлений, головним чином, рудоносністю відкладів іршанської світи, а його просторовий розподіл – фаціальними умовами розсипоутворення.

З'ясовано, що вертикальний розподіл ільменіту здебільшого нерівномірний як в межах одного так і різних літотипів. Вміст ільменіту може зменшуватися або зростати в напрямку від підошви до покрівлі порід, або утворювати горизонти збагачення в середній частині розрізу. Як правило, присутній один горизонт збагачення, іноді декілька (до п'яти), які локалізуються на різних гіпсометричних рівнях.

Отримані результати вказують на складний взаємозв'язок між різновіковими і різногенетичними рудоносними утвореннями. Ділянки збагачення ільменітом у різновікових та різногенетичних відкладах збігаються не часто.

Результати досліджень характеризують особливості розподілу ільменіту у різновіковій, різногенетичній, просторово-парагенетичній системі, сукупний рудоносний потенціал якої є значним і представляє практичний інтерес.

У разі експлуатації ресурсів Букінської ділянки, до розробки доцільно залучити усі складові рудоносної системи (кору вивітрювання, континентальні та узбережно морські відклади крейди).

Результати досліджень можуть слугувати інформаційною базою для супроводу видобувних робіт у межах Букінської ділянки.

Список використаної літератури

1. Белоус Я.Т. Титан (геолого-экономический обзор). Київ: Геоинформ, 1998. 48 с.
2. Битва за титан URL: <https://day.kyiv.ua/article/ekonomika/bytva-za-tytan> (дата звернення 11.08.2023).
3. Бочай Л.В., Гурський Д.С., Веселовський Г.С. та ін. Головні геолого-промислові типи титанових і цирконієвих розсипних родовищ України та умови їх утворення // Мінеральні ресурси України. 1998. № 3. С. 10-13.
4. Василенко А.П. Мінерально-сировинна база України. Стаття 2. Стан мінерально-сировинної бази металічних корисних копалин України та основні напрями геологорозвідувальних робіт. // Мінеральні ресурси України. 2014. № 3. С. 3-6.
5. Василенко А.П., Трохименко В.М. Перші результати проведення моніторингу та наукового супроводження розробки розсипних титанових родовищ у межах західної частини УЩ/Збірник наукових праць УкрДГРІ. 2014. № 1. С. 33-39.
6. Державна геологічна карта України. Масштаб 1:200 000. Аркуш М-35-ХІ (Коростень) / Костенко М.М. та ін.; Мін-во екології та природ. ресурсів України, Північ. держ. регіон. геол. під-во «Північгеологія». Київ, 2001. 145 с.
7. Довгий С.О., Іванченко В.В., Коржнев М.М. та ін. Мінерально-сировинний комплекс та сталий розвиток України. Київ: Логос, 2014. 232 с.
8. Гурський Д.С., Єсипчук К.Ю., Калінін В.І. та ін. Металічні і неметалічні корисні копалини України. Металічні корисні копалини. Київ-Львів: Центр Європи, 2005. Т. 1. 785 с.
9. Інвестиційний атлас надкорисувача (стратегічні та критичні мінерали) 2021. URL: <http://nadraukrayny.com.ua/wp-content/uploads/2021/01/%D0%86%D0%BD%D0%B2%D0%B5%D1%81%D1%82%D0%B8%D1%86%D1%96%D0%B8%CC%86%D0%BD%D1%96-%D0%BF%D1%80%D0%BE%D0%BF%D0%BE%D0%B7%D0%B8%D1%86%D1%96%D1%96%CC%88.pdf> (дата звернення 11.08.2023)
10. Ковальчук М.С., Сукач В.В. Просторово-парагенетична, полігенно-поліхронна золоторудна система Солоняньського рудного поля // Тектоніка і стратиграфія. 2018. № 45. С. 123-132.
11. Ковальчук М.С. Геолого-генетичні моделі рудоносних кір вивітрювання та продуктів їх розмиву і перевідкладення. Здобутки і перспективи розвитку геологічної науки в Україні: Збірник тез наукової конференції, присвяченої 50-річчю Інституту геохімії, мінералогії та рудоутворення імені М.П. Семененка (14-16 травня 2019 р., м. Київ). У 2-х томах. Київ: НАН України, Ін-т геохімії, мінералогії та рудоутворення ім. М.П. Семененка. 2019. Т. 2. С. 53-54.
12. Лисиченко Г.В., Яценко В.Г., Земсков Г.О. та ін. Стратегічні мінеральні ресурси України: титан, скандій, нікель, кобальт. Київ: Логос, 2012. 167 с.
13. Металиди В.С., Гурський Д.С. Титан України. Мінеральні ресурси України. 2009. № 3. С. 11-17.

14. Рудько Г.І., Бала Г.Р. Критична мінеральна сировина та її перспективи в Україні. Мінеральні ресурси України. 2021. № 2. С. 3-14. [URL:https://doi.org/10.31996/mru.2021.2.3-14](https://doi.org/10.31996/mru.2021.2.3-14).
15. Таранюк Л.М., Макаренко Т.Ю. Дослідження діяльності титанової галузі в системі формування євроінтеграційного розвитку економіки країни. // Науковий вісник Херсонського державного університету. Серія Економічні науки. 2019. Вип. 34. С. 41-44. <https://doi.org/10.32999/ksu2307-8030/2019-34-8>
16. Титановые и титано-циркониевые россыпи Украинской ССР / Глав. ред. Н.П. Семенов, отв. ред. М.Ф. Велич. Киев: АН УССР, Ин-т геол. наук, Сектор геогр., Ин-т экономики СОПС, Мин-во геол. УССР, Ин-т минер. рес., 1967. 850 с.
17. Фігура Л.А., Ковальчук М.С. Рудоносність Осинової ділянки Межирічного родовища титанових руд. Геохімія та рудоутворення. 2022. Вип. 43. С. 59-73. <https://doi.org/10.15407/gof.2022.43.059>
18. Цымбал С.Н., Полканов Ю.А., Минералогия титано-циркониевых россыпей Украины. Киев: Наук. Думка. 1975. 248 с.
19. Цымбал С.Н., Дядченко М.Г., Личак И.Л., Половко Н.И., Заруцкий К.М., Проскурин Г.П. Закономерности размещения и источники питания титановых и титано-циркониевых россыпей Украины // Древние и погребенные россыпи СССР. Т.1. Киев: Наукова думка. 1977. С. 84-92.
20. Хруцов Д.П., Ковальчук М.С., Ремезова Е.А. и др. Структурно-литологическое моделирование осадочных формаций. Киев: Интерсервис, 2017. 352 с.
21. Mineral Commodity Summaries 2020. Reston: U.S. Geological Survey, 2020. 204 p. (режим доступу: <https://pubs.usgs.gov/periodicals/mcs2020/mcs2020.pdf>)

Внесок авторів: всі автори зробили рівний внесок у цю роботу.

Polychronic-polygenic spatial-paragenetic ilmenite bearing of the Bukinska area of the Mezhyrichny deposit of titanium ores

Lubov Figura¹

PhD (Geology), Senior Researcher,

¹ Institute of Geological Sciences of the NAS of Ukraine

55b O. Gonchar St., Kyiv, 01601, Ukraine;

Myron Kovalchuk¹

DSc (Geology), Professor, Head of the Department of Lithology

ABSTRACT

Introduction. The primary task, aimed at meeting the needs of our own titanium raw materials, is to put into operation as soon as possible the deposits in which spatially and paragenetically different ore bearing capacity is combined in a spatial and paragenetic way and which have sufficient detail been studied. One of these deposits is Mezhyrichne, which is located within the Volyn megablock, in the central part of the Korosten pluton, Zhytomyr region. Within the deposit, several areas have been identified, including Bukinska.

The purpose of the publication. To investigate the ilmenite ore-bearing of the polygenic-polychronic spatial-paragenetic ore-bearing system within the Bukinska area, which is composed of ore-bearing rocks of the foundation, their weathering crust, continental alluvial (Aptian-Lower Albian) deposits (formed due to erosion and redeposition of eluvium) and coastal-sea (Turonian) formations (formed due to erosion and redeposition of Lower Cretaceous alluvium and partially weathering crust).

Materials and Methodology. The methodical and methodological basis of the research was the work of the authors on the structural and lithological modeling of placers of heavy minerals. The actual material for the studies were the production reports and scientific publications. A target database was created for cartographic modeling of the structure and quality indicators (distribution of ilmenite content along the lateral spread and vertical cross-sections of wells) of the rocks. The database contains the coordinates of 1635 wells, their description, test results. Cartographic constructions were made in Inkscape, Golden Software Strater, and Golden Software Surfer software. Correlations between certain parameters of ore-bearing sediments were studied in Microsoft Excell.

Main Results. Information on the geological structure of the Bukinska area of the Mezhyrichne titanium ore deposit is given. It has been found that the ore-bearing potential of the area is determined by a polygenic-polychronic spatially-paragenetically connected ore system. This ore system is composed of titanium-bearing rocks of the crystalline basement of the Volodarsk-Volyn complex, their weathering crusts, Lower Cretaceous continental, Upper Cretaceous coastal – marine products of erosion and redeposition of eluvium and to a lesser extent and partially heterogeneous formations of the Quaternary system. Maps of the relief of the bottom, the top surface and thickness of the ore-bearing rocks have been constructed. The lateral distribution of the average ilmenite content in all rock types was studied. The directionality and strength of correlations were investigated. The peculiarities of the distribution of ilmenite in the vertical section of formations of different ages and different genesis have been clarified.

Conclusions. A target database was created, on the basis of which a set of maps was built, which made it possible to study the structural and material parameters of ore-bearing deposits. The ore-bearing potential of the polygenic-

polychronic spatial-paragenetic system of the Bukinska area was qualitatively and quantitatively assessed. It has been found that the Bukinska area, within which there is a spatially and paragenetically combined temporal and heterogeneous ore bearing, has a significant ore-bearing potential and is attractive for investment. The obtained results are an information base for supporting mining operations.

Keywords: Korostensky pluton, Mezhyrichny deposit, Bukinska area, ilmenite ores, crystalline rocks of the foundation, weathering crust, sediments of the Cretaceous system, Irshan and Moshno-Rudnyan suites.

References

1. Belous Y.T. (1998). Titan (geological and economic survey). Kyiv: Geoinform, 48.
2. Battle for Titan URL: <https://day.kyiv.ua/article/ekonomika/bytva-za-tytan> (access date 08/11/2023). [in Ukrainian]
3. Bochai L.V., Gurskyi D.S., Veselovskyi G.S. etc. (1998). The main geological and industrial types of titanium and zirconium placer deposits of Ukraine and conditions of their formation. Mineral resources of Ukraine. № 3. P. 10–13. [in Ukrainian]
4. Vasylenko A.P. (2014). The mineral and raw material base of Ukraine. Article 2. The state of the mineral and raw material base of metallic minerals of Ukraine and the main directions of geological exploration. Mineral resources of Ukraine. 3, 3–6. [in Ukrainian]
5. Vasylenko A.P., Trokhymenko V.M. (2014). The First results of realization of monitoring and scientific accompaniment of development of loose titanite deposits within the limits of western part of US. Collection of scientific works of UkrDGRI. 1, 33–39 [in Ukrainian]
6. Kostenko, M.M. etc. (2001). State geological map of Ukraine. Scale 1:200,000. Sheet M-35-XI (Korosten). Ministry of Ecology and Nature of resources of Ukraine, Northern State Regional Geological Enterprise «Northern Geology». Kyiv, 145. [in Ukrainian]
7. Dovgvi S.O., Ivanchenko V.V., Korzhnev M.M. etc. (2014). Mineral and raw material complex and sustainable development of Ukraine. Kyiv: Logos. 232 [in Ukrainian]
8. Gursky, D.S., Esipchuk, K.E., Kalinin, V.I. et. al. (2005). Metallic and non-metallic minerals of Ukraine. Metal minerals. Kyiv-Lviv: Center of Europe Publishing House. 1, 785. [in Ukrainian]
9. Investment atlas of the subsurface user (strategic and critical minerals) 2021. URL: <http://nadraukrayny.com.ua/wp-content/uploads/2021/01/%D0%86%D0%BD%D0%B2%D0%B5%D1%81%D1%82%D0%B8%D1%86%D1%96%D0%B8%CC%86%D0%BD%D1%96-%D0%BF%D1%80%D0%BE%D0%BF%D0%BE%D0%B7%D0%B8%D1%86%D1%96%D1%96%CC%88.pdf> (access date 08/11/2023). [in Ukrainian]
10. Kovalchuk, M.S., Sukach, V.V. (2018). Spatial-paragenetic, polygenic-polychronic gold ore system of the Solonyansk ore field. Tectonics and stratigraphy, 45, 123–132. [in Ukrainian]
11. Kovalchuk, M.S. (2019). Geological and genetic models of weathering of ore-bearing crusts and products of their erosion and redeposition. Achievements and prospects for the development of geological science in Ukraine: Collection of theses of the scientific conference dedicated to the 50th anniversary of the M.P. Semenenko Institute of Geochemistry, Mineralogy and Ore Formation (May 14–16, 2019, Kyiv). In 2 vols. Kyiv, 2, 53–54 [in Ukrainian]
12. Lysychnenko G.V., Yatsenko V.G., Zemskov G.O. etc. (2012). Strategic mineral resources of Ukraine: titanium, scandium, nickel, cobalt. Kyiv: Logos, 167. [in Ukrainian]
13. Metalidi V.S., Gursky D.S. (2009). Titan of Ukraine. Mineral resources of Ukraine. 3, 11–17 [in Ukrainian]
14. Rudko G.I., Bala H.R. (2021). Critical mineral raw materials and their prospects in Ukraine. Mineral resources of Ukraine. 2, 3–14. URL: <https://doi.org/10.31996/mru.2021.2.3-14> [in Ukrainian]
15. Taraniuk, L.M., Makarenko, T.Yu. (2019). Study of the activity of the titanium industry in the system of formation of the European integration development of the country's economy. Scientific Bulletin of Kherson State University. Economic sciences series. 34, 41–44. <https://doi.org/10.32999/ksu2307-8030/2019-34-8> [in Ukrainian]
16. Semenenko, N.P., Veklich, M.F. (Eds.) (1967). Titanium and titanium-zirconium placers of the Ukrainian SSR. Kyiv. 850.
17. Figura, L.A., Kovalchuk, M.S. (2022). Ore-bearing capacity of the Osynova ares of the Mezhyrichny deposit of titanium ores. Geochemistry and ore formation. 43, 59–73. <https://doi.org/10.15407/gof.2022.43.059> [in Ukrainian]
18. Tsybmal S.N., Polkanov Yu.A. (1975). Mineralogy of titanium-zirconium deposits of Ukraine. Kyiv: Naukova Dumka. 248.
19. Tsybmal, S.N., Dyadchenko, M.G., Lichak, I.L., Polovko, N.I., Zarutskij, K.M., Proskurin, G.P. (1977). Patterns of location and power sources of titanium and titanium-zirconium placers in Ukraine. Ancient and buried placers of the USSR. 1. Kyiv: Naukova dumka. 84–92.
20. Khrushchev, D.P., Kovalchuk, M.S., Remezova, E.A. et. al. (2017). Structural and lithological modeling of sedimentary formations. Kyiv: Interservice. 352.
21. Mineral Commodity Summaries 2020. Reston: U.S. Geological Survey. 204 p. (Available at: <https://pubs.usgs.gov/periodicals/mcs2020/mcs2020.pdf>)

Authors Contribution: All authors have contributed equally to this work

Received 4 September 2023

Accepted 16 October 2023

ГЕОГРАФІЯ

<https://doi.org/10.26565/2410-7360-2023-59-06>

UDC 911,332

Received 1 September 2023

Accepted 6 November 2023

Spatiotemporal analysis of urban sprawling using change detection: a case study of Shaki district, Azerbaijan

*Nofal Artunov*¹

PhD Student, Scientific Researcher, Department of Azerbaijan Political and Economic Geography,

¹ Institute of Geography named after Hasan Aliyev,

115 H. Javid Av., Baku, Az 1143, Azerbaijan,

e-mail: nofel.ertunov@gmail.com,  <https://orcid.org/0000-0001-6127-5364>;

*Nariman Pashayev*¹

DSc (Geography), Head of Department of Azerbaijan Political and Economic Geography,

e-mail: pasayevnariman@mail.ru,  <https://orcid.org/0000-0003-2451-6821>;

*Elnura Gasimova*²

PhD (Geography), Lecturer, Department of Economic and Social Geography,

² Baku State University, 33 Acad. Zahid Khalilov St., Baku, Az 1148, Azerbaijan,

e-mail: qasimovaelnura2@gmail.com,  <https://orcid.org/0009-0003-5983-6830>

ABSTRACT

Introduction. The contemporary globalized world characterizes the rapid population growth, its significant concentration in cities, and an increase in the urban population. Currently, many socio-cultural, economic, environmental, and other challenges are arising in modern cities. Cities are therefore emerging from the common understanding and displaying new characteristics: reduced density, dispersed development, poor accessibility and monofunction. However, the concentration of population in cities also brings its own set of issues.

The purpose of article. The purpose of the study was to identify Shaki City's urban development process, and how its land use has evolved over time. It examines the population growth in the region and the increase in the specific weight of the urban population between 2016 and 2023, analyzing the population growth trend over a 20-year period. The direction and extent of urban land use has been studied by determining the relationship between the growth rate of the urban population and the extension of the urban area, and by analyzing the changes which have occurred during the period of land use.

Research methods. Statistical data has also been used for this purpose, together with data from the Azersky satellite. Machine Learning (ML), which is widely used in remote sensing systems, was applied, Support Vector Machine Learning (SVM), and image classification and processing were performed. On the basis of the obtained data, a comparative analysis of the previous and current conditions was carried out and the area of changes in the area between the classified areas was calculated. Simultaneously, the changes between categories during the use of the area and the recent changes in the direction of land use were shown. Classification performance has been assessed, user and producer accuracies have been determined and kappas have been calculated.

Main findings. The increase in the population of the Shaki district led to an increase in the specific weight of the urban population and the extension of the town to the south and south-east where the population previously lived sparsely. It is mainly due to construction of new housing estates in region, as well as construction of a central clinic, an ASAN service, and a regional education division. A 'flight to the centre' was observed, resulting in noticeable changes in the land use structure between 2016 and 2022, in line with the growth rate of urbanisation and economic development. The decoding of the distribution images of the region shows that there has been an increase in the area of settlements over the six-year period. By 2016, settlements cover 22.4 per cent of the city, and by 2022, the figure rises to 39 per cent. From 34% to 32.9%, the total area of forest reserves decreased.

Scientific novelty and practical value The article describes for the first time the urban sprawling and territorial transformations in Shaki district in the context of population growth by using change detection analyses. The practical value of the study is the possibility of using its algorithm and method to conduct similar studies in other cities of Azerbaijan. The results of the study are significant in the context of justifying regional measures to adapt urban expansion to population growth.

Keywords: urbanization, Shaki city, Azersky, kappa coefficient, population growth, spatial planning, land use, change detection, urban sprawling.

In cites: Artunov Nofal, Pashayev Nariman, Gasimova Elnura (2023). Spatiotemporal analysis of urban sprawling using change detection: a case study of Shaki district, Azerbaijan. *Visnyk of V.N. Karazin Kharkiv National University, series "Geology. Geography. Ecology"*, (59), 72-82. <https://doi.org/10.26565/2410-7360-2023-59-06>

Introduction

Today, the process of urbanizing the world is resulting in sprawl development, which is gradually

becoming a concern for researchers and planners. In recent years, the rate of urbanisation has accelerated and it is expected that by 2050, two thirds of the

world's population will be living in metropolitan areas [4]. More than half of the world's population will live in cities, and this will be unevenly distributed across the world [13]. Cities are therefore emerging from the common understanding and displaying new characteristics: reduced density, dispersed development, poor accessibility and monofunction. However, the concentration of population in cities also brings its own set of problems. This raises questions about limited natural resources, food availability, transport and energy. While all this is happening, land use is being affected, so the problem of diminishing land reserves has arisen in parallel.

Population growth and the implementation of 'regional development programmes' are commonly understood to be an expansion of the general area of the city. Statistics show that the urban population accounted for 40 per cent of the district's population in 2000, 38 per cent in 2015, and 36,8 per cent in 2023 in the Shaki city [7]. These trends show that urban expansion is driven by total population growth rather than urban population growth. Therefore, their distribution in a particular city and the relevant spatiotemporal dynamics should be a prime concern for municipalities and planners.

The novelty of the present research is to study the expansion area of the city with the increase in population in the Sheki region. Nonetheless, representative relevant research based on digital tools and technologies has not been accomplished for any urban territory in Azerbaijan yet.

1.1 Literature review

Research on urban sprawl has been in existence since the 1960s and the term "urban sprawl" was first proposed by Whyte [33] in 1958. The process of urban sprawl began in France in the 1960s and is now spreading to the outskirts of cities, regardless of their size, as economic growth continues.

In the early 21st century, governments at all levels greatly accelerated urban sprawl by investing heavily in transportation and other public facilities [5]. There are a number of approaches to urban sprawl, and most research focuses on four aspects. The first aspect is the delimitation of urban sprawl [31]. Whyte [33] defined urban sprawl as the therapeutic development of suburban areas. Anderson etc. [1] divides urban sprawl into the following categories by characterizing it as the separation of the residential area from other land uses due to its location on the outskirts of the city:

- a) General reduction of land use intensity;
- b) Developed transport network;
- c) Expansion of city boundaries.

Summarizing the mentioned ideas, expansion: low density, inaccessibility, scattered development, and functional inefficiency are manifested.

The second aspect is the measurement of urban

sprawl. Two types of metrics are commonly used to measure urban sprawl, a single index, and a composite index method to measure multidimensional aspects of sprawl. The most popular single index is the sprawl index, which was used to measure the sprawl ranking status of metropolitan areas in the United States in 2000 (SI) [22]. Ewing et al. [11] used principal component analysis to examine 22 highly correlated variables, from which he formed four factors: residential density, the extent of land use, the intensity of economic centers and urban centers, and accessibility of neighborhood networks.

Later, new measurement models were developed by adding other factors to measure the spreading coefficient. Torrens [30] measured urban sprawl with seven aspects, including urban growth, with a total of 42 factors. The composite index method also includes a dynamic model, spatial model, measurement model, statistical model, and integrated model. Zhou et al. [34] investigated the factors influencing vertical urban expansion by building regression models from the perspectives of government, developers, and residents. Das and Angadi [6] combined spatial landscape metrics and the Shannon entropy model to analyze the spatial assessment of urban sprawl.

The third aspect is the study of the factors influencing the expansion of cities mainly from two aspects: natural conditions and socio-economic conditions. Wang et al. [31] studied urban decentralization and urban renewal as socio-economic factors behind urban expansion. Fan and Zhou [12] believed that the expansion of fiscal competition among governments in cities, competition for investment, and competition for environmental promotion are factors that positively influence cities. Multiple scenario simulations were used to explore the potential impact of population growth and job sector expansion and planning on urban growth [8,16]. Based on the model of least resistance, Guan et al. [15] simulated urban expansion conditions under different scenarios considering resource level, environmental barriers, environmental resistance, and urban expansion, and made suggestions to guide sustainable urban development. Morar et al. [23] developed and used an original integrated approach using urban remote sensing (URS) and GIS for changes detection to evaluate the current state and monitor spatial transformations of the Urban Green Areas and found out UGAs were not expanding and partially shrinking during 2000-2020 in Kharkiv, Ukraine.

Niemets et al. [25] analyzed the current state and prospects of the world cities in terms of the sustainable development concept, identified opportunities, threats, strengths and weaknesses of the world cities, determined the role of cities in the contemporary global world and consider further research of the world's cities. The authors noted that highly develop-

ped cities have more chances to quickly implement the sustainable development concept compared to medium-sized cities due to larger financial resources. Gavrilidis et al. [14] used hierarchical analysis to evaluate green space proposals in urban areas and proposed a methodological framework for controlling urban sprawl. Menzori et al. [24] argued that governance capacity affects the geographic location of urban growth and in turn the level of urban expansion. Tan et al. [29] concluded that innovation policies do not promote urban sprawl.

Research on urban sprawl is comprehensive and covers diverse areas such as quantity, mechanism, impact, and regulation [19]. The concepts put forward in these studies are mainly in the direction of the expansion of cities with the provision of social economic development, the creation of new jobs, and the improvement of the quality of life. Ensuring regional and local development is based on the principles of proper planning of the territory. The main issue is that the scarce territory and land should be taken according to the above-mentioned requirements. The size of the city affects population growth, and as a result, the expansion of the city takes place. In other words, urbanization and the expansion of the city should be dealt with in a complex way.

1.2 Previous studies

A brief analysis of previous research demonstrates the considerable attention to studying the specific aspects of the land cover in Azerbaijan have mainly focused on the use of supervised remote sen-

sing maximum likelihood classification methods using Landsat 5 and 7 TM satellite images of 1998 and 1999 [17,21]. However, the results of the studies are not available for comparative analysis. In particular, Bayramov [3] conducted a study on land use and changes in land resources in the Republic, mainly observing the increasing and decreasing trend of forest cover and greenery in 2014-2015 (Landsat 8) green areas functioning.

Most of the studies conducted have focused on changes in forest cover and historical periods, and have not considered urban sprawl and its scale. The aim of this study is to have a better understanding of the urban development process of Shaki City and the evolution of its land use over time. In terms of the content of the research, the following questions have been proposed to fill the scientific gap: What is the relationship between population growth and urban sprawl, and what changes have occurred in the district in terms of land use?

2. Material and Method

2.1 Study area

Shaki district is one of the largest regions of the Republic of Azerbaijan with a total area of 2488 km² (Figure 1). It is bounded by the Republic of Dagestan of the Russian Federation to the north, Oguz District to the east, Yevlak District to the south and Gakh District to the west.

Shaki belongs to the group of medium-sized cities, lagging behind Baku, Sumgait and Ganja as regards its level of social and economic development

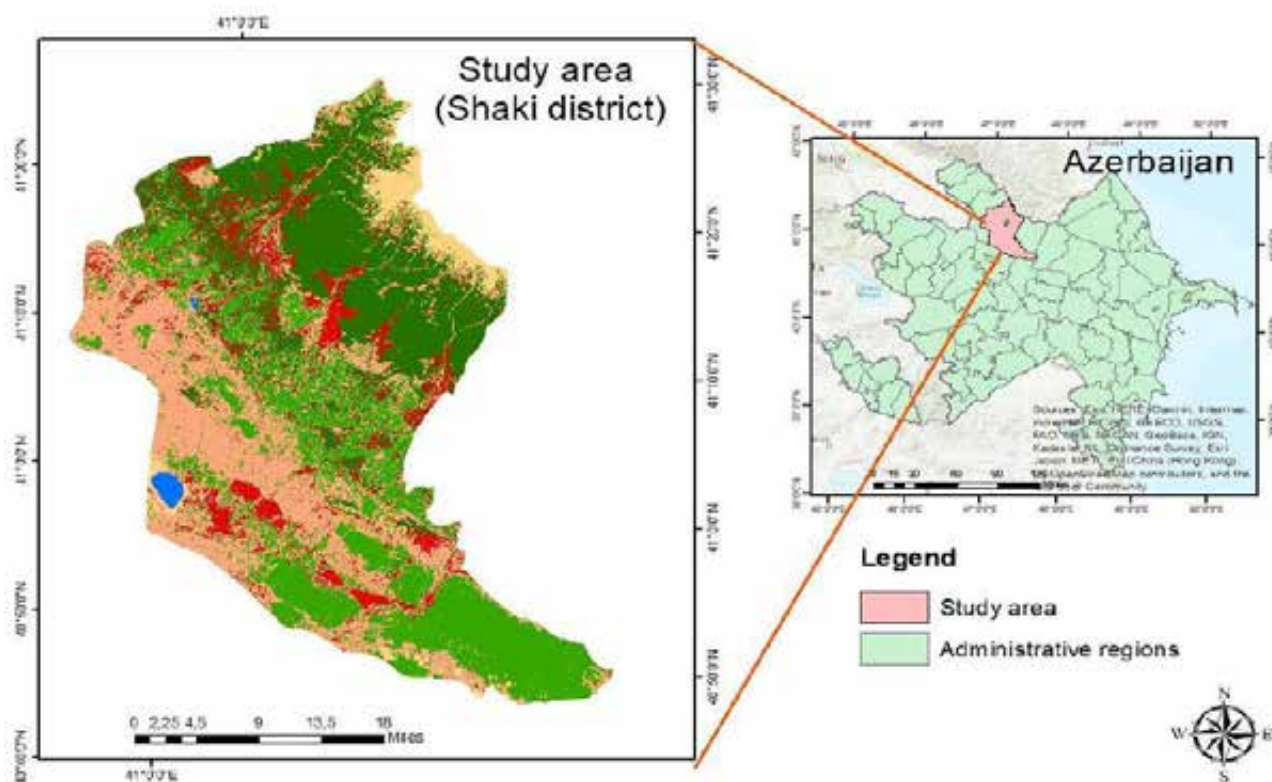


Fig. 1. The area of research

and population [9]. Nevertheless, in the classification of cities, Shaki is considered to be a regional urban center. However, recently it was removed from the group of medium cities and included in the group of big and large cities due to the increase in population, formation of large industrial areas and multi-sectoral industrial structure [10].

2.2 Data analysis

First of all, let's look at the statistical indicators of the district in order to measure the level of urbanization in the region and determine the expansion area of the city. The indicators of the population of Shaki for the years 2010 and 2020 have been taken from the database and calculations have been performed using them. It should be noted that the 2020 information is of an intermediate nature and does not reflect the most recent statistical information, as the population census was conducted twice (1999 and 2009) [26,28].

In the period 2010-2020, the population of Shaki district is on the increase. Thus, in 2010 the population was 173.5 thousand persons, in 2015 this indicator reached 182.7 thousand persons, and in 2020 it will reach 189.1 thousand persons, representing an increase of 3% over the previous year [7]. The population growth rate has fallen sharply over the same period. By 2020, the number of inhabitants will have decreased by 53 per cent, from 1,852 to 864. Furthermore, the growth rate of the population per thousand inhabitants decreased from 10.2% to 4.6%. Conversely, the difference between births and deaths is decreasing. In 2015, there were 3 003 births and 1 151 deaths in the region. In 2020, the interval between them gradually decreased, the number of births reached 2208, and the number of deaths reached 1344 people, which is a factor that directly affects the natural growth of the region (Fig 2).

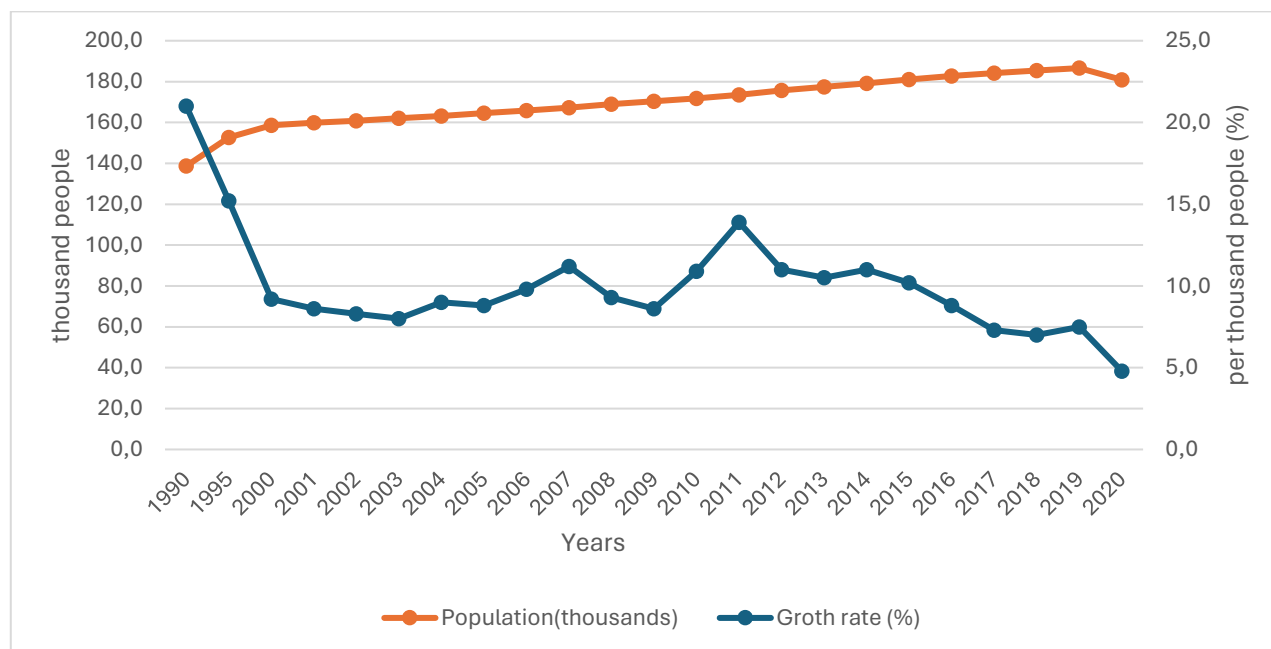


Fig. 2. Population growth indicator of Shaki region over the years (thousands of people) growth rate 4.6 % (per thousand people) Source: Prepared based on statistical data [7,28]

Villages and settlements make up the majority of the population of the region. According to the growth rate, Shaki region has been undergoing the process of construction of new housing estates, commissioning of service facilities and opening of new jobs. Currently, the expansion of the city and the corresponding changes in the use of the territory are taking place.

2.3 Method

The main method of the research is the remote sensing and Geospatial Information System (GIS) techniques that are operated on the basis of satellite images (Table 1) and their processing. The aim of these techniques is the classification and mapping of the land use/land cover of the study area, and the evaluation of the accuracy of the classification procedures to determine how well they have been carried

out and also to understand how to interpret the utility of the classification. This study was carried out with ArcGIS Pro, version 2.8.4. The following methods have been used in the research:

- Inductive and deductive methodologies (for the logical understanding and processing of available data and information on the city, its condition, role and changes).

- Benchmarking method (the author used this method at almost all stages of the study for the determination of the current state of the city and the comparison of their development levels).

- Visualisation technique (the author used this technique in combination with the graphical technique to visualise the dynamic changes in LULC for different time scales).

-Content analysis method (to analyse the spatial changes and transformations of Shaki's urban sprawl through the use of support vector machine (SVM)).

The sequence of the process and the development methodology are carried out in Figure 3. Although the approach is the same, some parameters and/or additional calculations may be performed

later. It depends on the number of data used, the indicators of the parameters, and the applied methods [2].

For this purpose, the Azersky satellite was used, and supervised classification was performed using the SVM method. The aforementioned SVM (support vector machine) method is considered the highest level of machine learning (ML) and is often used in

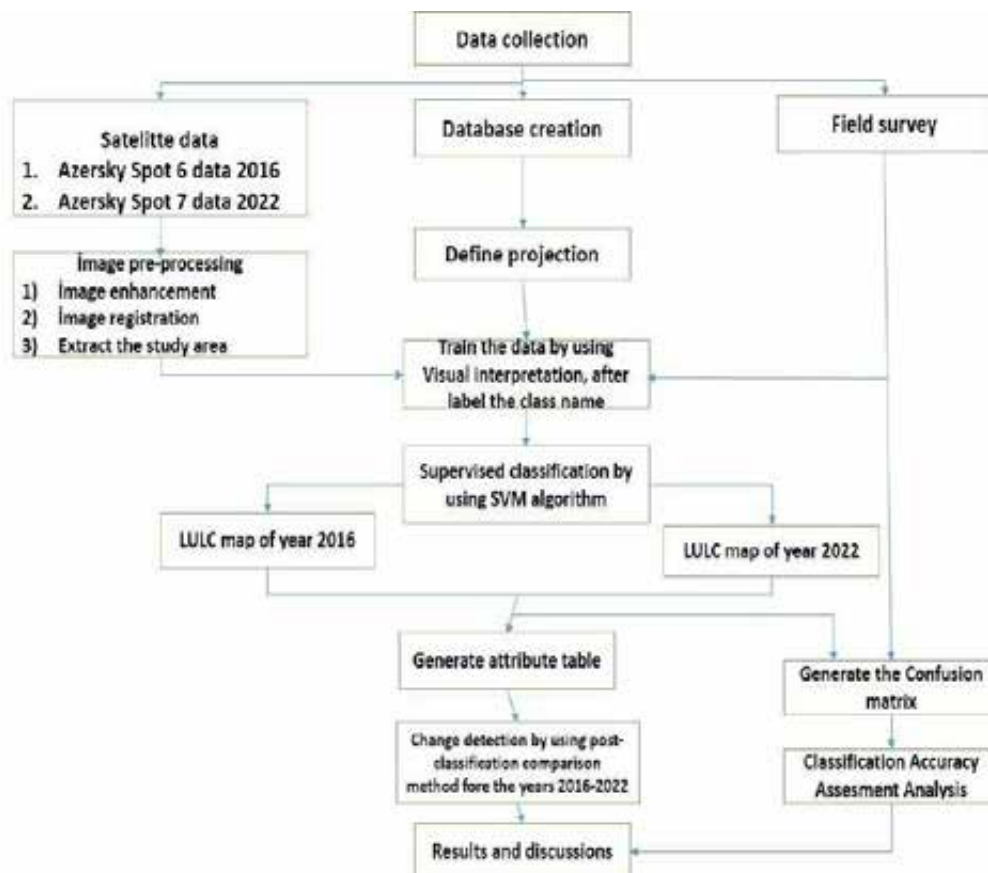


Fig. 3. The methodology and sequence of the satellite image decoding

Table 1

Satellite images were used. Source: Satellite images provided by Azercosmos to support scientific research

Name	Achieved	Name of Platform	Type	Band number
Azersky	2016	SPOT6	Orthophoto	4
Azersky	2022	SPOT7	Orthophoto	4

the process of processing satellite images. The classification of the obtained data was carried out in the following way:

- *Settlement*: it includes residential areas of the population, social infrastructure areas, transport infrastructure and its units, industrial enterprises, and agricultural production areas;
- *Forest*: Greenery, park areas, trees, and bushes in backyards were classified as forest areas during image processing;
- *Bareland*: Areas classified as low productivity, areas with no vegetation or broken areas, temporarily formed due to the reduction of the

flow area of rivers and not suitable for any agricultural area, are included in this category;

- *Agriculture*: This category includes agricultural fields and vineyards around the city;
- *Water*: Classification of the river flowing in the city of Shaki was carried out.

3. Results and Discussion

3.1 Analysis of classification results

After deciphering the distribution images obtained in the region, it can be seen that there have been significant changes in the share of individual areas in the general area (Fig. 5). Thus, the area of the settlements began to increase in the six-year period.

In 2016, residential areas (including residential areas, social infrastructure areas, industrial enterprises, and buildings) covered 22.4% of the city, and in 2022, this indicator increased by 39% (Table 2). However, during classification, some areas such as football pitches, airport grounds, and outdoor sports fields are classified as residential areas. However, these areas can also be considered fallow areas and agricultural areas.

Although GIS information systems are con-

sidered an important planning tool in spatial planning, they cannot explain change or substitution in detail. Thus, the physical changes occurring in the area are explained by social and economic processes along with geographical components. For example, it can be justified by the measures taken within the framework of the "Social and economic development of Regions" State program implemented in the region during the years 2016-2022, including the newly commissioned facilities and service areas.

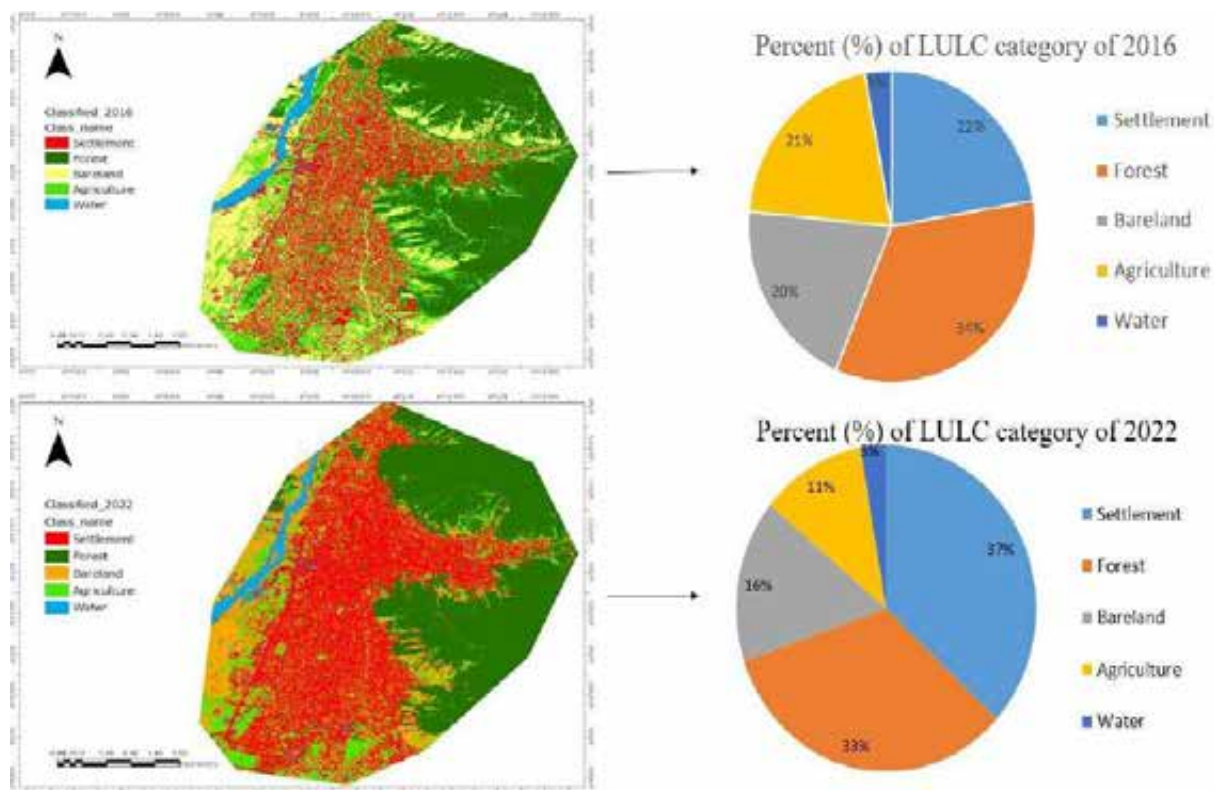


Fig. 4. Satellite images of the Shaki region in 2016 and 2022.
An image decoded using the SVM method by the author Discussion

A reduction in the total area of forest reserves is observed. So, if forests covered 34% or 1105 ha of the total area in 2016, in 2022 this number has sharply decreased to 32.9% in urban and surrounding areas. In the decoding of the forest area in the study region, the classification according to the category of sparse and dense forest was not carried out and it was evaluated as a single forest area.

A decrease in the extent of arid and unusable areas was recorded in the city of Shaki. In 2016, these areas, which were 654.4 ha, covered 20.1% of the city, but in 2022, this indicator decreased sharply to 128.9 ha, which constituted 16.2% of the area. One of the factors affecting the increase and decrease in the area of wasteland is the recent decrease in the water level of the river flowing in the region, resulting in the formation of areas in the form of small fields, which have been recorded in dry areas or unused areas.

On the other hand, as a result of the social economic development programs of the regions, the pro-

vision of gas to the population in the area has been accelerated and a large part of the gas needs of the region has been completely met, as a result, the destruction of forest resources has been prevented. In areas classified as unusable and arid, there is a decrease in the total share of arid areas due to the natural formation of bushes. In the indicated period, the number of areas without wounds decreased by 20%.

The most serious change in the use of the territory was recorded in agriculture. Thus, a decrease in the agricultural use of the territory is seen during the years 2016-2022. The general indicators of agriculture, including arable land, were 665.4 ha in 2016, and decreased to 367.6 ha in the next six years. This means a 45% or 297.8 ha decrease in the mentioned period.

There was no significant change, replacement or decreasing trend in the total area of water basins. In 2016, the area of the river flowing in the urban area was 3% (98 ha), but in 2022 these indicators were

2.8% (89.6 ha), which is quite weak and not to an appreciable extent.

3.2 The extent and direction of change

During the use of the area in the Shaki region, a transition or change between areas was observed. Figure 5 shows the categorical change, which shows the transition of land use in which sector to which

sector during 2016-2022 after classification. No changes have been recorded in the areas shown in white on the map, and the areas that have changed are marked with color intensification. Although you see a transition in all areas, except for the sharp change in the above-mentioned areas, the changes in other categories are insignificant or negligible.

Table 2

Quantitative indicators of land use (2016-2022)

No	Class name	2016		2022	
		Area(ha)	% of area	Area(ha)	% of area
1	Settlement	727,7	22,4	1196,7	36,8
2	Forest	1104,7	34	1071	32,9
3	Bareland	654,4	20,1	525,5	16,2
4	Agriculture	665,4	20,5	367,6	11,3
5	Water	98	3	89,6	2,8
Total		3250,2	100	3250,4	100

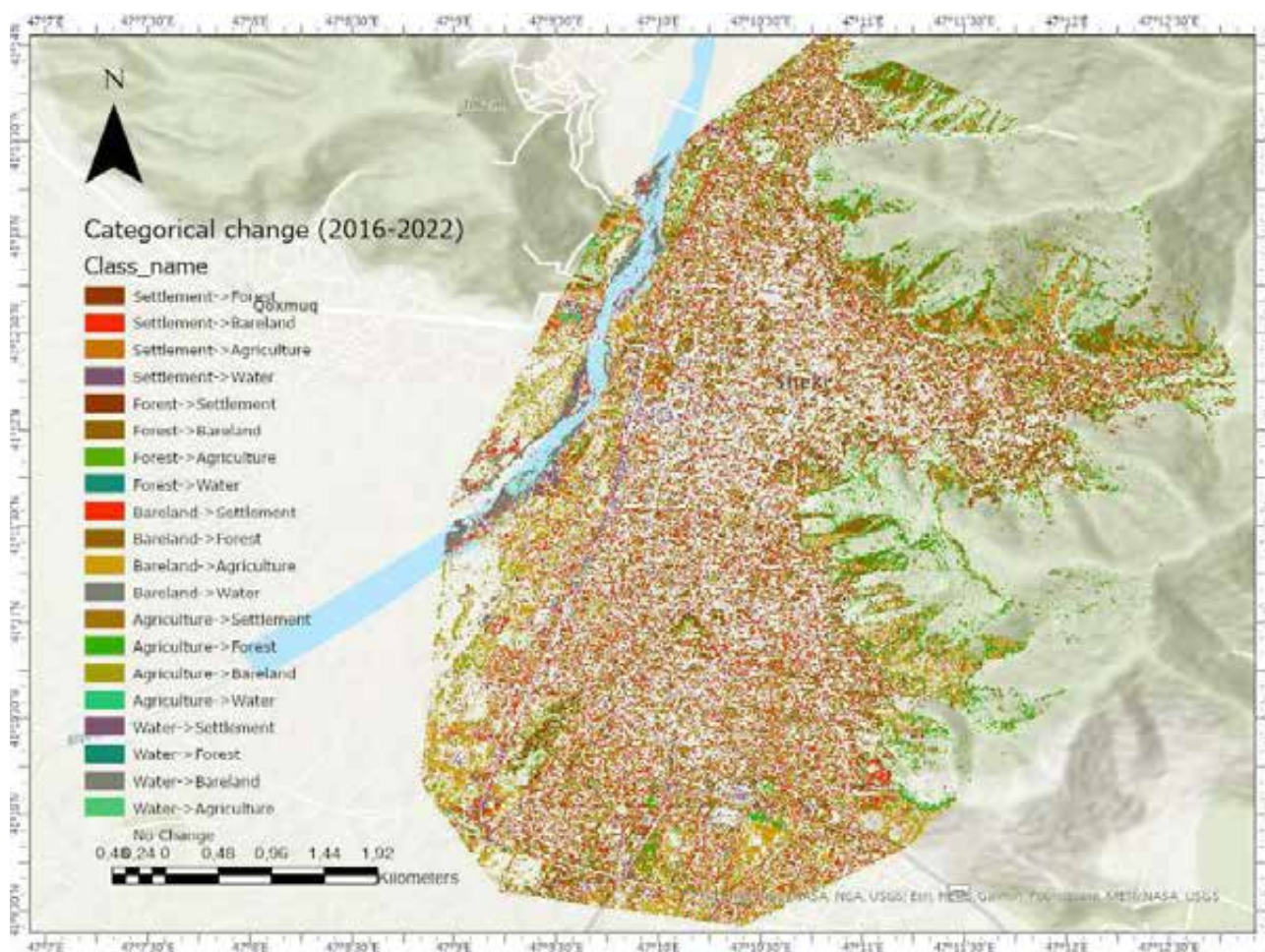


Fig. 5. Areas that have changed and remained stable during the use of land in Shaki district (2016-2022)

3.3 Performance Evaluation and Accuracy Analysis

Accuracy assessment is considered the last step in the data analysis in the remote sensing method, which allows you to check how accurate the obtained results are and is carried out after the decoding of

satellite images. The main goal here is to evaluate the accuracy of the thematic maps or classified images known as asthmatic or classification accuracy. During the accuracy analysis, 100 points were determined by the Random Forest method in the classified area, its user (UA) and producer accuracy (PU) were

calculated, and the average accuracy and Kappa effect value for the area were obtained. For this, a confusion matrix (Table 3) has been constructed for the area.

3.3.1 Confusion and Error Matrix

A confusion matrix is a multiple array of rows and columns used to evaluate the accuracy of a processed image. It has a two-dimensional structure, where rows represent reference data and columns represent classified data. The manufacturer's accuracy is defined as the probability of correctly classifying any pixel in that category [27] (Equation 1).

$$\text{Accuracy (Producer's Accuracy)} = \frac{\text{Total number of correct pixels in a category}}{\text{Total number pixels of that category derived from reference data}} \quad (1)$$

$$\text{Accuracy (User's Accuracy)} = \frac{\text{Total number of correct pixels in a category}}{\text{Total number pixels of that category derived from reference data}} \quad (2)$$

$$\text{Overall Accuracy} = \frac{\text{Sum of the diagonal elements}}{\text{Total number of accuracy sites (pixels)}} \quad (3)$$

Table 3

Confusion Matrix obtained from classification

Class Value	Settlement	Forest	Bareland	Agriculture	Water	Total	U Accuracy	Kappa
Settlement	19	0	0	0	1	20	0,95	0
Forest	0	20	0	0	0	20	1	0
Bareland	2	0	18	0	0	20	0,9	0
Agriculture	0	2	0	18	0	20	0,9	0
Water	6	0	1	0	13	20	0,65	0
Total	27	22	19	18	14	100	0	0
P Accuracy	0,703704	0,909091	0,947368	1	0,928571	0	0,88	0
Kappa	0	0	0	0	0	0	0	0,85

3.3.2 Kappa analyses

Error and Confusion matrix is a discrete multivariate method used to evaluate classification accuracy. Kappa analysis produces a kappa coefficient, or K_{hat} statistic, with values ranging from 0 to 1. The kappa coefficient (K_{hat}) is a measure of agreement between two maps that takes into account all elements of the error matrix [18] and is defined by the following equation (4):

$$K = \frac{N \sum_{i=1}^r x_{ii} - \sum_{i=1}^r (x_{i+} x_{+i})}{N^2 - \sum_{i=1}^r (x_{i+} x_{+i})} \quad (4)$$

where;

r = number of rows and columns in error matrix,

N = total number of observations (pixels)

x_{ii} = observation in row i and column i ,

x_{i+} = marginal total of row i , and x_{+i} = marginal total of column i

Looking at the Kappa coefficient after the classification of satellite images, we see that this number is equal to 0.85 (Table 3) and according to the rating criteria (Table 4) it is quite high and considered near perfect [19].

Table 4

Ranking criteria of Kappa statistics

No	Kappa statistics	Strength of agreement
1	<0.00	Poor
2	0.00 - 0.20	Slight
3	0.21 - 0.40	Fair
4	0.41 - 0.60	Moderate
5	0.61 - 0.80	Substantial
6	0.81 - 1.00	Almost perfect

Conclusion

The achieved overall accuracies for the land-cover classification for 2016 and 2022 were 85 %. They were considered sufficient for land-cover quantification and change detection analyses. The supervised classification was performed using SVM method. The images were classified into five classes; Agriculture (367,6 km²), water body (89,6km²), built up areas (1196,7 km²), mixed forest (1071 km²), and Barren/bare land (525,5 km²). Settlement was the dominant type of Landuse classified which covers about 37% of the total study and rised up 469 ha. At the same time, agricultural land has decreased by 297.8 ha, which could pose a problem for supplying the city with food.

The research questions above are fully explained by the results obtained. To explain *the first question*, population growth in the region has a positive correlation with urban growth. As the population has grown, the number of new buildings has risen, and this growth has occurred at the expense of Bare land, agricultural land and woodland. The expansion of the city continued, although the population did not rise dramatically. And the extension of the town to the south and south-east where the population previously lived. It is mainly due to construction of new housing estates such as Central clinic, an ASAN service, and Regional education division within “Social and Economic Development of Regions” State programs.

The *second part of the study's task* has been the identification of changes that have taken place in the district in terms of land use. For this purpose, the land use/land cover of the study area was classified and mapped using remote sensing and GIS techniques and change detection analysis, and the accuracy of the classification procedures was evaluated to assess their performance. The research shows that as a result of the 'flight to the centre', people have gathered in the suburban areas, noticeable changes have occurred in the land use structure between 2016 and 2022. This resulted in a decrease of 33.7 ha, 128.9 ha and 297.8 ha in woodland, bare land and agricultural land respectively.

The available satellite images for the study area cover only two years. This is not enough to predict the future. Also, the borders of the city itself (city area) are not specifically defined. That is, during the research, it was analyzed together with the surrounding villages, including Okhut, Kish, Gishlag. When the aforementioned is fully provided, it is possible to make accurate calculations on the growth index (SI) of the city, and for this, more information is needed.

Acknowledgements. The author of the article would like to thank the anonymous referees of journal for all their valuable comments and suggestions, which helped in improving of the theoretical and conclusion part of the article.

References

1. Anderson, W.P.; Kanaroglou, P.S.; Miller, E.J. (1996). *Urban Form, Energy and the Environment: A Review of Issues, Evidence and Policy*. *Urban Stud.*, 33, 7–35. [CrossRef].
2. Artunov, N. (2023). *Remote Sensing Study of the Impact of Social-Economic Development on The Scale of Land Use in The Shaki District*. *International Journal of Social Science, Education, Communication and Economics (SINOMICS JOURNAL)*, 2(1), 27–40. <https://doi.org/10.54443/sj.v2i1.110>
3. Bayramov, E. B. (2016). Quantitative assessment of 2014–2015 land-cover changes in Azerbaijan using object-based classification of LANDSAT-8 time series. *Model. Earth Syst. Environ.* 2, 35. <https://doi.org/10.1007/s40808-016-0088-8>
4. Brears (2018). *Natural Resource Management and the Circular Economy*, Palgrave Studies in Natural Resource Management, XVI, 349, <https://doi.org/10.1007/978-3-319-71888-0>
5. Carruthers, J. (2002). *The Impacts of State Growth Management Programmes: A Comparative Analysis*. *Urban Stud.*, 39, 1959–1982. [CrossRef]
6. Das, S.; Angadi, D.P. (2021). *Assessment of urban sprawl using landscape metrics and Shannon's entropy model approach in town level of Barrackpore sub-divisional region, India*. *Modeling Earth Syst. Environ.*, 7, 1071–1095. [CrossRef]
7. *Demographic indicators of Azerbaijan (2023) Statistical Review*, Baku, p 560, in *Azerbaijan Azərbaycanın demografik göstəriciləri*. *Statistik məcmuə*, 560. <https://www.stat.gov.az/source/demography/>
8. Domingo, D.; Palka, G.; Hersperger, A.M. (2021). *Effect of zoning plans on urban land-use change: A multi-scenario simulation for supporting sustainable urban growth*. *Sustain. Cities Soc.*, 69, 102833. [CrossRef]
9. Efendiyev V., Nagiyev S. (2016). *Geourbanistics, textbook for higher schools*, "Baku University" publishing house, page 272. *Baku /Əfəndiyev V., Nağıyev S. (2016). Geourbanistika, Ali məktəblər üçün dərslik, "Bakı Universiteti" nəşriyyatı, səh 272. Bakı [in Azerbaijan]*
10. Efendiyev V.A. (2002). *Urbanization and urban settlements in Azerbaijan*, Baku, Baku University. 395. *Əfəndiyev V.Ə. Urbanizasiya və Azərbaycanada şəhər yaşayış məntəqələri*, Bakı, Bakı Universiteti. 395. [in Azerbaijan]
11. Ewing, R.; Pendall, R.; Chen, D. (2002). *Measuring Sprawl and Its Impact*; Smart Growth America: Washington, DC, USA.
12. Fan, J.; Zhou, L. (2019). *Three-dimensional intergovernmental competition and urban sprawl: Evidence from Chinese prefectural-level cities*. *Land Use Policy*, 87, 104035. [CrossRef]

13. Fitawok, M.B.; Derudder, B.; Minale, A.S.; Van Passel, S.; Adgo, E.; Nyssen, J. (2020). Modeling the Impact of Urbanization on Land-Use Change in Bahir Dar City, Ethiopia: An Integrated Cellular Automata–Markov Chain Approach. *Land*, 9, 115.
14. Gavrilidis, A.A.; Nita, M.R.; Onose, D.A.; Badiu, D.L.; Nastase, I.I. (2019). Methodological framework for urban sprawl control through sustainable planning of urban green infrastructure. *Ecol. Indic.*, 96, 67–78.
15. Guan, D.; He, X.; He, C.; Cheng, L.; Qu, S. (2020). Does the urban sprawl matter in Yangtze River Economic Belt, China? An integrated analysis with urban sprawl index and one scenario analysis model. *Cities*, 99, 102611.
16. Guite, L. (2019). Assessment of urban sprawl in Bathinda city, India. *J. Urban Manag.*, 8, 195–205 [CrossRef].
17. İsmatova K (2005) Integration of geoinformation model with satellite remote sensing data for land cover mapping. In: Proceedings of the 31st international symposium on remote sensing of environment. Global monitoring for sustainability and security, Azerbaijan, Saint Petersburg, 20–24 May 2005.
18. Jensen, J.R. (1996) *Introductory Digital Image Processing: A Remote Sensing Perspective*. 2nd Edition, Prentice Hall, Inc., Upper Saddle River, NJ.
19. Landis, J.R. and Koch, G.G. (1977). A One-Way Components of Variance Model for Categorical Data. *Biometrics*, 33, 671–679. <https://doi.org/10.2307/2529465>
20. Liping C, Yujun S, Saeed S. (2018). Monitoring and predicting land use and land cover changes using remote sensing and GIS techniques—A case study of a hilly area, Jiangle, China. *PLoS ONE* 13(7): e0200493. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0200493>.
21. Manakos I, Braun M (eds) (2014) *Land use land cover mapping in Europe. Praxis and trends. Series: remote sensing and digital image processing*, 18, 441. 112 illus., 79 illus. in color. Springer. Access via Springer
22. Mansour, S.; Al-Belushi, M.; Al-Awadhi. (2020). T. Monitoring land use and land cover changes in the mountainous cities of Oman using GIS and CA-Markov modelling techniques. *Land Use Policy*, 91, 104414. [CrossRef].
23. Morar, C., Lukić, T., Valjarević, A., Niemets, L., Kostrikov, S., Sehida, K., Telebienieva, I., Kliuchko, L., Kobylina, P., & Kravchenko, K. (2022). Spatiotemporal Analysis of Urban Green Areas Using Change Detection: A Case Study of Kharkiv, Ukraine. *Frontiers in Environmental Science*, 10, 823129. <https://doi.org/10.3389/fenvs.2022.823129>
24. Menzori, I.D.; Sousa, I.C.N.d.; Gonçalves, L.M. (2021). Urban growth management and territorial governance approaches: A master plans conformance analysis. *Land Use Policy*, 105, 105436.
25. Niemets, K., Kravchenko, K., Kandyba, Y., Kobylina, P., & Morar, C. (2021). World cities in terms of the sustainable development concept. *Geography and Sustainability*, 2(4), 304–311. <https://doi.org/10.1016/j.geosus.2021.12.003>
26. Pashayev N.A, Ayyubov N.H, Eminov, Z.N. (2010). Economic, social and political geography of the Republic of Azerbaijan, Baku, . 410.//Paşayev N.Ə, Əyyubov N.H, Eminov,Z.N. (2010). *Azərbaycan Respublikasının iqtisadi, sosial və siyasi coğrafiyası*, Bakı, 410 [in Azerbaijan]
27. Rwanga, S.S. and Ndambuki, J.M. (2017). Accuracy Assessment of Land Use/Land Cover Classification Using Remote Sensing and GIS. *International Journal of Geosciences*, 8, 611–622. <https://doi.org/10.4236/ijg.2017.84033>
28. Socio-economic development of regions. (2021), Statistical collection, Baku, 728. *Regionların sosial-iqtisadi inkişafı. Statistik məcmuə*, 728. [in Azerbaijan] <https://www.stat.gov.az/source/regions/>
29. Tan, R.; Zhang, T.; Liu, D.; Xu, H. (2021). How will innovation-driven development policy affect sustainable urban land use: Evidence from 230 Chinese cities. *Sustain. Cities Soc.*, 72, 103021.
30. Torrens, P. (2008). A Toolkit for Measuring Sprawl. *Appl. Spat. Anal. Policy*, 1, 5–36. [CrossRef].
31. Wang, X.; Shi, R.; Zhou, Y. (2020). Dynamics of urban sprawl and sustainable development in China. *Socio-Econ. Plan. Sci.*, 70, 100736. [CrossRef].
32. Wassie, S. (2020). Natural resource degradation tendencies in Ethiopia: a review. *Environ Syst Res* 9, 33. <https://doi.org/10.1186/s40068-020-00194-1>.
33. Whyte, W. (1958). *The Exploding Metropolis*; Doubleday: Garden City, NY, USA.
34. Zhou, D.; Li, Z.; Wang, S.; Tian, Y.; Zhang, Y.; Jiang, G. (2021). How does the newly urban residential built-up density differ across Chinese cities under rapid urban expansion? Evidence from residential FAR and statistical data from 2007 to 2016. *Land Use Polic.*

Authors Contribution: All authors have contributed equally to this work

Просторово-часовий аналіз розростання міст із використанням виявлення змін на прикладі Шекінського району Азербайджану

Нофал Артунов¹

аспірант, наук. співробітник кафедри політичної та економічної географії Азербайджану,

¹ Інститут географії імені Гасана Алієва,

просп. Г. Джавіда, 115, Баку, Az 1143, Азербайджан;

Наріман Пашаєв¹

д. геогр. н., завідувач кафедри політичної та економічної географії Азербайджану;

Ельнура Гасимова²

к. геогр. н., викладач кафедри економічної та соціальної географії,

² Бакинський державний університет, Акад. Західа Халілова, 33, Баку, Az 1148, Азербайджан

Сучасний глобалізований світ характеризується стрімким зростанням населення, його значною концентрацією в містах, збільшенням міського населення. Нині в сучасних містах постає багато соціокультурних, економічних, екологічних та інших викликів. Таким чином, міста виходять із загального розуміння та демонструють нові характеристики: знижена щільність, розосереджена забудова, погана доступність і монофункціональність. Однак концентрація населення в містах також приносить свої проблеми. Метою дослідження було визначити процес міського розвитку міста Шахі та те, як його землекористування змінювалося з часом. Досліджується приріст населення в регіоні та збільшення питомої ваги міського населення між 2016 і 2020 роками, аналізується тенденція зростання населення за 20-річний період. Напрямок і масштаб міського землекористування вивчали шляхом визначення зв'язку між темпами зростання міського населення та розширенням міської території, а також шляхом аналізу змін, що відбулися протягом періоду землекористування. Для цього також використовувалися статистичні дані, а також дані супутника Azersky. Було застосовано машинне навчання (ML), яке широко використовується в системах дистанційного зондування, було виконано машинне навчання опорних векторів (SVM), класифікація та обробка зображень. На основі отриманих даних проведено порівняльний аналіз попередніх і поточних умов і розраховано площу зміни площі між класифікованими територіями. Одночасно показано зміни між категоріями під час використання території та останні зміни у напрямі використання землі. Було оцінено ефективність класифікації, визначено точність користувача та виробника та розраховано каппа. Збільшення населення Шахінського району призвело до збільшення питомої ваги міського населення та розширення міста на південь і південний схід, де раніше населення проживало мало. В основному це пов'язано з будівництвом нових житлових масивів в області, а також будівництвом центральної поліклініки, служби АСАН, обласного управління освіти. Спостерігалася «втеча до центру», що призвело до помітних змін у структурі землекористування між 2016 та 2022 роками відповідно до темпів зростання урбанізації та економічного розвитку. Розшифровка розподільних знімків регіону показує, що за шестирічний період відбулося збільшення площ населених пунктів. До 2016 року населені пункти займають 22,4% території міста, а до 2022 року – 39%. З 34% до 32,9% зменшилась загальна площа лісо-заповідного фонду. У статті вперше описано урбаністичні та територіальні трансформації Шахінського району в контексті зростання населення за допомогою аналізу виявлення змін. Практична цінність дослідження полягає в можливості використання його алгоритму та методики для проведення аналогічних досліджень в інших містах Азербайджану. Результати дослідження є значущими в контексті обґрунтування регіональних заходів адаптації розширення міст до зростання населення.

Ключові слова: урбанізація, місто Шахі, Azersky, коефіцієнт Каппа, зростання населення, просторове планування, землекористування, виявлення змін, розростання міст.

Внесок авторів: всі автори зробили рівний внесок у цю роботу

Надійшла 1 вересня 2023 р.
Прийнята 6 листопада 2023 р.

Багаторічна динаміка температури повітря зимового та весняного сезонів у центральній Україні

Ольга Гелевера¹

к. геогр. н., доцент, кафедра загального землеробства,

¹ Центральноукраїнський національний технічний університет,

пр. Університетський, 8, Кропивницький, 25000, Україна,

e-mail: olga.gelevera@gmail.com,  <https://orcid.org/0000-0002-1582-9714>;

Микола Мостіпан¹

к. біолог. н., професор, завідувач кафедри загального землеробства,

e-mail: mostipan1960@ukr.net,  <https://orcid.org/0000-0001-5317-6315>;

Сергій Топольний²

к. біолог. н., докторант,

² Національний університет біоресурсів і природокористування України,

вул. Героїв Оборони, 15, Київ, 03041, Україна,

e-mail: sergii.topolnyi@yara.com,  <https://orcid.org/0009-0002-4257-2050>

Це перша частина трилогії присвяченої аналізу кліматичних показників центральної України за весь період інструментальних спостережень, у якій проаналізовано показники температури повітря за даними метеостанцій міст Умані, Кропивницького та Полтави. На усіх метеостанціях прослідковується тренд на підвищення як середніх річних температур повітря, так і температур за окремими місяцями. Зокрема, в Умані середні річні температури за весь період спостережень (137 років) зросли з +6,8°C до +8,4°C, тобто на 1,6 градуси. У Кропивницькому середні річні температури за весь період спостережень (148 років) зросли з +7,4°C до +8,8°C, тобто на 1,4 градуси. У Полтаві середні річні температури за весь період спостережень (198 років) зросли з +5,9°C до +8,4°C, тобто на 2,5 градуси (з 1886 року – з +6,4°C до +8,6°C, тобто на 2,2 градуси). На усіх метеостанціях найбільш значне підвищення середніх річних температур відбулося у період з 1989 по 2022 роки. Найбільше підвищення температури відбулося у зимові місяці. За весь період спостережень середньомісячні температури грудня зросли на від 2,0 градусів у Кропивницькому, 2,3 градуси – в Умані до 3,6 градусів (з 1886 року – 3,3) у Полтаві. Середньомісячні температури січня зросли на від 2,4 в Умані та Кропивницькому до 4,9 градусів (з 1886 року – 3,5) у Полтаві. Середньомісячні температури лютого зросли на від 2,2 градусів у Кропивницькому, 3,4 – в Умані до 4,1 (з 1886 року – 2,9) градусів у Полтаві. Для всіх трьох метеостанцій є спільні періоди підвищень та знижень температури, зокрема, підвищення середньомісячних температур зимових місяців відбувалося 1987-1989 по 2022 роки. Також значно зросли температури повітря у весняні місяці. За весь період спостережень середньомісячні температури березня зросли від 2,3 градусів у Кропивницькому, 3,0 – в Умані до 3,6 (з 1886 року – 3,5) градусів у Полтаві. Середньомісячні температури квітня зросли від 2,1 градусів у Кропивницькому, 2,4 – в Умані до 4,2 (з 1886 року – 3,4) градусів у Полтаві. Середньомісячні температури травня зросли на від 0,5 градусів в Умані та Кропивницькому до 2,9 (з 1886 року – 1,3) – у Полтаві. Для всіх трьох метеостанцій є спільні періоди підвищень та знижень температури, зокрема, незначне підвищення середньомісячних весняних температур відбувалося з 1988-1990 по 2022 роки.

Ключові слова: клімат, температура, середня місячна температура повітря, територія України, регіональні зміни клімату, зима, весна.

Як цитувати: Гелевера Ольга. Багаторічна динаміка температури повітря зимового та весняного сезонів у центральній Україні / Ольга Гелевера, Микола Мостіпан, Сергій Топольний // Вісник Харківського національного університету імені В. Н. Каразіна, серія «Геологія. Географія. Екологія», 2023. – Вип. 59. – С. 83-94. <https://doi.org/10.26565/2410-7360-2023-59-07>

In cites: Helevera Olha, Mostipan Mykola, Topolnyi Sergii (2023). Winter and spring long-term dynamic of air temperature in Central Ukraine. Visnyk of V. N. Karazin Kharkiv National University, series "Geology. Geography. Ecology", (59), 83-94. <https://doi.org/10.26565/2410-7360-2023-59-07> [in Ukrainian]

Постановка проблеми. Питання аналізу і прогнозу зміни погодно-кліматичних умов у певні періоди часу є найбільш складним у кліматології. Взаємодія атмосферної і океанічної циркуляції з полярною кригою створює не тільки короткострокові коливання погоди, але і зміни, що можуть тривати до 10 тисяч років. Найменш вивченими залишаються короткострокові цикли довжиною 11-33 років. Коливання менших інтервалів розглядаються як мінливість клімату, а більш тривалі – як коливання, які мають незворотній характер.

Детальне розуміння часових і просторових

закономірностей зміни клімату з високою роздільною здатністю протягом попередніх століть має важливе значення для оцінки ступеня, до якого зміни кінця 20-го – початку 21-го століття можуть бути незвичними у світлі доіндустріальної природної мінливості клімату.

Аналіз останніх досліджень і публікацій.

Колівання температурних показників для Європи за період до 1500 року найбільш детально розглянуті у праці «European Seasonal and Annual Temperature Variability, Trends, and Extremes Since 1500». Автори використали мультипроксі-реконструкції полів місячної та сезонної температури

поверхні та з'ясували, що європейський клімат кінця 20-го та початку 21-го століття дуже ймовірно (рівень достовірності >95%) тепліший, ніж будь-який час протягом останніх 500 років. Це узгоджується з висновками для всієї Північної півкулі. Середні європейські зимові температури у період із 1500 по 1900 роки нижчі на $\sim 0,5^{\circ}\text{C}$ ($0,25^{\circ}\text{C}$ для середньорічних температур) порівняно з 20-м століттям. Літні температури не зазнавали систематичного охолодження в столітньому масштабі відносно сучасних умов. Найхолоднішою європейською зимою була 1708-1709 років; 2003 рік був з найспекотнішим літом [12].

За винятком двох коротких періодів приблизно в 1530 і 1730 роках, європейські зими були загалом холоднішими, ніж у 20 столітті. Найхолодніші зимові періоди спостерігалися наприкінці 16 століття, протягом останніх десятиліть 17 століття та наприкінці 19 століття [12]. Період повернення (повторення найхолоднішої зими 1708-1709 років) від 200 до 500 років для зимових умов від 1750 до ~ 1900 . Потепління 20-го століття призводить до збільшення цього періоду.

Сильний зимовий тренд потепління спостерігався між 1684 і 1738 роками. Лінійний тренд для цього періоду становить $+0,32^{\circ}\text{C}$ на десятиліття. Такого інтенсивного підвищення температури взимку в Європі протягом порівнянного періоду часу не спостерігалось в іншому місці за 500-річний запис. Масштабне потепління в Європі за цей час могло бути спричинене різними процесами: посилення сонячної активності та великі виверження вулканів призводять до континентального потепління, проте, сонячні зміни впливають на континентальні масштаби набагато сильніше [12].

Лінійний тренд зимової температури для 20-го століття (з 1901 по 2000 рік) становить $+0,08^{\circ}\text{C}$ на десятиліття. Зима 1989-1990 років і десятиліття з 1989 по 1998 рік були найтеплішими з 1500 року. Період з 1989 по 1998 рік був майже два рази теплішим, ніж друге найтепліше десятиліття (1733-1742), таким чином, було тепліше, ніж у будь-яке інше десятиліття з 1500 року. У багатодесятирічній часовій шкалі (30-річні середні значення), зими між 1973 і 2002 роками, ймовірно, були (імовірність 85%) найтеплішим 30-річним періодом останнього півтисячоліття. Однак зима 2002-2003 була на $0,4^{\circ}\text{C}$ холоднішою, ніж середній показник за 1901–1995 роки. 19 століття ($-0,32^{\circ}\text{C}$) було найхолоднішим за останні півтисячоліття [12]. Найхолодніші десятирічні періоди спостерігалися у другій половині 19 століття та наприкінці 17 століття. Десятирічні континентальні річні зміни температури протягом доіндустріальних часів, очевидно, зумовлені головним чином змінами сонячної активності [19], хоча

тривалі періоди вулканізму також могли сприяти похолоданню в Європі.

20-е століття (1901-2000) було найтеплішим з 1500 року. У 20-му столітті спостерігалася сильна тенденція до потепління $+0,08^{\circ}\text{C}$ за десятиліття. Останні 30 років (1974–2003) температури були на $\sim 0,45^{\circ}\text{C}$ вищими, ніж другі найтепліші 30-річні періоди (1722–1751 та 1750–1779) реконструкцій. Дев'ять найтепліших європейських років відбулися з 1989 року. 1989 рік ($+1,3^{\circ}\text{C}$) і десятиліття з 1994 по 2003 рік ($+0,84^{\circ}\text{C}$) були, найвірогідніше, найтеплішими за понад півтисячоліття [12].

Температура повітря у кожному з останніх трьох десятиріч була вищою за всі попередні, починаючи з 1850, а перше десятиріччя 21-го століття було найтеплішим. У Північній півкулі період з 1983 по 2012 був, найтеплішим 30-ти річним періодом за останні 1400 років. Середня температура земної поверхні зросла на $0,85^{\circ}\text{C}$ протягом періоду з 1880 по 2012 рік, що було розраховано з використанням лінійного тренду на основі декількох окремо розроблених рядів даних [14].

Згідно очікуваних майбутніх змін клімату, зміна середньої глобальної приземної температури у короткостроковій перспективі за період 2016–2035 рр. в порівнянні з 1986–2005 рр. буде, ймовірно, в діапазоні $0,3\text{--}0,7^{\circ}\text{C}$. Ця оцінка передбачає відсутність великих вивержень вулканів або довготривалих змін сумарної сонячної радіації [15]. Проте, у кінці 2021 – на початку 2022 років відбулося виверження вулкану Hunga Tonga-Hunga Ha'apai (НТНН), який викинув величезну кількість водяної пари в атмосферу, що призвело до підвищення температури у зимові місяці у північній півкулі [20]. У короткостроковій перспективі (2021-2040 рр.) вельми вірогідним є збільшення середньої глобальної приземної температури за 20 років на $1,5^{\circ}\text{C}$ порівняно із середнім показником за період 1850-1900 рр [18]. Дуже ймовірно, що частота холодних періодів і морозних днів буде продовжувати зменшуватися протягом цього століття, і цілком ймовірно, що холодні періоди практично зникнуть до кінця століття [13].

Тривають дослідження динаміки кліматичних показників для території України та її регіонів [1, 2, 22], проте часто вони охоплюють не весь період інструментальних спостережень [3, 7]. Дослідники зазначають, що середньорічна температура підвищилася на $0,6\pm 0,2^{\circ}\text{C}$ за 100 років [9, 10]. Є спроби прогнозування змін клімату на основі проєкції регіональних кліматичних характеристик (на прикладі Одеської області). Відповідно до них у період найближчого майбутнього (до 2030 року) зміни середньої річної температури повітря відносно сучасного періоду складають $+0,44\pm 0,3^{\circ}\text{C}$, а її значення – $10,9^{\circ}\text{C}$. Несуттєві зміни

середньої місячної температури повітря (у межах $\pm 0,05^{\circ}\text{C}$) очікуються з січня до березня, а з квітня і до кінця року очікується поступальне підвищення середніх місячних температур повітря. Найбільші підвищення очікуються у грудні, вересні та липні ($+0,8 \pm 0,5^{\circ}\text{C}$, $+0,79 \pm 0,4^{\circ}\text{C}$, $+0,74 \pm 0,4^{\circ}\text{C}$ відповідно) [5].

Проекції змін температури повітря на території України до середини XXI ст. вказують на одностороннє потепління в усі місяці року. Зміни середньої річної температури у цьому періоді прогнозуються $+1,41 \pm 0,2^{\circ}\text{C}$, а її значення – $11,9^{\circ}\text{C}$, що на $1,0^{\circ}\text{C}$ вище за попередній період. Максимальні значення змін очікуються, як і в попередньому періоді, у грудні $+2,05 \pm 0,4^{\circ}\text{C}$. На відміну від періоду найближчого майбутнього, значні зміни відбудуться у серпні $+1,81 \pm 0,4^{\circ}\text{C}$ та січні $+1,61 \pm 0,6^{\circ}\text{C}$, найменші – навесні з мінімумом у лютому $+0,79 \pm 0,4^{\circ}\text{C}$. Січень, як і в період 2011–2030 рр., очікується найхолоднішим місцем року ($-0,3^{\circ}\text{C}$) [5]. У порівнянні з 1961–1990 роками, найменших змін зазнає середньомісячна температура повітря весною та восени (до 1°C), тоді як збільшення температури влітку та взимку становитиме $2,5\text{--}3,5^{\circ}\text{C}$ [23].

У січні температура підвищилась повсюдно. Найбільше підвищення ($3,0^{\circ}\text{C}$) відбулося на північному сході та сході, на значній частині країни воно становило $2,0^{\circ}\text{C}$, на півдні й Закарпатській низовині $1,0\text{--}1,4^{\circ}\text{C}$ [6]. У лютому на більшій частині території потеплішало на $1,5\text{--}2,0^{\circ}\text{C}$, на південному сході температура повітря підвищилась на $1,0^{\circ}\text{C}$, у Криму і на Закарпатті – на $0,5^{\circ}\text{C}$. У березні підвищення на $1,0\text{--}1,5^{\circ}\text{C}$ відмічається на переважній частині території, а на Закарпатській низовині – всього на $0,3^{\circ}\text{C}$. У квітні температура повітря за 1991–2010 рр. на більшій частині території стала вищою на $1,0^{\circ}\text{C}$ і лише на півдні та на Закарпатті вона підвищилась на $0,4^{\circ}\text{C}$. У травні на заході відбулося незначне підвищення температури повітря (на $0,4\text{--}0,7^{\circ}\text{C}$), на решті території температура майже не змінилась. У грудні відбулося зниження температури повітря на $0,1\text{--}0,5^{\circ}\text{C}$ по всій території. Загалом за рік повсюдно температура повітря підвищилась майже на $1,0^{\circ}\text{C}$ [6]. Важливо виявити динаміку сучасних змін температури повітря на тлі вікового ходу температури за весь період спостережень (1881–2010 рр.), де чітко простежуються її тривалі підвищення та зниження. Умовно можна виділити два періоди: 1881–1946 рр. та 1947–2010 рр. Порівняння цих періодів показало, що у зимові місяці температура повітря за 1947–2010 рр. вища ніж за 1881–1946 рр., а в літні – вона майже однакова за ці ж періоди. У зимові місяці стійка тенденція до підвищення температури повітря, яка спостерігається не лише в останні роки (1991–2010 рр.), а

упродовж тривалого часу, вплинула на період 1947–2010 рр.

Середня річна температура повітря в останні майже двадцять років має загальний тренд зростання, не зважаючи на те, що у часовому розподілі чітко виокремлюються два періоди: 2000–2006 та 2007–2018 років. Причому, у першому випадку спостерігається незначне зниження, а у другому – збільшення значень цієї характеристики. У північних та північно-східних регіонах України річна температура зросла на $1,0 \pm 0,2^{\circ}\text{C}$ /100 років; у південних та південно-західних регіонах – лише на $0,5 \pm 0,1^{\circ}\text{C}$ /100 років; спостерігається зменшення амплітуди сезонного ходу температури на $\sim 0,4\text{--}0,5^{\circ}\text{C}$: значне потепління в холодний період року ($1,0\text{--}2,0^{\circ}\text{C}$ /100 років), для весни ($1,5\text{--}2,0^{\circ}\text{C}$ /100 років); потепління було незначним у літні місяці [10].

Дослідники відзначають, що потепління клімату на території України загалом позитивно впливає на продуктивність рослинництва: можна прогнозувати збільшення врожаю озимої пшениці у всіх природно-кліматичних зонах України, в т. ч. для Лісостепу до 10–15%, для Степу і Полісся до 20–30%. У сприятливі роки за умовами зволоження врожайність озимої пшениці, як і у цілому зернових культур, може значно збільшитися на всій території України. Таким чином, очікується, що зміни клімату сприятимуть у середньостроковій і довгостроковій перспективі помітному збільшенню урожайності та валових зборів як озимої пшениці, так і інших зернових, в т.ч. кукурудзи. При цьому очікується, що озима та яра пшениці, ячмінь, рис, соя будуть рости краще, строки їх дозрівання прискоряться, а врожайність збільшиться на 20–30%, а урожайність кукурудзи, сорго, просо може знизитися [4].

Виділення невирішених раніше частин загальної проблеми, яким присвячується стаття. Зміни клімату з роздільною здатністю від сезонного до річного протягом останніх століть були висвітлені у ряді досліджень, які включали експерименти з моделювання клімату з оцінками природних і антропогенних радіаційних змін та емпіричні реконструкції [11, 14, 16, 17, 19]. Реконструкції температури півкулі та глобальної температури не дають інформації про варіації регіонального масштабу, такі як характерні сезонні закономірності зміни клімату, які відбувалися, зокрема, у центральній Україні протягом останніх століть. Зараз велика увага приділяється дослідженню локальних (регіональних) кліматів, бо тенденції змін температури повітря є неоднозначними у різних регіонах. Тому залишається актуальним питання опрацювання інструментальних досліджень клімату центральної України за якомога триваліший час.

Метою дослідження є аналіз даних метеостанцій центральної України, які мають найтриваліший безперервний чи майже безперервний період спостережень (Умань, Кропивницький, Полтава). Завданням дослідження є визначення: – змін середньорічних температур повітря; – змін середньомісячних температур повітря зимових та весняних сезонів; – періодів підвищення та зниження температурних показників протягом всього часу інструментальних спостережень (137-198 років) на території центральної України.

Виклад основного матеріалу дослідження. Для характеристики клімату центральної України взяті метеорологічні дані метеостанцій, які мають найтриваліший безперервний чи майже безперервний період спостережень. Зокрема, проаналізовані температурні показники:

1. Метеорологічної станції в Умані (Черкаська область), яка має координати: широта 48.77 довгота 30.23, розташована на висоті 216 м над рівнем моря. Метеостанція працює з 1885 року та наявні безперервні дані за 137 років.

2. Метеорологічної станції у Кропивницькому (Кіровоградська область), яка має координати: широта 48.52 довгота 32.20, розташована на висоті 171 м над рівнем моря. Метеостанція працює з 1874 року, проте, частково або повністю

відсутні метеодані за 1941-1944 рр. Проаналізовані метеодані за 148 років.

Метеорологічної станції у Полтаві має координати: широта 49.60 довгота 34.55, розташована на висоті 160 м над рівнем моря. Метеостанція працює з 1824 року, проте, частково або повністю відсутні метеодані за 1832-1835, 1858, 1865-1885, 1941-1943 рр. Проаналізовані метеодані за 198 років.

Ряд вчених виділяють періодичні компоненти кліматичних змін, основним з яких є одинадцятирічний цикл сонячної активності (цикл Швабе) [2]. Тому окрім емпіричних даних на графіках ми додали одинадцятирічні ковзні.

Аналіз даних метеорологічної станції в Умані за 137 років показав наступне: середня річна температура повітря складає $+7,62^{\circ}\text{C}$. Найнижча була зафіксована у 1942 році $+4,8^{\circ}$. Найвища – у 2020 році $+10,7^{\circ}$. Згідно графіку лінійного тренду, середні річні температури за весь період спостережень зросли з $+6,8^{\circ}$ до $+8,4^{\circ}$, тобто на $1,6^{\circ}\text{C}$. За період з 1885 по 1987 підвищення середньої річної температури майже не відбувалося. Натомість, з 1989 по 2022 відбулося досить значне підвищення температури, згідно графіку одинадцятирічних ковзних (рис. 1).

Аналіз даних метеорологічної станції у Кро-



Рис. 1. Середні річні температури у $^{\circ}\text{C}$ на території центральної України (Умань, Кропивницький, Полтава): 1 – емпіричні дані; 2 – одинадцятирічні ковзні; 3 – лінійний тренд /

Fig. 1. Average annual temperatures in $^{\circ}\text{C}$ in central Ukraine (Uman, Kropyvnytskyi, Poltava):

1 – empirical data; 2 – eleven-year moving averages; 3 – linear trend

півницькому за 148 років показав наступне: середня річна температура повітря складає $+8,15^{\circ}\text{C}$. Найнижча була зафіксована у 1987 році $+5,9^{\circ}\text{C}$. Найвища – у 2020 році $+11,0^{\circ}\text{C}$. Згідно графіку лінійного тренду, середні річні температури за весь період спостережень зросли з $+7,4$ до $+8,8^{\circ}\text{C}$, тобто на $1,4$ градуси. За період з 1874 по 1987 підвищення середньої річної температури майже не відбувалося. Натомість, з 1989 по 2022 також відбулося досить значне підвищення температури, згідно графіку одинадцятирічних ковзних (рис. 1).

Аналіз даних метеорологічної станції у Полтаві за 198 років показав наступне: середня річна температура повітря складає $+7,29^{\circ}$. Найнижча була зафіксована у 1840 році $+4,6^{\circ}\text{C}$. Найвища – у 2020 році $+10,6^{\circ}\text{C}$. Згідно графіку лінійного трен-

ду, середні річні температури за весь період спостережень зросли з $+5,9^{\circ}$ до $+8,4^{\circ}$, тобто на $2,5$ градуси (з 1886 року – з $+6,4^{\circ}$ до $+8,6^{\circ}$, тобто на $2,2^{\circ}\text{C}$). Аналізуючи графік одинадцятирічних ковзних, можна виділити наступні періоди: з 1824 по 1863 роки – підвищення температури; з 1887 по 1933 роки – незначні коливання температури; з 1934 по 1975 роки – незначне підвищення температури; з 1976 по 1987 роки – незначне зниження температури; з 1989 по 2022 роки – досить значне підвищення температури (рис. 1).

Характеристика зимових місяців року

Грудень: Середньомісячна багаторічна температура грудня в Умані становить $-2,71^{\circ}\text{C}$. Найнижча була зафіксована у 1890 році $-11,3^{\circ}$. Найвища – у 1960 році $+3,2^{\circ}$. Згідно графіку лінійного

тренду, середньомісячні температури грудня за весь період спостережень зросли з $-3,9^0$ до $-1,6^0$, тобто на $2,3$ градуси. Аналізуючи графік одинадцятирічних ковзних, можна виділити наступні періоди: з 1885 по 1919 роки – підвищення температури; з 1920 по 1934 роки – незначне зниження температури; з 1935 по 1960 роки – незначне підвищення температури; з 1961 по 2003 роки – незначні коливання температури; з 2004 по 2022 роки – незначне підвищення температури (рис. 2).

У Кропивницькому середньомісячна багаторічна температура грудня найвища серед досліджуваних метеостанцій $-2,60^0$. Найнижча була

зафіксована теж у 1890 році $-10,5^0$. Найвища – у 1886 році $+3,7^0$. Згідно графіку лінійного тренду, середньомісячні температури грудня за весь період спостережень зросли з $-3,6^0$ до $-1,6^0$ тобто на $2,0^0\text{C}$. Аналізуючи графік одинадцятирічних ковзних, можна виділити наступні періоди: з 1874 по 1899 роки - незначні коливання температури; з 1900 по 1918 роки – незначне підвищення температури; з 1919 по 1934 роки – незначне зниження температури; з 1935 по 1960 роки – незначне підвищення температури; з 1961 по 2003 роки – незначні коливання температури; з 2004 по 2022 роки – незначне підвищення температури (рис. 2).

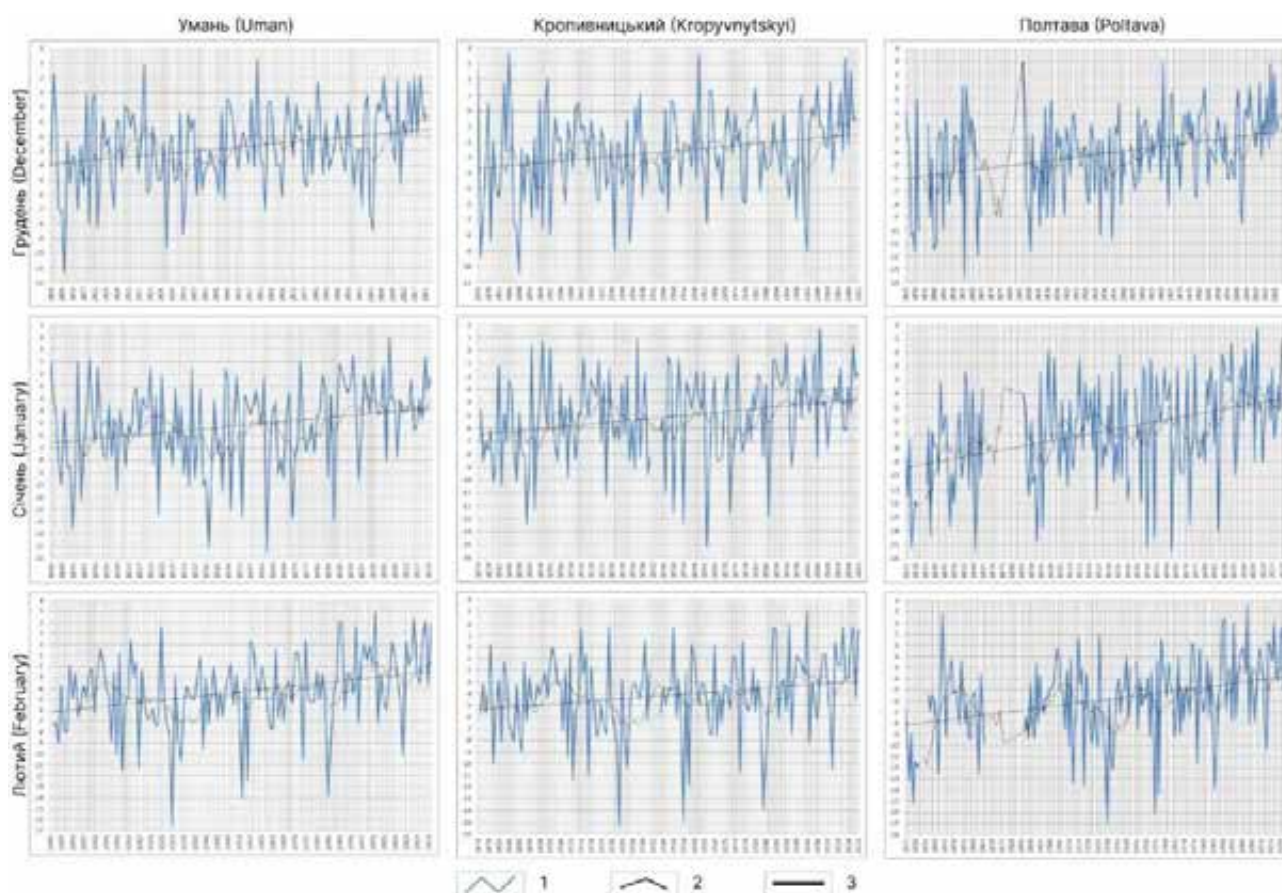


Рис. 2. Середні температури у ^0C зимових місяців (грудень, січень, лютий) на території центральної України (Умань, Кропивницький, Полтава) :
1 – емпіричні дані; 2 – одинадцятирічні ковзні; 3 – лінійний тренд /

Fig. 2. Average temperatures in ^0C in the winter months (December, January, February) in central Ukraine (Uman, Kropyvnytskyi, Poltava) : 1 – empirical data; 2 – eleven-year moving averages; 3 – linear trend

У Полтаві середньомісячна багаторічна температура найнижча серед досліджуваних метеостанцій $-4,05^0\text{C}$. Найнижча у 1855 році $-13,5^0$. Найвища спостерігалася у 1960 році, так само як в Умані, $+3,0^0$. Згідно графіку лінійного тренду, середньомісячні температури грудня за весь період спостережень значно зросли з $-6,0^0$ до $-2,4^0$, тобто на $3,6$ градуси (з 1886 року – з $-5,3^0$ до $-2,0^0$, тобто на $3,3^0\text{C}$). Аналізуючи графік одинадцятирічних ковзних, можна виділити наступні періоди: з 1825 по 1860 роки - підвищення температури; з 1888 по

1934 роки – незначні коливання температури; з 1936 по 1983 роки – незначне підвищення температури; з 1985 по 2003 роки – незначне зниження температури; з 2004 по 2022 роки – підвищення температури (рис. 2).

Для всіх трьох метеостанцій є спільні періоди підвищень та знижень температури, зокрема, підвищення середньомісячних температур грудня відбувалося з 2004 по 2022 роки.

Січень: в Умані середньомісячна багаторічна температура становить $-5,22^0\text{C}$. Найнижча була

зафіксована у 1963 році $-15,4^{\circ}$. Найвища – у 2007 році $+2,0^{\circ}$. Згідно графіку лінійного тренду, середньомісячні температури січня за весь період спостережень зросли з $-6,5^{\circ}$ до $-4,1^{\circ}$, тобто на $2,4$ градуси. Аналізуючи графік одинадцятирічних ковзних, можна виділити наступні періоди: з 1885 по 1923 роки – незначне підвищення температури; з 1924 по 1947 роки – незначне зниження температури; з 1948 по 1962 роки – незначне підвищення температури; з 1963 по 1972 роки – незначне зниження температури; з 1975 по 2022 роки – незначне підвищення температури (рис. 2).

У Кропивницькому середньомісячна багаторічна температура серед досліджуваних метеостанцій найвища $-5,12^{\circ}\text{C}$. Найнижча теж у 1963 році $-15,1^{\circ}$. Найвища – теж у 2007 році $+1,6^{\circ}$. Згідно графіку лінійного тренду, середньомісячні температури січня за весь період спостережень зросли з $-6,4^{\circ}$ до $-4,0^{\circ}$, тобто на $2,4^{\circ}\text{C}$. Аналізуючи графік одинадцятирічних ковзних, можна виділити наступні періоди: з 1874 по 1923 роки – незначне підвищення температури; з 1924 по 1947 роки – незначне зниження температури; з 1948 по 1962 роки – незначне підвищення температури; з 1963 по 1972 роки – незначне зниження температури; з 1975 по 2022 роки – незначне підвищення температури (рис. 2).

У Полтаві середньомісячна багаторічна температура січня найнижча серед досліджуваних метеостанцій $-6,65^{\circ}$. Найнижча спостерігалася теж у 1963 році $-15,4^{\circ}$. Найвища – у 2007 теж році $+0,8^{\circ}$. Згідно графіку лінійного тренду, середньомісячні температури січня за весь період спостережень значно зросли з $-9,2^{\circ}$ до $-4,3^{\circ}$, тобто на $4,9$ градуси (з 1886 року – з $-7,8^{\circ}$ до $-4,3^{\circ}$, тобто на $3,5^{\circ}\text{C}$). Аналізуючи графік одинадцятирічних ковзних, можна виділити наступні періоди: з 1825 по 1860 роки – підвищення температури; з 1887 по 1962 роки – незначні коливання температури; з 1963 по 1987 роки – незначне зниження температури; з 1989 по 2022 роки – досить значне підвищення температури (рис. 2).

На всіх досліджуваних метеостанціях за весь період спостережень найнижчі середньомісячні температури січня були зафіксовані у 1963 році, а найвищі – у 2007 році. Для всіх трьох метеостанцій є спільні періоди підвищень та знижень температури, зокрема, зниження середньомісячних температур січня відбувалося з 1963 по 1972-1987 роки, а з 1989 по 2022 роки відбулося підвищення температури повітря.

Лютий: в Умані середньомісячна багаторічна температура становить $-4,28^{\circ}\text{C}$. Найнижча була зафіксована у 1929 році $-16,6^{\circ}$. Найвища у 2002 році $+2,9^{\circ}$. Згідно графіку лінійного тренду, середньомісячні температури лютого за весь період спостережень значно зросли з $-6,0^{\circ}$ до $-2,6^{\circ}$,

тобто на $3,4$ градуси. Аналізуючи графік одинадцятирічних ковзних, можна виділити наступні періоди: з 1885 по 1904 роки – незначне підвищення температури; з 1905 по 1932 роки – незначне зниження температури; з 1933 по 1944 роки – незначне підвищення температури; з 1945 по 1985 – незначні коливання температури; з 1987 по 2022 роки – незначне підвищення температури (рис. 2).

У Кропивницькому середньомісячна багаторічна температура серед досліджуваних метеостанцій найвища і становить $-4,14^{\circ}$. Найнижча теж у 1929 році $-15,2^{\circ}$. Найвища спостерігалася теж у 2002 році $+3,0^{\circ}$. Згідно графіку лінійного тренду, середньомісячні температури лютого за весь період спостережень зросли з $-5,2^{\circ}$ до $-3,0^{\circ}$, тобто на $2,2^{\circ}\text{C}$. Аналізуючи графік одинадцятирічних ковзних, можна виділити наступні періоди: з 1874 по 1904 роки – незначне підвищення температури; з 1905 по 1932 роки – незначне зниження температури; з 1933 по 1946 роки – незначне підвищення температури; з 1948 по 1985 – незначні коливання температури; з 1987 по 2022 роки – незначне підвищення температури (рис. 2).

У Полтаві середньомісячна багаторічна температура лютого найнижча серед досліджуваних метеостанцій $-5,83^{\circ}$. Найнижча спостерігалася теж у 1929 році $-17,0^{\circ}$. Найвища – теж у 2002 році $+2,7^{\circ}$. Згідно графіку лінійного тренду, середньомісячні температури лютого за весь період спостережень значно зросли з $-8,0^{\circ}$ до $-3,9^{\circ}$, тобто на $4,1$ градуси (з 1886 року – з $-7,2^{\circ}$ до $-4,3^{\circ}$, тобто на $2,9^{\circ}\text{C}$). Аналізуючи графік одинадцятирічних ковзних, можна виділити наступні періоди: з 1825 по 1854 роки – підвищення температури; з 1904 по 1933 роки – зниження температури; з 1934 по 1986 роки – незначні коливання температури; з 1989 по 2022 роки – незначне підвищення температури (рис. 2).

На всіх досліджуваних метеостанціях за весь період спостережень найнижчі середньомісячні температури лютого були зафіксовані у 1929 році, а найвищі – у 2002 році. Для всіх трьох метеостанцій є спільні періоди підвищень та знижень температури, зокрема, зниження середньомісячних температур лютого відбувалося з 1904-1905 по 1932-1933 роки, а з 1987-1989 по 2022 роки відбулося незначне підвищення температури повітря.

Отже, зимовий сезон найтепліший у Кропивницькому, а найхолодніший – у Полтаві, що пояснюється збільшенням континентальності клімату.

Характеристика весняних місяців року

Березень: в Умані середньомісячна багаторічна температура становить $+0,48^{\circ}$. Найнижча була зафіксована у 1952 році $-7,3^{\circ}$. Найвища у 1990 році $+6,7^{\circ}$. Згідно графіку лінійного тренду, середньомісячні температури березня за весь період спостережень зросли з $-1,0^{\circ}$ до $+2,0^{\circ}$, тобто на $3,0$

градуси. Аналізуючи графік одинадцятирічних ковзних, можна виділити наступні періоди: з 1885 по 1921 роки – незначне підвищення температури; з 1922 по 1932 роки – незначне зниження температури; з 1933 по 1987 – незначні коливання температури; з 1988 по 2022 роки – незначне підвищення температури (рис. 3).

У Кропивницькому середньомісячна багаторічна температура найвища серед досліджуваних метеостанцій $+0,72^{\circ}$. Найнижча – у 1987 році $-7,7^{\circ}$. Найвища спостерігалася у 2020 році $+6,7^{\circ}$.

Згідно графіку лінійного тренду, середньомісячні температури березня за весь період спостережень зросли з $-0,5^{\circ}$ до $+1,8^{\circ}$, тобто на $2,3$ градуси. Аналізуючи графік одинадцятирічних ковзних, можна виділити наступні періоди: з 1874 по 1922 роки – незначне підвищення температури; з 1923 по 1932 роки – незначне зниження температури; з 1933 по 1987 – незначні коливання температури; з 1988 по 2022 роки – незначне підвищення температури (рис. 3).

У Полтаві середньомісячна багаторічна тем-

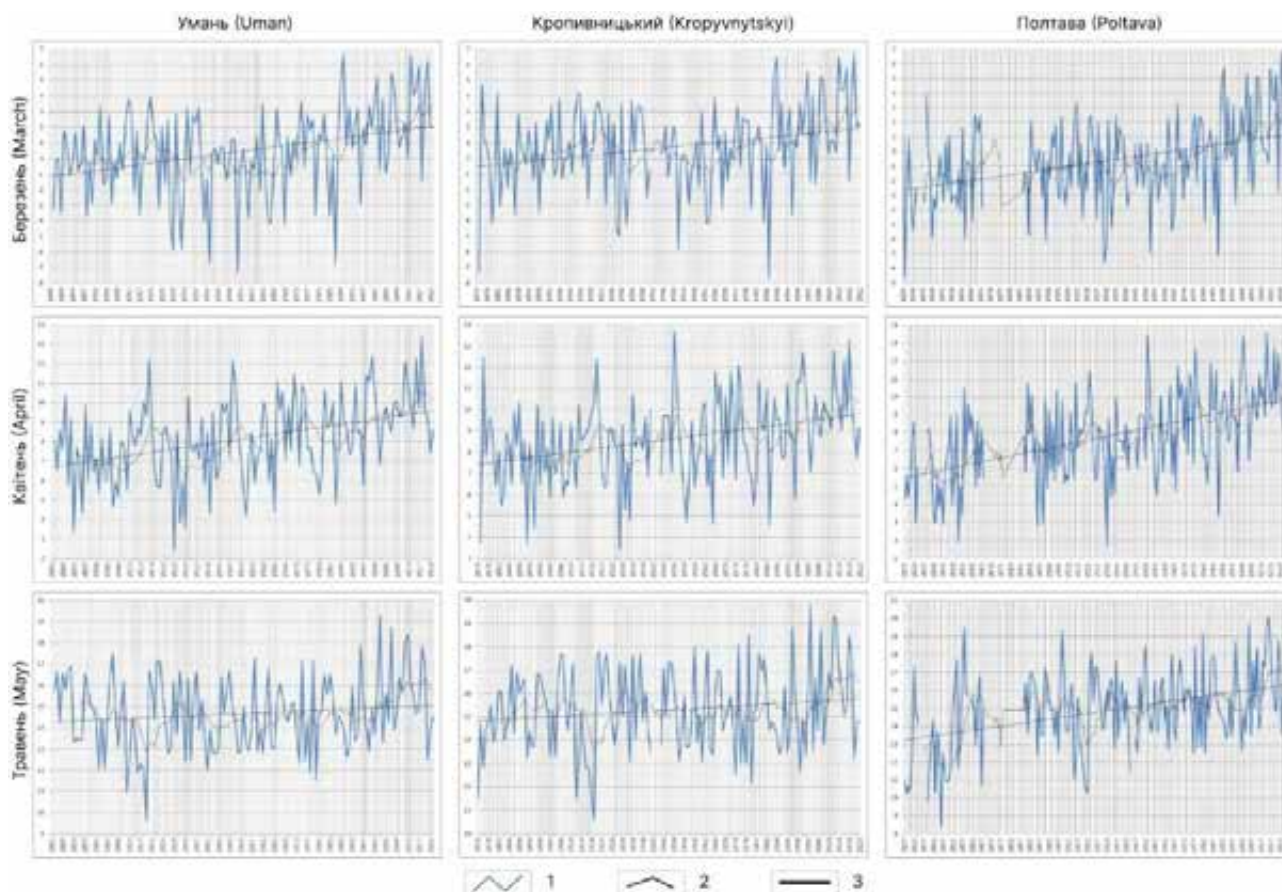


Рис. 3. Середні температури у $^{\circ}\text{C}$ весняних місяців (березень, квітень, травень) на території центральної України (Умань, Кропивницький, Полтава):

1 – емпіричні дані; 2 – одинадцятирічні ковзні; 3 – лінійний тренд /

Fig. 3. Average temperatures in $^{\circ}\text{C}$ in the spring months (March, April, May) in central Ukraine (Uman, Kropyvnytskyi, Poltava): 1 – empirical data; 2 – eleven-year moving averages; 3 – linear trend

пература березня серед досліджуваних метеостанцій найнижча $-0,61^{\circ}$. Найнижча спостерігалася у 1825 році $-8,6^{\circ}$. Найвища теж у 2020 році $+6,8^{\circ}$. Згідно графіку лінійного тренду, середньомісячні температури березня за весь період спостережень значно зросли з $-2,5^{\circ}$ до $+1,1^{\circ}$, тобто на $3,6$ градуси (з 1886 року – з $-2,1^{\circ}$ до $+1,4^{\circ}$, тобто на $3,5^{\circ}\text{C}$). Аналізуючи графік одинадцятирічних ковзних, можна виділити наступні періоди: з 1825 по 1865 роки – незначне підвищення температури; з 1888 по 1989 роки – незначні коливання температури; з 1990 по 2022 роки – незначне підвищення температури (рис. 3).

Для всіх трьох метеостанцій є спільні періоди підвищень та знижень температури, зокрема, незначне підвищення середньомісячних температур березня відбувалося з 1988-1990 по 2022 роки.

Квітень: в Умані середньомісячна багаторічна температура становить $+8,15^{\circ}\text{C}$. Найнижча була зафіксована у 1929 році $+2,4^{\circ}$. Найвища у 2018 році $+13,4^{\circ}$. Згідно графіку лінійного тренду, середньомісячні температури квітня за весь період спостережень зросли з $+6,9^{\circ}$ до $+9,3^{\circ}$, тобто на $2,4^{\circ}\text{C}$. Аналізуючи графік одинадцятирічних ковзних, можна виділити наступні періоди: з 1885 по 1912 роки – незначні коливання температури;

з 1913 по 1920 роки – незначне підвищення температури; з 1921 по 1932 роки – незначне зниження температури; з 1934 по 1951 роки – незначне підвищення температури; з 1952 по 1965 роки – незначне зниження температури; з 1966 по 1976 роки – незначне підвищення температури; з 1977 по 1987 – незначне зниження температури; з 1988 по 2022 роки – підвищення температури (рис. 3).

У Кропивницькому середньомісячна багаторічна температура серед досліджуваних метеостанцій найвища $+8,62^{\circ}$. Найнижча теж у 1929 році $+3,4^{\circ}$. Найвища спостерігалася у 1950 році $+13,7^{\circ}$. Згідно графіку лінійного тренду, середньомісячні температури квітня за весь період спостережень зросли з $+7,5^{\circ}$ до $+9,6^{\circ}$, тобто на $2,1$ градуси. Аналізуючи графік одинадцятирічних ковзних, можна виділити наступні періоди: з 1874 по 1912 роки – незначні коливання температури; з 1913 по 1920 роки – незначне підвищення температури; з 1921 по 1933 роки – незначне зниження температури; з 1934 по 1950 роки – незначне підвищення температури; з 1952 по 1965 роки – незначне зниження температури; з 1966 по 1976 роки – незначне підвищення температури; з 1977 по 1987 – незначне зниження температури; з 1988 по 2022 роки – підвищення температури (рис. 3).

У Полтаві середньомісячна багаторічна температура найнижча $+7,84^{\circ}$. Найнижча теж у 1929 році $+1,7^{\circ}$. Найвища у 2012 році $+13,6^{\circ}$. Згідно графіку лінійного тренду, середньомісячні температури квітня за весь період спостережень значно зросли з $+5,6^{\circ}$ до $+9,8^{\circ}$, тобто на $4,2$ градуси (з 1886 року – з $+6,6^{\circ}$ до $+10,0^{\circ}$, тобто на $3,4^{\circ}\text{C}$). Аналізуючи графік одинадцятирічних ковзних, можна виділити п'ять невеликих періодів підвищення та зниження температури з загальною тенденцією до підвищення температури: з 1845 по 1865 роки – підвищення температури; з 1889 по 1903 роки – зниження температури; з 1904 по 1921 роки – підвищення температури; з 1924 по 1934 роки – зниження температури; з 1935 по 1951 роки – підвищення температури; з 1953 по 1966 – зниження температури; з 1967 по 1977 – підвищення температури; з 1978 по 1988 – зниження температури; з 1990 по 2022 роки – підвищення температури (рис. 3).

На всіх досліджуваних метеостанціях за весь період спостережень найнижчі середньомісячні температури квітня були зафіксовані у 1929 році. Для всіх трьох метеостанцій є спільні періоди підвищень та знижень температури, зокрема, підвищення середньомісячних температур квітня відбувалося з 1904-1913 по 1920-1921 роки; з 1921-1924 по 1933-1934 роки відбувалося зниження температури; з 1934-1935 по 1950-1951 роки – незначне підвищення температури; з 1952-1953 по 1965-1966 роки – незначне зниження температури;

з 1966-1967 по 1976-1977 роки – незначне підвищення температури; з 1977-1988 по 1987-1988 роки – незначне зниження температури; з 1988-1990 по 2022 роки – підвищення температури повітря.

Травень: в Умані середньомісячна багаторічна температура найнижча серед досліджуваних метеостанцій $+14,67^{\circ}$. Найнижча була зафіксована у 1919 році $+9,6^{\circ}$. Найвища – у 2010 році $+19,3^{\circ}$. Згідно графіку лінійного тренду, середньомісячні температури травня за весь період спостережень незначно зросли з $+14,5^{\circ}$ до $+15,0^{\circ}$, тобто на $0,5^{\circ}\text{C}$. Аналізуючи графік одинадцятирічних ковзних, можна виділити наступні періоди: з 1885 по 1919 роки – незначне зниження температури; з 1920 по 1931 роки – незначне підвищення температури; з 1932 по 1999 – незначні коливання температури; з 2000 по 2022 роки – незначне підвищення температури (рис. 3).

У Кропивницькому середньомісячна багаторічна температура найвища $+15,29^{\circ}$. Найнижча теж у 1919 році $+10,6^{\circ}$. Найвища спостерігалася у 2003 році $+19,8^{\circ}$. Згідно графіку лінійного тренду, середньомісячні температури травня за весь період спостережень незначно зросли з $+14,9^{\circ}$ до $+15,6^{\circ}$, тобто на $0,5^{\circ}\text{C}$. Аналізуючи графік одинадцятирічних ковзних, можна виділити наступні періоди: з 1874 по 1919 роки – незначне зниження температури; з 1920 по 1931 роки – незначне підвищення температури; з 1932 по 1999 – незначні коливання температури; з 2000 по 2022 роки – незначне підвищення температури (рис. 3).

У Полтаві середньомісячна багаторічна температура $+14,89^{\circ}$. Найнижча – у 1843 році $+8,4^{\circ}$. Найвища спостерігалася у 2013 році $+20,1^{\circ}$. Згідно графіку лінійного тренду, середньомісячні температури травня за весь період спостережень зросли з $+13,3^{\circ}$ до $+16,2^{\circ}$, тобто на $2,9$ градуси (з 1886 року – з $+14,7^{\circ}$ до $+16,0^{\circ}$, тобто на $1,3^{\circ}\text{C}$). Аналізуючи графік одинадцятирічних ковзних, можна виділити наступні періоди: з 1827 по 1866 роки – підвищення температури; з 1892 по 1923 роки – зниження температури; з 1924 по 1987 роки – незначні коливання температури; з 1988 по 2003 роки – незначне зниження температури; з 2004 по 2022 роки – підвищення температури (рис. 3).

Для всіх трьох метеостанцій є спільні періоди підвищень та знижень температури, зокрема, зниження середньомісячних температур травня відбувалося до 1919-1923 років; з 2000-2004 по 2022 роки – підвищення температури повітря.

Отже, весняний сезон найтепліший у Кропивницькому, а найхолодніший (крім травня) – у Полтаві, що пояснюється збільшенням континентальності клімату.

Висновки. Аналіз даних метеостанцій центральної України за весь період спостережень показав наступне: середні річні температури зросли від 1,4°C у Кропивницькому, 1,6 – в Умані до 2,5 (з 1886 року – 2,2) – у Полтаві. Найвищі середні річні температури повітря на всіх метеостанціях були зафіксовані у 2019 та 2020 роках.

Найбільше зросли температури у зимові місяці. За весь період спостережень середньомісячні температури грудня зросли від 2,0°C у Кропивницькому, 2,3 градуси – в Умані до 3,6°C (з 1886 року – 3,3) у Полтаві. Середньомісячні температури січня зросли від 2,4 в Умані та Кропивницькому до 4,9 градусів (з 1886 року – 3,5) у Полтаві. Середньомісячні температури лютого зросли від 2,2°C у Кропивницькому, 3,4 – в Умані до 4,1 (з 1886 року – 2,9) градусів у Полтаві. Для всіх трьох метеостанцій є спільні періоди підвищень та знижень температури, зокрема, підвищення середньомісячних температур зимових місяців відбувалося 1987-1989 по 2022 роки.

Також значно зросли температури повітря ве-

сняних місяців. За весь період спостережень середньомісячні температури березня зросли від 2,3°C у Кропивницькому, 3,0 – в Умані до 3,6 (з 1886 року – 3,5) градусів у Полтаві. Середньомісячні температури квітня зросли від 2,1°C у Кропивницькому, 2,4 – в Умані до 4,2 (з 1886 року – 3,4) градусів у Полтаві. Середньомісячні температури травня зросли від 0,5°C в Умані та Кропивницькому до 2,9 (з 1886 року – 1,3) – у Полтаві. Для всіх трьох метеостанцій є спільні періоди підвищень та знижень температури, зокрема, незначне підвищення середньомісячних весняних температур відбувалося з 1988-1990 по 2022 роки.

Аналізуючи графіки одинадцятирічних ковзних можна помітити наявність періодів зростання-зниження середньомісячних температур, що тривають близько 33-х років чи подвоєних періодів тривалістю близько 66-ти років. Через відсутність метеорологічних даних за тривалий період, такі закономірності досить складно виявити, проте, це перспективний напрямок для подальших досліджень.

Список використаної літератури

1. Воровка В. П., Марченко О. А., Гришко С. В., Яценюк Ю. В. Динаміка кліматичних характеристик міста Мелітополь як складова глобальних змін. Екологічні науки. 2022. № 6. С. 105–109. DOI: <https://doi.org/10.32846/2306-9716/2022.eco.6-45.17>
2. Гелевера О. Ф. Багаторічна динаміка кліматичних показників за даними Кропивницької метеостанції. Науковий вісник Херсонського державного університету. Серія Географічні науки. 2019. Вип. 10. С. 107–113. DOI: <https://doi.org/10.32999/ksu2413-7391/2019-10-15>
3. Осадчий В. І., Бабіченко В. М., Набиванець Ю. Б., Скринник О. Ю. Динаміка температури повітря на території України за період інструментальних метеорологічних спостережень. Київ : Ніка-Центр, 2013. 307 с.
4. Просторова оцінка ступеня сприятливості майбутніх кліматичних умов для продуктивності основних сільськогосподарських культур та лісових насаджень : заключ. звіт про НДР. URL: http://dvs.net.ua/agro/index_ua.shtml (дата звернення: 08.09.2014).
5. Краковська С. В., Білозерова А. К., Паламарчук Л. В. Проекції регіональних кліматичних характеристик у XXI столітті за даними моделювання (на прикладі Одеської області). Фізична географія та геоморфологія. 2015. № 2. С. 132.
6. Осадчий В. І., Бабіченко В. М. Температура повітря на території України в сучасних кліматичних умовах. Український географічний журнал. 2013. № 4. С. 32–39. DOI: <https://doi.org/10.15407/ugz2013.04.032>
7. П'ясецька С. В., Щеглов О. М. Сучасний характер змін середньомісячної температури повітря протягом 2006–2020 років. Вісник Харківського національного університету імені В. Н. Каразіна. Серія „Геологія. Географія. Екологія”. 2023. Вип. 58. С. 217–230. DOI: <https://doi.org/10.26565/2410-7360-2023-58-17>
8. Bednar-Friedl B. et al. Europe. In: Climate Change 2022: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Cambridge University Press, 2022. P. 1817–1927. DOI: <https://doi.org/10.1017/9781009325844.015>
9. Borovska H., Khokhlov V. Climate data for Odesa, Ukraine in 2021–2050 based on EURO-CORDEX simulations. Geoscience Data Journal. 2023. Advance online publication. DOI: <https://doi.org/10.1002/gdj3.197>
10. Бойченко С. В. та ін. Особливості зміни клімату на території України: сценарії, наслідки для природи та агроєкосистем. Вісник НАУ. 2016. № 4. С. 96–113. URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/Vnau_2016_4_14. DOI: <https://doi.org/10.18372/2306-1472.69.11061>
11. Briffa K. R. Annual climate variability in the Holocene: Interpreting the message of ancient trees. Quaternary Science Reviews. 2000. Vol. 19. P. 87–105. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0277-3791\(99\)00056-6](https://doi.org/10.1016/S0277-3791(99)00056-6)
12. Luterbacher J. et al. European seasonal and annual temperature variability, trends, and extremes since 1500. Science. 2004. Vol. 303, Iss. 5663. P. 1499–1503. DOI: <https://doi.org/10.1126/science.1093877>
13. IPCC. Climate Change Information for Regional Impact and for Risk Assessment. In: Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Cambridge : Cambridge University Press, 2023. P. 1767–1926. DOI: <https://doi.org/10.1017/9781009157896.014>
14. IPCC. Climate Change 2022: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Cambridge University Press, 2022. 3056 p. DOI: <https://doi.org/10.1017/9781009325844>
15. IPCC. Sections. In: Climate Change 2023: Synthesis Report. IPCC, 2023. P. 35–115. DOI: <https://doi.org/10.59327/IPCC/AR6-9789291691647>

16. Jones P. D., Briffa K. R., Osborn T. J. Changes in the Northern Hemisphere annual cycle: Implications for paleoclimatology? *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*. 2003. Vol. 108, Iss. D18. P. 4588. DOI: <https://doi.org/10.1029/2003JD003695>
17. Kundzewicz Z. W., Parry M. L. Climate change 2001: Impacts, Adaptation, and vulnerability. In McCarthy J. J. et al. (Eds.). *Climate change 2001: Impacts, adaptation and vulnerability*. Cambridge University Press, 2001. P. 641–692.
18. Lee J.-Y. et al. Future Global Climate: Scenario-Based Projections and Near-Term Information. In: *Climate Change 2021: The Physical Science Basis*. Cambridge University Press, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1017/9781009157896.006>
19. Mann M. E., Lloyd E. A., Oreskes N. Assessing climate change impacts on extreme weather events: the case for an alternative (Bayesian) approach. *Climatic Change*. 2017. Vol. 144, Iss. 2. P. 131–142. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10584-017-2048-3>
20. Martin Jucker et al. Long-term surface impact of Hunga Tonga-Hunga Ha'apai-like stratospheric water vapor injection. *ESS Open Archive*. 2023. DOI: <https://doi.org/10.22541/essoar.169111653.36341315/v1>
21. Osadchyi V., Skrynyk O. A., Radchenko R., Skrynyk O. Y. Homogenization of Ukrainian air temperature time series. *Int. J. Climatol*, 2018. – 38, 497–505. DOI: <https://doi.org/10.1002/joc.5191>
22. Решетченко С. І. та ін. Кліматичні індикатори змін гідрологічних характеристик (на прикладі басейну р. Псел). *Вісник Харківського національного університету імені В. Н. Каразіна. Серія „Геологія. Географія. Екологія”*. 2020. Вип. 53. С. 155–166. DOI: <https://doi.org/10.26565/2410-7360-2020-53-12>
23. Замфірова М. С., Хохлов В. М. Режим температури повітря та опадів в Україні у 2021–2050 рр. за ансамблем моделей CORDEX. *Український гідрометеорологічний журнал*. 2020. No 25. С. 17–27. DOI: <https://doi.org/10.31481/uhmj.25.2020.02>

Внесок авторів: всі автори зробили рівний внесок у цю роботу

Winter and spring long-term dynamic of air temperature in Central Ukraine

Olha Helevera¹

PhD (Geography), Docent, Associate Professor of the Department of General Agriculture,
¹ Central Ukrainian National Technical University,
8 Universytetskyi Ave, Kropyvnytskyi, 25000, Ukraine;

Mykola Mostipan¹

PhD (Biology), Professor, Head of the Department of General Agriculture;

Sergii Topolnyi²,

PhD (Biology), Doctoral Student,

² National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine,
15 Heroiv Oborony St., Kyiv, 03041, Ukraine

ABSTRACT

This study aimed to analyze data from meteorological stations in central Ukraine that have the longest observation period and to search for patterns in the dynamics of temperature indicators over the past 140–200 years.

Data and methods. To characterize the climate of central Ukraine, we analyzed the average monthly and average annual temperatures of Uman, Kropyvnytskyi, and Poltava, which have the longest continuous or almost continuous periods of observation. Based on these data, we have constructed graphs of changes in the average annual and average monthly temperatures for the winter and spring seasons. To analyze the dynamics of temperature indicators, we built linear and 11-year moving averages.

The results. The analysis of meteorological data from weather stations in central Ukraine over the entire period of observation showed the following: average annual temperatures increased from 1.4 degrees in Kropyvnytskyi, 1.6 degrees in Uman to 2.5 degrees (since 1886 - 2.2 degrees) in Poltava. The highest average annual air temperatures at all weather stations were recorded in 2020 and 2021.

The largest temperature increase occurred in the winter months. Over the entire observation period, the average monthly temperature in December increased by 2.0 degrees in Kropyvnytskyi, 2.3 degrees in Uman, and 3.6 degrees in Poltava (3.3 degrees since 1886). The average monthly temperature in January increased from 2.4 degrees in Uman and Kropyvnytskyi to 4.9 degrees (3.5 degrees since 1886) in Poltava. The average monthly temperature in February increased from 2.2 degrees in Kropyvnytskyi, 3.4 degrees in Uman to 4.1 degrees (since 1886 - 2.9 degrees) in Poltava. All three weather stations have common periods of rising and falling temperatures, with an increase in the average monthly temperature in the winter months from 1987–1989 to 2022.

The air temperature in the spring months also increased significantly. Over the entire observation period, the average monthly temperature in March increased from 2.3 degrees in Kropyvnytskyi, 3.0 degrees in Uman to 3.6 degrees (since 1886 - 3.5 degrees) in Poltava. The average monthly temperature in April increased from 2.1 degrees in Kropyvnytskyi, 2.4 degrees in Uman to 4.2 degrees (since 1886 - 3.4 degrees) in Poltava. The average monthly temperature in May

increased from 0.5 degrees in Uman and Kropyvnytskyi to 2.9 degrees (since 1886 - 1.3 degrees) in Poltava. All three weather stations have common periods of rising and falling temperatures, with a slight increase in average monthly spring temperatures from 1988-1990 to 2022.

Analyzing the graphs of 11-year moving averages, one can notice the presence of periods of increase and decrease in average monthly temperatures lasting about 33 years or doubled periods lasting about 66 years.

Scientific novelty. For the first time, the data of weather stations in central Ukraine for the entire period of observation (138 years – Uman, 148 years – Kropyvnytskyi, 198 years – Poltava) were analyzed and regularities in the dynamic of temperature indicators were determined.

The practical significance lies in the possibility of using the researchers results to predict future climate change.

Keywords: climate, temperature, average monthly air temperature, territory of Ukraine, regional climate change, winter, spring.

References

1. Vorovka, V., Marchenko, O., Gryshko, S., & Yatsentiuk, Y. (2022). Dynamics of climate characteristics Melitopol city as a component of global changes. *Ecological Sciences*, 45(6), 105–109. <https://doi.org/10.32846/2306-9716/2022.eco.6-45.17> [in Ukrainian].
2. Helevera, O.F. (2019). Long-term dynamics of climatic indicators according to the data of the Kropyvnytskyi weather station. *Scientific Bulletin of Kherson State University. Series Geographical Sciences*, (10), 107–113. <https://doi.org/10.32999/ksu2413-7391/2019-10-15> [in Ukrainian].
3. Osadchyi, V.I., Babichenko, V.M., Nabyvanets, Y.B., & Skrynnyk, O.Y. (2013) Dynamics of air temperature in Ukraine for the period of instrumental meteorological observations. Kyiv: Nika-Center Publishing House [in Ukrainian].
4. Zakliuchnyj zvit za rezul'tatamy NDR "Provedennia prostorovoi otsinky stupenia spriyatlyvosti majbutnikh klimatychnykh umov dlia produktyvnosti osnovnykh zernovykh kul'tur ta lisovykh nasadzen". Available at: http://dvs.net.ua/agro/index_ua.shtml (Accessed 08.09.2014) [in Ukrainian]
5. Krakovska, S.V., Bilozero, A.K., & Palamarchuk, L.V. (2015). Projections of regional climatic characteristics in the XXI century based on modeling data (on the example of Odesa region). *Physical geography and geomorphology*. 2(78), 132. ISSN 0868-6939. [in Ukrainian]
6. Osadchyi, V.I., & Babichenko, V.M. (2013). Air temperature on the territory of Ukraine in modern climate conditions. *Ukrainian Geographical Journal*, (4), 32–39. DOI: <https://doi.org/10.15407/ugz2013.04.032>. [in Ukrainian]
7. Pyasetska Svitlana, Shcheglov Oleksandr (2023). The modern nature of changes in the average monthly air temperature during 2006–2020. *Visnyk of V. N. Karazin Kharkiv National University, series "Geology. Geography. Ecology"*, (58), 217–230. DOI: <https://doi.org/10.26565/2410-7360-2023-58-17> [in Ukrainian]
8. Bednar-Friedl, B., R. Biesbroek, D.N. Schmidt, P. Alexander, K.Y. Børsheim, J. Carnicer, E. Georgopoulou, M. Haasnoot, G. Le Cozannet, P. Lionello, O. Lipka, C. Möllmann, V. Muccione, T. Mustonen, D. Piepenburg, & L. Whitmarsh, (2022): Europe. In: *Climate Change 2022: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [H.-O. Pörtner, D.C. Roberts, M. Tignor, E.S. Poloczanska, K. Mintenbeck, A. Alegria, M. Craig, S. Langsdorf, S. Löschke, V. Möller, A. Okem, B. Rama (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, UK and New York, NY, USA, 1817–1927, DOI: <https://doi.org/10.1017/9781009325844.015>
9. Borovska, H. & Khokhlov, V. (2023) Climate data for Odesa, Ukraine in 2021–2050 based on EURO-CORDEX simulations. *Geoscience Data Journal*, 00, 1–12. DOI: <https://doi.org/10.1002/gdj3.197>
10. Boychenko, S., Voloshchuk, V., Movchan, Y., Serdjuchenko, N., Tkachenko V., Tyshchenko, O., & Savchenko S. (2016). Features of Climate Change on Ukraine: Scenarios, Consequences for Nature and Agroecosystems. *Proceedings of the National aviation university*, (4), 96–113. Available from http://nbuv.gov.ua/UJRN/Vnau_2016_4_14 DOI: <https://doi.org/10.18372/2306-1472.69.11061>
11. Briffa K. R. (2000). Annual Climate Variability in the Holocene: Interpreting the Message of Ancient Trees, *Quaternary. Sci. Rev.* 19, 87–105. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0277-3791\(99\)00056-6](https://doi.org/10.1016/S0277-3791(99)00056-6)
12. European Seasonal and Annual Temperature Variability, Trends, and Extremes Since (2004). 1500 Jürg Luterbacher, Daniel Dietrich, Elena Xoplaki, Martin Grosjean, Heinz Wanner. Authors Info & Affiliations. *Science*, 303, 5663, 1499–1503. DOI: <https://doi.org/10.1126/science.1093877>
13. Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). (2023). *Climate Change Information for Regional Impact and for Risk Assessment*. In *Climate Change 2021 – The Physical Science Basis: Working Group I Contribution to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change (1767-1926)*. Cambridge: Cambridge University Press. DOI: <https://doi.org/10.1017/9781009157896.014>
14. IPCC (2022): *Climate Change 2022: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [H.-O. Pörtner, D.C. Roberts, M. Tignor, E.S. Poloczanska, K. Mintenbeck, A. Alegria, M. Craig, S. Langsdorf, S. Löschke, V. Möller, A. Okem, B. Rama (eds.)]. Cambridge University Press. Cambridge, UK and New York, NY, USA, 3056, DOI: <https://doi.org/10.1017/9781009325844>
15. IPCC (2023): Sections. In: *Climate Change 2023: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Core Writing Team, H. Lee and J. Romero (eds.)]. IPCC, Geneva, Switzerland, 35–115, DOI: <https://doi.org/10.59327/IPCC/AR6-9789291691647>

16. Jones, P. D., Briffa, K. R., & Osborn, T. J. (2003). Changes in the Northern Hemisphere annual cycle: Implications for paleoclimatology? *J. Geophys. Res.*, 108(D18), 4588, DOI: <https://doi.org/10.1029/2003JD003695>.
17. Kundzewicz, Z. W., & Parry, M. L. (2001). in *Climate Change 2001: Impacts, Adaptation, and Vulnerability*, J. J. McCarthy et al., Eds. (Cambridge Univ. Press, New York, 2001), 641-692.
18. Lee, J.-Y., Marotzke, J., Bala, G., Cao, L., Corti, S., Dunne, J.P., Engelbrecht, F., Fischer, E., Fyfe, J.C., Jones, C., Maycock, A., Mutemi, J., Ndiaye, O., Panickal, S. & Zhou T. (2021): Future Global Climate: Scenario-Based Projections and Near-Term Information. In *Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Masson-Delmotte, V., P. Zhai, A. Pirani, S.L. Connors, C. Péan, S. Berger, N. Caud, Y. Chen, L. Goldfarb, M.I. Gomis, M. Huang, K. Leitzell, E. Lonnoy, J.B.R. Matthews, T.K. Maycock, T. Waterfield, O. Yelekçi, R. Yu, and B. Zhou (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, DOI: <https://doi.org/10.1017/9781009157896.006>
19. Mann, M.E., E.A. Lloyd, & Oreskes, N. (2017): Assessing climate change impacts on extreme weather events: the case for an alternative (Bayesian) approach. *Climatic Change*, 144(2), 131–142, DOI: [10.1007/s10584-017-2048-3](https://doi.org/10.1007/s10584-017-2048-3).
20. Jucker Martin, Lucas Chris, & Dutta Deepashree (2023). Long-term surface impact of Hunga Tonga-Hunga Ha'apai-like stratospheric water vapor injection. *ESS Open Archive*. August 04. DOI: <https://doi.org/10.22541/essoar.169111653.36341315/v1>
21. Osadchyi, V., Skrynyk, O. A., Radchenko, R., Skrynyk, O. Y. (2018). Homogenization of Ukrainian air temperature time series. *Int. J. Climatol.* (38), 497-505. DOI: <https://doi.org/10.1002/joc.5191>
22. Reshetchenko, S.I., Dmitriiev, S.S., Cherkashyna, N.I., Goncharova, L.D. (2020) Climate indicators of changes in hydrological characteristics (a case of the Psyol river basin. *Visnyk of V.N. Karazin Kharkiv National University, series "Geology. Geography. Ecology"*, (53), 155-166, DOI: <https://doi.org/10.26565/2410-7360-2020-53-12>
23. Zamfirova, M. S., Khokhlov, V. M. (2020). Air temperature and precipitation regime in Ukraine in 2021-2050 by CORDEX model ensemble. *Ukrainian Hydrometeorological Journal*. (25), 17-27. DOI: <https://doi.org/10.31481/uhmj.25.2020.02>

Authors Contribution: All authors have contributed equally to this work

Received 18 September 2023

Accepted 26 November 2023

Режим суцільної низької хмарності та туманів в міжнародному аеропорту «Одеса»

Олексій Густенко¹

аспірант,¹ Одеський державний екологічний університет,
вул. Львівська, 15, Одеса, 65016, Україна,

e-mail: aleksey.gustenko96@gmail.com,  <https://orcid.org/0009-0006-1289-3354>;

Інна Хоменко¹

к. геогр. н., доцент,

e-mail: innchom.ik@gmail.com,  <https://orcid.org/0000-0002-8982-5417>

Метеорологічні спостереження на аеродромах є найціннішим джерелом інформації про погодні умови, включаючи небезпечні і рідкісні явища погоди. Спостереження проводяться з високою частотою в часі – від 30 хв і 1 год. (на аеродромах з інтенсивним повітряним рухом) до 3 год. Ця обставина, а також наявність інструментальних вимірювань висоти нижньої межі хмарності дозволяють використовувати аеродромні дані не тільки для складання кліматичних описів аеродромів, але і для дослідження режиму небезпечних явищ і розробки локальних прогностичних методик. Низька хмарність і туман, які обмежують дальність видимості, є основними чинниками, що утруднюють зліт і приземлення повітряних суден, а також їх польоти на малих висотах. Незважаючи на те, що сучасні моделі з високим розділенням прогнозують не тільки температуру і вологість, але в ряді випадків також кількість хмарності і наявність туманів, тим не менше прогноз низької хмарності і туманів, лишається однією з найскладніших задач в авіаційній метеорології через сильну залежність появи і розвитку суцільної хмарності і туманів від місцевих умов. Це веде до необхідності встановлення локальних зв'язків між вихідними даними чисельних моделей і характеристиками низької хмарності та туманів. В силу зазначених обставин детальний кліматологічний аналіз аеродромних даних є необхідною основою для поповнення чисельних моделей архівною інформацією та встановлення локальних залежностей, що дозволяють прогнозувати характеристики туманів і низької хмарності. В роботі виконано фізико-статистичний аналіз даних аеродромних спостережень за туманами і суцільною низькою неконвективною хмарністю з нижньою межею не вище за 1500 м, яка вважається небезпечною для здійснення польотів літаків, в місті Одеса за період з 2010 по 2021 рр. Дані містили спостереження в коді SYNOP з 2010 по 2012 рр. і спостереження в коді METAR/SPECI з 2013 по 2021 рр. для аеропорту м. Одеса. В роботі досліджено сезонні і добові розподіли туманів і низької хмарності. Визначено інтервали температур і відносної вологості, в яких повторюваність туманів і низької хмарності є найбільшою. В подальшому отримані характеристики можуть бути використані для встановлення залежностей між метеорологічними величинами, висотою нижньої межі хмарності і наявністю туманів різної інтенсивності і різного походження.

Ключові слова: туман, суцільна низька шаруватоподібна хмарність, фізико-статистичний аналіз, Одеса, METAR/SPECI, SYNOP.

Як цитувати: Густенко Олексій. Режим суцільної низької хмарності та туманів в міжнародному аеропорту «Одеса» / Олексій Густенко, Інна Хоменко // Вісник Харківського національного університету імені В. Н. Каразіна, серія «Геологія. Географія. Екологія», 2023. – Вип. 59. – С. 95-109. <https://doi.org/10.26565/2410-7360-2023-59-08>

In cites: Hustenko Oleksi, Khomenko Inna (2023). Fog and low-level stratus characteristics at the airport of Odesa from surface observations. Visnyk of V. N. Karazin Kharkiv National University, series "Geology. Geography. Ecology", (59), 95-109. <https://doi.org/10.26565/2410-7360-2023-59-08> [in Ukrainian]

Постановка проблеми. Туман і низька хмарність мають неабияке соціально-економічне значення [35]. Погіршуючи видимість біля поверхні землі, туман становить загрозу для всіх видів транспорту, особливо в аеропортах [15, 20, 31, 32]. Туман і низька суцільна хмарність, які обмежують дальність видимості, дуже часто є основними причинами втрати часу, грошей і навіть людських життів під час авіаційних перевезень [10, 13, 24, 33]. Віднедавна інформація про туман потрібна при автономному керуванні автомобілем, а про туман і низьку хмарність – для застосування у виробництві сонячної енергії. Тому, як ніколи, потрібні вдосконалені системи підтримки прийняття рішень, адаптовані до широкого кола видів діяльності, на які впливає туман і низька хмарність [3].

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Хоча проблеми погіршення видимості та її впливу

на авіаційну безпеку в науковій літературі приділяється багато уваги з 1930-х років [16, 17], проте, і досі, найпоширенішими погодними явищами, що призводять до смертельних випадків в авіації, лишаються низька хмарність, туман, дощ і сніг [23]. Статистика аварій цивільної авіації в Сполучених Штатах Америки з 1982 по 2013 рік [2] свідчить про те, що, незважаючи на темпи зниження кількості аварій цивільної авіації через погоду, метеорологічні умови продовжують призводити до майже 100 смертельних випадків щорічно тільки в США. Лише 20% аварій цивільної авіації відбувається через інструментальні метеорологічні умови, під час яких пілоти в керуванні літаком покладаються лише на прилади, тобто за умов обмеженої видимості, проте саме ці умови призводять до більш, ніж 60% усіх смертельних випадків, спричинених погодними умовами. І хоча за

більш сучасними даними, наданими в звіті Національної ради з безпеки на транспорті за 2008-2020 рр. [25], частка смертельних інцидентів, пов'язаних з недостатньою видимістю або з низькою хмарністю, знизилася, але лишається все одно досить високою – 53% смертельних інцидентів. Ці результати вказують, що погіршення видимості, продовжує відігравати значну роль у низці смертельних катастроф цивільної авіації щороку, незважаючи на низку превентивних заходів, які вживаються в авіації, а отже, правильний і своєчасний прогноз цих явищ може значно зменшити їх вплив на авіакомпанії. Удосконалені прогнози допоможуть зменшити фінансові втрати, пов'язані із затримками в аеропортах, а також людські та фінансові втрати через аварії, які можна порівняти з втратами внаслідок торнадо [15].

Туман і низька шарувата хмарність – це суспензія дуже маленьких крапель води в повітрі поблизу поверхні землі [11, 38]. Єдиною відмінністю між ними є висота їхньої нижньої межі: туман формується від поверхні землі, а шаруваті хмари – на деякій висоті. Незважаючи на цю різницю, їх часто об'єднують у єдину категорію [6] і туман розглядають як шарувату хмару прямо над землею [21]. Основним критерієм визначення туману біля поверхні землі є дальність видимості менша за 1 км [38].

Механізми утворення туману та низьких шаруватих хмар є схожими [26]. Незважаючи на те, що більшість фізичних процесів, які викликають туман і низькі шаруваті хмари, вивчаються вже протягом відносно тривалого часу [8, 9, 15, 22, 24, 27, 36], їх точний прогноз залишається однією з найскладніших задач авіаційної метеорології через схожість механізмів утворення цих явищ, складність і недетермінованість процесів в граничному шарі атмосфери (наприклад, мікрофізичні процеси, поверхневі турбулентні потоки, радіаційні процеси, мезомасштабні циркуляції тощо), а також сильну залежність появи туманів і низької хмарності від місцевих умов [13].

Виділення невирішених раніше частин загальної проблеми. Класичний підхід до прогнозування туману і шаруватої низької хмарності базується на моделях чисельного прогнозу погоди [12, 29]. Проте, моделювання цих явищ потребує досить високого горизонтального розділення моделі (в декілька кілометрів – [35]). В роботі [18] також підкреслюється той факт, що різноманітні фізичні процеси, пов'язані з туманом і низькими шаруватими хмарами, недостатньо адекватно описуються в чисельних моделях прогнозу погоди через складність основних фізичних процесів і відсутність достатньої вертикальної роздільної здатності в граничному шарі атмосфери [28, 32]. Окрім того, й досі немає згоди щодо єдиного

підходу, який допоміг би суттєво вдосконалити прогноз туманів і низької шаруватої хмарності у моделях чисельного прогнозу погоди з високою роздільною здатністю [4, 7, 30]. Тому, точний прогноз туману та низької шаруватої хмарності за допомогою чисельних моделей поки що залишається складною задачею, незважаючи на досягнення в цій області в останні роки [35].

Системи ансамблевого прогнозу стали потужними інструментами для оцінки невизначеності чисельних прогнозів. Створюючи кілька прогнозів, дисперсія, що характеризує ансамбль, може бути безпосередньо пов'язана з невизначеністю в прогнозі. Ще одна перевага систем ансамблевого прогнозу полягає в тому, що вони мають прямий доступ до імовірнісної інформації про виникнення, тривалість та інтенсивність туманів, що може допомогти кінцевим користувачам приймати більш обґрунтовані рішення [3]. Але досить часто помилки чисельних моделей в ансамблевих прогнозах зазвичай не компенсують одна одну, а мають тенденцію до накопичення [14].

Через ненадійність чисельних короткострокових прогнозів до прогнозу туманів і низької шаруватої хмарності дуже часто застосовуються комбіновані фізико-статистичні методи [14], які, завдяки врахуванню місцевих кліматичних умов і локальних географічних умов через архівні дані спостережень, надають важливу підтримку прогнозисту.

Взагалі, як показано в роботах [14, 18] раптові зміни погоди, зокрема появи туману і низької шаруватої хмарності, в невеликих часових і просторових масштабах, можна оцінити і досить точно спрогнозувати, лише якщо синоптик має доступ до детальних локальних (*in situ*) спостережень та спостережень, які надходять з районів формування явища (*upstream*), а також локальних даних спостережень за минулі роки, які слугують як для наповнення чисельних моделей, так і при застосуванні методу аналогового ансамблю [1], і навчанні систем штучного інтелекту [3].

Також дані локальних спостережень і спостережень, які надходять з районів формування явища, є дуже корисними в поглибленні нашого розуміння щодо механізмів утворення і руйнування цих явищ.

Без локальних прямих спостережень неможлива коректна інтерпретація даних дистанційного зондування і валідація чисельних методів прогнозу погоди для належної розробки прогностичних алгоритмів [12].

Таким чином, основним джерелом удосконалення чисельних, ансамблевих і фізико-статистичних прогнозів небезпечних явищ для авіації є дані прямих локальних спостережень, а в таких країнах, як Україна, де поки що немає станцій,

обладнаних приладами, які вимірюють мезо- і мікромасштабні характеристики, чи то не єдиним таким джерелом є дані станційних спостережень в коді METAR/SPECI і SYNOP.

Формулювання мети статті. Метою статті є всебічне дослідження метеорологічних умов утворення низької суцільної хмарності і туманів в аеропорту Одеса.

Відповідно до поставленої мети було розв'язано такі задачі: (1) отримання режимних характеристик низької суцільної хмарності і туманів для аеропорту Одеса, (2) визначення двовимірних ймовірностей появи туманів і низької суцільної хмарності в залежності від місяця року і години доби й в залежності від температури і відносної вологості повітря біля поверхні землі.

Виклад основного матеріалу дослідження

Особливості річного і добового ходу туманів і суцільної низької хмарності. В статті для

вивчення режиму туманів і суцільної низької хмарності в аеропорту м. Одеса використовувались дані наземних спостережень в коді SYNOP за період 2010 – 2012 рр., і в коді METAR/SPECI, які охоплювали період 2013–2021 рр. Для аналізу вибирались усі випадки з туманами, зокрема тумани з опадами, і усі випадки суцільної низької неконвективної хмарності з висотою нижньої межі не вище за 1500 м, яка саме є найнебезпечнішою для польотів літаків, особливо на етапі зльоту і посадки літака.

В аеропорту м. Одеса за період з 2010 по 2021 рр. максимум в річному ході повторюваності суцільної низької хмарності має місце взимку (53,8% від усіх випадків), а мінімум – влітку (лише 1,8% від усієї кількості випадків, рис. 1.а). Восени низька хмарність реєструється в два рази частіше (29,6%), аніж навесні (15,1% від усієї кількості випадків).

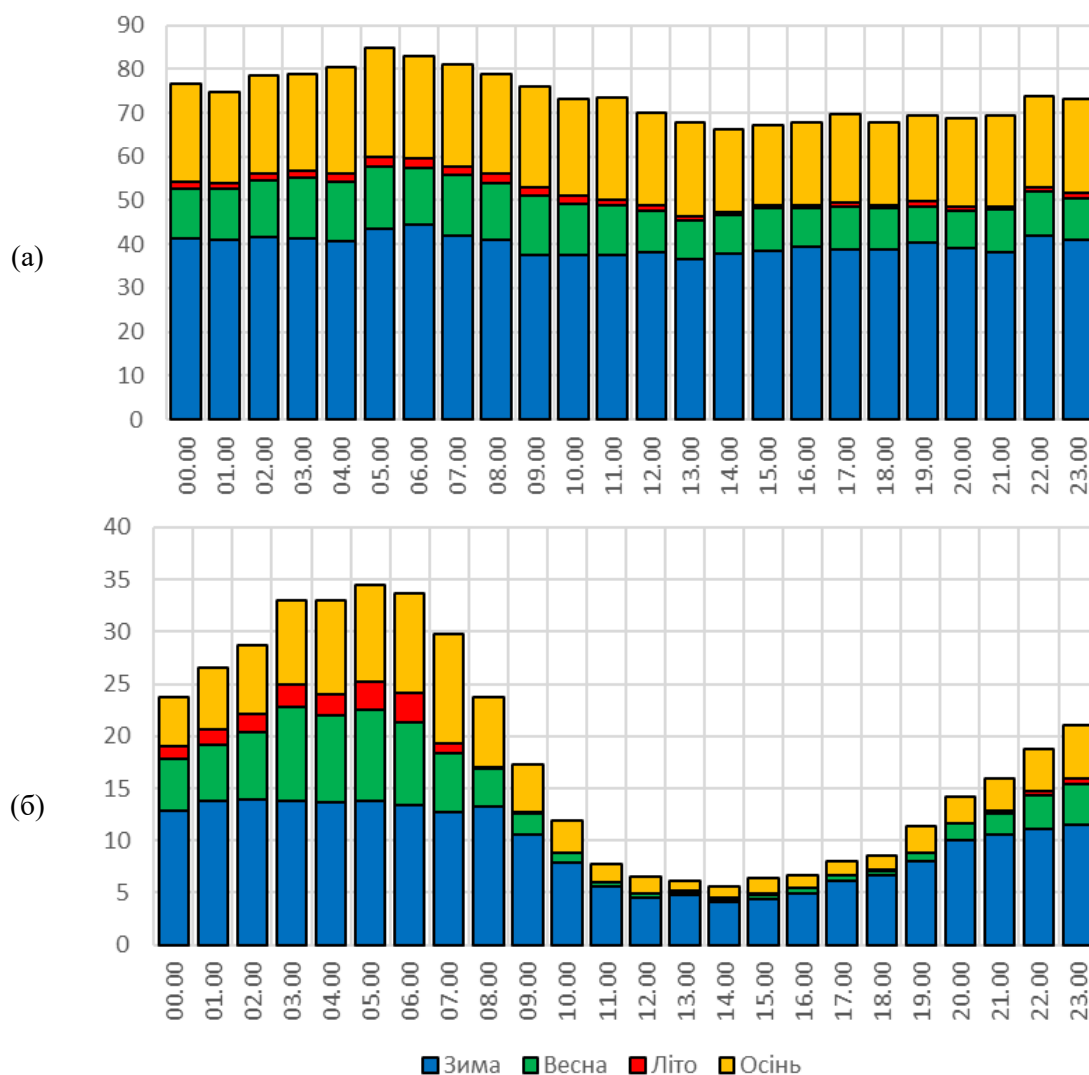


Рис. 1. Розподіл повторюваності (%) випадків суцільної низької хмарності (а) і туманів (б) в залежності від години доби за період 2010-2021 рр. в сезони року. Вздовж осі ОХ

відкладено години доби, вздовж осі ОУ – відсоток повторюваності /

Fig. 1. Frequency distribution (%) of low-level stratus throughout the day for the period 2010-2021 in the seasons of the year. The time of day is represented on the X-axis, and the percentage is indicated on the Y-axis

Добовий хід суцільної низької хмарності нечітко виражений, особливо взимку, що можна пояснити активною циклонічною діяльністю в цей період, а також частою появою стійкої стратифікації, яка сприяє виникненню підінверсійної хмарності.

Тумани, як і суцільна низька хмарність, найчастіше спостерігаються взимку, 53,3% усіх випадків (рис. 1б), саме в цей період мають місце найщільніші тумани з тривалістю до 4-х діб, що можна, як і у випадку суцільної шаруватої хмарності пояснити активною циклонічною діяльністю, коли в теплому секторі циклонів створюються сприятливі умови для винесення теплового вологого повітря з акваторії Чорного моря на холодну підстильну поверхню. Влітку тумани, як і суцільна низька хмарність, реєструється найрідше, лише 4% від усіх випадків. Восени тумани спостерігаються частіше (24,6%), ніж навесні (18,2% від кількості усіх випадків), що можна пояснити інтенсифікацією циклонічної діяльності.

Добовий хід туманів набагато краще виражений порівняно з суцільною хмарністю: в усі сезони, виключаючи зиму, максимум повторюваності

припадає на години перед сходом сонця і на сході сонця, що вказує на великий внесок радіаційного фактору в розвиток туманів. Взимку максимум повторюваності туманів є більш пролонгованим – з початку доби до 9 год. ранку за місцевим часом. Ймовірність виникнення туману в післяполудневі години є мінімальною в усі сезони року.

В роботі досліджено двовимірні ймовірності появи суцільної низької хмарності і туману в залежності від місяця року і часу доби (рис. 2, 3). Суцільна низька хмарність (рис. 2) найчастіше реєструється з жовтня по березень – на цей період припадає 90,5% всіх випадків, а максимальна повторюваність низької хмарності 20,6% і 20,9% має місце в листопаді і грудні відповідно, що вказує на тісний зв'язок появи суцільної низької хмарності з циклонічною діяльністю. Протягом всієї доби частота появи низької хмарності змінюється від максимальних значень 4,8–4,7% о 5 і 6 год. відповідно, тобто перед сходом сонця, і до мінімуму 3,7–3,8% від 13 до 16 год. за місцевим часом, тобто багаторічна добова амплітуда низької хмарності не перевищує 1,1%.

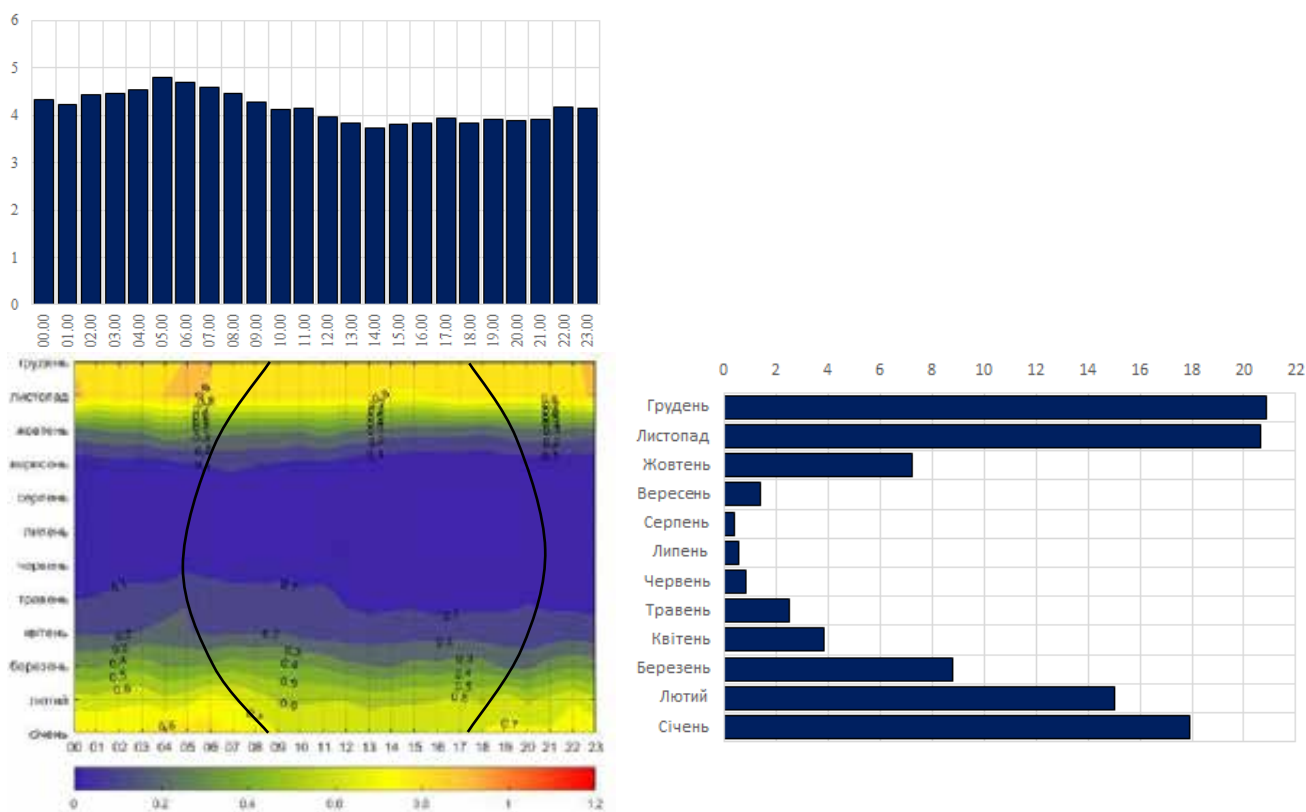


Рис. 2. Розподіл повторюваності суцільної хмарності з $BHMX \leq 1500$ м як функції часу доби і місяця року за період 2010–2021 рр. Відповідний розподіл суцільної низької хмарності за місяцем показано праворуч, а розподіл повторюваності за часом надано у верхній частині рисунку. Чорними суцільними лініями показано час сходу і заходу сонця /

Fig. 2. Frequency distributions of low-level stratiform cloud, as a function of the time of the day and the month of the year for the 2010–2021 period. The corresponding monthly distribution of low-level stratus frequencies is shown on the right, and the frequency distribution with respect to the time of day is shown in the top panel of the figure. Times of sunrise and sunset (solid black lines) are indicated. The data cover the 2010–2021 period

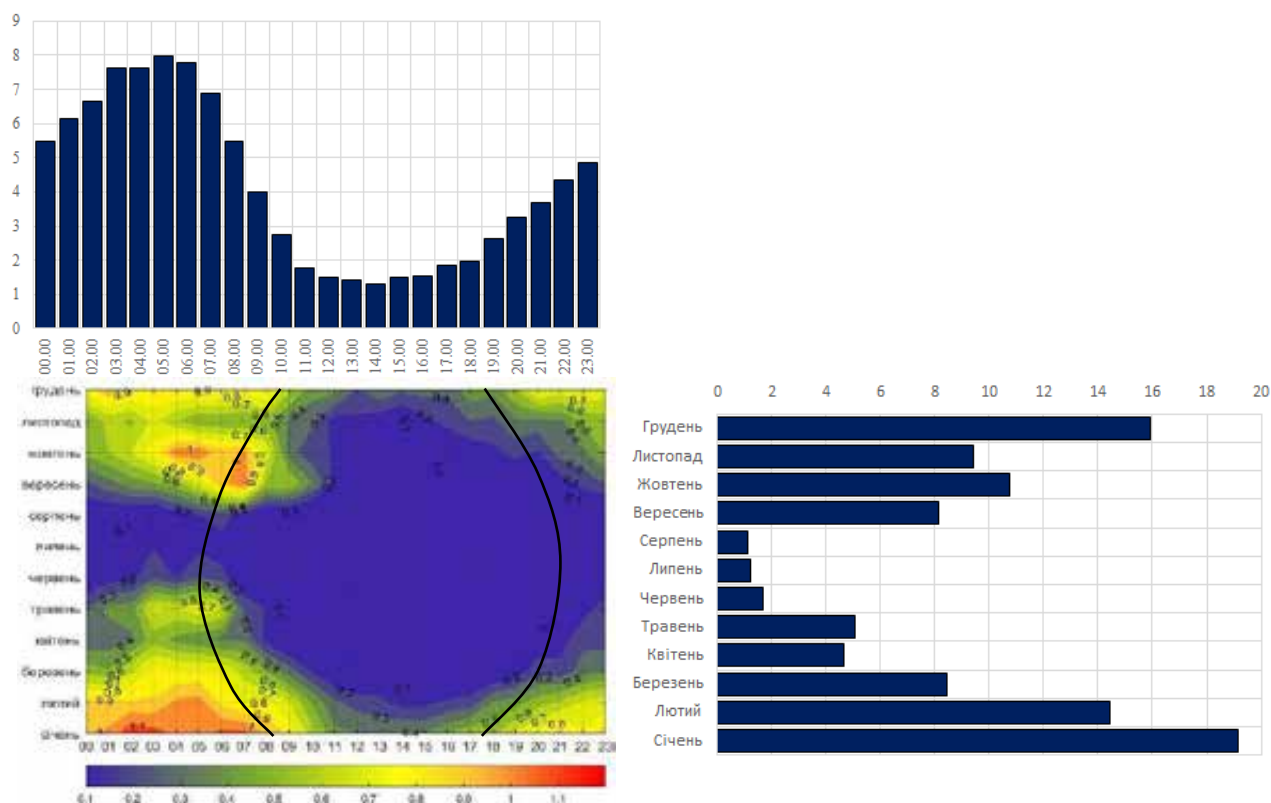


Рис. 3. Розподіл повторюваності туманів як функції часу доби і місяця року за період 2010–2021 рр. Відповідний розподіл суцільної низької хмарності за місяцем показано праворуч, а розподіл повторюваності за часом надано у верхній частині рисунку. Чорними суцільними лініями показано час сходу і заходу сонця /

Fig. 3. Frequency distributions of fog, as a function of the time of the day and the month of the year. The corresponding monthly distribution of fog event frequencies is shown on the right, and the frequency distribution with respect to the time of day is shown in the top panel of the figure. Times of sunrise and sunset (solid black lines) are indicated. The data cover the 2010–2021 period

Максимальна двовимірною ймовірністю появи суцільної низької хмарності сягає 0,97% на початку доби в листопаді, а мінімальні значення (0,01–0,07%) є характерними для літніх місяців протягом всієї доби, зокрема в липні 0 18 год. низька хмарність за весь досліджуваний період жодного разу не спостерігалась.

Порівнюючи розподіли туманів і низької суцільної хмарності, можна бачити, що в місяці, на які припадає 90,5% випадків низької хмарності, тумани реєструються усього в 67% випадків, що можна пояснити більшою залежністю туманів від місцевих умов і більшою різноманітністю механізмів утворення. З вересня по травень реєструється 96,0% всіх випадків туманів, а 90,9% випадків – з вересня по квітень.

Багаторічна добова амплітуда туманів набагато більша за відповідну амплітуду низької хмарності – 6,7%.

Поле двовимірних ймовірностей появи туману має яскраво виражений осередковий характер і показує тісну залежність появи туману від часу доби: найбільші двовимірні ймовірності появи туману (0,83–1,19%) припадають на нічні

години і години перед сходом сонця в січні і лютому, а також у вересні і жовтні недовзі перед сходом і після сходу сонця (0,95–1,10%). З травня по серпень більшу частину доби (з ранкових по вечірні години) тумани не реєструвалися жодного разу.

Відносна вологість і температура біля поверхні землі при суцільній низькій хмарності і туманах. Утворення суцільної низької хмарності і туману у великій степені визначається температурою повітря і насиченістю повітря водяною паром, і, таким чином, за особливостями розподілу температури і вологості повітря можуть бути визначені області, в яких формування низької хмарності і туману є найбільш ймовірним, і знайдені порогові значення для їх розділення.

В роботі в якості предикторів було обрано температуру і вологість повітря на рівні 2-х метрів і для визначення залежності між наявністю туманів/ суцільної низької хмарності і температурою й відотною вологістю знайдено двовимірні ймовірності появи цих явищ в температурно-вологісному полі (рис. 4, 5).

Формування суцільної низької хмарності не

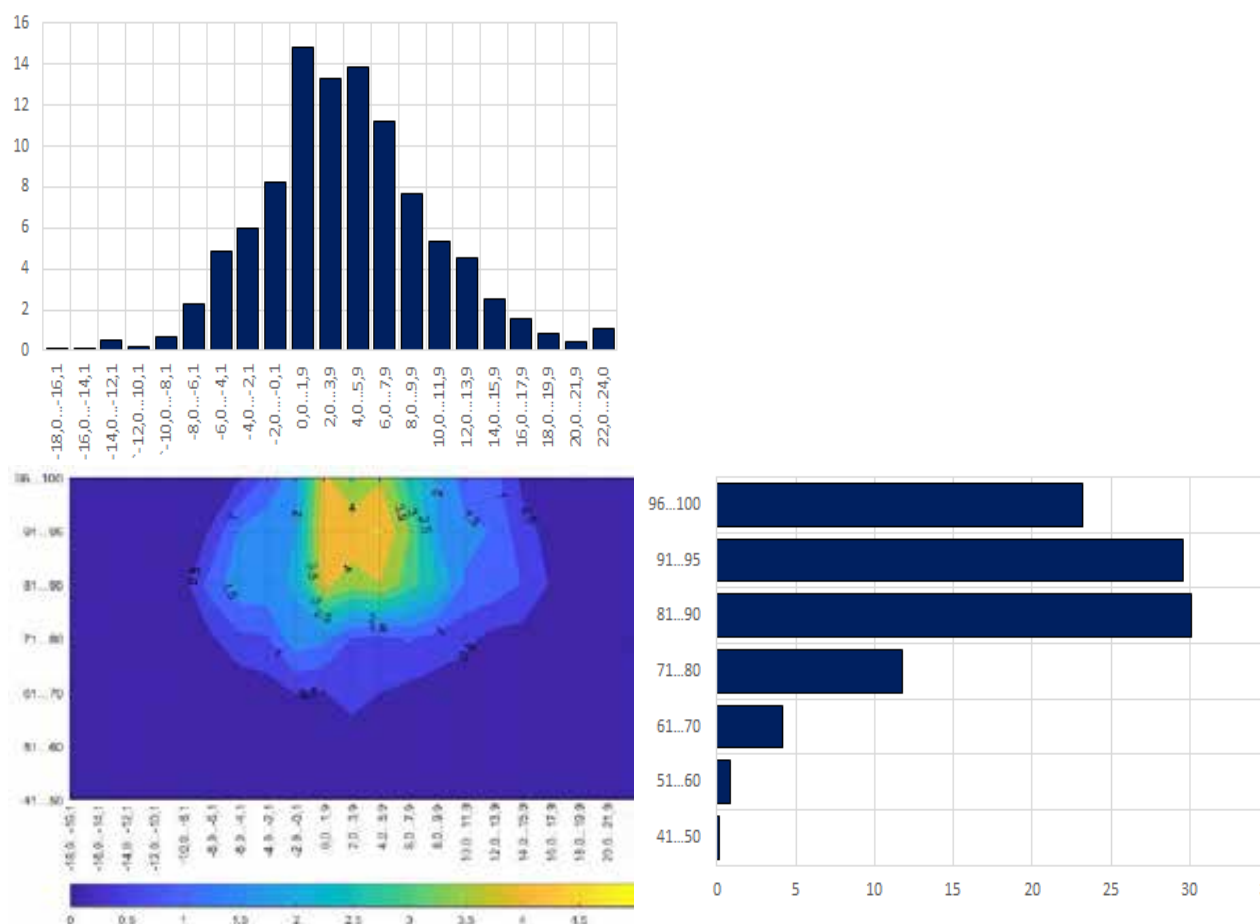


Рис. 4. Розподіл повторюваності низької суцільної хмарності як функції температури і відносної вологості, виміряних на висоті 2 м, за період 2010–2021 рр. Відповідний розподіл суцільної низької хмарності за відносною вологістю показано праворуч, а розподіл повторюваності за температурою надано у верхній частині рисунку /

Fig. 4. Frequency distribution of low-level stratus as a function of air temperature and relative humidity near the surface. The corresponding distribution of low-level stratus with respect to relative humidity is shown on the right, and the frequency distribution with respect to temperature is given at the top of the figure. The data cover the 2010–2021 period

відбувається при відносній вологості нижчій від 40% та температурах вищих за 24 та нижчих за -18°C (рис. 4). При відносній вологості 41–60% суцільна низька хмарність реєструється вкрай рідко (0,17%).

При відносній вологості повітря від 81 до 100% реєструється майже 83% всіх випадків суцільної низької хмарності, серед яких 52,1% мають місце при температурах при додатних температурах від 0,0 до $+7,9^{\circ}\text{C}$. Найбільша повторюваність припадає на область, окреслену ізотермами 0,0 та $5,9^{\circ}\text{C}$ і ізолініями відносної вологості 91 та 95% (13,28% всіх випадків низької хмарності) з максимумом повторюваності (4,53%) в градаціях 91–95% за відносною вологістю та $4,0$ – $5,9^{\circ}\text{C}$ за температурою повітря. При значеннях відносної вологості 96–100% жодного випадку суцільної низької хмарності не було зареєстровано при температурах $-12,0^{\circ}\text{C}$ і нижче, що можна пояснити активізацією ефекту Бержерона-Фіндайзена за цих умов і, як наслідок, швидкою кристалізацією хмар.

Між відносною вологістю та появою туманів спостерігається більш тісний зв'язок: відносна вологість змінюється в межах 80–100%, причому 99% всіх випадків реєструються в діапазоні 91–100%, з яких 79% припадає на інтервал 96–100% вологості повітря.

Тумани не спостерігаються при температурах вищих за 24°C та нижчих за -16°C . Найбільші двовимірні ймовірності виникнення туманів спостерігаються в межах від 0 до $5,9^{\circ}\text{C}$, як і у випадку низької хмарності, але порівняно з низькою хмарністю, повторюваності в два рази більші (11,1–12,7%).

Такий розподіл повторюваності туманів і низької хмарності в залежності від температури і відносної вологості вказує на спорідненість цих явищ і може викликати деякі складності з ідентифікацією цих явищ при прогнозуванні, особливо при високих значеннях відносної вологості.

Висота нижньої межі низької суцільної хмарності. Повторюваність суцільної хмарності

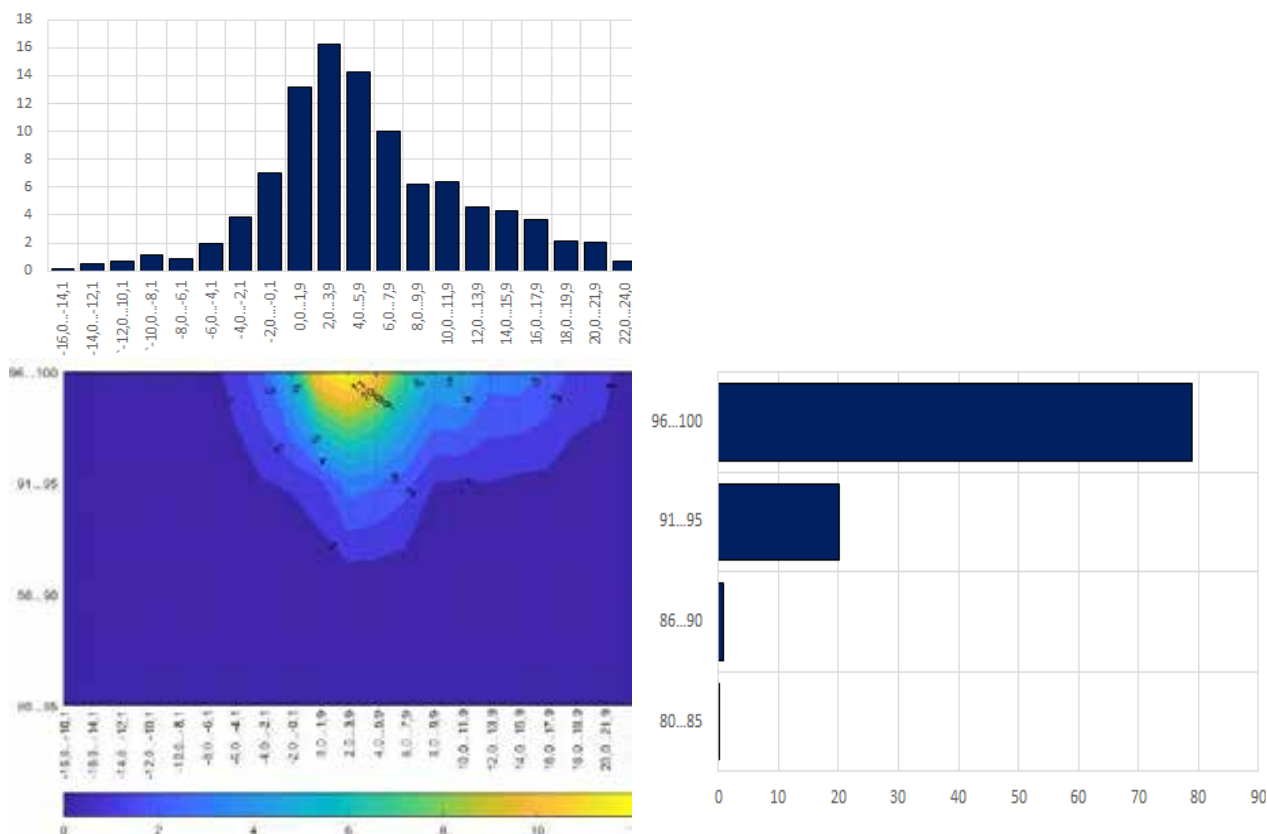


Рис. 5. Розподіл повторюваності туманів як функції температури і відносної вологості, виміряних на висоті 2 м, за період 2010–2021 рр. Відповідний розподіл туманів за відотною вологістю показано праворуч, а розподіл повторюваності за температурою надано у верхній частині рисунку /
 Fig. 5. Frequency distribution of fog events as a function of air temperature and relative humidity near the surface. The corresponding distribution of fog events with respect to relative humidity is shown on the right, and the frequency distribution with respect to temperature is given at the top of the figure. The data cover the 2010–2021 period

взимку становить 53,6% від загальної кількості випадків, знижуючись поступово навесні до 15,1% і сягаючи свого мінімуму влітку – 1,8%. Це є досить очікуваний результат, оскільки від зими до літа температура підвищується найсильніше у нижніх шарах атмосфери, і умови для конденсації водяної пари тут стають влітку набагато менш сприятливими, аніж взимку, через що ймовірність утворення хмарності в нижніх шарах атмосфери різко зменшується.

Впродовж року розподіл суцільної низької хмарності характеризується максимумом повторюваності (79,3% від загальної кількості випадків) при висоті нижньої межі нижче 600 м, що лишається характерною особливістю розподілу впродовж всіх сезонів з максимумом взимку (83,3%) і мінімумом влітку (71,0% від сезонної кількості випадків). Взимку, частіше реєструються хмари з нижньою межею нижче за 300 м (55%). За своїм походженням така хмарність взимку в 74% випадків є фронтальною [41]. Навесні хмарність з межею нижче від 300 м спостерігається так само часто (50,2% від кількості випадків, які мають місце весною). Влітку цей відсоток суттєво зменшується і сягає 24,3%, а восени знову зростає

до 40,3%.

Найбільша кількість випадків низької суцільної шаруватої хмарності в аеропорту Одеси для всіх сезонів року припадає на градацію 300–600 м. Особливо часто суцільна низька хмарність з нижньою межею 300–600 м реєструється влітку (46,7% від кількості випадків, які мають місце влітку) і восени (32,6% від кількості випадків, які мають місце восени).

Метеорологічна дальність видимості при тумані. Інтенсивність туману визначається його тривалістю і ступенем щільності туману [32]. За метеорологічною дальністю видимості, яка визначає ступінь щільності туману, тумани можна поділити на слабкі (видимість 500 – 1000 м), помірні (видимість 200–500 м), сильні (видимість складає 50 – 200 м) і дуже сильні (видимість менша від 50 м) [41].

Максимум повторюваності туману за рік і в усі сезони року припадає на градацію 0–100 метрів (рис. 7), тобто найчастіше спостерігаються сильні і дуже сильні тумани: ймовірність появи таких туманів найменша влітку (33 %), а найбільша – восени (43 %).

В усі сезони, виключаючи літо, в 70–76%

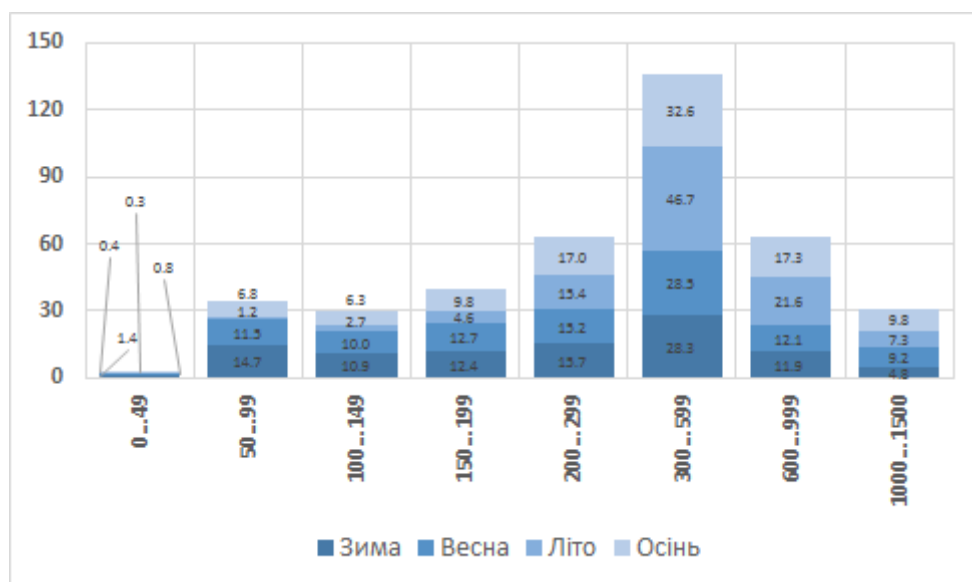


Рис. 6. Розподіл повторюваності (%) випадків суцільної низької хмарності в залежності від висоти нижньої межі хмарності за період 2010–2021 рр.

По осі ОХ відкладено градації висоти нижньої межі хмарності, по осі ОУ – відсоток /
 Fig. 6. Frequency distribution (%) of low-level stratus as dependent on the height of the lower for the period 2010–2021 in the seasons of the year. The height of the cloud base is represented on the X-axis, and the percentage is indicated on the Y-axis

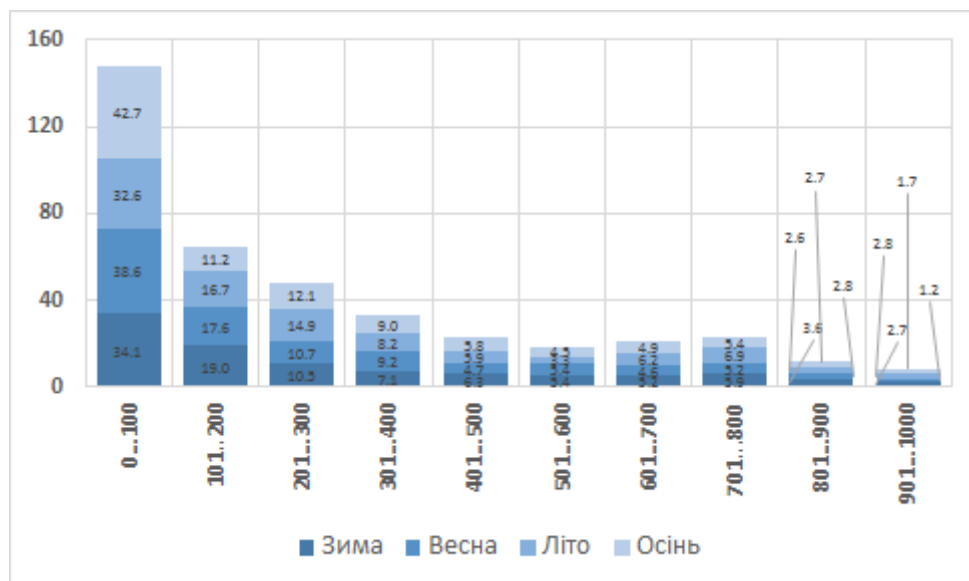


Рис. 7. Розподіл повторюваності метеорологічної дальності видимості при туманах за період 2010–2021 рр. /

Fig. 7. Frequency distribution (%) of fog as dependent on meteorological visibility for the 2010–2021 period

всіх випадків туманів, реєструється мінімум видимості 400 м або нижче, що відповідає помірним, сильним і дуже сильним туманам, а також вказують на серйозність проблеми в аеропорту Одеси, оскільки незважаючи на сезон і тип туману, тумани, які спостерігаються, зазвичай, є величезними щільними.

Найбільша кількість епізодів туманів (в середньому 34,6%) триває не більше однієї години, а в 53,8% всіх епізодів явища спостерігаються не більше 2 год, але з листопада по лютий в 27,8%

випадках тумани можуть тривати від 13 до 96 год.

Швидкість і напрямок вітру при суцільній низькій хмарності і туманах. Залежність повторюваності шаруватої хмарності з $BHMX \leq 1500$ м від швидкості вітру в більшості випадків суттєво змінюється в залежності від сезону року (рис. 8.a).

Найбільша повторюваність суцільної хмарності з $BHMX \leq 1500$ м має місце в градації 3...4 м/с взимку (36,5%) і восени (38,8%). Навесні і влітку найчастіше суцільна низька хмарність реєструється при більш високих швидкостях з макси-

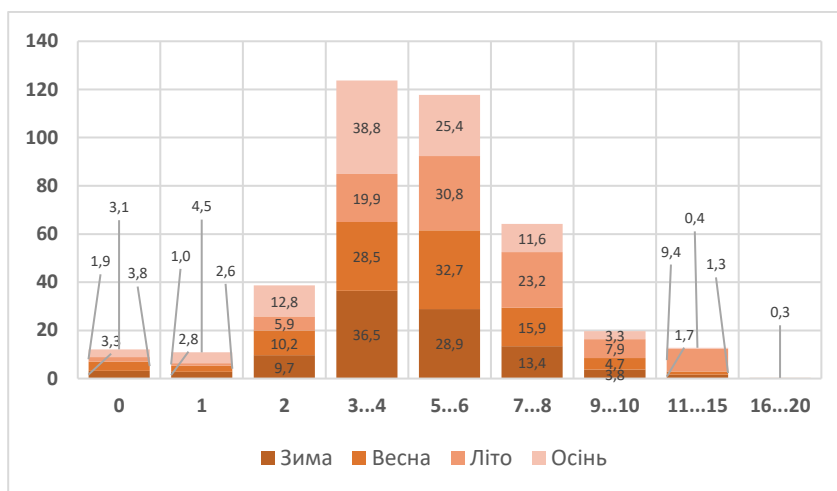
мумом випадків в градації 5...6 м/с – 32,7 і 30,8% відповідно. При штилях і швидкостях вітру ≤ 2 м/с суцільна низька хмарність спостерігається значно рідше, особливо влітку, і вкрай рідко має місце при швидкостях вітру 16–20 м/с. Більшість випадків низької хмарності (від 73,9% влітку до 84,4% навесні) в Одесі припадає на градації, які не є типовими для суцільної низької хмарності (3...8 м/с).

Зовсім інший характер має розподіл повторюваності швидкості вітру при туманах (рис. 8.б). Тумани утворюються при менших швидкостях вітру: швидкість вітру не перевищує 12 м/с. В усі

сезони року, виключаючи зиму, найчастіше при туманах реєструються штилі з максимумом повторюваності влітку – 67% і мінімумом повторюваності навесні – 40%. Взимку тумани найчастіше фіксуються при швидкості вітру 3...4 м/с (33%), хоча повторюваність штилів лишається досить високою – 24%.

Практично 90% всіх випадків туманів в усі сезони року реєструються при швидкостях вітру не більших за 4 м/с, мінімум в цьому діапазоні припадає на швидкість 1 м/с – не більше 8% від усіх випадків.

(а)



(б)

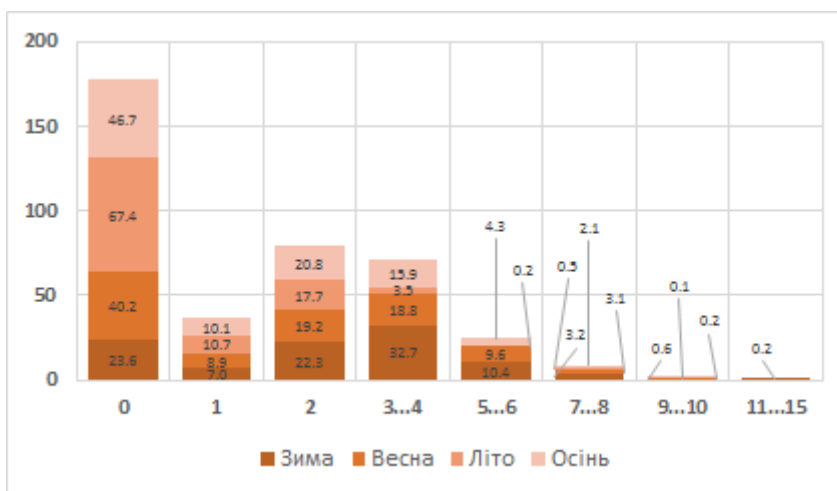


Рис. 8. Розподіл повторюваності (%) випадків суцільної низької хмарності (а) і туманів (б) в залежності від швидкості вітру за період 2010-2021 рр.

По осі ОХ відкладено градації швидкості вітру, по осі ОУ – відсоток /

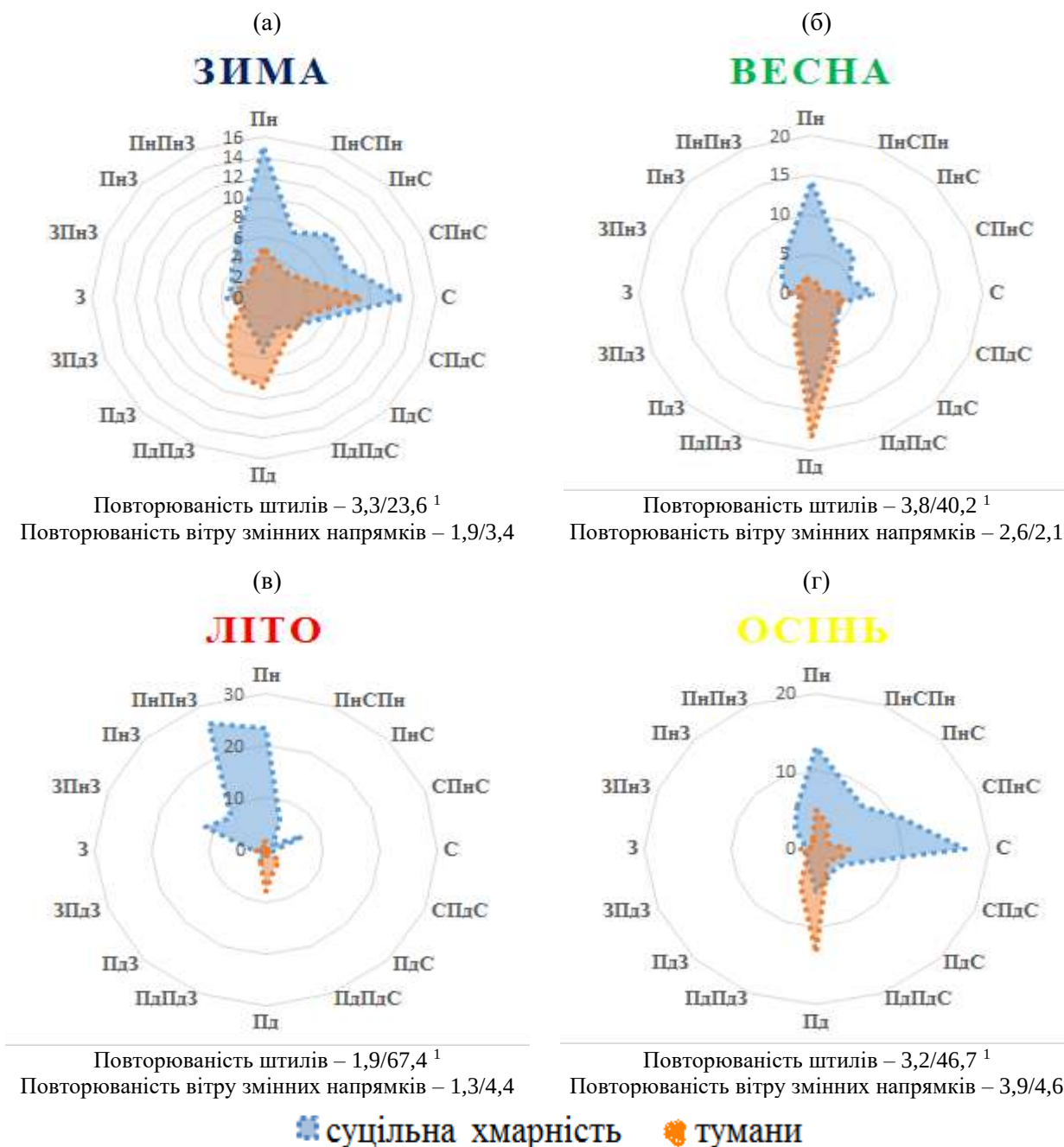
Fig. 8. Frequency distribution (% of the total number of cases) of wind speeds, m/s, associated with low-level stratiform clouds (a) and fog (б) for the 2010-2021 period. The wind speed is represented on the X-axis, and the percentage is indicated on the Y-axis

Залежність для туманів і суцільної низької хмарності простежується не тільки від швидкості вітру, але і від напрямку вітру (рис. 9).

Взимку половина всіх випадків суцільної низької хмарності (51,9%) припадають на вітри північно-східного квадранту (рис. 9 а), серед яких найбільші повторюваності мають вітри північного напрямку – 15,0% і східного – 13,0% всіх

випадків. Південний вітер реєструється лише у 5,4% випадків.

Восени розподіл напрямків вітру при суцільній низькій хмарності є схожим на розподіл взимку: також з найбільшою повторюваністю вітру північно-східного квадранту (57,7%) за виключення того, що максимум повторюваності припадає на східний напрямок (17,3%). Невели-



¹ Число у чисельнику характеризує повторюваність штилів і вітру змінних напрямків для суцільної хмарності, а у знаменнику – для туманів

Рис. 9. Рози вітрів для випадків з суцільною низькою хмарністю за період і туманів за період 2010–2021 рр. для (а) зими, (б) весни, (в) літа, (г) осені /

Fig. 9. Frequency distribution of wind directions associated with low-level stratiform clouds and fogs for the period of 2010–2020. The blue colour corresponds to low-level stratiform clouds, while yellow represents fog

кий локальний максимум також має місце при південних напрямках вітру – 5,5% (рис. 9 г).

Південний вітер якраз вказує на формування суцільної низької хмарності в передній частині циклону, а вітри північно-східного квадранту – на нетипове для осінньо-зимового періоду формування суцільної низької хмарності в холодній повітряній масі. Така ситуація часто має місце при вторгненні холодної повітряної маси на більш теплу підстильну поверхню зазвичай в тиловій час-

тині циклонів або в передній частині антициклонів і гребнів. В цих умовах спостерігаються низхідні рухи повітря, в наслідок яких формуються інверсії осідання. Безпосередньо за холодним фронтом і на відстані 300–500 км від нього над клином холодного повітря на висоті 400–600 м або вище, як правило, знаходиться нижня межа шару інверсії або ізотермії, які є характерними для фронтального шару.

Влітку при суцільній низькій хмарності спо-

стерігаються вітри з напрямками – північно-північно-західні та північні, які становлять 49,6% усіх випадків (рис.9 в). Велику повторюваність має також західний-північно-західний вітер (11,5% випадків). Всі напрямки влітку відповідають утворенню низької хмарності в холодній повітряній масі, що є типовим для теплого періоду над ґрунтом, сильно зволженим рясними опадами.

Навесні розподіл напрямків вітру суттєво змінюється (рис.9 б): найбільшу повторюваність набуває південний вітер (14,3%) та північний напрямок вітру (13,9%). Південний вітер відповідає або західній частині антициклону, або східній частині циклону. Саме в цих частинах баричних утворень через адвекцію теплого і вологого повітря утворюються найбільш низькі хмари.

Тумани взимку найчастіше спостерігаються при напрямках північно-східного квадранту (25,4%) з максимумом повторюваності для східного вітру – 9,2%. Висока повторюваність туманів має місце також при південному (8,9%) і південно-південно-західному (7,9%) напрямках (рис. 9 а).

В інші сезони року при туманах переважає південний напрямок вітру з максимумом повторюваності навесні (18,2%) і мінімумом повторюваності влітку (7,9%), а вторинний максимум припадає на напрямки від південно-східного до південно-західного. Восени, порівняно з іншими сезонами, повторюваність північного вітру суттєво зростає і становить 5,1% всіх випадків туманів, які мають місце восени, але все одне найбільша повторюваність спостерігається для південного напрямку – 13,2%.

Таким чином, для туманів має місце більш класична ситуація: найчастіше тумани утворюються при адвекції теплого і волого повітря в західній частині антициклонів або у східній частині циклонів.

Висновки. Особливості річного та добового ходу низької хмарності в аеропорту м. Одеса виявили найбільшу повторюваність низької хмарності в листопаді, а також в зимові місяці з максимумом повторюваності в усі сезони, крім літа, у вечірні або нічні години, і мінімумом - в післяполудневі години. Влітку суцільна низька хмарність реєструється вкрай рідко: максимум повторюваності становить 2% і доводиться на ранкові

години. Річний хід туманів показав найбільшу повторюваність в грудні і січні і яскраво виражений добовий хід, характерний у всі сезони, з максимальною появою туману в нічні і передранкові години.

З ростом відносної вологості при температурах 0–10°C виділяються області високої повторюваності низькою суцільною хмарністю, що вказує на тісний статистичний зв'язок повторюваності відносної вологості, температури і хмарності. Особливо тісний зв'язок простежується між відносною вологістю і появою туманів: більше 50% всіх випадків туманів спостерігаються при відносній вологості 95% і вище в діапазоні температур від -2 до +12°C, з яких 60% припадають на діапазон 0...+6°C.

Більше, ніж у 75% усіх випадків туманів, реєструється мінімум видимості 400 м або нижче, що свідчить про серйозність проблеми, оскільки незважаючи на сезон і тип туману, вони, зазвичай, є досить інтенсивні і щільні.

Аналіз виявляє наявність статистичних зв'язків низької хмарності і туманів з напрямком і швидкістю вітру. У всі сезони року найбільша повторюваність низької хмарності припадає на градацію 3 ... 4 м/с, виключаючи літо, коли найбільш часто така хмарність реєструється при більш високих швидкостях. Найбільша кількість випадків суцільної низької хмарності в осінньо-зимовий період припадає на напрямки північно-східного квадранту, що відповідає умовам утворення суцільної низької хмарності в холодній повітряній масі в західній частині циклону або східній антициклону. Тумани найчастіше в усі сезони, виключаючи зиму, утворюються при штилях. Найбільш часто спостерігаються тумани в усі сезони, виключаючи зиму, при південному напрямку, що вказує на утворення туману при адвекції теплого і вологого повітря.

Для встановлення надійних статистичних залежностей важливим є розуміння, наскільки дані стандартних наземних метеорологічних спостережень є інформативними для прогнозу туману і суцільної низької хмарності, тому подальший напрямок роботи буде пов'язаний з оцінкою інформативності наземних спостережень як предикторів наявності/відсутності туману/низької суцільної хмарності.

Список використаної літератури

1. Alaoui, B. Analog Ensemble Forecasting System for Low-Visibility Conditions over the Main Airports of Morocco [Text] / B. Alaoui, D. Bari, T. Bergot, Y. Ghabbar // *Atmosphere*, 2022. – Vol. 13, 1704. DOI: <https://doi.org/10.3390/atmos13101704>
2. Andrew J. Fatal weather-related general aviation accidents in the United States [Text] / J. Andrew, S. Walker // *Physical Geography*, 2016. – Vol. 37:5. – Pp. 291 - 312. DOI: <https://doi.org/10.1080/02723646.2016.1211854>
3. Driss B. Fog Decision Support Systems: A Review of the Current Perspectives [Text] / B. Driss, T. Bergot, R. Tardif // *Atmosphere*, 2023. – Vol. 14, No. 8, 1314. DOI: <https://doi.org/10.3390/atmos14081314>

4. Bergot, T. Intercomparison of single-column numerical models for the prediction of radiation fog States [Text] / E. Terradellas, J. Cuxart, A. Mira, O. Liechti, M. Mueller, N. W. Nielsen // *Journal of Applied Meteorology and Climatology*, 2007. - Vol. 46(4). - Pp. 504-521. DOI: <https://doi.org/10.1175/JAM2475.1>
5. Burrows W. R. Automated fog and stratus forecasts from the Canadian RDPSOperational NWP model (p. 33) Perspectives [Text] / W. R. Burrows, G. Toth // *Extended Abstracts, 24th conference on weather and fore-casting*, 23-27 January, 2011, Seattle, WA. American Meteor Society, Ltd. DOI: <https://doi.org/10.13140/2.1.4852.0648>
6. Cermak, J. Dynamical nighttime fog/low stratus detection based on Meteosat SEVIRI data: A feasibility study [Text] / J. Cermak, J. Bendix // *Pure Appl. Geophys.*, 2007. - Vol. 164. - Pp. 1179-1192. DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-7643-8419-7_5
7. Chachere, C.N. Numerical simulations of an inversion fog event in the Salt Lake Valley during the MATERHORN-fog field campaign [Text] / C.N. Chachere, Z. Pu // *Pure and Applied Geophysics*, 2019. - Vol. 176(5). - Pp. 2139-2164. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00024-018-1770-8>
8. Cotton, W. R. Storm and cloud dynamics [Text] / W. R. Cotton, R. A. Anthes // Academic press, 1989. - Inc, New York.
9. Dupont, J. C. Stratus-fog formation and dissipation: a 6-day case study [Text] / J. C. Dupont, M. Haeffelin, A. Protat, D. Bounil, N. Boyouk, Y. Morille // *Boundary-Layer Meteorol*, 2012. - Vol. 143. - Pp. 207-225. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10546-012-9699-4>
10. Elias, T. Particulate contribution to extinction of visible radiation: pollution, haze, and fog [Text] / T. Elias, M. Haeffelin, P. Drobinski, L. Gomes, J. Rangognio, T. Bergot, P. Chazette, J. C. Raut, M. Colomb // *Atmos Res*, 2009. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.atmosres.2009.01.006>
11. Glickman, T. Glossary of Meteorology [Text] / T. Glickman // 2nd ed. Amer. Meteor. Soc. Ed., 2000. - Pp. 855. <http://glossary.ametsoc.org/> (Accessed on 22.10.2023).
12. Gultepe, I. A meteorological supersite for aviation and cold weather applications [Text] / I. Gultepe, Agelin-Chaab, M., Komar, J., Elfstrom, G., Boudala, F., B. Zhou // *Pure Applied Geophysics*, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00024-018-1880-3>
13. Gultepe, I. The Fog Remote Sensing and Modelling Field Project [Text] / I. Gultepe, G. Pearson, J. A. Milbrandt, B. Hansen, S. Platnick, P. Taylor, M. Gordon, J. P. Oakley, S. G. Cober // *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, 2009. - Vol. 90. - Pp. 341-360. DOI: <https://doi.org/10.1175/2008BAMS2354.1>
14. Gultepe, I. A Review of High Impact Weather for Aviation Meteorology [Text] / I. Gultepe, R. Sharman, P.D. Williams // *Pure Appl. Geophys.*, 2019. - Vol. 176. - Pp. 1869-1921. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00024-019-02168-6>
15. Gultepe, I. Fog research: a review of past achievements and future perspectives [Text] / I. Gultepe, R. Tardif, S. Michaelides, J. Cermak, A. Bott, J. Bendix, M.D. Muller, M. Pagowski, B. Hansen, G. Ellrod, W. Jacobs, G. Toth, S.G. Cober // *Pure and Applied Geophysics*, 2007. - Vol. 164(6-7). - Pp. 1121-1159. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00024-007-0211-x>
16. Henry, A. J. Aviation Weather Hazards [Text] / A. J. Henry // *Mon. Wea. Rev.*, 1930. - Vol. 58. - Pp. 231-234.
17. Humphreys, W. J. Meteorology and its importance to aviation [Text] / W. J. Humphreys // *Monthly Weather Review*, 1930. - Vol. 58. - Pp. 196-197. DOI: [https://doi.org/10.1175/1520-0493\(1930\)58<196:MAHTA>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0493(1930)58<196:MAHTA>2.0.CO;2)
18. Jacobs, A. J. Numerical guidance methods for 3301 decision support in aviation meteorological forecasting [Text] / A. J. Jacobs, N. Maat // *Weather 3302 Forecasting*, 2005. - Vol. 20. - Pp. 82-100. DOI: <https://doi.org/10.1175/WAF-827.1>
19. Koglbauer, I. V. The Role of Simulator Scenarios in Learning Low Visibility Procedures in Flight [Text] / I. V. Koglbauer, M. Seidl, R. Braunstingl, M. Riesel, C. Baciuc // In I. Albulescu, & C. Stan (Eds.), *Education, Reflection, Development – ERD 2022*. - Vol. 6. - European Proceedings of Educational Sciences. - Pp. 271-279. DOI: <https://doi.org/10.15405/epes.23056.25>
20. Kulkarni, R. Loss to aviation economy due to winter fog in New Delhi during the winter of 2011-2016 [Text] / R. Kulkarni, R.K. Jenamani, P. Pithani, M. Konwar, N. Nigam, S.D. Ghude // *Atmosphere*, 2019. - Vol. 10(4). - Pp. 198. DOI: <https://doi.org/10.3390/atmos10040198>
21. Lakra K. A review on factors influencing fog formation, classification, forecasting, detection and impacts [Text] / K. Lakra, K. Avishek // *Rend Lincei Sci Fis Nat.*, 2022. - Vol. 33(2). - Pp. 319-353. - Epub 2022 Mar 14. PMID: 35309246; PMCID: PMC8918085. DOI: <https://doi.org/10.1007/s12210-022-01060-1>
22. Matveev, L.T. Statistical Data of Clouds and Cloud Behavior [Text] / L.T. Matveev // In: *Cloud Dynamics. Atmospheric Sciences Library*, 1984. - Vol. 2. DOI: https://doi.org/10.1007/978-94-009-6360-3_9
23. National Transportation Safety Board. 2005. Risk Factors Associated with Weather-Related General Aviation Accidents. Safety Study NTSB/SS-05/01. Washington, DC.
24. Niu, S. Fog research in China: an overview [Text] / S. Niu, C. Lu, H. Yu, L. Zhao, J. Lu. // *Adv Atmos Sci*, 2010. - Vol. 27(3). - Pp. 639-662. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00376-009-8174-8>
25. NTSB Review of Low Ceiling/Visibility Accidents. July 2022. https://ral.ucar.edu/sites/default/files/docs/1-eick-low-cig-vis-abbreviated_0.pdf
26. Ounda, K. Fog and low level stratus forecasting using satellite products [Text] / K. Ounda, V. Ongoma // *A case study of Jomo Kenyatta International Airport, Kenya Pakistan, J. Meteorol*, 2015. - Vol. 11. - Pp. 49-56.
27. Petersen, S. *Weather Analysis and Forecasting*, Vol. 1 and 2. [Text] / S. Petersen // McGraw-Hill, New York, Toronto, London, 1956.
28. Pithani, P. WRF model sensitivity to choice of PBL and microphysics parameterization for an advection fog event at Barkachha, rural site in the Indo-Gangetic Basin, India [Text] / P. Pithani, S.D. Ghude, T. Prabhakaran, A. Karipot,

- A. Hazra, R. Kulkarni, S. Chowdhuri, E. Resmi, M. Konwar, P. Murugavel, P. Safai, D. Chate, Y. Tiwari, R. Jenamani, M. Rajeevan // *Theoretical and Applied Climatology*, 2019b. – Vol. 136(3-4). – Pp. 1099-1113. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00704-018-2530-5>
29. Ribaud, J. F. PARAFOG v2.0: a near-real-time decision tool to support nowcasting fog formation events at local scales [Text] / J. F. Ribaud, M. Haeffelin, J. C. Dupont, M. A. Drouin, F. Toledo, S. Kotthaus // *Atmos. Meas. Tech.*, 2021. – Vol. 14. – Pp. 7893-7907. DOI: <https://doi.org/10.5194/amt-14-7893-2021>
 30. Román Cascón, C. Observations and WRF simulations of fog events at the Spanish Northern Plateau [Text] / Cascón, C. Román, C. Yagüe, M. Sastre, G. Maqueda, F. Salamanca, S. Viana Jiménez // *Advances in Science and Research*, 2012. – Vol. 8. – Pp. 11-18. DOI: <https://doi.org/10.5194/asr-8-11-2012>
 31. Roquelaure, S. Contributions from a Local Ensemble Prediction System (LEPS) for improving fog and low cloud forecasts at airports [Text] / S. Roquelaure, T. Bergot // *Weather and Forecasting*, 2009. – Vol. 24(1). – Pp. 39-52. DOI: <https://doi.org/10.1175/2008WAF2222124.1>
 32. Stolaki, S. A study of fog characteristics using a coupled WRF-COBE model over Thessaloniki airport, Greece [Text] / S. Stolaki, I. Pytharoulis, T. Karacostas // *Pure and Applied Geophysics*, 2012. – Vol. 169 (5-6). – Pp. 961-981. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00024-011-0393-0>
 33. Tardif, R. Event-based climatology and typology of fog in the New York City region [Text] / R. Tardif, R. M. Rasmussen // *J. Appl. Meteor. Climatol.*, 2007. № 46. – Pp. 1141-1168. DOI: <https://doi.org/10.1175/JAM2516.1>
 34. Warren, S. G. A survey of changes in cloud cover and cloud types over land from surface observations, 1971-1996 [Text] / S. G. Warren, R. Eastman, C. J. Hahn // *J. Climate*, 2007. – Vol. 20. – Pp. 717-738. DOI: <https://doi.org/10.1175/JCLI4031.1>
 35. Westerhuis S. Identifying the key challenges for fog and low stratus forecasting in complex terrain [Text] / S. Westerhuis, O. Fuhrer, J. Cermak, W. Eugster // *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, 2020. – Vol. 146 (732). – Pp. 3347-3367. DOI: <https://doi.org/10.1002/qj.3849>
 36. Willett. Fog and haze, their causes, distribution and forecasting // *Mon. Wea. Rev.*, 1928. – №. 56. – Pp. 435-468. DOI: [https://doi.org/10.1175/1520-0493\(1928\)56<435:FAHTCD>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0493(1928)56<435:FAHTCD>2.0.CO;2)
 37. WMO (World Meteorological Organization), *International Cloud Atlas*. <https://cloudatlas.wmo.int/en/home.html>. Accessed 15 Jan 2022.
 38. World Meteorological Organization (WMO) // *International Meteorological Vocabulary*, 1992. – WMO 182. – Pp. 782.
 39. Zhou, B. Fog Prediction from a Multimodel Mesoscale Ensemble Prediction System [Text] / B. Zhou, J. Du // *Weather and Forecasting*, 2010. – Vol. 25(1). – Pp. 303-322. DOI: <https://doi.org/10.1175/2009WAF2222289.1>
 40. Архів метеорологічних даних спостережень в кодах METAR/SPECI <http://rp5.ua/> Дата звернення 12.11.22.
 41. Івус Г.П. Авіаційна метеорологія та кліматологія [Текст] / Г.П. Івус, А.Б. Семергей-Чумаченко // Конспект лекцій, 2007. – Одеса. – С. 201.
 42. Наказ про затвердження Авіаційних правил України "Метеорологічне обслуговування цивільної авіації" від 05 вересня 2017 р. за N 1092/30960.

Внесок авторів: всі автори зробили рівний внесок у цю роботу

Fog and low-level stratus characteristics at the airport of Odesa from surface observations

Oleksiy Hustenko¹

PhD student,¹ Odesa State Environmental University,
St. Lvivska, 15, Odesa, 65016, Ukraine;

Inna Khomenko¹

PhD (Geography), Associate Professor

ABSTRACT

Introduction. Fog that limits visibility and low-level stratus represent a significant hazard to aviation especially during takeoff and landing, and also low-level flying of aircrafts, because accidents often occur in reduced visibility conditions and low clouds. Therefore, forecasting fog and low ceilings is one of the most important, but at the same time the most difficult issue, because both phenomena strongly depend on local conditions and unsteady in both time and space.

The aim of the study is to obtain the statistical characteristics of low-level stratus and fog at the airport of Odesa and determine local dependencies that would enable to improve aviation weather forecasts related to low-level stratus and fog physics.

Scientific novelty of results obtained. In this study for the Ukraine for the first time for Odesa airport frequency distribution of low-level stratus and fogs is obtained as a function of the time of the day and the month of the year and also as a function of the temperature and relative humidity near the surface.

Practical importance of results obtained. The results obtained could be used for providing weather forecast model with historical data and improving forecast of fogs and low-level stratus.

Materials and method. To study fog and low-level stratus characteristics occurring at the airport of Odesa, Ukraine, half hourly observations in the period of 2010-2021 are used. Applying a statistical approach annual, seasonal and diurnal distribution of fog and low stratus and their frequency distribution associated with various meteorological parameters are obtained.

Results and discussion. The monthly distributions of low-level stratus reveal maximum occurrence frequencies in November and January, and fog most frequently occurs in December. No significant diurnal cycle of stratiform cloud occurrence is discovered, as opposed to fog for which the highest frequency is observed in the hours before sunrise, while when the day sets in, frequencies are declining and increasing at night. Fog and low-level stratus have the same distribution in duration and the mean event duration is 4.5 h while 55% of the events lasted 2 h or less. The most long-lived fog and stratiform clouds can last about 4 days during the December-January period. Occurrence of fog and stratiform clouds as function of temperature and relative humidity reveals a close statistical relationship, especially for fog events. More than 33% of all fogs are observed at temperatures of 0°C to 6°C and 96-100% relative humidity, the most frequencies of low-level clouds (13%) occur in the same temperature interval, but at lower values of relative humidity (91-95%). Regarding fog density 75% of the events have minimum visibility lower than 400 m, which indicates the severity of the problem, because, despite the season and type of fog, they are usually quite intense and dense. In all seasons of the year, the highest frequency of low-level stratiform clouds is in interval of 3...4 m/s, excluding summer, when most often such cloud is registered at higher speeds. The wind directions associated with low-level stratiform clouds are, as a rule, northern and eastern ones. Fogs, on the contrary, most often in all seasons, except winter, are formed at calm, meaning that radiation fogs are the most common type in the Odesa airport. In winter fogs are most commonly associated with northern and easterly winds; in all other seasons the southern wind is the most frequent.

Keywords: fog, overcast low-level stratiform clouds, physical-statistical analysis, Odesa, METAR/SPECI, SYNOP

References

1. Alaoui, B., Bari, D., Bergot, T., & Ghabbar, Y. (2022). Analog Ensemble Forecasting System for Low-Visibility Conditions over the Main Airports of Morocco. *Atmosphere*, 13(10), 1704. <https://doi.org/10.3390/atmos13101704>
2. Andrew J., Fultz & Walker S. Ashley (2016). Fatal weather-related general aviation accidents in the United States, *Physical Geography*, 37:5, 291-312, <https://doi.org/10.1080/02723646.2016.1211854>
3. Bari, D., Bergot, T., & Tardif, R. (2023). Fog Decision Support Systems: A Review of the Current Perspectives. *Atmosphere*, 14(8), 1314. <https://doi.org/10.3390/atmos14081314>
4. Bergot, T., Terradellas, E., Cuxart, J., Mira, A., Liechti, O., Mueller, M. and Nielsen, N.W. (2007). Intercomparison of single-column numerical models for the prediction of radiation fog. *Journal of Applied Meteorology and Climatology*, 46(4), 504–521. <https://doi.org/10.1175/JAM2475.1>
5. Burrows, W. R., & Toth, G. (2011). Automated fog and stratus forecasts from the Canadian RDPS operational NWP model (p. 33). *Extended Abstracts, 24th Conference on Weather and Forecasting*, 23–27 January, 2011, Seattle, WA. American Meteorological Society, Ltd. <https://doi.org/10.13140/2.1.4852.0648>
6. Cermak, J.; Bendix, J. (2007). Dynamical Nighttime Fog/Low Stratus Detection Based on Meteosat SEVIRI Data: A Feasibility Study. *Pure appl. geophys.* 164, 1179–1192. https://doi.org/10.1007/978-3-7643-8419-7_5
7. Chachere, C.N. and Pu, Z. (2019). Numerical simulations of an inversion fog event in the Salt Lake Valley during the MATERHORN-fog field campaign. *Pure and Applied Geophysics*, 176(5), 2139–2164. <https://doi.org/10.1007/s00024-018-1770-8>
8. Cotton, W. R., and R. A. Anthes, (1989). *Storm and cloud dynamics*. Academic press, Inc, New York.
9. Dupont, J.C., Haefelin, M., Protat, A. et al. (2012). Stratus–Fog Formation and Dissipation: A 6-Day Case Study. *Boundary-Layer Meteorol* 143, 207–225 (2012). <https://doi.org/10.1007/s10546-012-9699-4>
10. Elias, T., M. Haefelin, P. Drobinski, L. Gomes, J. Rangognio, T. Bergot, P. Chazette, J. C. Raut, and M. Colomb (2009). Particulate contribution to extinction of visible radiation: pollution, haze, and fog. *Atmos Res.* <https://doi.org/10.1016/j.atmosres.2009.01.006>
11. Glickman, T., Ed. (2000). *Glossary of Meteorology*. 2nd ed. Amer. Meteor. Soc., 855. <http://glossary.ametsoc.org/>. (Accessed on 22.10.2023).
12. Gultepe, I., Agelin-Chaab, M., Komar, J., Elfstrom, G., Boudala, F., & Zhou, B. (2019). A meteorological supersite for aviation and cold weather applications. *Pure Applied Geophysics* 176, 1977–2015/ <https://doi.org/10.1007/s00024-018-1880-3>
13. Gultepe, I., Pearson, G., Milbrandt, J. A., Hansen, B., Platnick, S., Taylor, P., Gordon, M., Oakley, J. P., and Cober, S. G. (2009). The Fog Remote Sensing and Modelling Field Project. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, 90, 341–360. <https://doi.org/10.1175/2008BAMS2354.1>
14. Gultepe, I., Sharman, R., Williams, P.D. et al. (2019). A Review of High Impact Weather for Aviation Meteorology. *Pure Appl. Geophys.* 176, 1869–1921. <https://doi.org/10.1007/s00024-019-02168-6>
15. Gultepe, I., Tardif, R., Michaelides, S., Cermak, J., Bott, A., Bendix, J., Muller, M.D., Pagowski, M., Hansen, B., Ellrod, G., Jacobs, W., Toth, G. and Cober, S.G. (2007). Fog research: a review of past achievements and future perspectives. *Pure and Applied Geophysics*, 164(6-7), 1121–1159.
16. Henry, A. J., (1930). *Aviation Weather Hazards*. *Mon. Wea. Rev.*, 58, 231-234.
17. Humphreys, W. J. (1930). *Meteorology and its importance to aviation*. *Monthly Weather Review*, 58, 196–197. [https://doi.org/10.1175/1520-0493\(1930\)58%3C196:MAIITA%3E2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0493(1930)58%3C196:MAIITA%3E2.0.CO;2)

18. Jacobs, A. J., & Maat, N. (2005). Numerical guidance methods for 3301 decision support in aviation meteorological forecasting. *Weather 3302 Forecasting*, 20, 82–100. <https://doi.org/10.1175/WAF-827.1>
19. Koglbauer, I. V., Seidl, M., Braunstingl, R., Riesel, M., & Baci, C. (2023). The Role of Simulator Scenarios in Learning Low Visibility Procedures in Flight. In I. Albulescu, & C. Stan (Eds.), *Education, Reflection, Development – ERD 2022*, 6. *European Proceedings of Educational Sciences* (271–279). European Publisher. <https://doi.org/10.15405/epes.23056.25>
20. Kulkarni, R., Jenamani, R.K., Pithani, P., Konwar, M., Nigam, N. and Ghude, S.D. (2019). Loss to aviation economy due to winter fog in New Delhi during the winter of 2011–2016. *Atmosphere*, 10(4), 198. <https://doi.org/10.3390/atmos10040198>
21. Lakra K, Avishek K. (2022). A review on factors influencing fog formation, classification, forecasting, detection and impacts. *Rend Lincei Sci Fis Nat*;33 (2):319-353. Epub 2022 Mar 14. PMID: 35309246; PMCID: PMC8918085. doi: <https://doi.org/10.1007/s12210-022-01060-1>
22. Matveev, L.T. (1984). *Statistical Data of Clouds and Cloud Behavior*. In: *Cloud Dynamics. Atmospheric Sciences Library*, vol 2. Springer, Dordrecht. https://doi.org/10.1007/978-94-009-6360-3_9
23. National Transportation Safety Board (2005). *Risk Factors Associated with Weather-Related General Aviation Accidents*. Safety Study NTSB/SS-05/01. Washington, DC.
24. Niu, S., C. Lu, H. Yu, L. Zhao, J. Lu (2010). Fog research in China: an overview. *Adv Atmos Sci*, 27(3), 639 – 662. <https://doi.org/10.1007/s00376-009-8174-8>
25. NTSB Review of Low Ceiling/Visibility Accidents. July 2022. https://ral.ucar.edu/sites/default/files/docs/1-eick-low-cig-vis-abbreviated_0.pdf
26. Ounda, K., V. Ongoma, (2015). Fog and low level stratus forecasting using satellite products; A case study of Jomo Kenyatta International Airport, Kenya Pakistan, *J. Meteorol.* 11 (2015), 49–56.
27. Petersen, S., (1956). *Weather Analysis and Forecasting*, Vol. 1 and 2. McGraw-Hill, New York, Toronto, London.
28. Pithani, P., Ghude, S.D., Prabhakaran, T., Karipot, A., Hazra, A., Kulkarni, R., Chowdhuri, S., Resmi, E., Konwar, M., Murugavel, P., Safai P., Chate D., Tiwari Y., Jenamani R. and Rajeevan M. (2019). WRF model sensitivity to choice of PBL and microphysics parameterization for an advection fog event at Barkachha, rural site in the Indo-Gangetic Basin, India. *Theoretical and Applied Climatology*, 136(3–4), 1099–1113. <https://doi.org/10.1007/s00704-018-2530-5>
29. Ribaud, J.-F., Haeffelin, M., Dupont, J.-C., Drouin, M.-A., Toledo, F., and Kotthaus, S. (2021). PARAFog v2.0: a near-real-time decision tool to support nowcasting fog formation events at local scales, *Atmos. Meas. Tech.*, 14, 7893–7907, <https://doi.org/10.5194/amt-14-7893-2021>.
30. Román Cascón, C., Yagüe, C., Sastre, M., Maqueda, G., Salamanca, F. and Viana Jiménez, S. (2012). Observations and WRF simulations of fog events at the Spanish Northern Plateau. *Advances in Science and Research*, 8, 11–18. <https://doi.org/10.5194/asr-8-11-2012>
31. Roquelaure, S. and Bergot, T. (2009). Contributions from a Local Ensemble Prediction System (LEPS) for improving fog and low cloud forecasts at airports. *Weather and Forecasting*, 24(1), 39–52. <https://doi.org/10.1175/2008WAF2222124.1>
32. Stolaki, S., Pytharoulis, I. and Karacostas, T. (2012). A study of fog characteristics using a coupled WRF–COBEL model over Thessaloniki airport, Greece. *Pure and Applied Geophysics*, 169(5–6), 961–981. <https://doi.org/10.1007/s00024-011-0393-0>
33. Tardif, R., and R. M. Rasmussen, (2007). Event-based climatology and typology of fog in the New York City region. *J. Appl. Meteor. Climatol.* 46, 1141–1168. <https://doi.org/10.1175/JAM2516.1>
34. Warren, S. G., R. Eastman, and C. J. Hahn, (2007). A survey of changes in cloud cover and cloud types over land from surface observations, 1971–1996. *J. Climate*, 20, 717–738, doi: <https://doi.org/10.1175/JCLI4031.1>
35. Westerhuis S., O. Fuhrer, J. Cermak, W. Eugster, (2020). Identifying the key challenges for fog and low stratus forecasting in complex terrain *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, 146 (732) (2020), 3347–3367. <https://doi.org/10.1002/qj.3849>
36. Willett, (1928). Fog and haze, their causes, distribution and forecasting. *Mon. Wea. Rev.*, 56, 435–468. [https://doi.org/10.1175/1520-0493\(1928\)56<435:FAHTCD>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0493(1928)56<435:FAHTCD>2.0.CO;2)
37. WMO (World Meteorological Organization), *International Cloud Atlas*. <https://cloudatlas.wmo.int/en/home.html>. Accessed 15 Jan 2022.
38. World Meteorological Organization (WMO), 1992: *International Meteorological Vocabulary*, WMO 182, 782.
39. Zhou, B., & Du, J. (2010). Fog Prediction from a Multimodel Mesoscale Ensemble Prediction System. *Weather and Forecasting*, 25(1), 303–322. <https://doi.org/10.1175/2009WAF2222289.1>
40. Archived Metar Observations. <http://rp5.ua/> Access date 11/12/22.
41. Ivus G.P., Semerhei-Chumachenko A.B. (2007). *Aviation meteorology and climatology: Lecture notes*. Odessa., 201.
42. Order on the approval of flight rules of aviation in the airspace of Ukraine “Meteorological services for civil aviation” dated 05 June 2017. for N 1092/30960.

Authors Contribution: All authors have contributed equally to this work

Received 23 October 2023

Accepted 26 November 2023

Ландшафтні дослідження: від парадигми через ГІС-технологію до моніторингу (на прикладі території НПП "Слобожанський")

Оксана Залюбовська¹

к. геогр. н., доцент кафедри фізичної географії та картографії,

¹ Харківський національний університет імені В. Н. Каразіна,

м. Свободи, 4, Харків, 61022, Україна,

e-mail: bodnia@karazin.ua,  <https://orcid.org/0000-0003-4195-9114>;

Аліна Овчаренко¹

ст. викладач кафедри фізичної географії та картографії,

e-mail: alina_06ov@ukr.net,  <http://orcid.org/0000-0002-8500-4152>;

Ігор Черваньов¹

д. техн. н., професор,

e-mail: i.chervanyov@karazin.ua,  <https://orcid.org/0000-0001-7818-8558>

Протягом 10 років група фахівців кафедри фізичної географії та картографії досліджує території національних природних парків, послідовно застосовуючи засоби інформаційних технологій, вдосконалюючи їх використання у комплексі з наземними тестовими ландшафтними зйомками. Ця стаття відображає досвід такої науково-прикладної розробки стосовно території Слобожанського НПП. Метою цієї розробки є удосконалення існуючих технологій комплексної інтерпретації геоданих для проектування й моніторингу території у їх системному поєднанні з методами онлайн-картографування та поглибленої змістовної інтерпретації для наукового супроводу організації території й адміністрування НПП. Новітніми питаннями, висвітленими у цій статті порівняно з попередніми друкованими працями авторів, є формулювання парадигми триєдиності процесу створення ландшафтно-моделі території, що забезпечується поєднанням використання даних дистанційного зондування, розпізнавання їх на основі наземної тестової зйомки та інтелекту дослідника, а це в свою чергу накладає суб'єктивність такого роду дослідженням через неоднозначність оптичного образу місцевості залежно від набору й мети інтерпретації геоданих; завдань, які теж вирішуються дослідником неоднозначно. Зазначена різна аспектичність проявляється у варіативності аналітичних досліджень, на основі яких створюється образ ландшафту – базова категорія ландшафтознавчого синтезу. На цій основі, визначено сукупність окремих завдань, послідовне виконання яких забезпечує досягнення мети: відбір доречних видів, масштабів і оптичних діапазонів дистанційних зондувань, врахування ландшафтних умов притаманних місцезонам території; розробка, на цих підставах, технології тематичного ландшафтного картографування, геоecологічного оцінювання й контролю результатів на тестових ділянках місцевості. Визначено спосіб оцінювання змін та їх діагностування візуально та за порівнянням векторів ознак. Окрім теоретичних узагальнень, в статті стисло подано імплементацію висвітленого підходу в дослідженнях ландшафтів території національного природного парку «Слобожанський».

Ключові слова: ландшафтне дослідження; парадигма; ГІС-технології; системно-структурний аналіз; ландшафтний моніторинг; ГІС-картографування; великомасштабна ландшафтна зйомка; образ ландшафту, НПП «Слобожанський».

Як цитувати: Залюбовська Оксана. Ландшафтні дослідження: від парадигми через ГІС-технологію до моніторингу (на прикладі території НПП "Слобожанський") / Оксана Залюбовська, Аліна Овчаренко, Ігор Черваньов // Вісник Харківського національного університету імені В. Н. Каразіна, серія «Геологія. Географія. Екологія», 2023. – Вип. 59. – С. 110-124. <https://doi.org/10.26565/2410-7360-2023-59-09>

In cites: Zaliubovska Oksana, Ovcharenko Alina, Chervanyov Igor (2023). Landscape research: from paradigm through GIS technology to monitoring (on the example of the territory of the Slobozhansky National Nature Park). Visnyk of V. N. Karazin Kharkiv National University, series "Geology. Geography. Ecology", (59), 110-124. <https://doi.org/10.26565/2410-7360-2023-59-09> [in Ukrainian]

Загальна постановка проблеми. Територія НПП «Слобожанський» належить до Галицько-Слобожанського широтного загальнонаціонального коридору Європейської мережі, як окремий сайт Смарагдової мережі (UA0000075) та функціонує зі статусом об'єкту національного природного парку з грудня 2009 року. Відсутність системного комплексного моніторингу до моменту створення національного парку та сучасні процеси впливу призводять до негативної трансформації, а іноді й до повної деградації унікальних і цінних з природоохоронної точки зору територій.

Протягом тривалого часу група фахівців кафедри фізичної географії та картографії досліджує території національних природних парків (НПП), послідовно застосовуючи засоби інфор-

маційних технологій (ІТ). Загальною метою цих досліджень і розробок є поглиблення пізнання ландшафтно-структури територій НПП через використання й подальше удосконалення існуючих технологій комплексної інтерпретації геоданих укупі з великомасштабною польовою ландшафтною зйомкою на окремих тестових ділянках, для забезпечення розпізнавання оптичних зображень, отриманих різними сканерами.

Новітніми питаннями є формулювання парадигми триєдиності процесу створення ландшафтно-моделі території, та відповідний шлях ландшафтно-інтерпретації даних дистанційного зондування Землі (ДЗЗ) у сукупності з оверлейним аналізом тематичних карт і польовою великомасштабною зйомкою окремих ключових ділянок.

Аналіз останніх досліджень і публікацій.

Сучасні ландшафтознавчі теорії та прикладні розробки суттєво поглиблюють і водночас розширюють бачення ландшафту як найважливішої умови існування людини, чинника організації довкілля і предмету ландшафтно-екології. Такого роду дослідження належать М. Д. Гродзинському, Г. І. Денисику, І. С. Круглову, А. В. Мельнику, Л. Г. Руденку, В. М. Петліну та ін. Деякі з досліджень згаданих вчених присвячені безпосередньо ландшафтам у межах природоохоронних територій [1, 9, 11, 16, 24].

За Європейською ландшафтною конвенцією визнається, що ландшафт відіграє важливу суспільну роль у культурній, екологічній, природоохоронній та соціальній сферах і є ресурсом, який актуалізується в економічній діяльності; що він сприяє формуванню місцевих культур і є основним компонентом європейської природної та культурної спадщини, сприяє добробуту людей та консолідації європейської ідентичності, будучи важливою складовою якості життя людини Конвенцією визначено основоположні поняття сучасного подання ландшафту як його сприймають люди, «ландшафтно-політики» влади, загальних принципів, стратегій та керівних положень, які дозволяють вживати конкретних заходів, спрямованих на охорону, регулювання та планування ландшафтів [9].

В Україні сучасними й актуальними є загально відомі фундаментальні праці М. Д. Гродзинського, колективні роботи вчених Інституту географії НАН України з середньомасштабного ландшафтно-екологічного картографування території України з використанням засобів ДЗЗ [8, 16, 27, 28], ландшафтні зйомки у великому масштабі на території 30-кілометрової Чорнобильської зони, а останнім часом – масштабні дослідження й розробки з проблем ландшафтного планування на основі комплексного використання ДЗЗ і створення картографічних баз даних [26, 27].

Поза межами України такий комплексний підхід до застосування матеріалів ДЗЗ достатньо широко відомий і увійшов навіть до методичних посібників [14, 35]. Картографування об'єктів природно-заповідного фонду (ПЗФ) здавна застосовується у країнах Балтії. Безпосередньо тематики цього дослідження стосуються публікації в минулі роки естонських вчених відомої школи Тартуського університету Ю. Мандера, Ю. Ягомягі, досвід картографування у національних парках Португалії та Естонії [36, 37].

Харківському університету здавна належить пріоритет в географічних та геоботанічних дослідженнях території Слобожанщини. Останнім часом їх присвячено картографуванню та оцінюванню природоохоронних об'єктів України [22,

23], Лівобережної України та науковому обґрунтуванню загальнонаціональної екологічної мережі, зокрема на перетині Сіверськодонецького субмеридіонального та Галицько-Слобожанського субширотного екокоридорів [30] та Смарагдової мережі. Було розроблено і апробовано по відношенню до об'єктів ПЗФ регіону Лівобережної України [31, 32] засоби комплексної ландшафтно-зйомки з послідовним використанням ДЗЗ для проектування декількох НПП і регіональних ландшафтних парків. Ці результати узагальнено у дисертаційних дослідженнях і численних друкованих працях О. В. Бодні, Є. О. Вариводи, С. Є. Ігнат'єва, О. І. Сінної, О. С. Третьякова, А. В. Шумілової, навіть декількох студентських дослідженнях [2-6, 12, 13, 17-20, 34, 38]. Такі та схожі роботи натепер були складовою студентських наукових досліджень і розробок, у тому числі відомих і в Україні, і поза її межами (Ю. Бурдун, А. Овчаренко, І. Олійников, О. Карасьов та ін.). Це свідчить про обґрунтованість і продуктивність наукового напрямку.

Територія НПП «Слобожанський» неодноразово досліджувалась географами, екологами та проектувальниками [7, 12, 21, 25, 26], завдяки чому досить вивчена. Слід назвати проектні матеріали [26], ландшафтні карти рівня місцевостей та урочищ [7, 29]. Останнім часом було здійснено низку досліджень ландшафтно-структури (аж з детальністю до фації) авторами цієї статті [6, 33, 38, 39].

Вирішення нерозв'язаних сторін загальної проблеми. Ландшафтне картографування набуває дедалі більш дистанційного характеру, що сприяє кращому змістовному використанню географічних та надає реальної можливості опосередкованої індикації змін. Моніторинг ландшафтів натепер розглядається як геоінформаційна система, яка включає дослідження (спостереження), оцінку і прогнозування, яка мусить базуватися на комплексному аналізі та оцінюванні сучасних ландшафтів переважно на основі дистанційних досліджень, в основі яких лежить сполучний аналіз дистанційної, наземної ландшафтно-зйомки, у тому числі задля визначення індикаторів змін та непрямого моніторингу ландшафтів для прийняття в подальшому управлінських рішень. Він дозволяє поєднати у собі високоточні дані ДЗЗ, прецизійність удосконаленого за рахунок використання сучасних гаджетів і програмного забезпечення польового картографування й можливість залучення до аналізу/синтезу попередніх атрибутивних даних. Проте, у більшості наведених вище попередніх досліджень переоцінюється, так би мовити, псевдо об'єктивність геотехнологій і відповідно, певна меншоваартісність ролі дослідника, його кваліфікації, креативності, досвіду, загаль-

них знань та наукового кругозору.

Зважаючи на те, що тема дослідження охоплює декілька предметних галузей сучасних географічних досліджень, авторами було визначено наступні напрями її розгляду:

а) сучасне бачення ландшафту в аспектах пізнання його тонкої структури та оцінювання стану та діагностики змін;

б) ландшафтне картографування з використанням дистанційних засобів та ГІС-технологій, з використанням людино-машинного навчання за певними тестовими об'єктами;

в) пошук індикаторів структури і стану ландшафтів; моніторинг ландшафтів безпосередньо за даними ДЗЗ та баз геоданих.

Сукупність таких завдань слід вирішувати, щоб запобігти ризикам нанесення шкоди корінним природним ландшафтам – основним осередкам суворої охорони національного парку. Поєднати такі різнопланові завдання неможливо без залучення кваліфікованої комплексної обробки дистанційної інформації і залучення до обробки геоданих висококваліфікованих географів-ландшафтознавців, що забезпечують одночасно належний рівень ґрунтовності, з одного боку, і потреби оперативного втручання у процеси керування територією, з іншого. Ця задача досі у такому сенсі не вирішувалась, тому не має ані належного наукового обґрунтування, ані методичного забезпечення.

Формулювання мети. Метою цієї статті є стислий виклад досвіду удосконалення існуючих технологій комплексної інтерпретації геоданих для проектування й моніторингу території у їх системному поєднанні з методами онлайн-картографування та поглибленої змістовної інтерпретації – для наукового супроводу організації території й адміністрування НПП «Слобожанський».

Виклад основного матеріалу дослідження

Парадигма. Навіть при сучасному вельми високому рівні розвитку технологій, ландшафтознавчі побудови неможливо ефективно здійснювати без використання аналітичних здібностей людини, яка надає пізнавальному процесові креативності завдяки використанню інтуїції, розпізнавання за обмеженим переліком ознак, прийняття рішень в умовах невизначеності. Отже, слід завжди мати на увазі *триєдиність відтворення ландшафтно-ї структури території у поєднанні: а) дистанційного зондування, б) розпізнавання на основі наземної тестової зйомки та в) інтелекту дослідника, чим визначається суб'єктивність результату.* Її проявами є неоднозначність оптичного образу місцевості залежно від набору й мети

інтерпретації геоданих; завдань, які теж вирішуються неоднозначно (обрання певних діапазонів і масштабів зондувань, вибір тестових ділянок і навіть укладання легенди великомасштабної ландшафтно-ї карти). Зазначена різна аспективість проявляється у варіативності аналітичних досліджень, на основі яких створюється *образ ландшафту* – базова категорія ландшафтознавчого синтезу.

Методи. Образ ландшафту складається з чотирьох аспектів і підсумовуючого акту: а) визначення контурів; б) створення картини закономірної їх мозаїки; в) розпізнавання через співставлення візуальних ознак; г) укладання на основі синтезу означеного, у поєднанні з попереднім досвідом, цілісної картини, певної “матриці розпізнавання” території.

Про методику виділення контурів на основі використання даних космічних знімків саме такого набору ми вже писали раніше. Створення картини закономірної їх мозаїки неможливе без додаткових знань, які отримуються з інших джерел (переважно картографічних, також вербальних). Цей процес значною мірою спирається на оверлейний аналіз геологічної, морфологічної, ґрунтової карт, бо саме вони передають інваріантну картину – вона і є ключем до розуміння цієї мозаїки, свого роду “кодом” цієї місцевості; він фіксується просторовою матрицею ознак (рис. 1).

Розпізнавання через співставлення візуальних ознак полягає у тому, що цей “код”, базуючись у свідомості аналітика, додається до формальних ознак зображення (умовного кольору, фактури зображення, характерного його *габітусу*¹), причому – важливо це усвідомити – аналітик підбирає комбінації оптичних каналів, поєднання роздільних здатностей і т. ін., свідомо чи ні оперуючи цими кодами й намагаючись винайти закономірність просторової матриці (походження й навіть вік гірських порід і рельєфу, ґрунтові відміни тощо) знаходячи (чи надаючи з досвіду, знань) закономірності у цій мозаїчній картині буцімто випадкового поєднання контурів.

Нарешті, укладання наукового образу ландшафту на основі синтезу означеного відбувається шляхом розпізнавання за габітусом, у поєднанні з попереднім досвідом і не оптичними ознаками, цілісної картини – створення певної “матриці розпізнавання” території. Це приблизно такий шлях, як геоморфолог за окремими непрямыми ознаками, які майже ніколи не проявляються суцільно, а мають певну фрагментарність, відтворює цілісну картину рельєфу. І тому одну територію можемо відобразити декількома геоморфоло-

1 Тут “габітус” означає зовнішній вигляд як сукупність ознак, що мають діагностичне значення.

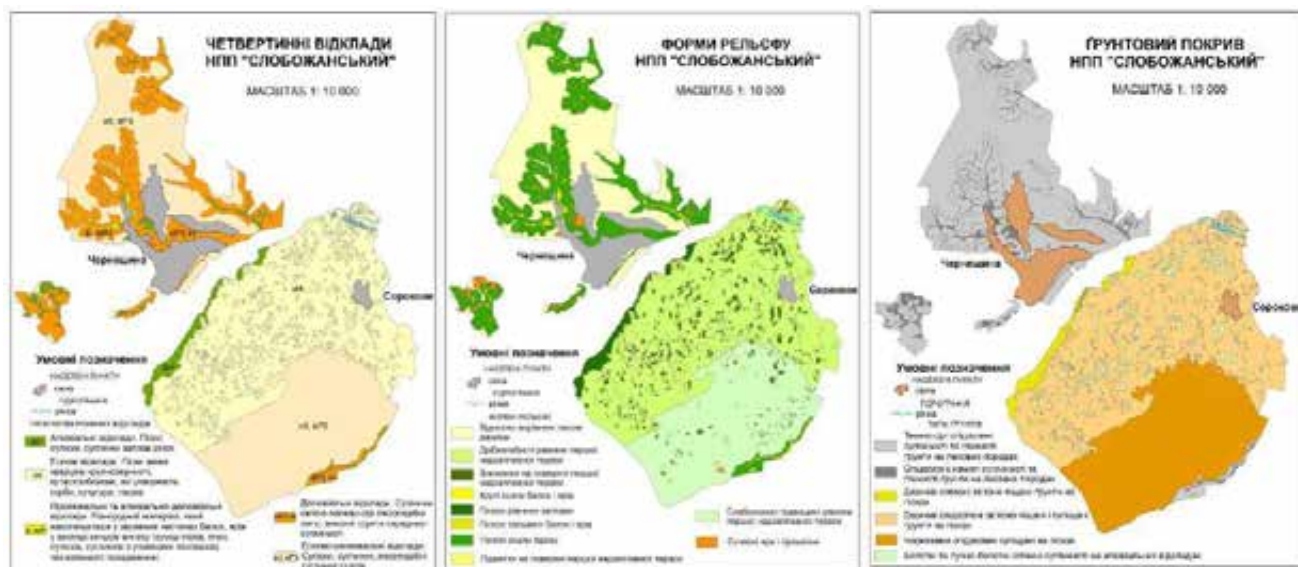


Рис. 1. Атрибутивні дані на тематичних картах / Fig. 1. Attribute data on thematic maps

гічними картами – і кожна з них не буде помилковою.

Використання наукового образу ландшафту.

Для цілей моніторингу ми скористуємося двома прийомами. Перший – це аналіз габітусу. Справа у тому, що як зазначалось вище, цілісність передбачає певну закономірну часто повторювану комбінацію властивостей. Це давно відома річ – тут ми лише намагаємося її формалізувати. Адже здавна, наприклад, ґрунтознавець-зйомщик проводив межу ґрунтових виділів за ландшафтними ознаками (тонкощами морфології земної поверхні, окремими відслоненнями і навіть викидами з нір ховрахів, тощо), тобто спостерігаючи одні ознаки, прогнозував потрібні. Так само геоморфолог будує геоморфологічну карту, відтворюючи, за морфологічними ознаками і особливо за їх просторовим рисунком морфогенетичну структуру місцевості – на відміну від геолога, якому для цієї мети потрібно закладати шурфи, бурити свердловини, копати траншеї тощо. Отже, як узагальнити, то ці й інші фахівці користуються непрямими ознаками для діагностування потрібних рис, властивостей тощо. В усіх подібних й сили-силенної інших випадків використання непрямих ознак означає наявність щільних зв'язків у системі, що, власне, і є проявом цілісності геосистеми.

А тепер спробуйте у такий самий спосіб – через непрямі ознаки щось сказати про рекультивовану ділянку місцевості. Нічого з цього не вийде!²

У цьому закономірному зв'язку, притаманному природній геосистемі, є величезна пізнава-

льна сила. Це дозволяє судити про наявність, протікання, наслідки тривалого процесу через розпізнавання одночасних ознак у структурі ландшафтної будови місцевості. Зокрема, у такий спосіб вдається діагностувати процес наявних змін досліджуючи ландшафтні структури і вичленовуючи не характерні, нетипові комбінації елементів, ознак тощо. Зрозуміло, що тут у нагоді саме креативні можливості інтелекту людини – спостережливість, обізнаність, навіть вміння будувати в свідомості певні блок-схеми – власне, усе те, що належить до згадуваної просторової матриці, комірки якої заповнюються, аналізуються, порівнюються свідомістю людини і ніяк інакше³. Тут вже відбувається вся та робота з пошуку інформативних засобів, якими можна скористуватись надалі щоб надати переконливості тому аналізу за непрямими ознаками, який здійснювався на першому етапі. Тут відбувається порівняння натурних змін ландшафтів протягом декількох років. Так, як в основу ландшафтознавчих досліджень покладено елементи традиційної методики ландшафтно-зйомки, першочерговим є візуальний аналіз дослідниками території інтересу. Так, під час рекогносцювання визначались основні типи ландшафтів, що дають якісну характеристику окремих об'єктів.

Другим, основним етапом і водночас прийомом, який надає можливості формалізувати процес – а без цього він втрачав би наукову доказовість – є порівняння різночасових образів однієї

2 Саме тому, напр., у настановах геологічної зйомки є вимога переконуватись у “корінному” походженні відслонення чи розрізу.

3 Один з авторів (І. Черваньов) – геоморфолог, який тривалий час займався прогнозуванням можливих

тектонічних структур за комбінаціями ландшафтних ознак – характерним рисунком рельєфу, гідрографічної сітки, особливістю загального вигляду поверхні, доступними візуально – тобто за аномаліями того габітусу ландшафту, про який тут йдеться уперше.

ділянки поверхні, знятої, по можливості, у тих самих умовах (сезон, фенологічний стан рослинності, погода, час доби тощо) для того, щоб зменшити той інформаційний шум, який створюється цими природними обставинами та процесами. Геосистема – утворення відкрите, деякі процеси хаотичні (як змінність метеоелементів і особливо хмарності). Вони зовсім не піддаються врахуван-

ню: достатньо невеликого дощу чи поривів вітру, щоб альbedo ландшафтних покриттів суттєво змінилося навіть під час зйомки.

Індикатори. Індикатором змін ландшафтів може бути декілька компонентів. В основі нашого дослідження ми обрали два компоненти, опираючись на нестандартний підхід до виділення ландшафтів (рис. 2).



Рис. 2. Група індикативних об'єктів ландшафтного моніторингу (заболочені ділянки з березняком в межах бору) (фото – Артур Койчуренко) /
Fig. 2. A group of indicative landscape monitoring sites (wetlands with birch forest within a pine forest) (photo by Artur Koichurenko)

Для пошуку індикаторів порівнювались різночасові дані дистанційного знімання території та польові спостереження протягом 5 літніх сезонів. При порівнянні сканувань було враховано відміни стану ландшафту, спричинені зовнішніми обставинами (сезон року, стан погоди, місцевий час) та внутрішні причини можливих трендів – перш за все стан зволоженості, фенофаза рослинності та стан водних об'єктів. Загалом, ця частина пізнавального процесу, яку ми називаємо *формуванням наукового образу ландшафту*, відображається блок-схемою (рис. 3).

Що ми маємо тут забезпечити заради створення адекватного образу ландшафту? По-перше, прозорість способу вибору та комбінації оптич-

них “вікон” для отримання найвиразнішого образу ландшафту. Це найбільш волонтаристський етап використання ДЗЗ. Слід, будуючи умовно-кольорове зображення за даними таких сканувань у вузьких “вікнах” електромагнітного відбиття/випромінювання, надавати інформацію щодо того, у якому діапазоні (чи кількох з них) будувалася оптичний образ ландшафту. Нами разом з колегами проведено немалий обсяг практичної роботи задля того, щоб у тріагоговому режимі “геодані – дослідник – ГІС” показати певні можливості й значення цього, першого з ключових, етапу роботи. Важливо підкреслити: оптичних образів ландшафту, створених за даними сканувань, теоретично може визначатись сотнями $K = (m^2 - m)$,



Рис. 3. Формування образу ландшафту в свідомості дослідника /
Fig. 3. Formation of the landscape image in the mind of the researcher

де m – число оптичних діапазонів, K – число комбінацій по 2. Якщо додати ще один, третій діапазон, то їх число стане неосяжно великим! Проте, це лише формальний бік справи. Є гарні приклади варіантів поєднання певних діапазонів для вирішення конкретних завдань.

Друге, що необхідно забезпечити заради створення адекватного образу ландшафту, це принципово важливе використання, поряд з оптичними, близьких до нього діапазонів електромагнітного випромінювання у комбінації з оптичними діапазонами, завдяки тому, що, наприклад, в інфрачервоному діапазоні (ІЧ) краще відображаються теплові відміни різних типів ландшафту, а в ультрафіолетовому (УФ) – стан (вологість, шерехатість) ґрунтово-рослинного покриття і т.п.

На наступному етапі дослідження було проведено класифікацію космічного знімку Landsat 8 з роздільною здатністю на місцевості 30-10 м (залежно від обраного оптичного вікна), а у комбінації з ними для певних (тестових) ділянок – більш високоточних, з роздільною здатністю 10 м – Sentinel-2 та 3 м – Planet Scope (рис. 4).

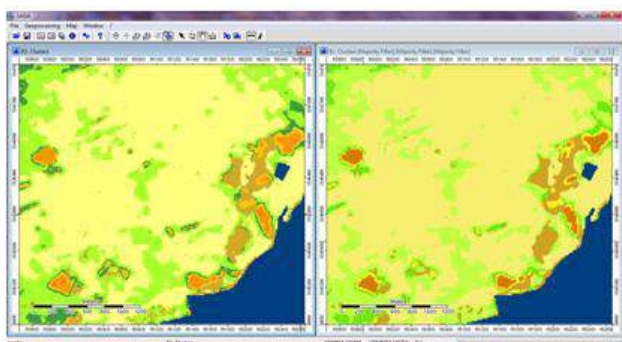
Для визначення об'єктів інтересу через дані ДЗЗ необхідно було обрати діапазони, які диктувалося різною чутливістю кожного з них до певних об'єктів картографування, що видно з таблиці 1.

Отже, жоден, окремо узятий, діапазон, не надає змоги отримати повну картину ландшафтних угруповань та їх контурів та дешифрувати їх змістовне наповнення.

По-піксельне синтезування. Комплексний аналіз просторових даних дає можливість обробки сучасних спектрально-зональних знімків, використовуючи аналогові (іконічні) зображеннями. Проте у зв'язку з величезною строкатістю синтезованих зображень та багатоваріантністю результату виникає потреба в кращому способі ідентифікації. Перед нами було поставлено дослідницьку задачу, що полягала в поєднанні інформації дешифрування спектрального зображення (обраних діапазонів) шляхом по-піксельного синтезування окремих зображень, що подані у цифровому вигляді, через розпізнавання синтезованого зображення за оптичними властивостями та керуване розпізнавання шляхом виділення оптичних образів заданих ландшафтних виділів на еталонних ділянках, ідентифікованих на місцевості.

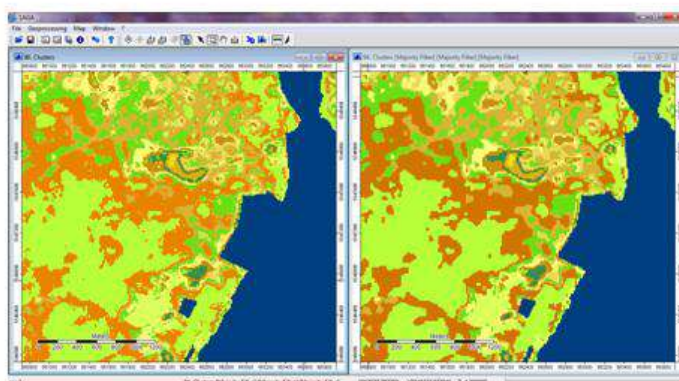
Проведення класифікації космічних знімків різними методами та уточнення отриманих даних на основі польових досліджень визначило майбутні індикативні об'єкти території дослідження. Зокрема, основними індикаторами зміни ландшафтів стали рослинні угруповання та контури водних об'єктів. Більш детальну ландшафтну структуру отримано шляхом дешифрування космічних знімків високої роздільної здатності (3 м), а це в свою чергу дало змогу визначити більш точно другий індикатор – контури дзеркала водних об'єктів.

Для прикладу, знімки, що отримані наприкінці листопада (тобто за відсутності листя та певної складової трав'яного покриття) звісно, не є під-

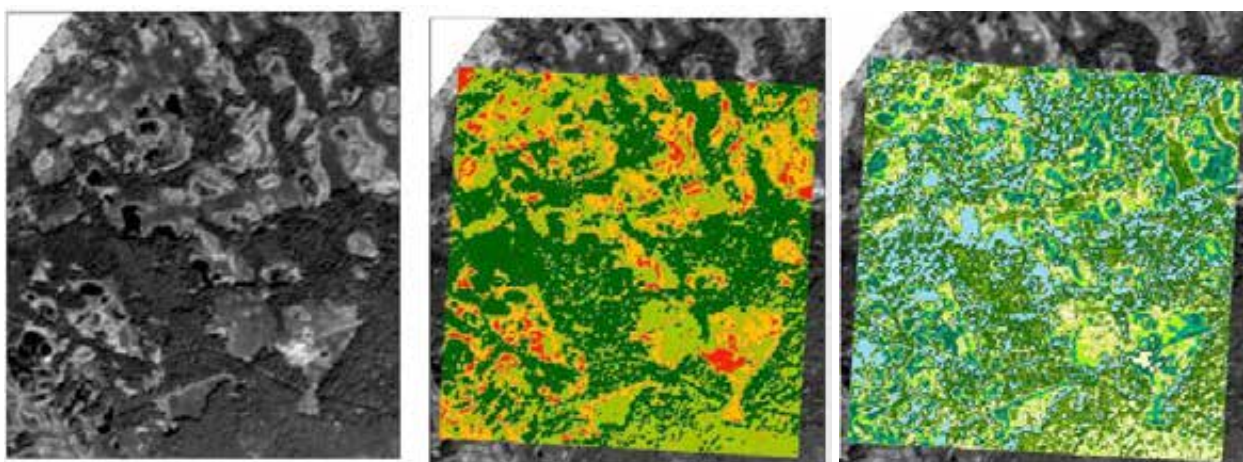


Тематичний растр за 8 класами

Тематичний растр за 12 класами



а) тематичний растр з виділенням 8 та 12 класів за знімком Landsat /
a) thematic raster with the selection of 8th and 12th classes from the Landsat image



б) тематичний растр з виділенням 8 та 12 класів за знімком Planet Scope /
b) thematic raster with the allocation of 8 and 12 classes on the Planet Scope image

Рис. 4. Тематичні зображення, створені в процесі дешифрування космічних знімків:

а – Landsat 8, б – Planet Scope /

Fig. 4. Thematic images created in the process of satellite image interpretation: a – Landsat 8, b – Planet Scope

Таблиця 1

№ діапа- зону	Спектральний інтервал (мкм)	Об'єкти, які добре відображаються	Об'єкти, що не відображаються
1	0,45-0,515	Вічнозелені рослини	Болота та водна поверхня
2	0,525-0,605	Зелені рослини	Вирубки та водна поверхня
3	0,63-0,69	Різновиди насаджень, вирубки	Водна поверхня
4	0,75 - 0,9	Відкрита водна поверхня та заболочені території	Листяні породи дерев

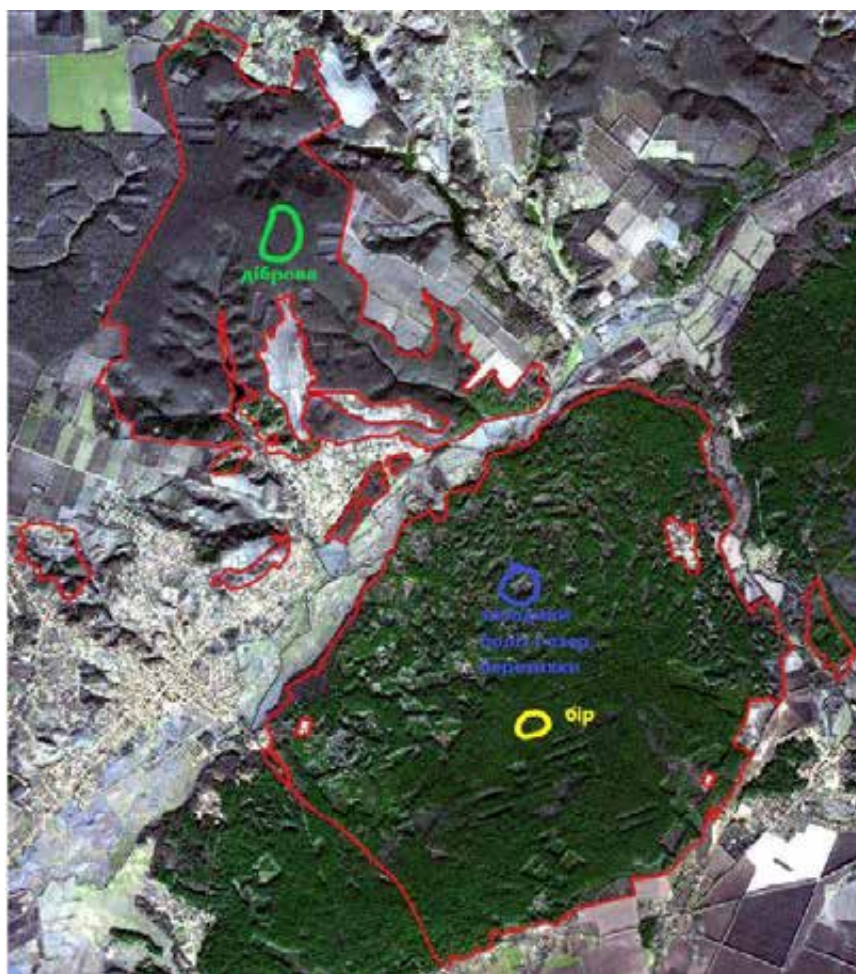


Рис. 5. Визначення основних типів поверхні як індикаторів фаціальної структури (RGB-композиція космічного знімку Sentinel-2 за 23.11.2019) /
Fig. 5. Determination of the main surface types as indicators of facies structure (RGB-composition of Sentinel-2 satellite image for 11/23/2019)

ходящими для розпізнавання рослинності, проте, дають кращу інформацію щодо морфології та ґрунтового покриття поза сосновим бором (рис. 5).

У такий спосіб на інших синтезованих відображеннях можна визначити тип рослинності, а також оцінювати стан рослинності (стан деревної чи трав'яної рослинності на різних етапах вегетації та як це часто можна зустріти для неприродоохоронних територій – для визначення особливості розвитку посівів на полях).

Далі нами було визначено ключові об'єкти, проведено дослідження змін і тим самим визначено індикативні об'єкти.

Камеральні роботи неможливі без етапу польових ландшафтознавчих досліджень і навпаки. Традиційно, дослідження ландшафтної структури відбувається різними способами та за певними алгоритмами. Зокрема, в Україні відомий покроковий метод створення ландшафтної карти, запроваджений Г. П. Міллером на початку 80-х рр, ґрунтуючись на польових ландшафтних зйомках. Зрозуміло, що на той час матеріалів космічного ДЗЗ ще не було. Завдяки розвитку сучас-

них інформаційних технологій методику удосконалено з використанням матеріалів ДЗЗ. Зазначимо, що нами використовуються цифрові знімки високої роздільної здатності, які надають можливості розпізнавати фаціальну структуру.

Інформаційні "ключі". Суттю цього етапу дослідження території є встановлення типової морфологічної структури урочищ, потрібної при подальшому автоматичному розпізнаванні у якості інформаційних "ключів".

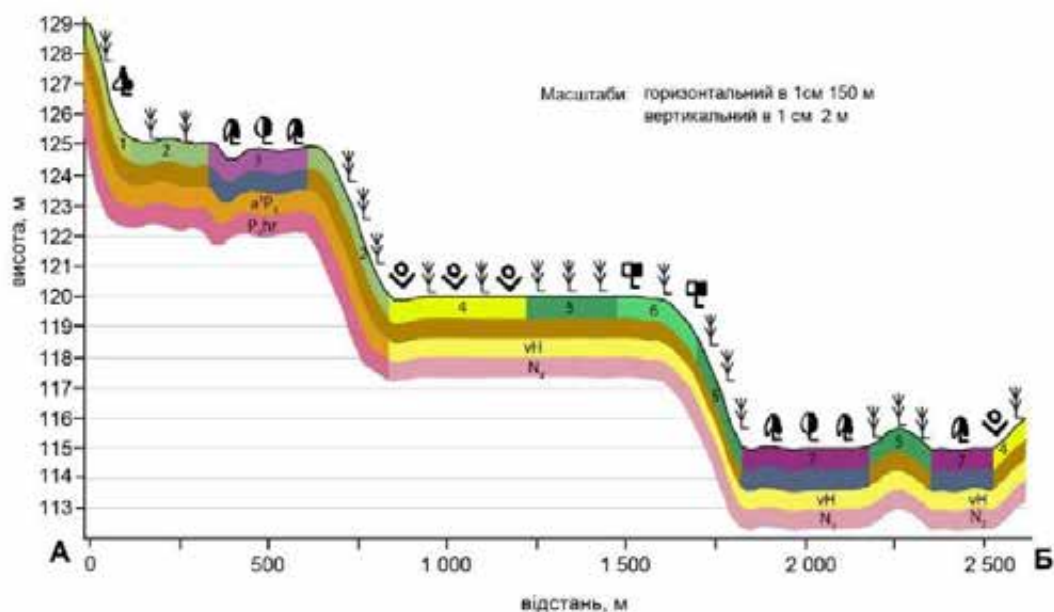
У ході роботи були використані кілька методів польових досліджень: опис фацій у ключових точках; ландшафтне профілювання; маршрутне знімання (як спрощений варіант ландшафтного профілювання, що має на меті уточнення меж фацій).

Для уточнення отриманих даних закладається маршрут польового дослідження. Під час проходження маршруту відмічаються точками межі усіх класів, що їх перетинає даний маршрут, і проводиться перевірка відповідної карти-гіпотези.

Опорними точками при проведенні ландшафтного профілювання (рис. 6) були точки зміни

рослинних асоціацій, а відповідно й меж фацій. При здійсненні ландшафтного профілювання зазвичай враховують і особливості рельєфу. Найкраще ландшафтний профіль закладати від заплави до вододілу чи навпаки. Такий підхід дозволяє охопити всі різновиди рельєфу, а отже і рослинного покриву також. Лінія профілю повинна проходити через усі характерні (домінантні) для

території дослідження типи фацій. При цьому проводиться опис не тільки самих фацій, а і їх роль в межах природних комплексів урочищ. Під час ландшафтного профілювання фіксують межі, а також здійснюють опис кожного типу. Результати заносять до польового щоденника та мобільних ГІС.



Умовні позначення:

Рослинні уруповання	Ландшафти
- липовий субір - бір - субір з ліщиною у підліску - субір з черемшиною у підліску - осиковий березняк	1 Слабопохилі підвищені рівнини першої надзаплавної тераси на давньоалювіальних піщаних і супіщаних відкладах з липово-дубовим субором на дернових опідзолених зв'язно-піщаних ґрунтах 2 Слабопохилі підвищені рівнини першої надзаплавної тераси на давньоалювіальних піщаних і супіщаних відкладах з бором з ліщиною у підліску на дернових опідзолених зв'язно-піщаних ґрунтах 3 Зниження на підвищених рівнинах першої надзаплавної тераси на давньоалювіальних піщаних і супіщаних відкладах з осиковим березняком на дернових оглеєних зв'язно-піщаних ґрунтах 4 Дрібногребисті рівнини першої надзаплавної тераси на еолових піщаних відкладах бруслиново-ліщиновим бором на опідзолених зв'язно-піщаних ґрунтах 5 Дрібногребисті рівнини першої надзаплавної тераси на еолових піщаних відкладах з бором на опідзолених зв'язно-піщаних ґрунтах 6 Слабопохилі підвищені рівнини першої надзаплавної тераси на еолових піщаних відкладах бруслиново-ліщиново-черемшиновим бором на опідзолених зв'язно-піщаних ґрунтах 7 Зниження на поверхні першої надзаплавної тераси на еолових піщаних відкладах з орляково-малиново-осиковим березняком на дернових оглеєних зв'язно-піщаних ґрунтах
Ґрунти	
- дернові опідзолені зв'язно-піщані і супіщані - дернові оглеєні зв'язно-піщані ґрунти	
Четвертинні відклади	
- vh голоценові еолові піщані відклади (піски зв'язні кварцеві крупнозернисті, що утворюють горби та кучугури) - аР₁ верхньоплейстоценові піщані алювіальні відклади (піски, супіски, суглинки)	
Геологічна будова	
- N₂ відклади неогеної системи (пліоцену) нерозчленовані (піски, глини) - Р₂ відклади палеогеної системи харківської світи (піски глауконітово-кварцеві, піщаники)	

Рис. 6. Ландшафтний профіль в межах південної частини НПП «Слобожанський» /

Fig. 6. Landscape profile within the southern part of Slobozhanskyi NNP

Опис фацій у ключових точках кожної репрезентативної (тестової) ділянки для типу фації. Опис в таких точках було здійснено двома способами: стандартним з використанням паперового бланку [15] та з використанням польових ГІС-додатків, що попередньо встановлені на смартфонах дослідників і мають вбудований GPS навігатор. Серед основних додатків, що було протестовано для збору польових даних були: ArcGIS for Windows Mobile, ArcGIS Collector та NextGIS. Для збору даних кожним із запропонованих додатків попереднім і необхідним є етап створення форми збору даних. В основу даної форми польового збору було покладено традиційну паперову форму опису фацій, проте її було дещо оптимізовано (за обсягом) та доповнено випадковими

списками та чек-боксами для пришвидшення збору даних. Перевагою використання мобільних ГІС для польового збору є якраз таки пришвидження заповнення традиційного бланку і відразу його інтерпретація в середовищі ГІС зі збереженням метричної та семантичної інформації. Використання мобільних ГІС для польового опису ландшафтів авторами запропоновано та апробовано вперше.

Класифікація ландшафтних виділів за космічними знімками та атрибутивною інформацією провадилася без навчання й з навчанням. Для генералізації контурів, щоб уникнути надмірної мозаїчності, використано автоматичну пост-класифікацію. На рис. 7 подано фрагмент території НПП.

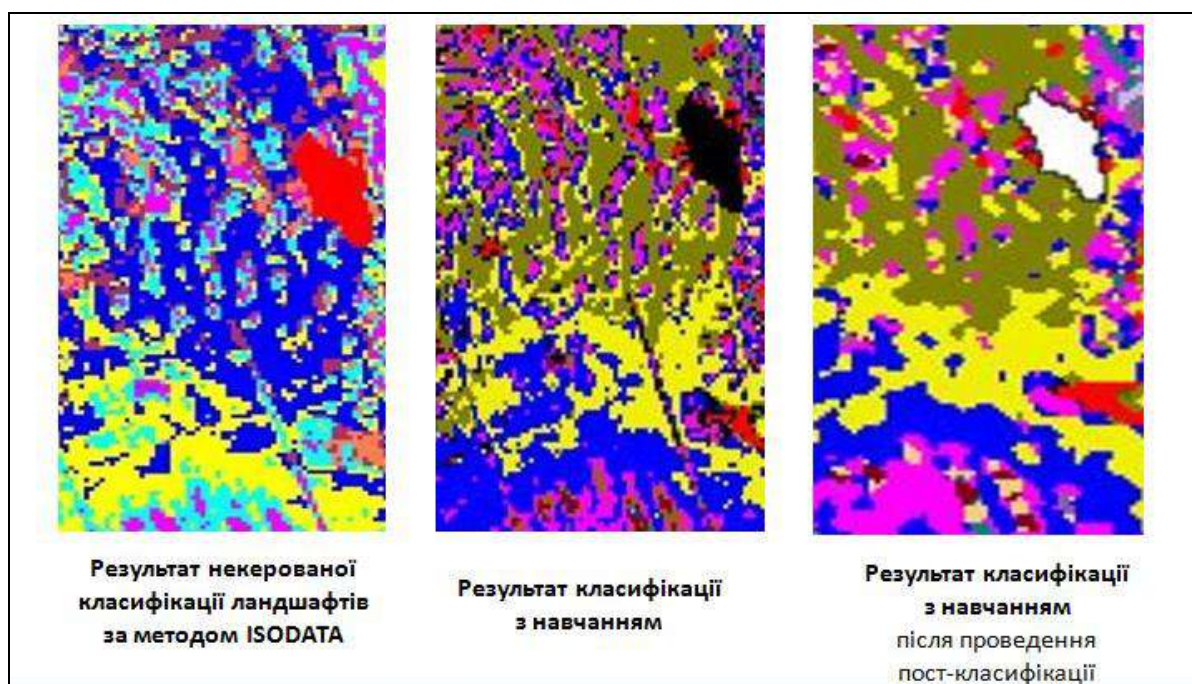


Рис. 7. Порівняння результатів класифікації знімку за 16.05.2014 з супутника Landsat 8 /
Fig. 7. Comparison of classification results for the image of 05/16/2014 from Landsat 8 satellite

Синтезування ландшафтної карти. На рис. 8 подано ландшафтну карту, складену за даними ДЗЗ, з урахуванням атрибутивної інформації, отриманої за польовим профілюванням і розпізнаванням з навчанням.

Застосування для ландшафтного моніторингу. Карта використовується для візуалізації та іконічного аналізу ландшафтної структури. Проте сам процес моніторингу за даними ДЗЗ мусить бути автоматизованим чи, врешті-решт, автоматичним. З цією метою авторами було розроблено алгоритм векторизації ознак. Сукупність ознак для кожного пікселя утворює вектор, а робота з ними (порівняння, класифікація, визначення змін при співставленні різночасових сканувань) надають можливості встановлювати тренди змін. Діагностика цих змін залишається за дослідником.

Шляхом порівняння різночасових ДЗЗ та польових зйомок протягом 2014-2019 рр. встановлено, що репрезентативними ландшафтними об'єктами та індикативними ознаками, доцільними для моніторингу змін, спричинених як загальним кліматичним трендом, так і місцевим природокористуванням, є контури водно-болотних угідь та зміни структури рослинних угруповань, які добре відбиваються у певних діапазонах сканувань та зручні для наземних спостережень.

Висновки. Визначено новітню парадигму комплексного дослідження великомасштабної ландшафтної структури (на рівні фацій): ролі в пізнавальному процесові триєдиності у поєднанні дистанційного зондування, використання людського інтелекту та наочності польової зйомки; врахування неоднозначності оптичного образу місце-

вості залежно від мети інтерпретації геоданих; завдань, які теж вирішуються неоднозначно, чим визначається суб'єктивність прикладного ландшафтного дослідження.

Укладено й апробовано комплекс наукового обґрунтування великомасштабної ландшафтно-зйомки на основі системного поєднання наземних польових зйомок та спектрального аналізу ДЗЗ рі-

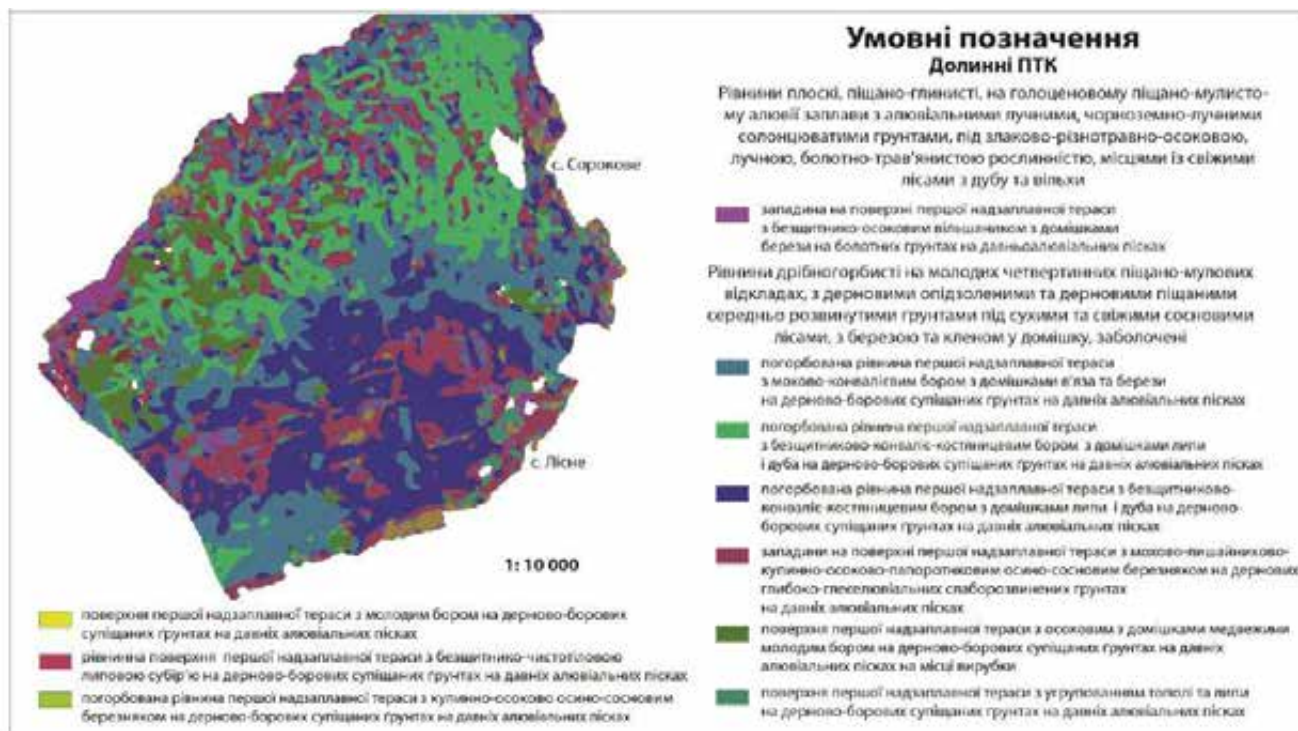


Рис. 8. Ландшафтна карта території НПП «Слобожанський» (південна частина), створена шляхом комплексної обробки інформації /

Fig. 8. Landscape map of the territory of Slobozhanskyi NNP (southern part), created by means of complex information processing

зних типів (переважно Landsat 8, також Sentinel-2 та Planet Scope), з використанням сучасних геоінформаційних технологій обробки ДЗЗ стосовно до ландшафтних умов Лівобережного Лісостепу. Здійснено порівняльний аналіз придатності для індикативного аналізу трьох видів космічних знімків (Landsat 8, Sentinel-2 та PlanetScope) та їх комплексного використання щодо певних об'єктів.

Створено багат шарову інформаційну базу для оцінювання території дослідження (банк даних, який включає всі види картографічних матеріалів, космічні знімки, а також комплексну інформацію про кожен ареал, що відрізняється по типу його загального використання – для господарських, природоохоронних та інших цілей).

Укладено ландшафтну карту-гіпотезу досліджуваної території та показано й апробовано можливість ревізії виділених контурів на місцевості за часовими зрізами (відповідно до наявних геоданих ДЗЗ) на основі комплексу досліджень. Успішно апробовано комплекс методів аналізу ландшафтно-структури (на рівнях від місцевості до фації) території НПП, з використанням комп'ютерних алгоритмів навчання системи і без нього.

Встановлено індикатори дистанційного моніторингу ландшафтних змін території, якими позначено контури й оптичні особливості певних фізіономічних ландшафтних угруповань та водно-болотних комплексів, і розроблено алгоритм прослідковування їх динаміки й самоорганізації.

Список використаної літератури

1. Байрак Г. Р. Дистанційні дослідження Землі : Навчальний посібник / Г. Р. Байрак, Б. П. Муха. – Львів : ВЦ ЛНУ імені Івана Франка, 2010. – 712 с.
2. Бодня О. В. Використання ГІС-технологій у ландшафтних дослідженнях / О. В. Бодня, І. А. Олійников, А. Ю. Овчаренко // ГІС та заповідні території: матеріали науково-методичного семінару (30 травня – 01 червня 2015 г., НПП «Слобожанський»). – Харків : «Мадрид», 2016. – С. 25-30.
3. Бодня О. В. Ландшафтне картографування НПП «Слобожанський» засобами мобільних, настільних та веб-додатків ArcGis / О. В. Бодня, А. Ю. Овчаренко, О. І. Сінна [та ін.] // Проблеми безперервної географічної освіти та картографії: збірник наукових праць. – Харків, 2016. Вип. 23. – С. 15-21.

4. Бодня О. В. Використання мобільних ГІС для ландшафтних досліджень під час практик студентів-географів / О. В. Бодня, І. А. Олійников, О. О. Баришніков [та ін.] // Збірник матеріалів конференції «ГІС-форум-2017». – Харків : ХНУ ім. В. Н. Каразіна, 2017. – Вип. 1. – С. 49-52.
5. Бодня О. В. Геоекологічний аналіз короткочасних трендів зміни структури території НПП «Слобожанський» за даними космічної зйомки Planet Scope / О. В. Бодня, А. Ю. Овчаренко, І. Г. Черваньов // Вісник Харківського національного університету імені В. Н. Каразіна, серія «Геологія. Географія. Екологія». – Харків : ХНУ імені В. Н. Каразіна. – 2017 – Вип. 47. – С. 176-181. DOI: <https://doi.org/10.26565/2410-7360-2017-47-23>
6. Овчаренко А. Ю. Індикативний ландшафтний моніторинг національних природних парків (на прикладі території НПП «Слобожанський») / А. Ю. Овчаренко, О. В. Залюбовська // Вісник Харківського національного університету імені В. Н. Каразіна, серія «Геологія. Географія. Екологія». – Харків : ХНУ ім. В. Н. Каразіна, 2018. – Вип. 49. – С. 190-205. DOI: <https://doi.org/10.26565/2410-7360-2018-49-15>
7. Біатов А. П. Додаток до Літопису природи Національного природного парку «Слобожанський» за 2012 рік / А. П. Біатов, Н. О. Брусенцова, Н. Б. Саїдахмедова [та ін.]. – Краснокутськ, 2013. – 136 с.
8. Голубцов О. Г. Ландшафтне планування: основні положення та досвід реалізації в Україні / О. Г. Голубцов // Український географічний журнал. – 2021. – № 1. – С. 63-72. DOI: <https://doi.org/10.15407/ugz2021.01.063>
9. Давидчук В. Методи ландшафтного картографування з використанням ГІС та інших комп'ютерних технологій / В. Давидчук, Л. Сорокіна, В. Родіна // Вісник Львівського національного університету. – Львів, 2004. – Вип. 31. – С. 263-270.
10. Європейська Ландшафтна Конвенція. 2000 / Режим доступу: http://zakon.rada.gov.ua/laws/show/994_154
11. Ковальчук І. П. Застосування ГІС/ДЗЗ-технологій для оптимізації природовикористання в басейні рівнинної річки (на прикладі поліської частини Західного Бугу / І. П. Ковальчук, Г. Р. Байрак, Д. В. Івченко // Географія і природні ресурси. – Вип. 2. – 2014. – С. 186-194.
12. Максименко Н. В. Екологічна цінність заплави річки Мерла для функціонування НПП «Слобожанський» / Н. В. Максименко, А. В. Шумілова, О. І. Калиновський // Вісник Харківського національного університету імені В. Н. Каразіна. Серія «Екологія». – Харків, 2020. – Вип. 22. – С. 21-31. DOI: <https://doi.org/10.26565/1992-4259-2020-22-02>
13. Максименко Н. В. Ландшафтно-екологічне планування в інвайронментальному менеджменті територій локального рівня організації довкілля: дис. докт. геогр. н. / Н. В. Максименко. – Харків : ХНУ ім. В. Н. Каразіна, 2018 – 36 с.
14. Манойлов В. П. Дистанційне зондування Землі із космосу: науково-технічні основи формування й обробки видової інформації // В. П. Манойлов, В. В. Омельчук, В. В. Опянюк. – Житомир : ЖДТУ, 2008. – 384 с.
15. Міллер Г. П. Польове ландшафтне знімання гірських територій. Київ, 1996. – 162 с.
16. Методологія і практика оцінювання території України для заповідання: монографія. – За ред. Л.Г. Руденка. – К.: Наукова думка – 2020. – 246 с.
17. Овчаренко А. Ю. Картографування території НПП «Слобожанський» для проведення ландшафтного моніторингу / А. Ю. Овчаренко // Географічні дослідження: історія, сьогодення, перспективи: матеріали щорічної міжнародної наукової конференції студентів та аспірантів, присвяченої пам'яті професора Г. П. Дубинського (5-6 квітня 2017 року). – Харків : ХНУ ім. В. Н. Каразіна, 2017. – С. 94-97.
18. Овчаренко А. Ю. Можливості автоматизованої обробки інформації для потреб моніторингу і охорони ландшафтів з використанням космічних знімків на прикладі території НПП «Слобожанський» / А. Ю. Овчаренко, О. В. Залюбовська // Природні ресурси регіону: проблеми використання, ревіталізації та охорони: матеріали міжнародного наукового семінару (Львів, 5-7 квітня 2018 р.). – Львів, 2018. – С. 271-275.
19. Овчаренко А. Ю. Можливості автоматизованої обробки інформації за допомогою ArcGis для потреб здійснення ландшафтного моніторингу території дослідження / А. Ю. Овчаренко // Збірник матеріалів конференції «ГІС-форум-2018». – Харків : ХНУ ім. В. Н. Каразіна, 2018. – Вип. 2. – С. 62-67.
20. Овчаренко А. Ю. Можливості ГІС-технологій у аспекті здійснення крупномасштабного ландшафтного картографування під час польових практик студентів-географів / А. Ю. Овчаренко // Збірник наукових праць «Проблеми безперервної географічної освіти і картографії». – Харків : 2019. – Вип. 30. – С. 70-80. DOI: <https://doi.org/10.26565/2075-1893-2019-30-08>
21. Пастернак В. П. Великомасштабне картографування ділянок моніторингу в НПП «Слобожанський» / В. П. Пастернак, А. В. Корнієнко, В. Ю. Яроцький [та ін.] // Вісник ХНАУ, Лісове господарство. – Харків: 2015. – № 2. – С. 113-122.
22. Пересадько В. А. Картографічне забезпечення екологічних досліджень і охорони природи / В. А. Пересадько. – Харків : ХНУ імені В. Н. Каразіна, 2009. – 242 с.
23. Пересадько В. А. Досвід і перспективи еколого-природоохоронного картографування Харківської області / В. А. Пересадько, А. М. Байназаров // Проблеми безперервної географічної освіти і картографії. – Харків : ХНУ імені В. Н. Каразіна, 2021. – № 32. – С. 8-16
24. Петлін В. М. Проблеми ландшафтно-картографічної інтерпретації просторової мінливості даних / В. М. Петлін // Український географічний журнал. – К.: Ін-т геогр. НАН України, 2018. – № 3 (103). – С. 16–20. DOI: <https://doi.org/10.15407/ugz2018.03.016>
25. Природно-заповідна спадщина Харківської області / Під заг. ред. В. А. Токарського. – Харків : ХНУ імені В. Н. Каразіна, 2011. – 216 с.

26. Проект створення національного парку «Слобожанський» / О. В. Клімов, О. В. Філатова, Г. С. Надточій [та ін.]. – Харків: УкрНДІ екологічних проблем. – 2009. – 124 с.
27. Руденко Л. Г. Ландшафтознавчі аспекти організації перспективної мережі заповідних територій України / Л. Г. Руденко, Є. О. Маруняк, С. А. Лісовський [та ін.] // Український географічний журнал. – К., 2016. – Вип. 3. – С. 18-26. DOI: <https://doi.org/10.15407/ugz2016.03.018>
28. Руденко Л. Г. Методологія і практика оцінювання території України для заповідання: монографія / Л. Г. Руденко, О. Г. Голубцов, В. М. Чехній [та ін.]. – К.: Наукова думка, 2020. – 248 с.
29. Сінна О. І. Карта природно-територіальних комплексів НПП «Слобожанський» [Карта] / О. І. Сінна, О. В. Клімов. – Харків: УкрНДІ екологічних проблем, 2013.
30. Удовиченко В. В. Природно-заповідний фонд території Лівобережної України як основа розбудови екомережі регіону / В. В. Удовиченко // Український географічний журнал. – 2017. – № 1. – С. 38-47. DOI: <https://doi.org/10.15407/ugz2017.01.038>
31. Варивода Є. О. Топологічний аналіз екологічного каркасу локальної екологічної мережі / Є. О. Варивода, І. Г. Черваньов // Укр. Географ. журнал. – 2010. – № 1. – С. 48-52.
32. Черваньов І. Г. Обґрунтування вибору індикативних об'єктів для ландшафтного моніторингу природоохоронної території та дослідження їх за даними дистанційного зондування й польового знімання / І. Г. Черваньов, О. В. Залюбовська, А. Ю. Овчаренко // Український географічний журнал. – 2019. – № 1. – С. 15-23. DOI: <https://doi.org/10.15407/ugz2019.01.015>
33. Черваньов І. Створення «образів ландшафту» засобами ДЗЗ на прикладі території НПП «Слобожанський» / І. Черваньов, А. Овчаренко, О. Залюбовська // Прикладне ландшафтознавство: історія, сучасність, перспективи: матер. Всеукр. наук. семінару пам'яті проф. А. Мельника. – Львів, 2022. – С. 50-54.
34. Шумілова А. В. Геоекотичні проблеми ландшафтів національного природного парку «Слобожанський» та шляхи їх вирішення: автореф. дис. канд. геогр. н. / А. В. Шумілова. – Харків: ХНУ імені В. Н. Каразіна, 2021. – 20 с.
35. Sowinska-Swierkosz B. The methodology of landscape quality (LQ) indicators analysis based on remote sensing data: Polish National parks case study / B. Sowinska-Swierkosz, M. Michalik-Sniezek // Sustainability. – Lublin: University of Life Sciences in Lublin, 2020. – Vol. 12. – 2810. DOI: <https://doi.org/10.3390/su12072810>
36. Karasov O. Landscape coherence revisited: GIS-based mapping in relation to scenic values and preferences estimated with geolocated social media data / O. Karasov, A. A. B. Vieira, M. Külvik, I. Chervanyov. – Elsevier: Ecological Indicators. – 2020. – Vol. 111. – 105973 DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2019.105973>
37. Karasov O. Landscape metrics and cultural ecosystem services an integrative resource-driven mapping approach for landscape harmony / O. Karasov. – Tartu, 2020. – 185 p. DOI: <https://doi.org/10.15159/emu.58>
38. Ovcharenko A. Recognition of indicative landscape objects within protected areas / A. Ovcharenko // Вісник Харківського національного університету імені В. Н. Каразіна, серія «Геологія. Географія. Екологія». – Харків, ХНУ імені В. Н. Каразіна, 2020. – Вип. 53. – С. 141-154. DOI: <https://doi.org/10.26565/2410-7360-2020-53-11>
39. Tretyakov O. S. Features of interpretation of plant association of national natural park «Slobozhanskiy» using Landsat 8 satellite data / O. S. Tretyakov, O. V. Bodnia, M. O. Balynska [and other] // Проблеми безперервної географічної освіти і картографії: Збірник наукових праць. – Харків: ХНУ ім. В. Н. Каразіна, 2015. – Вип. 21. – С. 73-79.

Внесок авторів: всі автори зробили рівний внесок у цю роботу

Landscape research: from paradigm through GIS technology to monitoring (on the example of the territory of the Slobozhansky National Nature Park)

Oksana Zaliubovska¹

PhD (Geography), Associate Professor Department of Physical Geography and Cartography,
¹ V.N. Karazin Kharkiv National University, 4, Svoboda Sq., Kharkiv, 610022, Ukraine;

Alina Ovcharenko¹

Senior Lecturer Department of Physical Geography and Cartography;

Igor Chervanyov¹

DSc (Technics), Professor

ABSTRACT

For 10 years, a group of specialists from the department of physical geography and cartography has been exploring the territories of national parks consistently using information technology tools, improving their use in combination with ground test landscape surveys. This article reflects the experience of such scientific and applied development in relation to the territory of Slobozhansky National Nature Park.

The purpose of this development is to improve the existing technologies of complex interpretation of geodata for the design and monitoring of the territory in their systematic combination with the methods of online mapping and in-depth meaningful interpretation for the scientific support of the organization of the territory and the administration of the

national parks. This article covers currently known and possible scientific approaches and measures that rely on scientific and applied measures used by the national parks administration in management processes.

The most recent issues highlighted in this article compared to the previous published works of the authors are the formulation of the trinity paradigm of the process of creating a landscape model of the territory. A set of individual tasks is defined, the consistent implementation of which ensures the achievement of the goal: selection of appropriate types, scales and optical ranges of remote sensing, taking into account the landscape conditions inherent in the location of the territory of the national park; development, on these grounds, of the technology of thematic landscape mapping, geoecological assessment and control of results on test areas of the terrain; peculiarities of drawing legends of applied landscape maps using GIS technologies; making corrections and additions to the existing defining documents of projects of the national park organization and developing recommendations for their improvement; design of the monitoring system of Slobozhansky National Nature Park.

In the paradigm of applied landscape research, the national park should be designed based on the trinity of remote sensing and human intelligence: a) the technical level of providing remote sensing; b) taking into account the ambiguity of the optical image of the area depending on the purpose of geodata interpretation; c) tasks that are also solved ambiguously: the selection of certain ranges and scales of soundings, the selection of test areas and even the compilation of legends of a large-scale landscape map. The specified ambiguity is manifested in the variability of constructions and creates the subjectivity of applied landscape research.

Methodological basis. The system-structural approach is manifested in the identification and identification of those spatial connections between visually significant and hidden from direct observation properties (mainly water-heat balance indicators) of the landscape, which change in an ambiguous dependence on regional background indicators, therefore must be taken into account in design and monitoring.

Scientific results. In addition to theoretical generalizations, the article briefly presents the implementation of the highlighted approach in the study of landscapes of the Slobozhansky National Nature Park.

Keywords: landscape research, paradigm, GIS technology; system-structural approach; landscape monitoring; large-scale landscape mapping; sparse landscape research; Slobozhansky NNP.

References

1. Bayrak G.R. & B.P. Mucha (2010). *Remote research of the Earth*. Lviv: Ivan Franko LNU Publishing Center [in Ukrainian].
2. Bodnya O. V., Olinikov I. A. & Ovcharenko A. Yu. (2015). *The use of GIS technologies in landscape research. GIS and protected areas: materials of the scientific and methodological seminar*. (25-30). May 30 – June 1, NPP "Slobozhansky", Kharkiv: "Madrid" [in Ukrainian].
3. Bodnia O. V., Ovcharenko A. Yu., Sinna O. I. & other (2016). *Landscape mapping of the Slobozhansky NPP using ArcGis mobile, desktop and web applications. Problems of continuous geographic of education and cartography: a collection of scientific papers*, 23, 15-21 [in Ukrainian].
4. Bodnia O. V., Olinikov I. A., Baryshnikov O. O. & others (2017). *The use of mobile GIS for landscape research during practices of geographer students. Proceedings of the "GIS-forum-2017" conference*. (1, 49-52). Kharkiv: V. N. Karazin KhNU [in Ukrainian].
5. Bodnia O. V., Ovcharenko A. Yu. & Chervanyov I. G. (2017). *Geoecological analysis of short-term trends of changes in the structure of the territory of the Slobozhansky NPP according to data from the Planet Scope space survey. Visnyk of V. N. Karazin Kharkiv National University, series "Geology. Geography. Ecology"*, 47, 176-181 [in Ukrainian]. DOI: <https://doi.org/10.26565/2410-7360-2017-47-23>
6. Ovcharenko A. Yu. & Zaliubovska O. V. (2018). *Indicative landscape monitoring of national natural parks (on the example of the territory of the "Slobozhanskyi" NPP). Visnyk of V. N. Karazin Kharkiv National University, series "Geology. Geography. Ecology"*, 49, 190-205 [in Ukrainian]. DOI: <https://doi.org/10.26565/2410-7360-2018-49-15>
7. Biatov A. P., Brusentsova N.O., Saidakhmedova N.B. & others. (2013). *Addendum to the Annals of Nature of the National Natural Park "Slobozhansky", 2012. Krasnokutsk* [in Ukrainian].
8. Golubtsov O. G. (2021). *Landscape planning: basic provisions and implementation experience in Ukraine. Ukrainian Geographical Journal*, 1, 63-72 [in Ukrainian]. DOI: <https://doi.org/10.15407/ugz2021.01.063>
9. Davydchuk V., Sorokina L. & Rodina V. (2004). *Methods of landscape mapping using GIS and other computer technologies. Visnyk of the Lviv National University*, 31, 263-270 [in Ukrainian].
10. European Landscape Convention (2000). URL: http://zakon.rada.gov.ua/laws/show/994_154 [in Ukrainian]
11. Kovalchuk I. P., Bayrak G.R. & Ivchenko D.V. (2014). *Application of GIS/Remote Sensing technologies for optimization of nature use in the plain river basin (on the example of the Polish part of the Western Bug. Geography and natural resources*, 2, 186-194 [in Ukrainian].
12. Maksymenko N.V., Shumilova A.V. & Kalinovskiy O. I. (2021). *The ecological value of the floodplain of the Merla River for the functioning of the Slobozhansky NPP.*, Visnyk of V. N. Karazin Kharkiv National University, series "Ecology", 22, 21-31 [in Ukrainian]. DOI: <https://doi.org/10.26565/1992-4259-2020-22-02>
13. Maksymenko N. V. (2018). *Landscape and environmental planning in the invironmental management of territories of the local level of environmental organization: dissertation*: V. N. Karazin Kharkiv National University [in Ukrainian].
14. Manoilov V. P., Omelchuk V.V. & Opyanyuk V.V. (2008). *Remote sensing of the Earth from space: scientific and technical bases of formation and processing of species information*. Zhytomyr: Zhytomyr State Technical University [in Ukrainian].
15. Miller G. P. (1996). *Field landscape remote of mountainous areas*. Kiev [in Ukrainian].

16. Rudenko L.G. (ed.) (2020). *Methodology and Practice of Assessment of the Territory of Ukraine for Conservation*. K.: Naukova Dumka [in Ukrainian].
17. Ovcharenko A. Yu. (2017). Mapping the territory of the Slobzhansky NPP for landscape monitoring. *Geographical research: history, present, prospects: materials of the annual international scientific conference of students and graduate students, dedicated to the memory of Professor G. P. Dubinsky (94-97)*. April 5-6. Kharkiv: V. N. Karazin Kharkiv National University [in Ukrainian].
18. Ovcharenko A. Yu. & Zaliubovska O. V. (2018). Possibilities of automated information processing for the needs of landscape monitoring and protection using space images on the example of the territory of the Slobzhanskyi NPP. *Natural resources of the region: problems of use, revitalization and protection: materials of the international scientific seminar (271-275)*. April 5-7. Lviv [in Ukrainian].
19. Ovcharenko A. Yu. (2018). Possibilities of automated information processing using ArcGis for the needs of landscape monitoring of the research area. *Collection of materials of the conference "GIS-forum-2018"*. (2, 62-67). Kharkiv: V. N. Karazin Kharkiv National University [in Ukrainian].
20. Ovcharenko A. Yu. (2019). Possibilities of GIS technologies in the aspect of large-scale landscape mapping in the field practices of geographer students. *Collection of scientific works "Problems of continuous geographical education and cartography"*, 30, 70-80. Kharkiv [in Ukrainian]. DOI: <https://doi.org/10.26565/2075-1893-2019-30-08>
21. Pasternak V. P., Kornienko A. V., Yarotsky V. Yu. & et al. (2015). Large-scale mapping of monitoring sites in the Slobzhansky NPP. *Visnyk KNAU, Forestry*, 2, 113-122 [in Ukrainian].
22. Peresadko V. A. (2009). *Cartographic support of ecological research and nature protection*. Kharkiv: KGNU [in Ukrainian].
23. Peresadko V. A. & Baynazarov A. M. (2021). Experience and prospects of ecological and environmental protection mapping of the Kharkiv region. *Problems of continuous geographical education and cartography*, 32, 8-16 [in Ukrainian].
24. Petlin V. M. (2018). Problems of landscape-mapping interpretation of spatial variability of data. *Ukrainian Geographical Journal*, 3(103). 16-20 [in Ukrainian]. DOI: <https://doi.org/10.15407/ugz2018.03.016>
25. Tokarskyi V. A. (ed.) (2011). *Natural and protected heritage of the Kharkiv region*. Kharkiv: V. N. Karazin KhNU [in Ukrainian].
26. Klimov O. V., Filatova O. V., Nadtochii H. S. & others. (2009). The project of creation of the national park "Slobzhanskyi". Kharkiv: UkrNDI of Environmental Problems [in Ukrainian].
27. Rudenko L. G., Marunyak E. O., Lisovskiy S. A. & others. (2016). Landscape aspects of the organization of a promising network of protected areas of Ukraine. *Ukrainian Geographical Journal*, 3, 18-26 [in Ukrainian]. DOI: <https://doi.org/10.15407/ugz2016.03.018>
28. Rudenko L. G., Golubtsov O. G., Chehni V. M. & others. (2020). *Methodology and practice of evaluating the territory of Ukraine for inheritance*. K.: Naukova dumka [in Ukrainian].
29. Sinna O. I., Klimov O.V. (2013). Map of natural and territorial complexes of the Slobzhansky NNP [Map]. *UkrNII of Ecological Problems* [in Ukrainian].
30. Udovichenko V. V. (2017). Nature Reserve Fund of the Left-Bank Territory of Ukraine as the Basis of Development of the Eco-Network of the Region. *Ukrainian Geographical Journal*, (1), 38-47 [in Ukrainian]. DOI: <https://doi.org/10.15407/ugz2017.01.038>
31. Varyvoda E. & O.Chervanyov I. (2010). Topological analysis of the ecological frame of the local ecological network. *Ukrainian Geographical Journal*, 1, 48-52 [in Ukrainian].
32. Chervanyov I. G., Zaliubovska O. V. & Ovcharenko A. Yu. (2019). Justification of the selection of indicative objects for landscape monitoring of the nature conservation area and their research based on remote sensing and field survey data. *Ukrainian Geographical Journal*, 1, 15-23 [in Ukrainian]. DOI: <https://doi.org/10.15407/ugz2019.01.015>
33. Chervanyov I. G., Ovcharenko A. Yu. & Zaliubovska O. V. (2020). Creation of "landscape images" by means of Remote sensing on the example of the territory of the "Slobzhansky" NPP. *Applied Landscape Science: History, Modernity, Prospects: Proc. All-Ukrainian scientific seminar in memory of prof. A. Melnyk (50-54)*. Lviv [in Ukrainian].
34. Shumilova A. V. (2021). Geo-ecological problems of landscapes of the Slobzhanskyi National Nature Park and ways to solve them. V. N. Karazin Kharkiv National University [in Ukrainian].
35. Sowinska-Swierkosz B. & Michalik-Sniezek M. (2020). The methodology of landscape quality (LQ) indicators analysis based on remote sensing data: Polish National parks case study. *Sustainability*, 12(7), 2810. DOI: <https://doi.org/10.3390/su12072810>
36. Karasov O., Vieira, Külvik A., & I. Chervanyov (2020). Landscape coherence revisited: GIS-based mapping in relation to scenic values and preferences estimated with geolocated social media data. *Elsevier: Ecological Indicators*, 111, 105973. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2019.105973>
37. Karasov O. (2020). Landscape metrics and cultural ecosystem services an integrative resource-driven mapping approach for landscape harmony. *Tartu*. DOI: <https://doi.org/10.15159/emu.58>
38. Ovcharenko A. (2020). Recognition of indicative landscape objects within protected areas. *Visnyk of V. N. Karazin Kharkiv National University, series "Geology. Geography. Ecology"*, 53, 141-154. DOI: <https://doi.org/10.26565/2410-7360-2020-53-11>.
39. Tretyakov O. S., Bodnia O. V., Balynska M. O. & other. (2015). Features of interpretation of plant association of national natural park «Slobzhanskyi» using Landsat 8 satellite data. *Problems of continuous geographical education and cartography*, 21, 73-79.

Study of crimes in the city of Kokand using GIS technologies and sociological questionnaires

*Nilufar Komilova*¹

DSc (Geography), Professor, Department of Economic and Social Geography,

¹ National University of Uzbekistan named after Mirzo Ulugbek,

4 Universitet Kochasi St., Tashkent, 100174, Republic of Uzbekistan,

e-mail: ni.komilova@nuu.uz,  <https://orcid.org/0009-0005-0848-717X>;

*Bakhodir Makhmudov*¹

PhD student, Department of Economic and Social Geography,

e-mail: b.maxmudov@nuu.uz,  <https://orcid.org/0000-0001-6128-4500>;

*Normurod Latipov*¹

PhD student, Department of Economic and Social Geography,

e-mail: n_latipov@nuu.uz,  <https://orcid.org/0000-0001-5372-2320>

ABSTRACT

Formulation of the problem. It is known that the influence of the demographic, social and economic conditions of the region on criminal activity is significantly high. In this place, researching the types of crime characteristic of cities with different functions, and identifying hotspots where criminal activity has intensified within the city will further enrich the scientific and practical aspects of the geography of crime. The use of geographic information systems (hereinafter GIS) in the implementation of these tasks is an important issue on the agenda of the field today.

Analysis of recent research and publications. Today, in most developed countries, GIS is widely used to identify common crime areas and organize preventive measures for crime prevention. Research in this regard is almost undeveloped in the Republic of Uzbekistan.

Formulation of the purpose of the article. In this study, theft and drug-related crimes committed in the city of Kokand, Fergana region, were investigated using the Hot Spot analysis method of the Arc GIS (version 10.8) program. The problems of combating crime in identified theft and drug-related crime centres were studied with the help of sociological surveys (conducted with prevention inspectors) and an action plan for crime prevention was developed.

Presentation of the main research material. The indicators of crime levels in the small administrative areas of Kokand, in the Fergana region, have been examined in this study. In addition to the types of crimes that are most commonly committed in large social infrastructures (for example, markets, parks, public places) and their specific characteristics, we also discussed the levels of these types of crimes according to age, gender and population size.

Problems and prospects of the development of crime geography in Kokand city. Hotspot analysis consists of identifying hotbeds of crime in the area and developing proposals and recommendations based on this.

Proposals and recommendations for reducing crime in the city of Kokand. First, this technology is effective in identifying crime trends, organizing preventive measures, planning crime prevention strategies, and improving public safety. Second, GIS is adapted for data processing, mapping, and spatial analysis, thereby increasing the effectiveness of crime analysis and quickly creating a quality criminal analysis map. Thirdly, according to the results of this technology, optimization of the distribution of law enforcement officers, proper and planned deployment, and development of more effective crime reduction measures will help.

Keywords: *crime mapping, geography of crime, GIS, hot spot analysis, spatial autocorrelation, Kokand city.*

In cites: Komilova Nilufar, Makhmudov Bakhodir, Latipov Normurod (2023). Study of crimes in the city of Kokand using GIS technologies and sociological questionnaires. *Visnyk of V. N. Karazin Kharkiv National University, series "Geology. Geography. Ecology"*, (59), 125-139. <https://doi.org/10.26565/2410-7360-2023-59-10>

Introduction. Along with the rapid growth of the population in the world, the social problems of the population, especially the level of crime, are also increasing. According to the report "Global Initiative against Transnational Organized Crime", today about 83% of the world's population lives in conditions with a high level of crime [1]. Crime rates are increasing rapidly in developing countries mainly due to poor socio-economic, political and environmental conditions (Jayathilaka T & Wijeratne S, 2018). Especially during the Covid-19 pandemic, this situation has accelerated. Therefore, there is a demand for measures to combat and prevent crime in areas where such a socially dangerous disease exists.

In recent years, the Republic of Uzbekistan has carried out a wide range of activities aimed at crime prevention. As a result, crimes decreased by 5.3 per cent, that is, the total number of registered crimes in 2022 was 105,215, which decreased by 5,867 compared to 2021. But it remains high compared to the beginning of the Covid-19 pandemic. One out of every two crimes committed during this period occurred in the city of Tashkent, Fergana and Tashkent regions. A relatively low rate was recorded in the Navoi, Khorezm and Jizzakh regions. In Kashkadarya and Surkhandarya regions, the total number of crimes and the level of crime are slightly lower than the national indicator [3, p. 461]. Almost

one out of every three crimes committed in the Republic of Uzbekistan occurs in the Fergana Valley.

Fergana region is one of the regions of the Republic of Uzbekistan with high population, density, level of urbanization and migration. In one of the major cities of this region, the level of crime is considered high, and in this regard, the President of the Republic of Uzbekistan emphasized this situation during his visit to the region: "20 per cent of serious crimes committed by minors in the region and 43 per cent of extremely serious crimes occurred in the city of Kokand. This is the worst indicator for the entire republic." [4] Therefore, it is important to study and analyze the criminogenic situation of the neighbourhoods of the city of Kokand on a scientific basis.

The main goal of this research is to determine the regional aspects of crime in the city of Kokand and to determine the foci of serious and drug-related crimes.

Study area. This study was conducted in the city of Kokand, Fergana region (fig.1). The city of Kokand is located in the western part of Fergana

region, in the lower reaches of the Sokh river, at 40° 31' 43" north latitude and 70° 56' 33" east longitude. The city was located in a convenient geographical location, at the entrance of the valley, so it was the capital of the Kokand Khanate. Today, the city of Kokand is one of the industrial, commercial, cultural and tourism centres of the Fergana region. As of January 1, 2023, the city area is 37 square meters. km and consists of 68 mahallas (hereinafter referred to as MFY). The city borders with Furkat, Dangara, and Uchkuprik districts of the Fergana region, Uzbekistan (Makhmudov B, Kh, 2023). Muqimiy town, located on the border of Uchkuprik and Uzbek districts, is also part of the city. An important railway and road (A-373) connecting with the Sughd region of the Republic of Tajikistan and the major cities of the valley (Andijan, Fergana, Margilan), Tashkent region passed through the city. 6.7% of the region's population (264,154 people as of January 1, 2023) live in the city, which ranks second in the region after Fergana and Kuva districts. However, administrative-territorial units of the region are relatively densely populated: 7139 people per 1 sq. km.

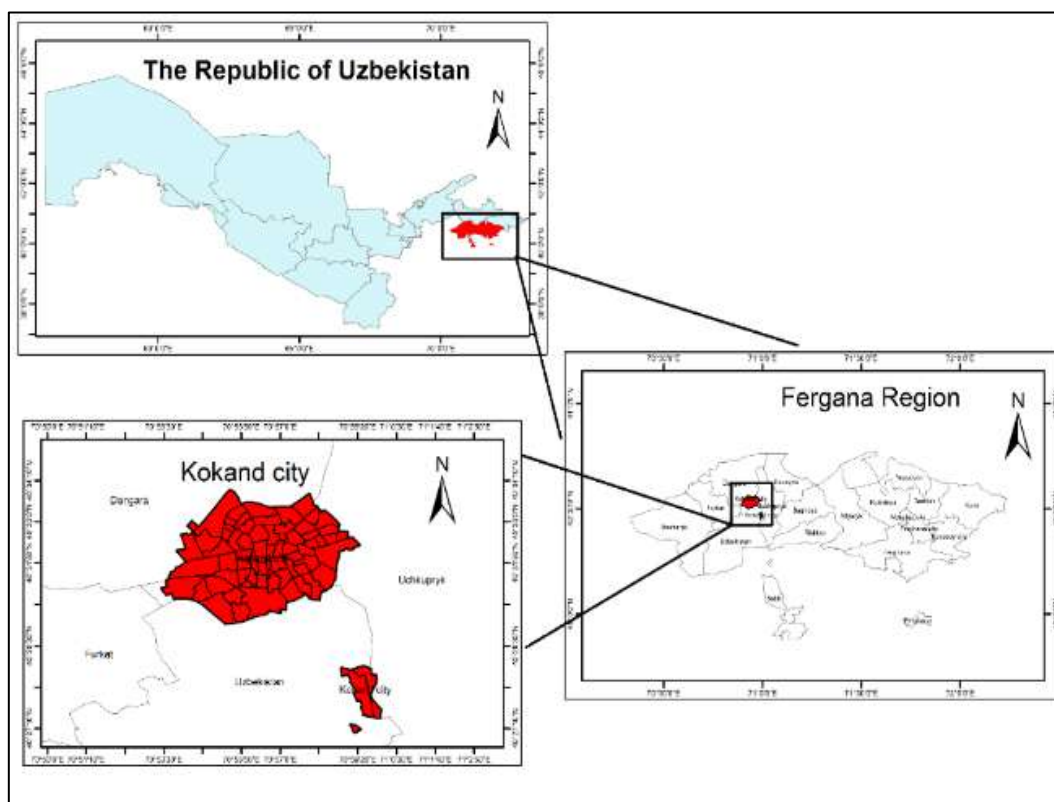


Fig. 1. Study Area

Literature review. The study of crime as a complex issue has been studied by representatives of various disciplines: criminologists, psychologists, demographers, sociologists, and geographers. A number of special theoretical-methodological and practical studies on the geography of crime are carried out by foreign scientists E.Burgess (1925),

C.R.Shaw, H.D.McKay (1942), K.Harries (1999), T.Eisenhardt (2012), H.F.Orsini (2018), S.Chainey (2005, 2021), A.A.Gabiani, R.G.Gachechilidze (1982, 1990), S.P.Luknitsky (1989), S.V.Artyomenko (1993), K.T.Rostov (1993), R.M.Skabara (2003), A.D.Badov (2009), A.V.Kulagin (2009), K.Y. Sikach (2016) and others. In the research of these scientists,

crime geography as a scientific direction of social geography is theoretically based and methodological foundations have been developed.

Issues related to the geography of crime in Uzbekistan have been studied in the scientific works of scientists such as A.S. Soliyev (1999), A.A. Qayumov (2006), M.I. Nazarov (2006), N.K. Komilova (2020), I.R. Turdimambetov (2020, 2021). The impact of population location, density, and migration processes on crime in Uzbekistan can be found in the research of A.A. Qayumov (2006), the hotbeds of drug trafficking in the large cities of Fergana region, such as Kokand, Margilan, Fergana, and M.I. Nazarov (2006).

In the works of the above-mentioned scientists, specific territorial characteristics of the committed crimes and the criminogenic situation were studied. However, large-scale studies on identifying crime hotspots and dividing them into criminogenic zones with the help of modern GIS technologies have not been carried out in these works. This article differs from the above studies in that it studies these issues.

Materials and methods. In this study, the statistics of crimes committed in the city by the Department of Coordination of the activities of internal affairs bodies of Kokand City were used. In 2022, the main focus was on the place and time of theft and drug-related crimes. The coordinates of the place where the crime was committed were determined by the prevention inspector working in the neighbourhood with the help of sociological surveys and crime reports.

According to statistics, the trend of the increase in the number of crimes in the last 10 years (2013–2022) in the city has two forms. The first was a decrease from 2013 to 2018, and the second was an increase from 2019. During this period, theft crime

increased by 5.3 times, and drug-related crimes by 2.7 times (fig. 2).

Hot Spot Analysis. In world experience, the "Hot Spot Analysis" method of the Arc GIS program is widely used to identify crime hotspots. A hot spot is an area with a high concentration of crime in the entire study area. Crime hotbeds are of different sizes and are mainly formed around neighbourhoods, streets or specific objects (markets, stations, etc.) of the city with the highest crime rate (fig. 3).

This method measures the concentration of high or low values for the entire study area. A high index value indicates that high values are clustered in the study area, while a low index value indicates that low values tend to cluster. A z-score is calculated to help determine whether an index value is significant.

Spatial Autocorrelation. Spatial Autocorrelation assumes that "criminal events occurring in different locations are correlated" (Harries, 1999; Eck et al., 2005). Points with similar values are reflected in higher values (positive or negative) of Moran's I index (Eck et al., 2005).

Moran's I index value close to +1 reflects clustering and a value close to -1 reflects dispersion (dispersion), i.e. crimes are not spatially interconnected. Critical value is checked by comparison with normal distribution.

Results. Crimes related to weight and drugs, unlike other types of crime, have the characteristic of being embodied in a certain area, that is, creating a focus. From this point of view, the hotbeds of theft and drug-related crimes in the city of Kokand were implemented through the sequence shown in Figure 3. Geographical observations, interviews with prevention inspectors, and sociological surveys were used to compare, analyze, and describe each crime centre.

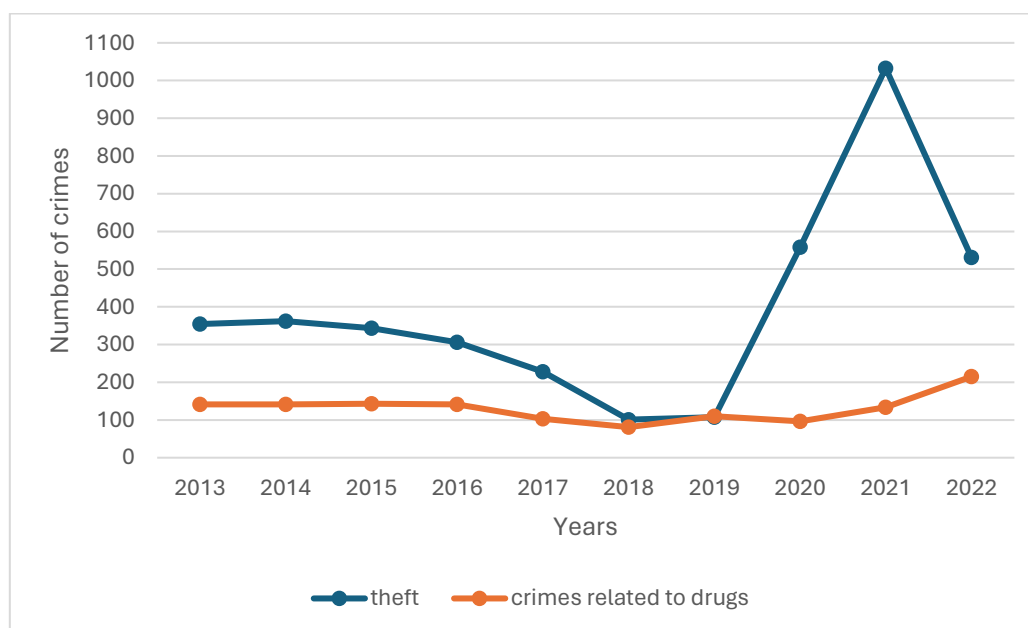


Fig. 2. The dynamics of theft and drug-related crimes in the city of Kokand

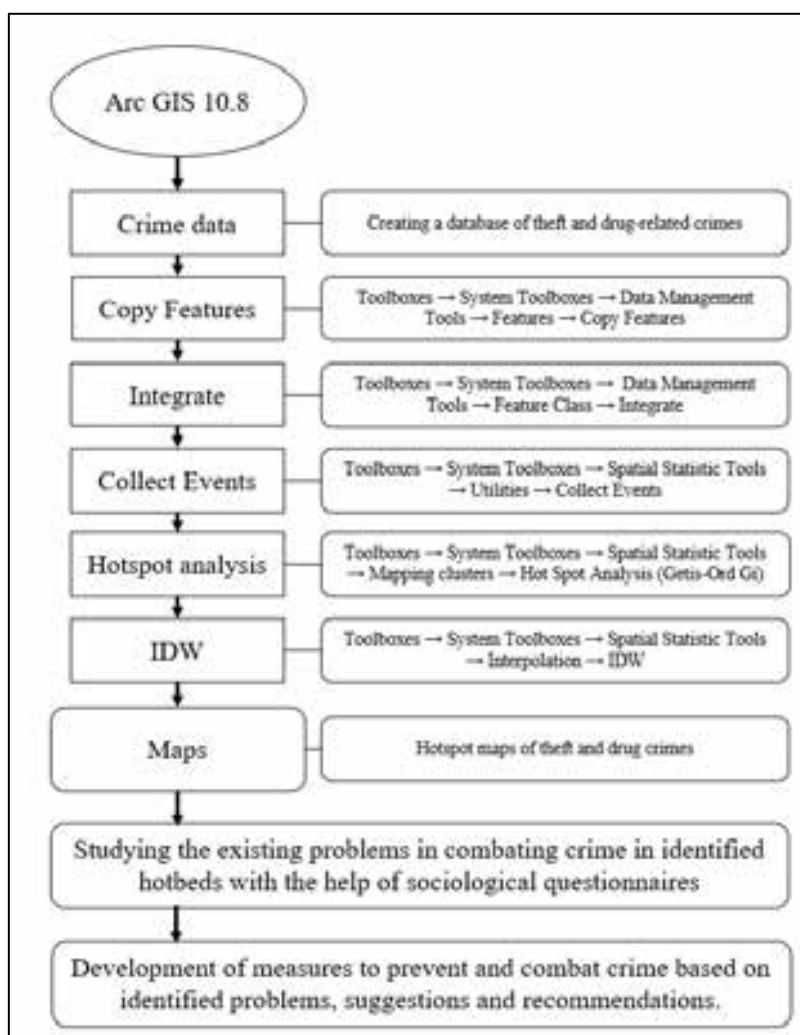


Fig. 3. Research Methodology

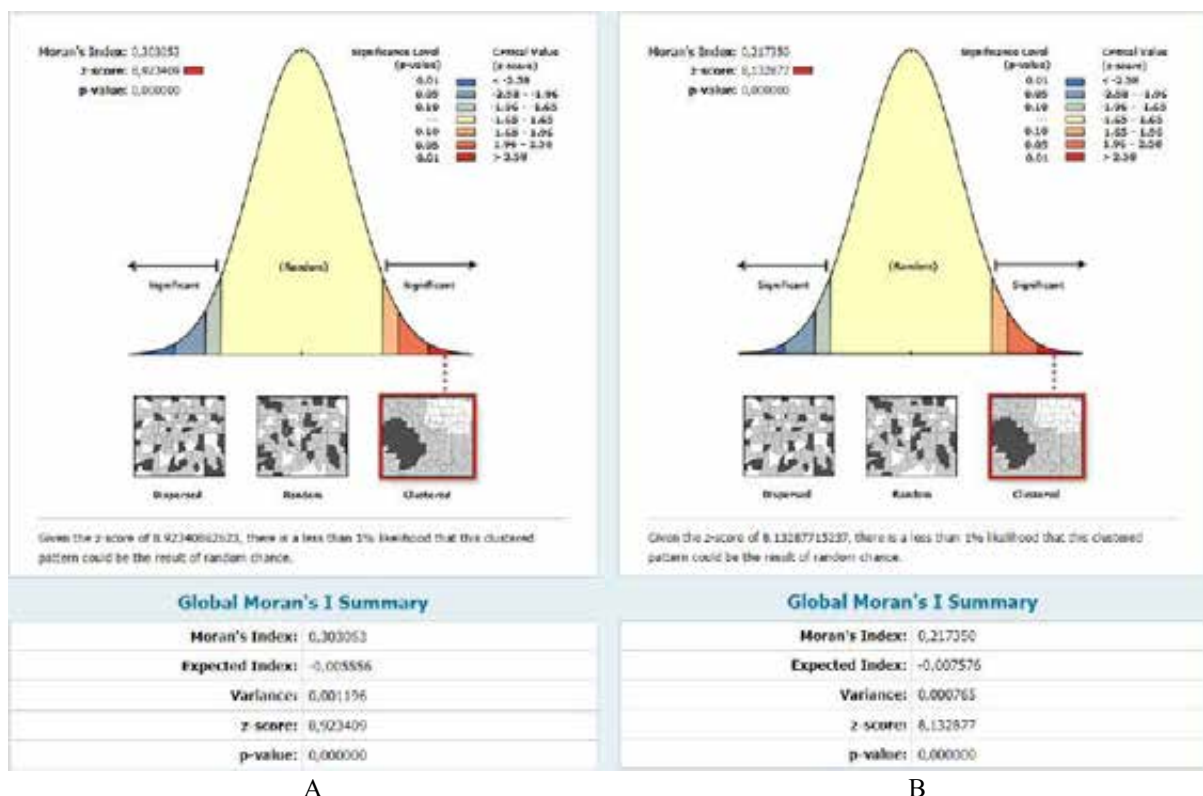


Fig. 4. Spatial Autocorrelation Reports: A – theft, B – drug-related crimes

Burglary in general is the stealthy theft of another's property and is the most common type of crime. This type of crime accounts for more than half of property crimes. Research shows that unemployment and lack of materials (in 70% of cases) are the biggest factors that encourage people to commit theft [4]. Reasons such as deliberate revenge, boasting, and authority are also common.

Among the types of theft, pickpocketing, and theft from vehicles, shops and apartments are common. For example, in 2022, 16.8% (89) of thefts were committed in apartments, 11.7% (62) from cars, 9.2% (49) burglaries, and 9.8% (52) using information technologies.

Thefts also vary in time and place. For example, pickpocketing is characteristic of markets and densely populated areas and is the act of secretly taking personal items (phones, money) from the stalls, pockets and bags. The time of occurrence is mainly during the day when people go to the market. Thefts from vehicles and houses are mostly committed at night.

In recent years, cases of theft of bicycles, telephones and similar personal items from apartment buildings have also increased. Another feature of the crime of theft is the high level of secrecy. For example, in 2022, 408 cases of theft were recorded in the city of Kokand, of which the perpetrator was not identified in 249 (61%) cases.

As a result of the conducted research, the following foci of theft crimes were identified (fig. 5, A).

1. The Great Silk Road shopping complex is located at the intersection of Navbahor, Farobi, and U. Nasir streets of the city. This complex is the largest market area in Western Fergana and includes 8 large markets. It acts as a major trade centre for the surrounding districts (Beshariq, Furkat, Dangara, Uchкупrik, Uzbekistan, Baghdad, Buvida). Especially on Tuesdays and Saturdays of the week, the population is crowded in the area of the market, there are unique and favourable conditions for shoplifting and shoplifting. To a certain extent, the irregular location of the stalls for sale contributed to this.

2. A.T.Khoqandi region – includes multi-storey buildings with a dense population between A.Temur, Turkestan, and Makhram streets of the city. In this area, the number of thefts is high mainly from car showrooms and apartments. In addition, the theft of high-speed telephones and valuables often occurs in the emergency medical department of Kokand city.

3. Davronbek MFY – industrial enterprises (Avalon textile, Kokand textile and superphosphate, footwear, mechanical plant, etc.), multi-storey buildings, multi-storey houses given to homeless people and returned from penitentiary institution occupied the area between Davronbek and Burchlik streets. In this area, there is a special, favourable

situation for thieves during a certain part of the day (mainly in the evening in the industrial area). Apartment buildings (35, 37, 39, 41, 43, 45, 47, 49, 51, 53) and around Mediapark have become targets for personal items (telephones, bicycles, etc.).

Crimes related to drugs include cultivation, preparation, storage, transportation, purchase, sale, and incitement to consumption. This type of crime has a direct impact on the deterioration of society and the increase in the general level of crime. The drug trade is one of the most profitable "businesses" in the world, and in terms of income, it ranks second after the illegal arms trade. Therefore, studies investiGising different aspects of drug addiction are very relevant.

Between 2018 and 2022, the total number of drug-related crimes in the city of Kokand increased significantly by 2.7 times. In 2022, the drug-related crime rate will be 8.1 per 1,000 population, which is 4.8 more than in 2018.

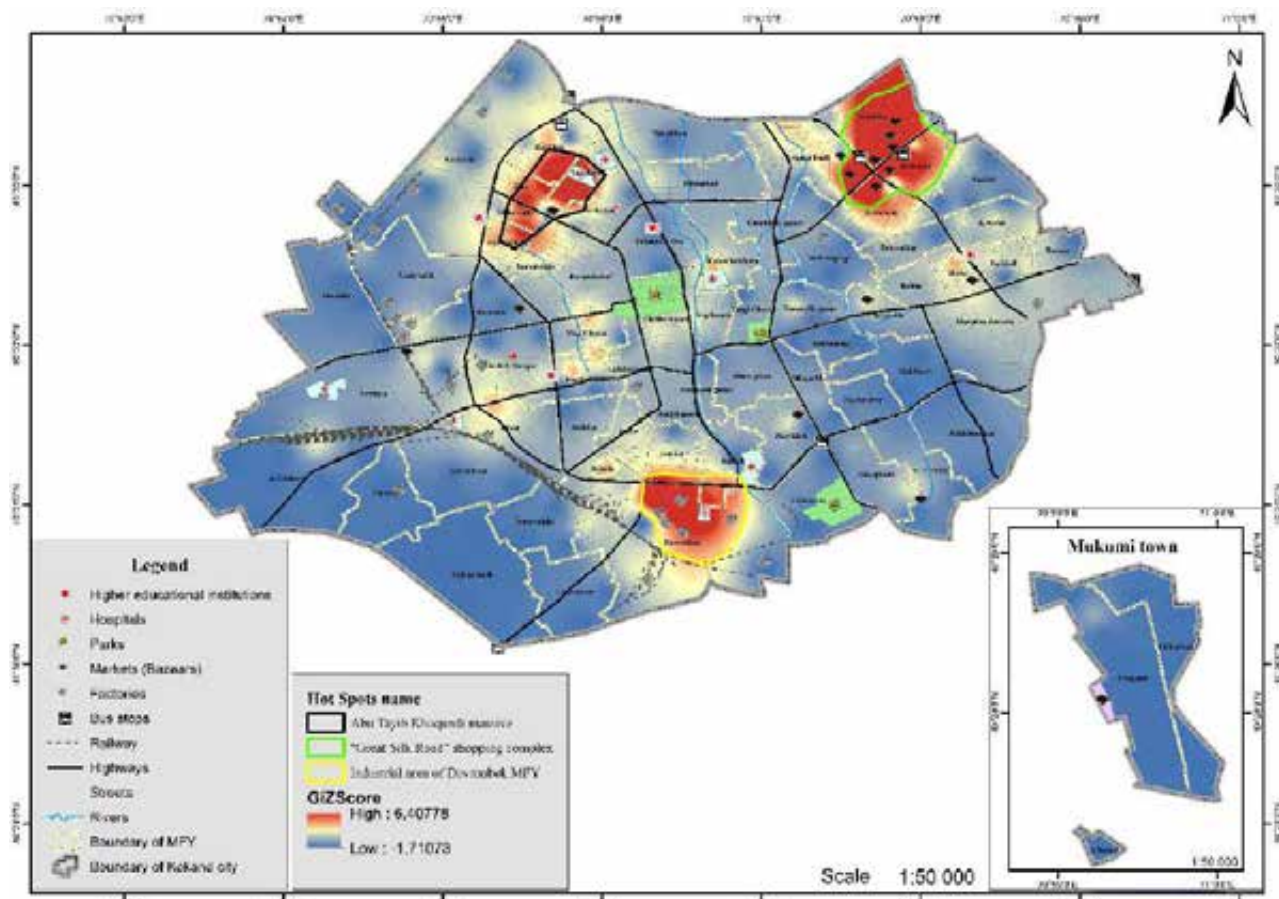
Drug distribution is often characterized by the formation of a "hotbed", where the main centres of trafficking are large cities. For example, M.I. Nazarov (Nazarov M.I., 2006, p. 184) came to the opinion that the main centres of sale of drugs in the city of Ko'kan correspond to the territory of "gipsy neighbourhoods" as the locals say. In the research carried out by the author using the "Hot Spot Analysis" method for the city of Kokand, it was found that, in addition to the "gipsy" neighbourhoods, centres of drug-related crimes were formed in the neighbourhoods of the city where objects such as night clubs and drug dispensaries are located (fig. 5, B):

1. A.T. Khoqandi region – the population of this region is distinguished by the diversity of its national composition. It is the area where the drug trade (especially hashish) is most prevalent. For example, between the 102, 104, and 123 apartment buildings of the Yangiabad MFY, which are part of the district, the employees of the department of coordination of activities of internal affairs bodies of Kokand city put an end to drug trafficking in more than 30 cases. given the high latency of drug-related crimes, this figure may be higher.

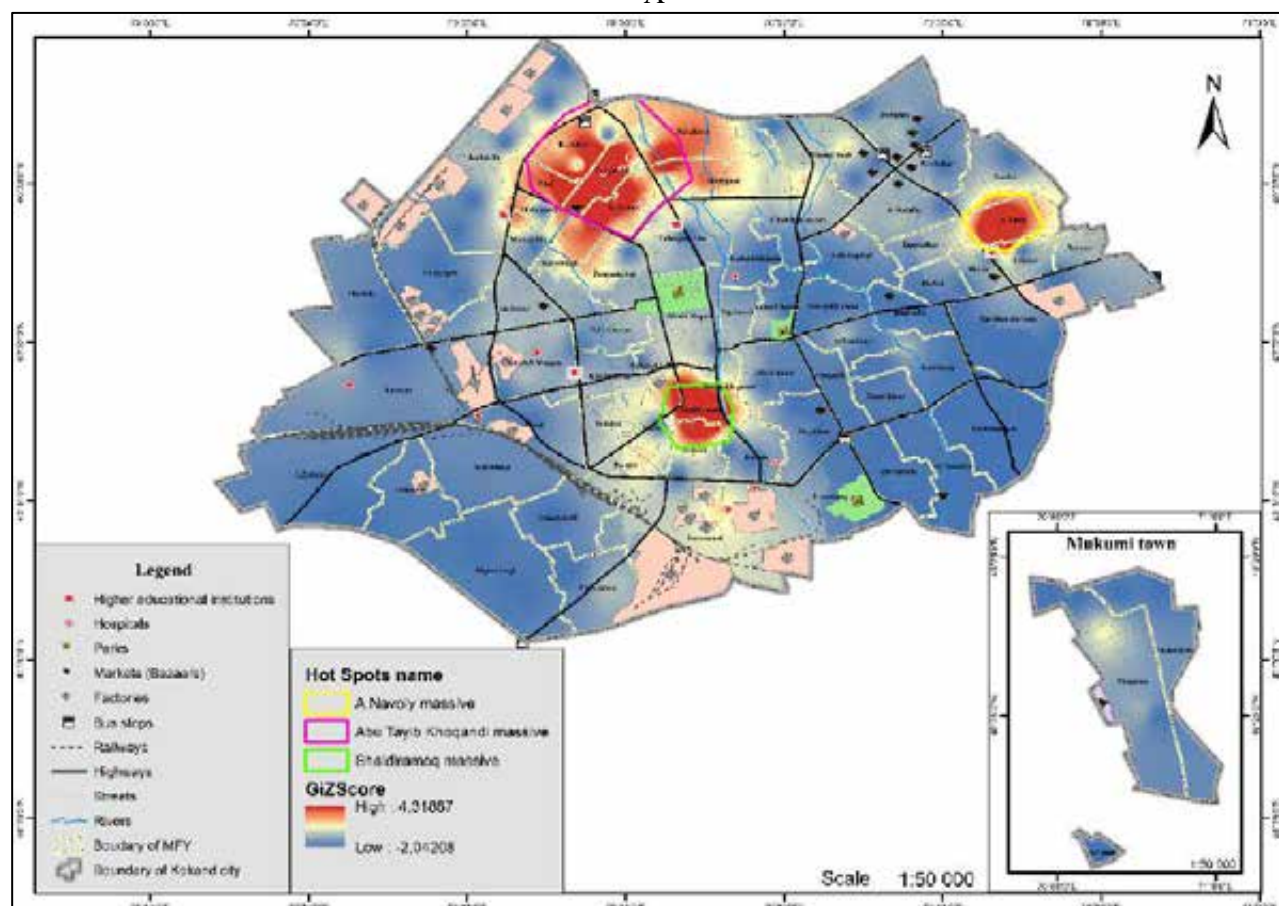
2. Shaldiramoq district – located between A. Temur, Turkistan, Guzar streets. Drug use and sale is widespread among the population. The situation is especially difficult around nightclubs located on A. Temur Street.

3. A. Navoi district is one of the densely populated areas, and factors such as the diversity of the national structure of the population, social environment, and low employment rate have had an impact on its formation as a centre of drug addiction.

The formation of certain drug-dealing groups in general has countless negative social consequences for the region. Firstly, there is a growing population



A



B

Fig. 5. Hotspots of theft (A) and drug-related (B) crimes in the city of Kokand

of drug addicts in the region, and it is always difficult to identify those who consume it. Secondly, there are spiritual and moral changes in the persons addicted to drugs. They cannot fulfill their social duties or it is difficult for them to engage in certain social activities. A drug addict spends a lot of money to buy drugs and gets into a vortex of economic problems. As a result, addicts inevitably become more prone to crime.

In addition to the crimes related to the preparation, storage and sale of narcotic substances, there is a high percentage of persons who commit property crimes such as theft, and fraud under the influence of this substance or for the purpose of purchase (Gabiani A.A, 1990). So, another feature of drug-related crimes is the impetus for the formation of other crimes in the region. By preventing this crime, other crimes can be prevented.

Above, problems of fighting crime in the city of Kokand were investigated by the preventive inspector of problems in fighting crime.

Of the 13 questions contained in this question-

naire, it was found necessary to cover 12 questions directly related to the research topic:

1. First of all, through the questionnaire, it was determined which MFY the respondents are working in, and their work experience. As it turned out, 13% of preventive inspectors who took part in the survey have up to one year, 37.7% from 1 to 5 years, 31.3% from 5 to 10 years, and 18% have more than 10 years of experience. Since the main goal of the conducted research was to determine the criminogenic situations of the regions, the next questions were directly related to this.

2. It is known that in the geography of crime, it is important to determine the most frequent and common crimes in the area, for this purpose, ask the inspectors "Which types of crimes do you think are becoming common?" the question. 30.9% of the respondents admitted that theft, 25.2% drug-related crimes, and 24.4% fraud-related crimes have become relatively common. In the rest of the answers, more crimes such as robbery and hooliganism are indicated (fig. 6).

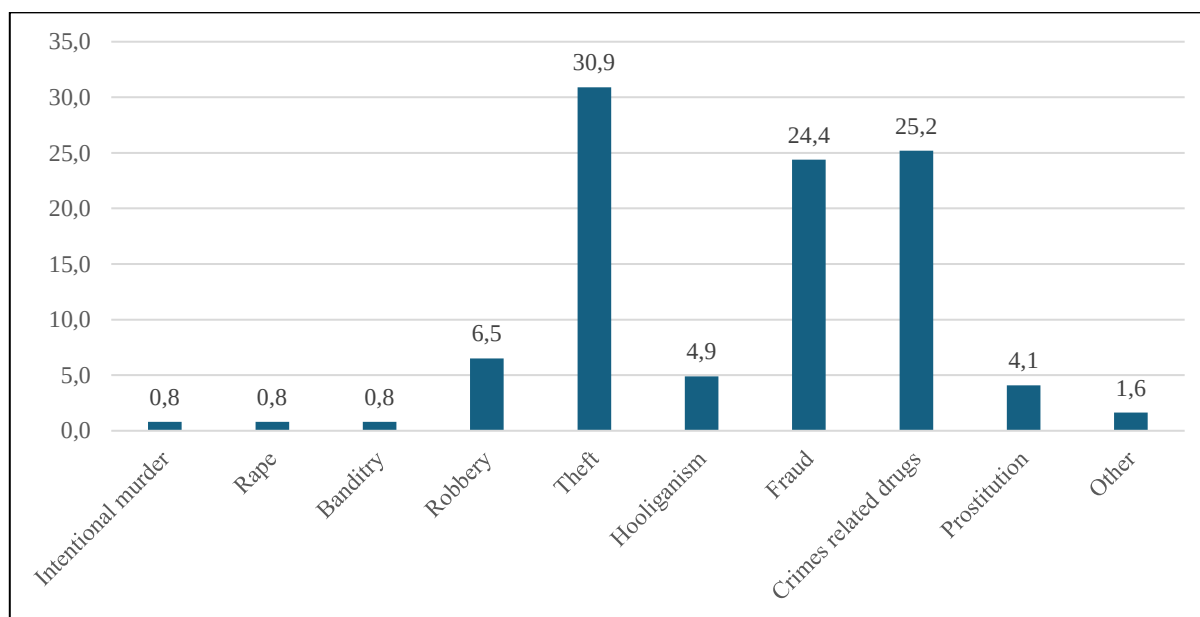


Fig. 6. "What types of crimes do you think are becoming commonplace?" answers to the question

3. One of the main indicators reflecting the territorial aspects of crimes is the place where the crime was committed. For this purpose, "In which part of the territory do you think the most crimes are committed?" when asked the question, the majority of respondents answered apartment buildings (28 per cent) and markets (28 per cent) (Figure 3.2). Also, nightclubs (11 per cent), parks and boulevards (7 per cent) were more frequently mentioned by the respondents. These 8 markets include the Great Silk Road shopping complex, Kokand farmer's market, Kokand car market, Kokand goods market, Old market, Kokand firewood market, and the staff working in the adjacent neighbourhoods concluded

that "the most crimes are committed in the market" (fig. 7).

4. It is important to study the age structure of people who commit crimes, to analyze the criminogenic situation, and also to carry out preventive measures. asked the question. 33% of the respondents concluded that the population aged 18-24 and 32.1% 25-29 commits more crimes. Interestingly, people aged 60 years and older did not mark it at all (fig. 8). Therefore, the share of young people (18-30 years old) in the crimes committed in the city of Kokand is high. It is appropriate to focus preventive measures on this age group.

5. In the next question, "In which time period are

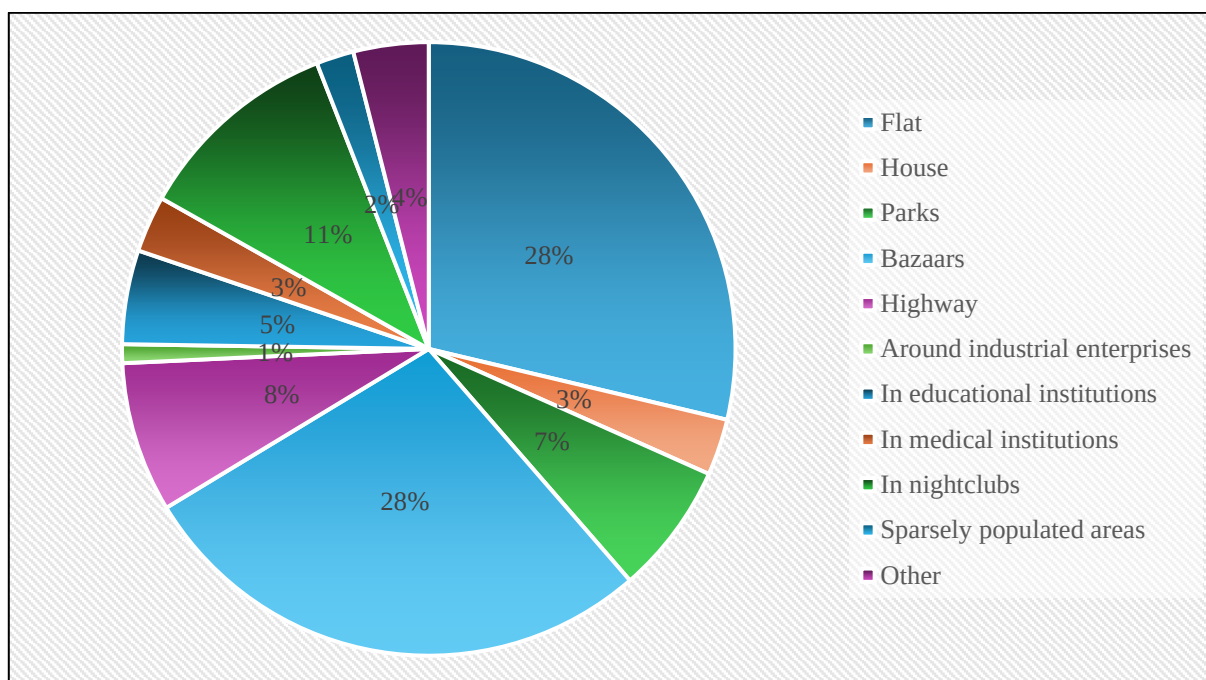


Fig. 7. "In which part of the region do you think the most crimes are committed?" answers to the question

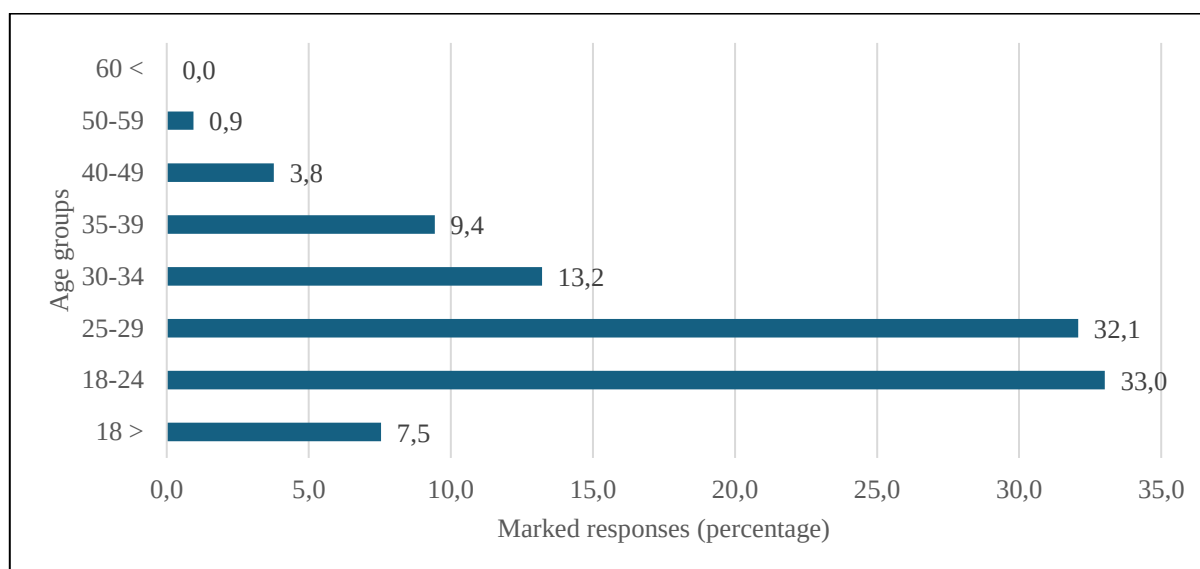


Fig. 8. "Which age group of the population mainly commits the most crimes?" answers to the question

crimes committed the most?" received very different answers to the question. In particular, prevention inspectors working in MFYs adjacent to the market area chose the time between 1200-1500 for this question. Preventive inspectors serving in MFYs, which are mainly apartment buildings, chose the time between 2400-0300 and 0300-0600 midnight (fig.9).

It can be seen from the answers of the respondents that criminals choose a specific time (mainly midnight) to carry out their malicious purpose.

6. It is known that in the geography of crime, the formation of the criminogenic situation of the territory, the study of the factors affecting the commission of crimes is one of the urgent issues. In order to study this issue, "In your opinion, what are

the main reasons and factors that affect the commission of crimes in the territory (MFY)?" asked the question. Inspectors paid particular attention to high unemployment (31 per cent) as the main factor in committing crimes. Also, such factors as drug addiction (17 per cent), difficulty in controlling the densely populated area (13 per cent), and alcoholism (12 per cent) were identified (fig. 10).

Therefore, unemployment and the low level of material security of the population are important in the commission of crimes, especially crimes against property, in the criminogenic situation of the region. It is necessary to pay more attention to the issues of prevention of crimes in the region, prevention, and reduction of unemployment.

7. Research participants were asked: "Do you

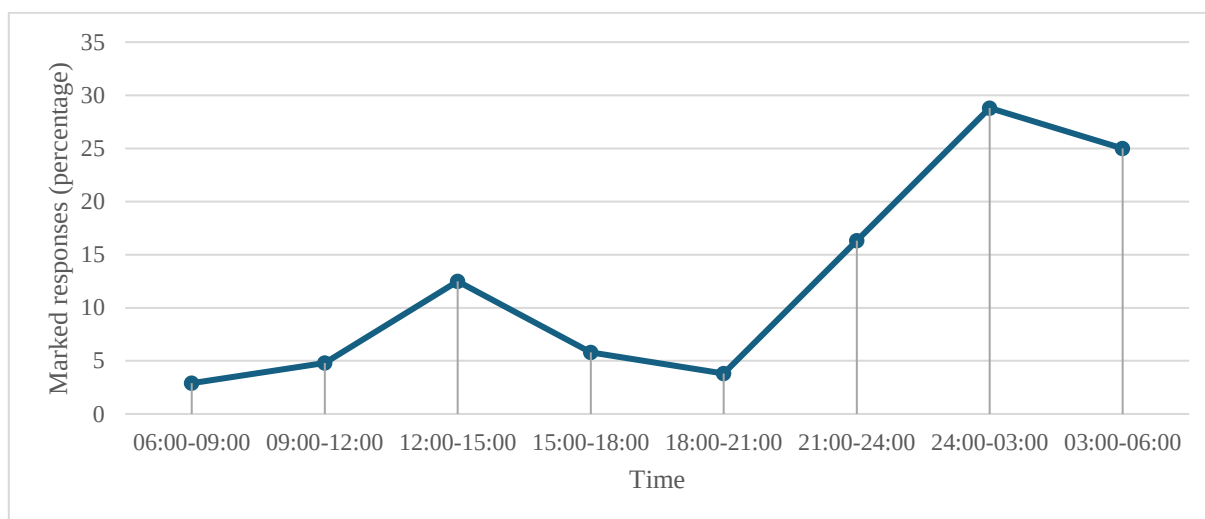


Fig. 9. "What are the most common time periods for crimes?" answers to the question (the picture was compiled by the author based on a sociological survey)

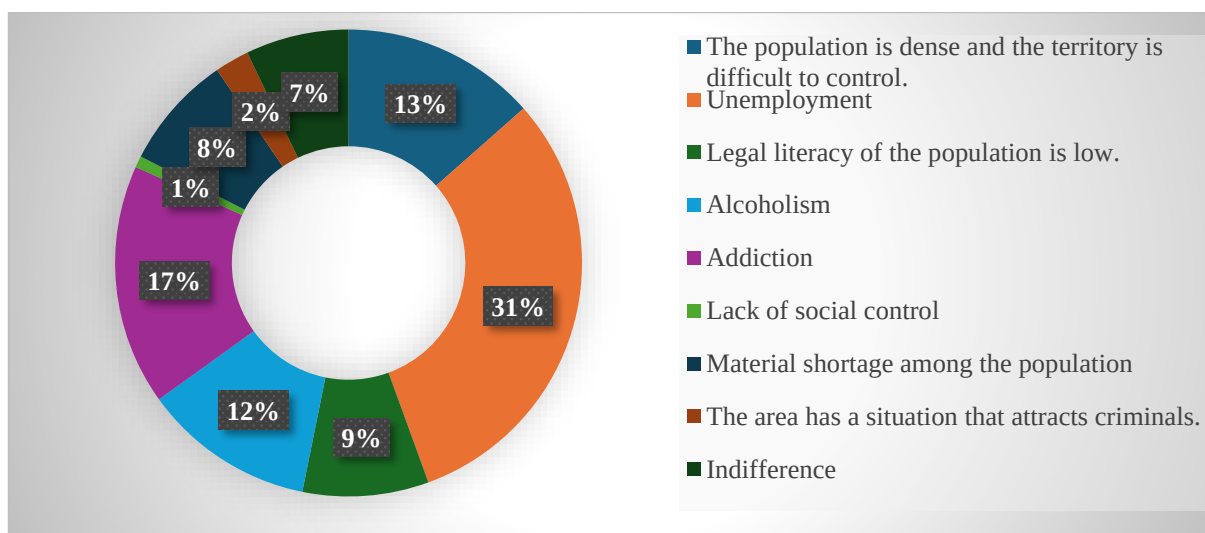


Fig. 10. "In your opinion, what are the main reasons and factors that influence the commission of crimes in the region (MFY)?" answers to the question

think that the presence of different types of markets in the territory of MFY affects crime?" the question was also addressed. This question made it possible to further strengthen the opinions about the large trade centre of the city of Ko'kan and its influence on the geo-criminogenic situation.

Inspectors gave the most answers to this question in the form of "yes, it affects" (88.5 per cent). At this point, it is necessary to emphasize that today the city of Kokand is a major trade centre in the region, and it stands out in this respect. This situation is reflected in the increase of the pendulum migration of the population of the surrounding district to the city, and the increasing number of crimes related to crimes against property.

8. It is known that the scientists of the field paid special attention to the national-ethnic composition of the population of the region. The participants of the survey were asked, "Do you think that the natio-

nal-ethnic composition of the population plays an important role in crime?" when the question was asked, 54 per cent of the respondents specifically emphasized that "no, the national composition of the population has nothing to do with crime." And 46 per cent of the respondents decided that "yes, crimes are committed a lot in areas of different nationalities."

9. The criminal activity of any person, first of all, depends in many ways on his general outlook, lifestyle, family environment, parenting and attention. For example, the main factor in the origin and formation of crime against a person is the family environment. Regarding this issue, "Do family environment, parents' level of education, and children's education have an effect on the origin of crime?" 85.2 per cent of the inspectors who participated in the survey answered "yes" while the rest of the respondents answered "no". At this point, the high intellectual potential of parents is extremely

important for a child's education. Certain educational lessons are taught as subjects in school, but the first instructions about them are given to children in the family. Unfortunately, today, not all people around us have adequate knowledge in this regard.

10. The dynamics of crimes are affected by seasonal changes, especially crimes against property and persons. In field research, it has been proven that the number of sexual assaults increases dramatically in the summer, and that such crimes are rare in the winter, as well as that crimes against property, such as theft and robbery, also change in certain seasons and seasons. For this purpose, the respondents were asked, "Do you think the seasons and seasons affect the increase in crimes?" asked the question. 77% of the respondents answered this question "Yes, most of the crimes are committed in the winter and spring months when the population suffers financially", and 33% said, "No, crime is not affected by seasons and seasons".

11. 21.8 per cent of the crimes registered in the city of Koqan in 2022 were committed by previously convicted persons. This is a high rate among the total number of criminals. In order to study the cause of this type of crime, the inspectors were asked the question "What do you think is the reason for re-offences by those with previous convictions?" the question was asked. As a result of the research, it was found that 44.3% of preventive inspectors answered that recidivists do not feel the lightness of the punishment, the inevitability of the punishment and the feeling of remorse. According to 29.5% of the respondents, unemployment, lack of timely employment, and lack of resources are recognized as the leading factors in the majority of such crimes. Also, the reasons for feeling disconnected from society

after committing a crime, not being satisfied with existing conditions (13.1%) and failure to perform targeted preventive work on time or slowness (9.8%) were also mentioned (fig. 11). Therefore, proper organization of work with unemployed citizens in the city in the future requires proper improvement of preventive measures. It is not surprising that such measures have led to a slight decrease in recidivism rates.

12. Representatives of legal bodies and their material and technical bases have a special place among the factors affecting crime. They act as a "stopping" force in the formation of the criminogenic situation. Technical and informational equipment of law enforcement agencies, skills, territorial composition and number of law enforcement officers have a significant impact on crime. It is possible to have a positive impact on the geo-criminogenic situation by studying and eliminating existing problems in their activities. "What challenges do you face in your work preventing crime?" the respondents gave the following answers to the question (fig. 3.7).

Mainly, 2 problems were recognized by the prevention inspectors: first, material and technical problems, i.e., problems related to area cameras, electronic tablets (to facilitate identification system), and work equipment; the second is bureaucratic, a large number of assignments that are not part of the preventive inspector's duties, the laboratory's trial, and the problems of placing people in the narcology dispensary. Also, the indifference of other official organizations to crime, except for IIB employees; problems of slowness in carrying out preventive work, and low legal literacy of people were also mentioned. From this it can be concluded that there are still bureaucratic problems in the activity of prev-

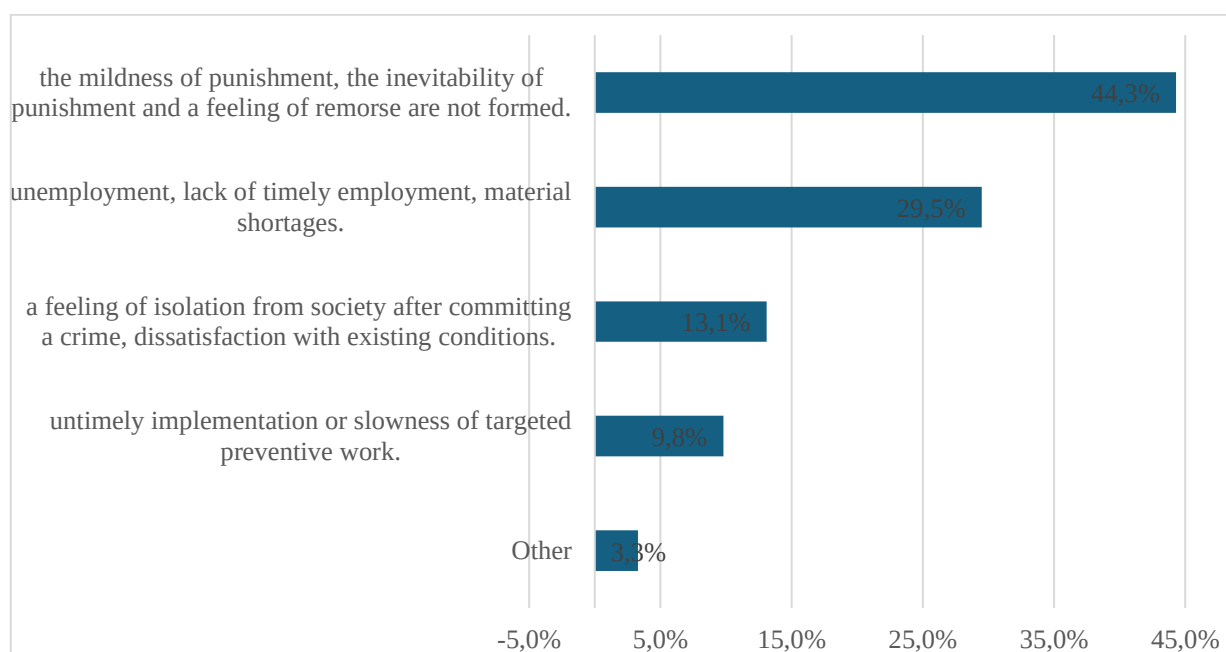


Fig. 11. "What do you think causes recidivism by those with previous convictions?" answers to the question

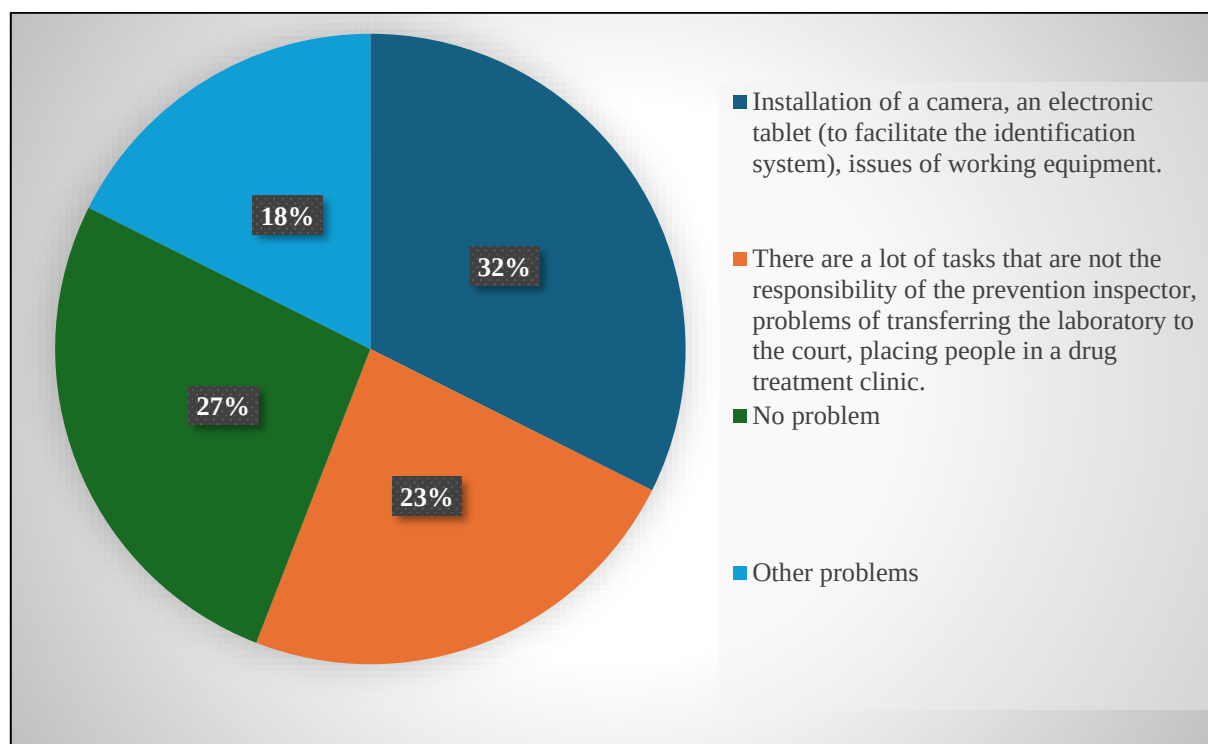


Fig. 12. "What challenges do you face in your work preventing crime?" answers to the question

ention inspectors, it is necessary to revise it, and at the same time, the issue of providing them with modern equipment is also urgent.

13. In the last question, proposals and recommendations were studied using the work experience of prevention inspectors, and knowledge accumulated during their activities. "What do you think should be done to prevent crime?" to the question, the following answers were mentioned by the respondents as the most suggestions and recommendations:

1) Proposals related to ensuring the supremacy of the law, strengthening punishment measures, and serving the full term of imprisonment – 34.1 per cent;

2) Recommendations related to the crime-prone segment of the population, more preventive conversations with young people and their parents, and more activities, strengthening control in crowded places – 24.4 per cent;

3) Recommendations related to the sufficient installation of surveillance cameras in the neighbourhood, control of sufficient lighting of dark places at night – 12.2 per cent;

4) Proposals related to all official agencies to perform their duties diligently and conscientiously, to organize cooperation between sectoral services in order to prevent crime – 9.8 per cent;

5) Other proposals and recommendations – to increase the legal literacy of citizens; study the experience of cities in the green category, provide employment by eliminating poverty; increase the number of employees in the market and similar

places; attaching 3,500 citizens to preventive inspectors serving in each MFY area – 19.5 per cent.

The analysis of the above proposals and recommendations shows that one out of three prevention inspectors came to the conclusion during their work experience that the leading factor in crime prevention is the inevitability of the punishment for the crime and its severity or lightness. As soon as the motive to commit a crime is formed in a person's mind if he feels what the punishment will be, it becomes an important factor in preventing the crime.

The results of such a survey conducted among prevention inspectors provide true, objective information about the criminogenic situation of the city and serve as an important basis for the implementation of necessary measures. In general, the information obtained during the sociological survey, the problems raised, and the suggestions and recommendations made, were used to take measures to prevent and fight against crime (table 1).

Conclusion. Based on the conducted research, it is reasonable to say that the use of GIS technologies has its own advantages and achievements. First, this technology is effective in identifying crime trends, organizing preventive measures, planning crime prevention strategies, and improving public safety. Second, GIS is adapted for data processing, mapping, and spatial analysis, thereby increasing the effectiveness of crime analysis and quickly creating a quality criminal analysis map. Thirdly, according to the results of this technology, optimization of the distribution of law enforcement officers, proper and

Table 1

Measures to prevent and combat crime in the city of Kokand

Crime hotbeds	Measures to prevent crime and improve the geocriminogenic situation
A.T.Xo'qandiy district	To provide employment to the unemployed population in Turkestan, Yangiabad, Zilol, Turkestan MFYs, for this purpose, privatization of state industrial enterprises in the territory of Kuduklik MFY, allocation of existing vacant buildings for production; Introducing a security guard at the entrance to the building of the Kokand City Emergency Medical Service, located in the Yangiabad MFY, to prevent crimes related to bodily injury to doctors; Equipping commercial and service shops located on Movarounnahr Street with cameras; To stop involvement of the prevention inspector in activities not provided for in his duties, to eliminate bureaucratic obstacles in the implementation of his activities in the territory of the neighborhood; Control of persons with previous convictions, prone to committing crimes, explaining the inevitability of punishment for any crime; To strengthen cooperation between the prevention inspector and the organization in the placement of persons addicted to alcohol in the drug dispensary, to create relief; Compilation of a list of people who are especially minors and youths who are prone to drug addiction among the population, carrying out preventive work with them in cooperation with specialists; To study the activities of pharmacies selling drugs containing narcotic substances, to prevent the spread of "Tramadol" and "Lyrica" among young people. Increasing the initiative of community activists in sending drug addicts to compulsory treatment; To establish a permanent basis for consideration of any offenses and crimes related to drug addiction directly among the population at the meetings of the "Traveling Court"; Taking into account the multi-ethnicity of the population of this zone when organizing "Social prevention" activities; Carrying out victimological activities with a segment of the population that can become a victim¹ of a crime against a person's life and health (a single person living alone); Identifying divorced women who have fallen into a difficult socio-economic situation through housework, carrying out "necessary" preventive measures, providing social and psychological support; Formation of the principle "Crime should not be committed in my neighborhood" among the population, promotion of the principle of inevitability of punishment for any offense. Carrying out legal propaganda on the formation of the spirit of obeying and respecting the laws.
Great Silk Road shopping complex	Placing a fraud warning sign at the entrance to Navbahor and Farobi streets, paying attention to the neglected goods in every shop and stall, warning about sorting; Organization of propaganda activities on the prevention of fraudulent crimes in enterprises, organizations and educational institutions located in the region, among the population; Regulating the market stalls in the Great Silk Road shopping complex, creating conditions for monitoring during crowded times, equipping the stalls that are not equipped with cameras with cameras; To prevent the crime of becoming a crime victim by compiling a list of those engaged in money and material wealth smuggling (illegal currency exchangers, gold dealers, etc.) around the Great Silk Road trade complex; Organize control over a certain distance of the market on Tuesdays and Saturdays, when the population is crowded, from 9:00 to 17:00; Together with neighborhood, public representatives and activists, regularly warn the population about victimological prevention, create an environment of not neglecting the preservation of property;

¹ Victimhood is the characteristic of being a victim of criminal aggression under certain objective conditions due to certain qualities of a person (religious, physical and professional). Victimology prevention is the prevention of certain types of crimes by preventing the emergence of victimogenic vectors, using measures to eliminate or neutralize them, protecting potential victims of crime, and increasing their protection

	Ensuring the employment of the unemployed together with neighborhood public representatives and employment assistance agencies;
A.Navoiy district	Together with the prevention inspector and community representatives of the neighborhood, ensure that the activity of the "Public control center" is always in working condition; Organization of guard service in educational institutions, enterprises and organizations together with neighborhood representatives; Proper organization of night raids by the prevention inspector and assistant, provision of a tablet to facilitate the identification of persons surfing at night; Strengthen individual educational preventive work and control with persons who have been previously convicted of fraud crimes and are on preventive account; Determining general, special, individual and victimological preventive measures in their place, as well as clearly defining the sectoral services, public structures and state bodies to be cooperated in carrying out the measures; Working with the owners of commercial stores and motor vehicles in the region, carrying out permanent general preventive works, promotion and campaigning; Constantly determining the number of unemployed among the population, especially those with previous convictions, and making recommendations to the authorities regarding their employment, as well as taking measures to organize job fairs in cooperation with the neighborhood citizens' assembly; To warn citizens, entrepreneurs, company and enterprise managers about applying to law enforcement agencies in cases of encounter with fraudsters; To stop involvement of the prevention inspector in activities not provided for in his duties, to eliminate bureaucratic obstacles in the implementation of his activities in the territory of the neighborhood; To ensure the organization and implementation of relevant work involving specialists in the formation of the legal culture of the population; Taking into account the multi-ethnicity of the population of this hearth when organizing "Social prevention" activities;
Shaldiramoq district	In night clubs "Troy" and "No. 1" located on A. Temur street, strengthening social control, working with women who are divorced, morally corrupt, having romantic relations with foreign men, starting work to explain that the cases of moral corruption among young people do not lead to good. Prepare a list of those engaged in money and material wealth (illegal money changers, goldsmiths, etc.) around the Kokan farmer's market and prevent the crime of becoming a crime victim; To increase the legal literacy of the population, to carry out promotional activities on the resolution of disputes regarding property, housing, conflicts between neighbors, when one of the family members is incompetent, money and other material assets are stolen, and disputes in business activities are resolved within the framework of the law; Promotion of prevention of any violations and crimes against a person's life and health in Friday events conducted by imams; Development of a road map for controlling crime-prone streets based on the "Safe House" concept together with the prevention inspector and neighborhood community representatives; Constantly determining the number of unemployed among the population, especially those with previous convictions, and making recommendations to the authorities regarding their employment, as well as taking measures to organize job fairs in cooperation with the neighborhood citizens' assembly; To stop involvement of the prevention inspector in activities not provided for in his duties, to eliminate bureaucratic obstacles in the implementation of his activities in the territory of the neighborhood; To warn citizens, entrepreneurs, company and enterprise managers about applying to law enforcement agencies in cases of encounter with fraudsters; Establishing work to clarify that the cases of moral corruption do not lead to good among the population, especially among young people.

Davronbek MFY	2a, 4 high-rise buildings and drug dispensary for homeless people returned from the Penitentiary institution (PI) located on Burchlik street (Davronbek MFY); Send people who are prone to fighting after drinking alcohol to compulsory treatment, strengthen cooperation between the prevention inspector and the organization in placing them in a drug dispensary, and get rid of excessive paperwork; Identification and clarification of morally corrupt persons, persons who live alone, legally unmarried persons, persons living in hiding; Early detection of conflicts in family relationships (spouses, siblings, parents, children, husband-neighbors, relatives, etc.), and elimination of any identified conflicts; To ensure the organization and implementation of relevant work involving specialists in the formation of the legal culture of the population; Ensuring the employment of persons previously convicted of the crime of murder;

planned deployment, and development of more effective crime reduction measures will help.

Acknowledgements. The authors are grateful to the participants of the practical grant project of the Prospect Research Center on the topic "Let no one be loved and ignored" (2023-2024), as well as the Faculty of Geography and Geoinformation Systems of

the National University of Uzbekistan, who provided financial support, as well as statistical data. expresses its gratitude to the Department of Internal Affairs of Fergana Region, Department of Coordination of Internal Affairs of Kokand City, which provided information and directly helped in conducting social survey.

References

1. The Global Organized Crime Index 2023. <https://globalinitiative.net/analysis/ocindex-2023/>
2. Jayathilaka, T. Wijeratne, S. (2018). Examine the spatial and temporal pattern of crime incidence in an urban environment using geographical information systems. *The 39th Asian Conference on Remote Sensing 2018*. 112-120.
3. Socio-economic situation of the Republic of Uzbekistan (2023). Statistics Agency under the President of the Republic of Uzbekistan. Tashkent. 519. <https://stat.uz/uz/default/choraklik-natijalar/21516-2022#yanvar-dekabr>
4. It was taken from a video selector meeting in the city of Fergana on July 28, 2023, under the chairmanship of President Shavkat Mirziyoyev, regarding the priority tasks of preventing violations and fighting crime in the regions. Source: https://t.me/Press_Secretary_Uz/3239
5. Makhmudov Bakhodirjon Khakimjon o'g'li (2023). Types of Criminality and their Territorial Differences (in the example of Kokand City). *Nat Sci*, 21(5):1-6. ISSN 1545 0740(print); ISSN 2375-7167(online). doi: <https://doi.org/10.7537/marsnsj210523.01>
6. Harries, K. (1999) *Mapping Crime: Principle and Practice*. US Department of Justice, Washington DC: National Institute of Justice.
7. Eck, J., Chainey, S., Cameron, J., Leitner, M., & Wilson, R. (2005). *Mapping Crime: Understanding Hotspots*. U.S. Department of Justice, National Institute of Justice, Washington.
8. Nazarov M.I. (2006). Giyohvandlikni ijtimoiy hodisa sifatida tadqiq etishning ayrim geografik jihatlar. Tashkent, 183–184.
9. Gabiani, A.A. (1990). *On the edge of the abyss: drug addiction and drug addicts*. M.: Mysl.
10. Chainey, S.P. and Ratcliffe, J.H. (2005). *GIS and Crime Mapping*. London: John Wiley & Sons, Inc.
11. Chainey, S. P. (2021). *Understanding crime: Analyzing the geography of crime*. Esri Press.
12. Komilova, N., Latipov, N. (2022). Classification of settlements on the basis of the ecological situation in the Navoi region and the factors affecting the health of the population. *Visnyk of V. N. Karazin Kharkiv National University, series "Geology. Geography. Ecology"*, (56), 209-213. <https://doi.org/10.26565/2410-7360-2022-56-15>
13. Karshibaevna, K. N., Kahramonovna, Z. D., & Normurod Faxriddino'g'li, L. (2022). Some problems with creating a medical-geographical atlas map of Uzbekistan. *International Journal of Early Childhood Special Education (INT-JECSE)*, 14, 02. doi: <https://doi.org/10.9756/int-jecse/v14i2.656>
14. Abdumajidov F.A and Q.R.Abdurasulova etc. (2003). *Yuridik atamalar qomusiy lug'ati*. Tashkent: Sharq.
15. Dáire McGill (2017). Different Violence, Different Justice? Taking Structural Violence Seriously in Post-Conflict and Transitional Justice Processes. *State Crime Journal*. 6(1): 79-101. DOI: <https://doi.org/10.13169/statecrime.6.1.0079>
16. Neve Gordon and Penny Green (2021). State Crime, Structural Violence and COVID-19. *State Crime Journal*. 10(1):4-15. DOI: <https://doi.org/10.13169/statecrime.10.1.0004>
17. Long, Dongping and Xu, Ming'en and Liu, Lin (2023). Spatio-temporal evolution and regional types of China's sales-based counterfeit drug crimes. *Progress in Geography*, 42 (5), 944–959. doi: <https://doi.org/10.18306/dlkxjz.2023.05.009>
18. Christophe, V and Wim, B.(2017). The geography of crime and crime control. *Applied Geography*. 86, 220-225. doi: <https://doi.org/10.1016/j.apgeog.2017.08.012>
19. Zhe Li, Tianfan Zhang, Xiao Jing, Youning Wang (2021). Facial expression-based analysis on emotion correlations, hotspots, and potential occurrence of urban crimes. *Alexandria Engineering Journal*, 60 (1), 1411-1420. doi: <https://doi.org/10.1016/j.aej.2020.10.061>

20. Quesada-Ruiz L.C., García-Romero L., Ferrer-Valero N. (2023). Mapping environmental crime to characterize human impacts on islands: an applied and methodological research in Canary Islands. *Journal of Environmental Management*. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2023.118959>

Authors Contribution: All authors have contributed equally to this work

Вивчення злочинності в місті Коканд з використанням ГІС-технологій та соціологічних анкет

Нілуфар Комілова¹

д. геогр. н., професор кафедри економічної та соціальної географії,

¹ Національний університет Узбекистану імені Мірзо Улугбека,
вул. Університет Кочасі, 4; м. Ташкент, 100174, Республіка Узбекистан;

Баходір Махмудов¹

аспірант кафедри економічної та соціальної географії;

Нормурод Латипов¹

аспірант кафедри економічної та соціальної географії

Відомо, що вплив демографічних, соціально-економічних умов регіону на злочинну діяльність є значним. У цьому місці дослідження типів злочинності, характерних для міст з різними функціями, та виявлення гарячих точок активізації злочинної діяльності в межах міста ще більше збагатять наукові та практичні аспекти географії злочинності. Використання геоінформаційних систем для реалізації цих завдань є актуальним питанням, яке сьогодні стоїть на порядку денному. Сьогодні в більшості розвинутих країн ГІС широко використовуються для виявлення поширених злочинних територій та організації профілактичних заходів з попередження злочинності. Дослідження з цього приводу в Республіці Узбекистан майже не розвинені. У цьому дослідженні крадіжки та злочини, пов'язані з наркотиками, вчинені в місті Коканд Ферганської області, були досліджені за допомогою методу аналізу Hot Spot програми Arc GIS (версія 10.8). За допомогою соціологічних опитувань (з інспекторами превенції) вивчено проблеми протидії злочинності у виявлених осередках крадіжок та наркозлочинності та розроблено план заходів щодо протидії правопорушенням. Розглянуто показники рівня злочинності в невеликих адміністративних районах Коканда Ферганської області. Окрім типів злочинів, які найчастіше вчиняються у великих соціальних інфраструктурах (наприклад, ринки, парки, громадські місця), та їх специфічних характеристик, ми також обговорили рівні цих видів злочинів відповідно до віку, статі та чисельності населення. Аналіз гарячих точок полягає у виявленні осередків злочинності на території та розробці на основі цього пропозицій і рекомендацій. По-перше, ця технологія ефективна для виявлення тенденцій злочинності, організації профілактичних заходів, планування стратегій запобігання злочинності та підвищення громадської безпеки. По-друге, ГІС адаптовано для обробки даних, картографування та просторового аналізу, що підвищує ефективність аналізу злочинності та швидко створює якісну карту аналізу злочинності. По-третє, результати цієї технології сприятимуть оптимізації розподілу правоохоронців, правильній та плановій дислокації та розробці більш ефективних заходів боротьби зі злочинністю.

Ключові слова: картографування злочинності, географія злочинності, ГІС, аналіз гарячих точок, просторова автокореляція, місто Коканд.

Внесок авторів: всі автори зробили рівний внесок у цю роботу

Надійшла 19 жовтня 2023 р.
Прийнята 27 листопада 2023 р.

The performance of the digital city projects in urban studies of the megalopolises (the case studies of Kharkiv and Dnipro cities)

*Sergiy Kostrikov*¹

DSc (Geography), Professor, Kostyantyn Niemets Department of Human Geography and Regional Studies,
¹ V. N. Karazin Kharkiv National University, 4 Svobody Sq., Kharkiv, 61022, Ukraine,
e-mail: sergiy.kostrikov@karazin.ua,  <https://orcid.org/0000-0002-4236-8474>;

*Kateryna Kravchenko*¹

PhD (Geography), Associate Professor, Kostyantyn Niemets Department
of Human Geography and Regional Studies,
e-mail: skateryna.kravchenko@karazin.ua,  <https://orcid.org/0000-0003-4654-3185>;

*Denys Serohin*¹

PhD student, Kostyantyn Niemets Department of Human Geography and Regional Studies,
e-mail: den.seryogin@gmail.com,  <https://orcid.org/0000-0002-0169-4468>;

*Sofiia Bilianska*¹

MSc student, Kostyantyn Niemets Department of Human Geography and Regional Studies,
e-mail: sofiia.bilianska@gmail.com,  <https://orcid.org/0009-0000-2007-7636>;

*Anastasia Savchenko*¹

BSc student, Kostyantyn Niemets Department of Human Geography and Regional Studies,
e-mail: nas080392@gmail.com,  <https://orcid.org/0009-0004-9862-6454>

ABSTRACT

Introduction of the research problem. Urbanization drives Digital City Projects (DCPs) to create smarter urban environments using advanced technologies. DCPs aim to make cities more connected and responsive, adapting to changing needs. The **objective** of this paper is to evaluate the performance of DCPs in megalopolises, focusing on Kharkiv and Dnipro in Ukraine.

The previous works done. The various literature sources demonstrate the rise of Digital Cities stemming from Smart Cities. Kharkiv and Dnipro in Ukraine exemplify digitalization's role amid Russian aggression.

Exposition of the main research material. *The performance of the theoretical urbogeosystemic approach and its UOM in the provision of practical Digital City projects.* This subsection delves into the practical application of the urbogeosystemic approach and its Urban Ontological Model (UOM) in DCPs. The UOM guides urban studies by defining components and relationships. Implementing DCPs begins with building simulation models using LiDAR data.

Case Study First - Kharkiv: A feasible perspective of a full-format DCP implementation. This subsection discusses implementing a DCP in Kharkiv, emphasizing data integration from *OpenStreetMap (OSM)* and LiDAR. The authors propose that a DCP should serve as a comprehensive model of a real city, encompassing all its structural elements and key objects, going beyond the capabilities of a typical GIS project. Possible user's scenarios include energy consumption analysis, population estimation, and visibility gradients assessment. The subsection highlights the comprehensive DCP approach with LiDAR data processing software (*iQ City CCM*) and urban geosituational analysis.

Case Study Second - Kharkiv: a perspective of geomarketing within the "Digital Kharkiv" project as a routine GIS one. This subsection delves into the integration of geomarketing into the "Digital Kharkiv" project. Geomarketing plays a pivotal role in mapping socioeconomic elements tied to market interactions. "Digital Kharkiv," primarily sourced from *OSM* data, is lauded for its versatility in urban studies during peacetime and war. The text urges exploration of geomarketing within "Digital Kharkiv" in the context of post-Russian aggression rehabilitation, particularly in optimizing humanitarian object placements. Changes in geomarketing potential pre- and post-invasion in various city districts have been analyzed, highlighting areas with stagnation and those witnessing growth due to population resettlement.

Case Study Third - Dnipro: implementation of a typical GIS-project for analyzing provision of the city population with public transportation infrastructural networks. This subsection discusses the implementation of the "Digital Dnipro" project as part of the DCP framework. The project focuses on analyzing the provision of public transportation networks in the city of Dnipro. It utilizes data from *OSM* to create a virtual model of the city, which includes attribute information for urban objects. This subsection also highlights the impact of war on urban planning and the need for sustainable updates to adapt to changing conditions.

Conclusion. This section summarizes the key findings and takeaways from the research on DCPs in Ukrainian cities like Kharkiv and Dnipro. It highlights the importance of an urbogeosystemic approach in implementing DCPs effectively. The study emphasizes the flexibility and efficiency of the relevant GIS tools in urban research and transformation.

Keywords: "Digital City" project, urbogeosystem ontological model, urbanistic environment, global coverage maps, interface and functionality of desktop software, user's cases of application, typical (routine) GIS-project, web tools.

In cites: Kostrikov Sergiy, Kravchenko Kateryna, Serohin Denys, Bilianska Sofiia, Savchenko Anastasia (2023). The performance of the digital city projects in urban studies of the megalopolises (the case studies of Kharkiv and Dnipro cities). *Visnyk of V. N. Karazin Kharkiv National University, series "Geology. Geography. Ecology"*, (59), 140-165. <https://doi.org/10.26565/2410-7360-2023-59-11>

Introduction to the research problem. Continuing rapid urbanization of the twenty first century has ushered in a period of time, where cities are at the forefront of global transformation. For the time

being, more than half of the world's population resides in urban areas, and this trend is expected to intensify in the coming decades [1]. The modern cityscape is characterized by its complexity, dynamism, and the ever-increasing challenges posed by issues such as congestion, pollution, resource scarcity, and social inequality. In response to these challenges, cities around the world have embarked on a transformative journey, seeking to harness the power of digital technologies to create smarter, more sustainable, and efficient urban environments. This can be provided through so called *Digital City Projects* (DCP) [2-9].

According to general understanding, DCPs are designed to create various digital models of smart cities that are more efficient, sustainable, and livable. Such projects after reaching their ultimate state can represent usage of a number of advanced technologies such as the Internet of Things (IoT), big data analytics, and artificial intelligence to improve urban services and infrastructure. These projects aim to create a more connected and responsive urban environment that can adapt to changing needs and demands. The key dominant feature of the DCP subject, a digital city itself, is that this entity is a complex system associated with particular social, economic, ecological, and demographic urban conditions and changes [10]. The general frameworks for any solution in Urban Studies that is expected to be made on the DCP-basis include building real-time connectivity between non-physical (virtual) and physical objects titled as *a dynamic digital twin* [9,10].

We have already attempted to prove in our quite a few previous publications, that the introduced in it the urbogeosystemic research approach implemented within the Urban Remote Sensing (URS) frameworks can hardly be overvalued in a perspective of the contemporary urban studies [11-13].

In 2003, the First Earth Observation Summit issued a declaration to establish the ad hoc international Group on Earth Observation (ad hoc GEO). The GEO plan introduced the concept of the Global Earth Observation System of Systems (GEOSS) and delineated nine areas of its societal benefits [14]. Subsequently, numerous publications have contributed to the GEO Strategic Plan, with a notable example being a book on remote sensing for sustainability [15].

Since 2016, GEO has initiated the "Global Urban Observation and Information" Initiative, which sets forth six main objectives to be achieved by 2025 [16]. The distinctive characteristics of contemporary urban development have posed several challenges that demand innovative technological advancements in urban studies. These challenges and innovations can be summarized like follows:

- With the rapid evolution and transformation of the urbanization process, the study of urban systems has become increasingly intricate.

- The proliferation of cities and the rapid expansion of urban territories, particularly in developing nations, present significant challenges.

- Regions experiencing rapid urbanization with extensive construction projects are on the rise.

- The need for precise terrain models for urban planning and related spatial data processing is evident.

- The requirement for effective automated building surveys to assess the quantity and quality of architectural changes over time is recognized as an essential aspect of urban monitoring.

- Regular and precise environmental surveys of key cities in regions with extensive remote sensing data analysis are indispensable.

The advanced methodological concept of the *Digital City* has emerged as a pivotal component of this urban transformation briefly introduced above. Digital Cities are those entities that employ advanced technologies and data-driven solutions to enhance various aspects of urban life, including transportation, healthcare, education, governance, and public services [17]. These cities leverage information and communication technologies (ICTs) to optimize resource allocation, improve decision-making processes, and enhance citizen engagement. By doing so, they aspire to create urban environments that are more livable, economically vibrant, and environmentally sustainable [18].

As it has followed from all stated above, the implementation of Digital City initiatives is not limited to a particular geographic region; it may become a global phenomenon. In the context of *megapolises* – large, interconnected urban regions typically characterized by a high population density and economic activity – the adoption of digital technologies becomes even significantly more critical due to the scale and complexity of urban challenges [1]. Megapolises often serve as economic engines, cultural hubs, and centers of innovation, but they also face unique challenges related to infrastructure development, resource management, and social integration. These challenges are normally absent in other urban areas, which are of smaller scale.

The main **research objective** of our paper is to estimate, while basing on our urbogeosystemic approach's latest updates, the performance of some Digital City projects in the urban studies of megapolises, with a specific focus on the cities of Kharkiv and Dnipro in Ukraine. Before the war both Kharkiv and Dnipro represented prominent urban centers within the country's eastern region and had been actively pursuing digitalization initiatives as part of their urban development strategies. The horrific events caused by the Russian aggression altered everything to the worse. Nonetheless, by conducting few detailed case studies of these cities, we aim to shed

light on the impact, challenges, and opportunities associated with Digital City projects in these megalopolises in the post-war period of their rehabilitation.

The previous works done. While overviews of the existing background of the selected research topic, we simply can't avoid to delineate in it the following constituents: 1) *the rise of Digital Cities* as some branched version of the Smart Cities category; 2) accumulating *Challenges in Megalopolises*; 3) at least briefly *the Ukrainian Context* should be taken into account.

The rise of Digital Cities. The emergence of Digital Cities can be traced back to the mentioned broader concept of *Smart Cities*, which gained momentum in the early 21st century, and it also was a subject of our particular research within the frameworks of the multifunctional approach, which combined our urbogeosystem (UGS) theory with the URS technique for LiDAR (Light Detection And Ranging) data processing. [19].

Smart cities leverage data and technology to enhance the quality of life for their residents while promoting sustainability and economic growth. Digital technologies such as IoT, AI, data mining, and blockchain have played pivotal roles in enabling smart city solutions [20-22]. The realm of Smart Cities, which accepts it as a complete synonym of a Digital City category, has seen a surge in publications in recent years, resulting in the challenge of selecting essential core elements amidst a plethora of definitions. Notably, innovation emerges as a prominent key element within this approach [23]. The key components of this comprehensive review of Smart Cities' definitions encompass various facets:

- "A city well-performing in a forward-looking way..." [24, P. 8];
- "A city that monitors and integrates conditions of all of its critical infrastructures" [25];
- "Connecting the physical infrastructure, the IT infrastructure, the social infrastructure, and the business infrastructure to leverage the collective intelligence of the city" [26];
- "Combining ICT and Web 2.0 technology with other organizational, design, and planning efforts to identify new, innovative solutions to city management complexity, in order to improve sustainability and livability" [27];
- "The use of Smart Computing technologies to make the critical infrastructure components and services of a city more intelligent, interconnected, and efficient" [28].

The Digital City category actually extends the principles of smart cities by placing a strong emphasis on the integration of ICTs across various urban domains, exactly as it underlines meaning of *the spatial extent*. These initiatives seek to create a seamless and interconnected *urban ecosystem* where data

flows freely between different sectors, enabling real-time monitoring, analysis, and decision-making. The ultimate goal is to improve the efficiency of urban services, enhance urban governance, and empower citizens to actively participate in shaping their cities [29, 30].

Accumulating Challenges in Megalopolises. Megalopolises have been often referred to as "urban corridors" or "super-cities," are unique in their spatial and demographic characteristics [31]. They are characterized by extensive urban sprawl, high population densities, and a complex web of economic, social, and environmental interdependencies. While megalopolises offer unparalleled opportunities for economic growth and cultural exchange, they also face significant challenges related to infrastructure, transportation, housing, and social cohesion [32]. The Digital City projects in megalopolises must navigate these complexities. They must address the specific needs and dynamics of these densely populated urban regions while striving to achieve the overarching goals of sustainability, resilience, and inclusivity [8, 33]. Understanding the performance of such initiatives in megalopolises is crucial for policymakers, urban planners, and researchers seeking to develop effective strategies for the digital transformation of urban territories [34].

The Ukrainian Context. Ukraine – our country at the crossroads of Eastern Europe, has been undergoing a profound transformation since gaining independence in 1991. Its urban centers, including Kharkiv and Dnipro, have played pivotal roles in this transformation. These cities have not been only economic and industrial hubs, but also centers of culture, education, and innovation. In recent years, Ukraine has recognized the importance of digitalization as a key driver of economic growth and social development. The government has initiated various programs and policies aimed at promoting the digital transformation of cities. Kharkiv and Dnipro have been at the forefront of these efforts, implementing Digital City projects that encompass a wide range of urban domains, from transportation and healthcare to e-governance and public safety. All mentioned positive changes and innovations have been implemented until the Russian aggression ruined very much and threw us back in time for the decades. Nonetheless, taking into account the perspectives of the post-war rehabilitation, it would be reasonable to mention and implement in this current research at least those our own developments and conclusions, which had a strong regional aspect and referred to urban digitalization: 1) estimation of the local commuting in Kharkiv region [35]; 2) provision of a GIS-project though some testing parcels in Kharkiv [11], 3) establishing the strong theoretical background as the urbogeosystemic approach (UA) to the Smart City

concept implementation with the URS [36]; 4) a delineation of *geographical situations* in the urban environments of selected cities, including Kharkiv [37].

At its core, UA is a comprehensive framework that conceptualizes cities as dynamic, interconnected systems and recognizes that modern cities are complex, multifaceted entities influenced by a multitude of factors, from environmental conditions to socioeconomic dynamics [11-13]. An urbogeosystem sees urban environments as living organisms, where every element, whether natural or artificial, plays a role in shaping this city identity.

Exposition of the main research material. The performance of the theoretical urbogeosystemic approach and its UOM in the provision of practical Digital City projects. While mentioning the Smart City concept above, we meant, that it has gained prominence in recent years, which was driven by the need for sustainable urban development and efficient

resource management. In our previously completed attempts we outlined that the central issue of this concept is notion of an "ontological model of the urban geographical system" (UOM) (Fig. 1), which would serve as the linchpin connecting various aspects of a Smart City [36].

We have proved in the relevant implementations of the urban environment digitalization, that such ontological model would not be merely a theoretical construct, but a practical framework that underpins the development of a Digital City Project [11, 13, 37].

The UA, while a powerful theoretical construct, finds its practical manifestation in the UOM. This model is already mentioned linchpin that translates UA principles into actionable plans for both regional, and local Digital City Projects. It does so by defining the key components and relationships within a Smart City, providing a structured roadmap for urban planners and policymakers.

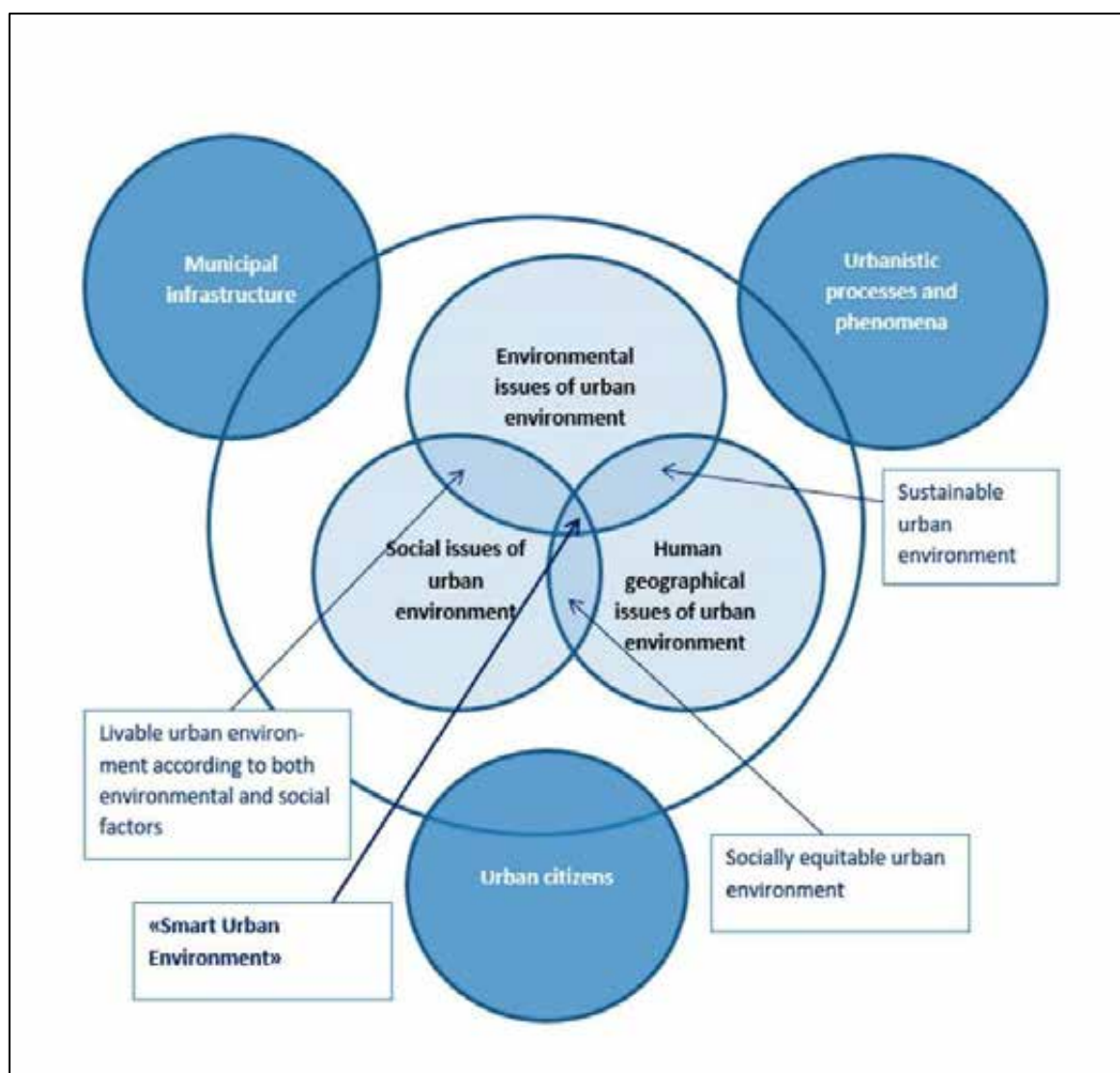


Fig.1. The structure and content of an ontological model of the urban geographical system [36, P. 106]

We conceived of the UOM as a kind of trinity tripod that draws strength from and fosters intercom-

nections among all three of this model constituents: urban citizens, municipal infrastructure, and urbanis-

tic processes and phenomena. Together, these components enable the sustainable operation of a city, which can be evaluated as "smart operating" based on various existing criteria. Furthermore, the UOM aids in defining the core aspect of the Smart City concept within its geospatial perspective—the position of the "smart urban environment" in the broader hierarchy of environments related to a Smart City [36].

The basic modeling structure shown on the illustration above models aligns with the "cities as systems of systems" theory, positing that an urban entity branched into three levels (macro-, meso-, and micro-) comprises multiple subsystems [38]. The practical implementation of the DCP can commence by creating a simulation model for a selected city. This simulation model draws from urban remote sensing data in general [39], or LiDAR (Light Detection and Ranging) surveying results in particular [40], as well as the constituents of the global map coverages like *Open Street Map* can be involved together with broad range of remote sensing data [41, 42]. Once a computer model of the city is generated as a digital city project, preferably adhering to 3D City GML standards, the structure of the conceptual UOM of an urbogeosystem, as illustrated above, serves as the optimal architectural design for this Digital City simulation. If the "smart urban environment" occupies a central role in this targeted UGS construction, numerous technological, environmental, and socio-geographical solutions, made on the path to DCP implementation, should align with the hierarchy outlined in this UOM (Fig. 1). The UOM is that key, which translates UA principles into actionable plans for Digital City Projects. It does so by defining the mandatory components and relationships within a Smart City, providing a structured roadmap for urban planners and policymakers.

Key tenets of the UA / UOM application for the practical Digital City projects:

- *Holistic planning:* Digital City projects benefit from a holistic planning approach inspired by the UA/UOM. By considering the interconnectedness of urban systems, planners can make informed decisions that maximize efficiency and sustainability. The UA / UOM unity, with its component analysis, ensures that no facet of the city is overlooked;

- *Data-driven decision-making:* The UA /UOM's emphasis on intelligence aligns with the data-centric nature of DCPs. The UA / UOM helps structure data collection and analysis efforts, enabling evidence-based decision-making. This is particularly crucial in optimizing resource allocation and enhancing urban services;

- *Citizen-centric solutions:* engaging urban citizens in DCPs is a core UA / UOM principle. The UA / UOM unity facilitates the creation of digital platforms and interfaces that empower residents to

provide input, access information, and participate in the governance of their city. This democratization of urban planning enhances the project's practicality and acceptance;

- *Infrastructure integration:* The UA / UOM guides the integration of various urban infrastructure components, ensuring that they work harmoniously to support the smart urban environment. This not only improves operational efficiency, but also enhances the overall quality of life for city dwellers;

- *Sustainability and resilience:* Sustainability, as a key tenet of the UA / UOM, is woven into the fabric of Digital City projects guided by the urbogeosystemic model. These initiatives prioritize renewable energy, efficient resource use, and environmentally friendly practices. Moreover, they incorporate resilience strategies to withstand unexpected environmental and social challenges, such as natural disasters, or pandemics, as well as hostilities.

Case Study First - Kharkiv: A feasible perspective of a full-format DCP implementation. Populating the Digital City project with data from Open Street Map. This perspective can be implemented in a real Digital City project, basing on the methodology introduced in the previous section of this paper as well as taking into account some other our developments. While representing a unity of UA / UOM, we actually attempted to establish a background, according to which a digital city may be a formalized model of a real city, encompassing all its structural elements and key objects that can be represented in a GIS as a collection of 2D and 3D primitives. Essentially, a digital city can be more, than a typical GIS project, where various layers describing specific spatial objects within a particular city are not only loaded and organized, but affiliated with the Building Information Models (BIMs), in this way reaching the state of CIM – City Information Models [43]. Nonetheless, if we possess only a "routine GIS project" for a city in our disposal, we should accept, that fundamental layers of a digital city include boundaries of districts/census tracts, roads, public transportation lines, essential natural features, and land use types – all this would correspond to the *Municipal Infrastructure* block of the UOM (Fig. 1). Additionally, depending on the specific research context, supplementary features such as residential buildings, hospitals, fire stations, service facilities, industrial and recreational facilities, parking lots, subway stations, key traffic pathways of peoples and gods, and more other ones can be also loaded into a DCP, but already with respect to the *Urbanistic processes and phenomena* block of the UOM (Fig. 1). In other words, these can be any vector objects with a spatial reference and the attributes within a specific extent of the geographical space, what strongly corresponds to the urbogeosystem theory [11, 13, 19].

Because of the capability of the full-format GIS platforms to be connected to online spatial data repositories, the users no longer need to load all available data covering the studied city into a DCP. It is sufficient to load only immutable base layers and a set of situational layers that may be required to study specific urban processes and phenomena [36]. Obtaining such layers for a digital city can be accomplished using specialized tools for querying the opened databases. An example of such a tool could be the web-based tool called *Overpass Turbo*, which allows users to filter and download any available data from the *OpenStreetMap* (OSM) global maps for any territory through special API queries and export them in *.GeoJSON* format, which can be read by a GIS platform [44]. In a similar way, even innovative databases of open-source benchmark datasets can be generated, as a given example of power distribution network modeling [45] or straightforward converting OSM data into land cover / land use maps [46].

Through *Overpass turbo*, a user can make queries to specific urban objects in a given city and, if necessary, filter them as be based on specific attribute characteristics. The ease of interacting with the database is facilitated by the convenient organization and systematization of spatial data in the *OpenStreetMap* coverage. All spatial objects have a set of tags (attributes) that describe the object's classification. Tags are represented as *key-value pairs*, which provide descriptions for each individual object. For example, a pair like "*landuse: commercial*" describes a commercial land use object. Tags in *OpenStreetMap* are generally standardized and categorize objects into specific classes, which are common for all objects associated with a shared tag. For instance, objects with the 'highway' tag may be categorized into primary, secondary, tertiary, motorway, trunk, residential, and so on.

With knowledge of the tags employed to describe the objects of interest in *OpenStreetMap* and the categories, into which they are divided through *key-value pairs*, we can use *Overpass turbo* to download any objects by constructing a simple query using *Overpass QL*, a specialized query language of this global map coverage. To simplify this task, *Overpass turbo* provides a *Query Wizard* tool, where you only need to input a correct expression using *key-value pairs* and standard auxiliary operators such as '=', 'is', 'in', 'or', 'not', 'and', etc. The tool will automatically generate the correct query according to the expression and load all the specified data into an interactive map window, which can then be exported in *GeoJSON* format.

Further we attempt to go through a clear sequence of steps for downloading necessary data from *OpenStreetMap* using *Overpass turbo* for the purposes of building a full-format DCP for Kharkiv and

gathering specific objects as examples of this project completion. We have composed the following chart and apply to it further as to a strategic scheme, which implements the UOM presented above within some particular segment of a DCP completion – its data aggregation by *Overpass Turbo* (Fig. 2).

Suppose, while aggregating a DCP, we need to download a *point layer of hospitals* in the city of Kharkiv. To do this, the following steps should be provided according to Fig 2.

Firstly, we need to find out the tag that can be used to filter hospitals. To do this, a user can go to the *openstreetmap.org* map and use the *Query Features* tool to click on a hospital within the city boundaries of Kharkiv. After this action, a side panel will open on the current page, listing all objects within the selected area. Among these objects, a user needs to find and select a required point feature – that hospital (Fig. 3). Then, a table with all tags related to the selected object will appear on the side panel in this web-interface. It is possible to use these tags to make a query to the database through *Overpass turbo* to download into a DCP this spatial feature immediately. However, since it is necessary to download all hospitals in the city, we need to choose a generalized tag from the presented tags for all hospital objects. In this case, it can be the '*building*' tag with a value of 'hospital'. With this information, a user can now formulate a query by *Overpass turbo*.

Secondly, to construct a query to the spatial database, on the *Overpass Turbo* page, a user needs to click the *Wizard* tool. Next, in the *Query Wizard* window, based on the available information, a user has to enter the following expression: '*building=hospital in Kharkiv*' (Fig. 2). This query will retrieve all spatial features with the tag '*building: hospital*' within the city of Kharkiv, i.e., all the hospitals in this urban area within the official boundaries of the city. Then, a user can immediately click the "*build and run query*" button, after which, after some time, all the relevant features that were queried will be displayed on the map.

Thirdly, to download the selected features to user's local computer, in the *Overpass Turbo* window, a user needs to click on the *Export* button, and in the window that appears, it will be necessary to click *download* next to the corresponding spatial data format in the drop-down list, for example, *GeoJSON*. As a result, the requested data will be downloaded to your computer.

Fourthly, the final step in populating the digital city's model with the data is to directly add the downloaded features to the existing DCP (Fig. 3). In addition to spatial location, the downloaded hospital features may also contain a range of proficient attribute information entered in *OpenStreetMap*. If necessary, the added features can be further reprojected, sorted, and filtered depending on the specific project require-

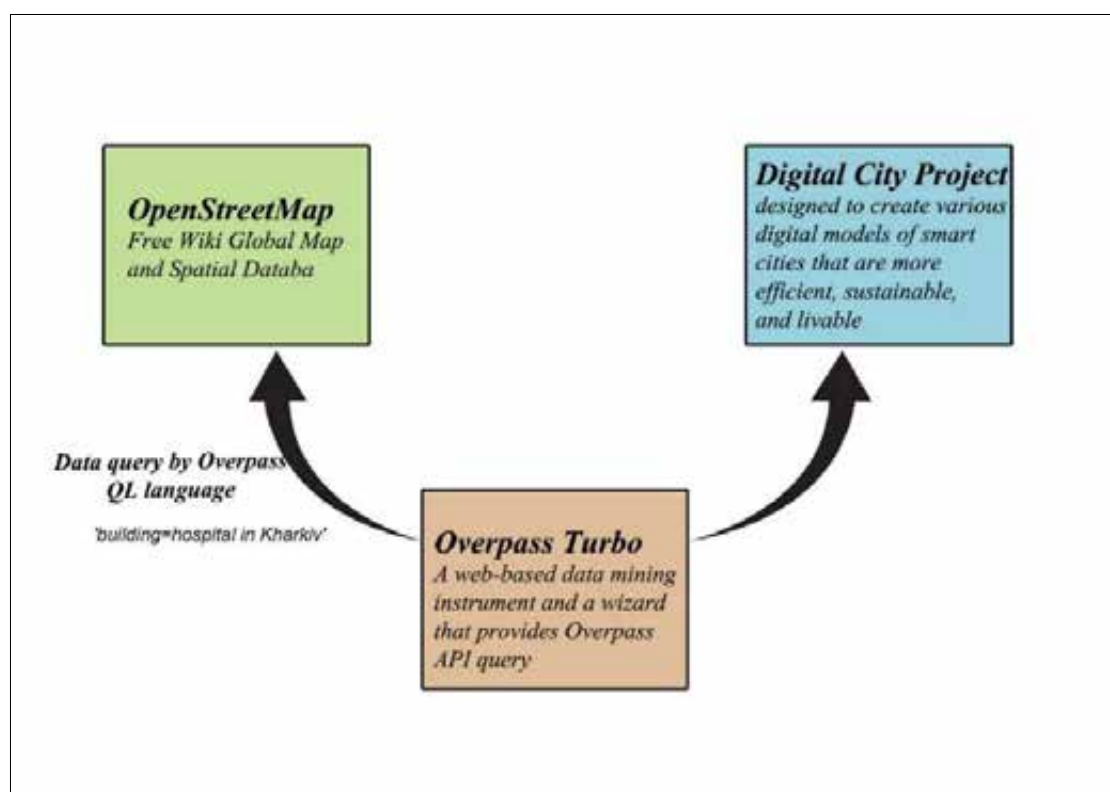


Fig. 2. The aggregation of a Digital City project from the OSM data sources by applying *Overpass Turbo*

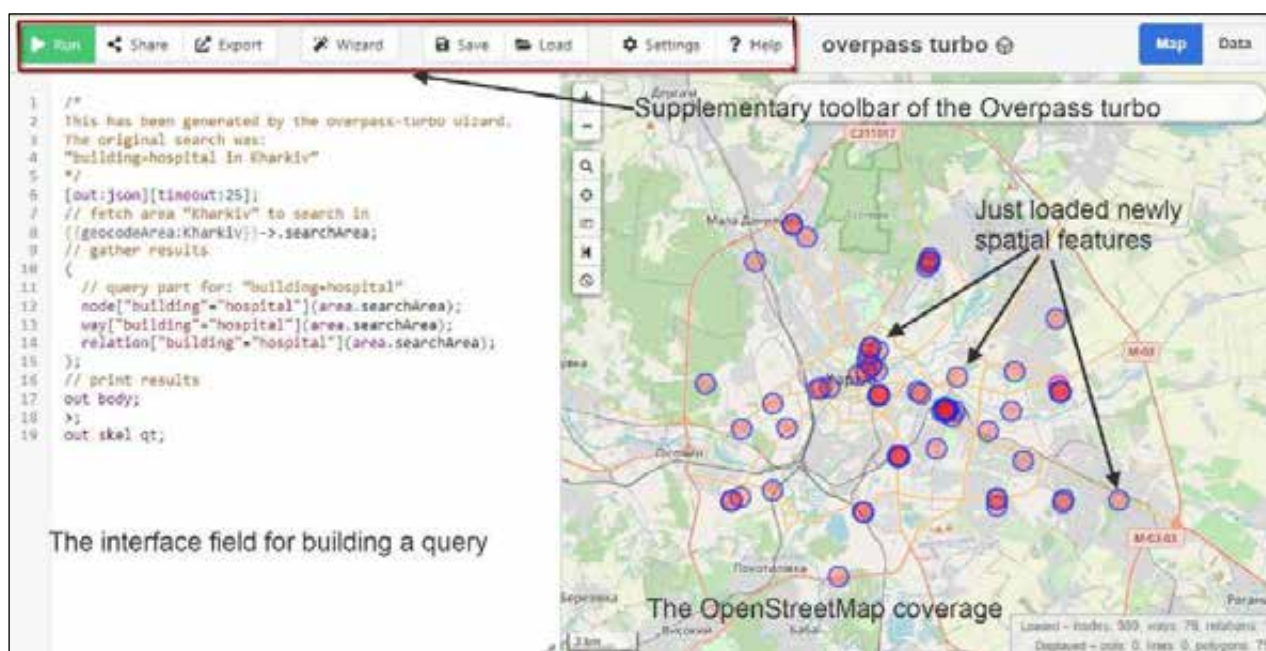


Fig. 3. The *Overpass Turbo* interface, while aggregating a Digital City project of Kharkiv: creating a feature layer of hospitals

ments.

Similarly, using the described above procedures, a user can download any spatial features affiliated with a given urban territory, and which are available in *OpenStreetMap*, thereby shaping this DCP. For more convenient use of the project, its layers can also be organized and categorized in a certain way (e.g., public transportation lines, service facilities, energy facilities, etc.) by the selected GIS platform.

OpenStreetMap is just one of many sources of spatial data for creating a digital city. To populate the project with data, you can use GIS tools such as address geocoding, digitizing satellite images, aligning global coverage maps, importing CSV tables containing object coordinates, and many others. Additionally, spatial data of various origins can be loaded into the digital city, which can be reformatted and combined with existing base layers [12]. For example,

information about building geometries (sizes, heights, shapes, etc.) obtained from LiDAR surveys can be vectorized and loaded into the project.

Aggregating a DCP by LiDAR data processing.

First of all, at this benchmark of our text it is necessary to make one step back to the Digital City project's ultimate goals, and update them according to Lidar technique of Urban Remote Sensing involvement.

We accept that the *urban digitalization* can be provided by a specially elaborated formalizing technique for describing a set of physical, social, and legal infrastructures, that can be *simulated by a Digital City project* referred to above. That both modeling, and modeled project is a tool available for both city residents, and its municipality for the aims of efficient governance that transform a city into an intelligent one. It is *the main ultimate goal* of this DCP.

The second goal is to elaborate *key robust indicators* for evaluation of the DCP performance due to ensuring the efficiency of a given municipality, urban services, and a quality of city residents' life. According to this the project of digital city must provide efficient planning and predicting for "what-if" scenarios in: urban economy, environment, and energy; emergency response, recreation, safety, sanitation and solid waste disposal; telecommunication and transportation.

The third ultimate goal is to include into the DCP those urban components that represent *the information technologies and telecommunications (IT&C)*, what allows not only to use effectively infrastructure, but also to provide stronger integration of all dimensions of a smart / digital city.

The fourth goal, which actually has to be achieved as the first one in a temporal perspective, is to simulate by LiDAR data processing the common building types, their formation, and changes as the various set of models: the basic building models (a "box" model), parametrized models, prismatic models, low-polyhedral models (LPM), and high polyhedral models (HPM) [47].

LiDAR data and derivative results of their processing can significantly expand the possibilities of the DCP in addressing numerous tasks of Urban Studies. Basing on LiDAR data, it is possible to create a simulation model of an urban environment consisting of discrete models of city expansion within its development. Such a model can serve as the foundational layer of the Digital City project, to which other data obtained from various data collection sources can be integrated by entering them into corresponding attribute tables or by creating separate layers of these data in the appropriate geographic projection.

An important aspect of involving LiDAR data into building a DCP is the ability to automate this project features' classification. As a result, objects within

the city, identified during LiDAR surveying, can be categorized into specific thematic classes, such as buildings, various types of trees, and elements of infrastructural networks. This property of LiDAR data enables digitization and inventory of all static urban features that would be subject to LiDAR surveying in a given real city [48-50]. Each feature can be assigned a unique identifier and a specific tag linking it to other features of the same type.

The most appropriate usage of LiDAR data in the Digital City project is the visualization of building models in the form of generalized, low-polygon models in the *CityGML* format. *LOD1* (Level of Detail) and *LOD2* are optimal levels of detail for such models. These models convey all the essential characteristics of buildings necessary for performing basic GIS operations while imposing a relatively low computational burden compared to more complicated and detailed models. From *LOD1* models, information about building height, approximate volume, as well as a general understanding of urban density and vertical planning can be obtained. *LOD2* models can significantly refine the mentioned characteristics and facilitate the identification of building types.

Based on the properties of buildings extracted from *CityGML* models, reproduced by the software, in which development two of the authors participated, and these models correlated with additional attribute data, the DCP for Kharkiv can implement the following various user's scenarios [12, 37, 51] (Fig. 4, *A-C*).

We mean, first of all, already elaborated and partially implemented user's scenarios: assessing building energy consumption with a volume of consumed energy per a building (Fig. 4, *A*), estimating the population distribution by an inhabitants' number per building (Fig. 4, *B*), and analyzing the visibility gradient in the urban space (Fig. 4, *C*).

All these scenarios employ the information about building geometries obtained from LiDAR data. E.g., population estimation assumes an approximate correlation between the volume of residential buildings and the expected number of inhabitants. Energy consumption estimation involves a similar correlation but with the energy consumption level of a given building, further calibrated with the information about a building age and the number of floors. In the visibility analysis, the processed LiDAR data provide a model of a given extent of urban environment, allowing the calculation of the visible volume of urban space from a given observation point.

The information generated through the implementation of these user's cases is not only a valuable outcome of urban studies, but also serves as highly valuable input for solving various other tasks of GIS-analysis within a project of the digital city using additional data layers from different sources. For exam-

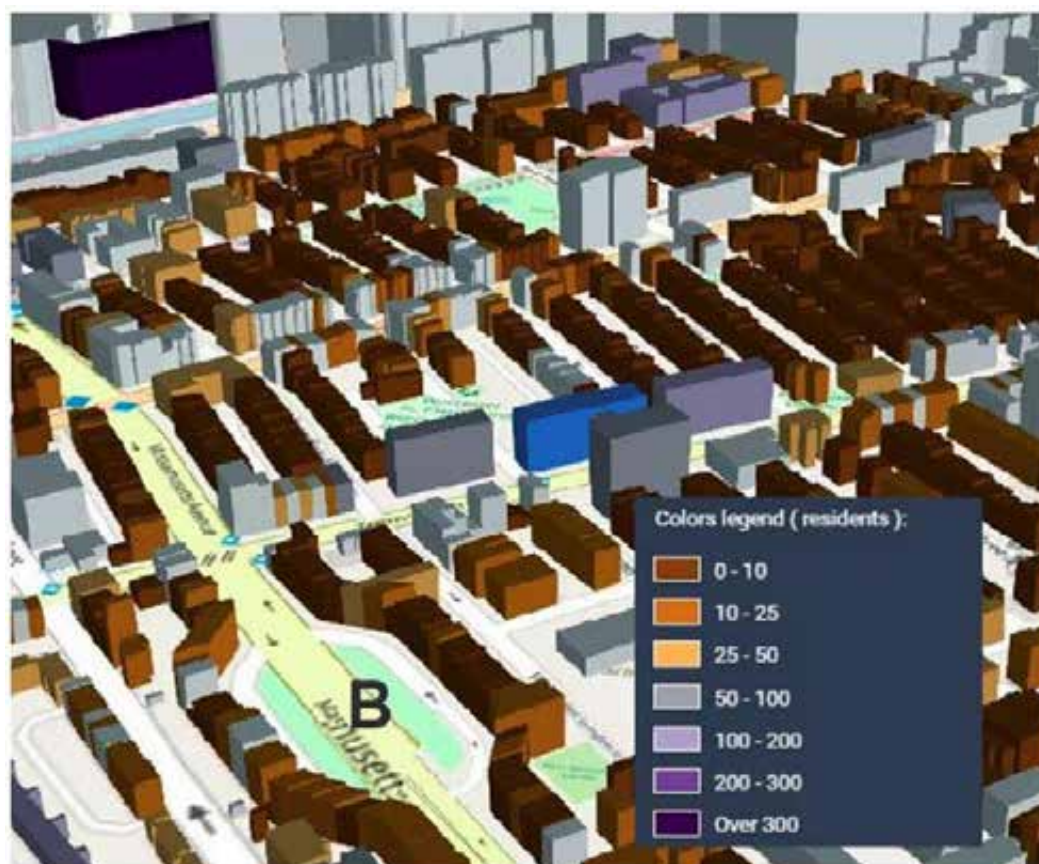
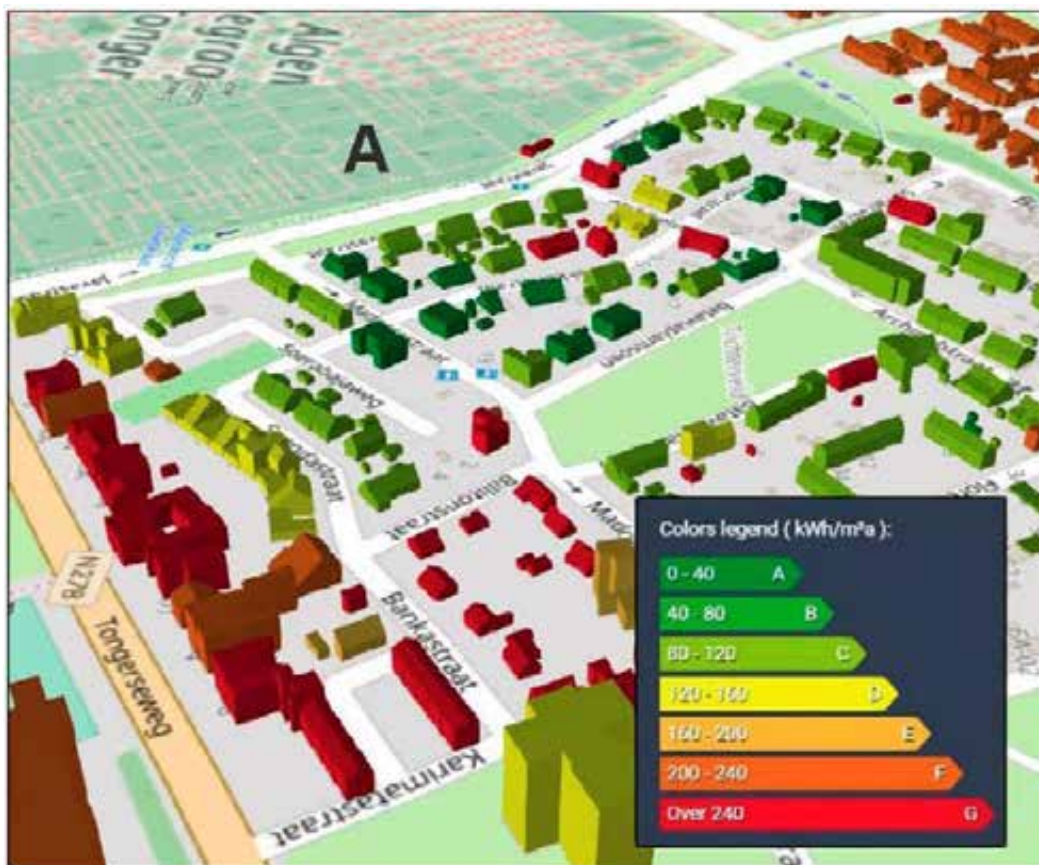


Fig. 4.

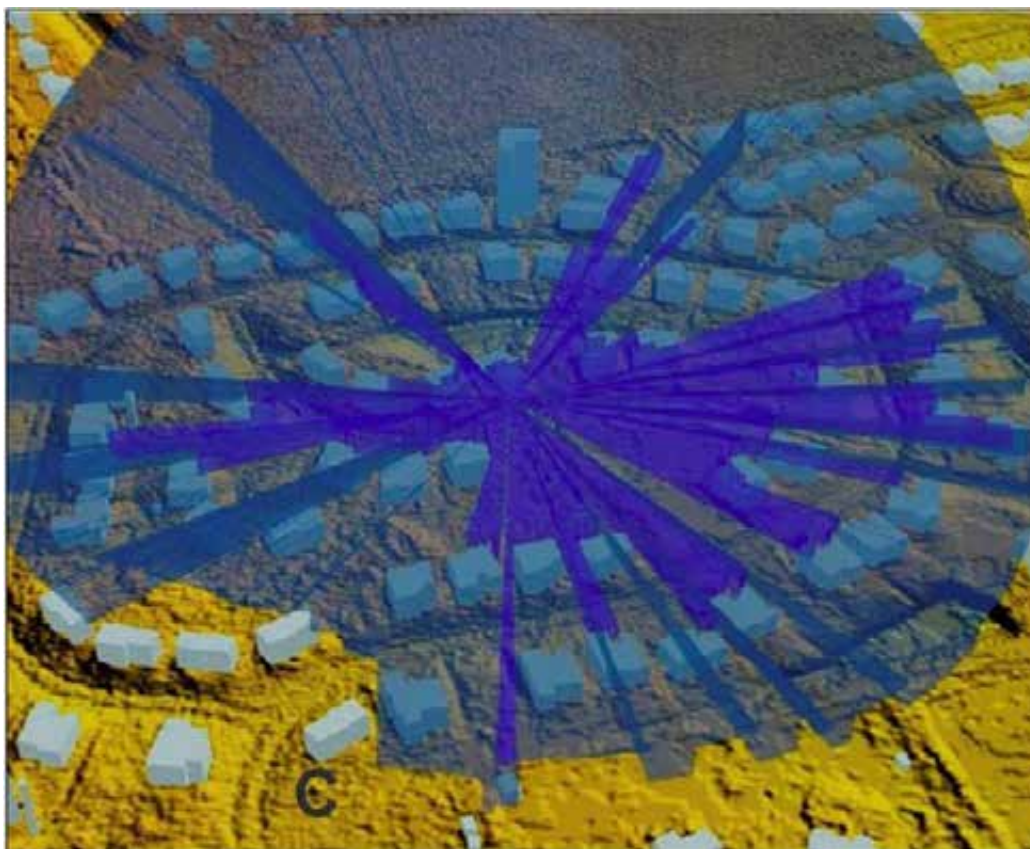


Fig. 4. The user's scenarios that can be implemented for Kharkiv's DCP in the *ELiT* web-software [12, 13, 47]: *A* – a user's case of energy consumption per building (according to the legend); *B* – a user's case of population estimation with building geometries – by a number of residents per building (according to the legend); *C* – a user's case of visibility modeling in urban environment

ple, this information can significantly enhance the capabilities of geospatial marketing analysis, aid in identifying urban planning issues, assist in optimizing urban services, and support the planning of new districts and infrastructural networks, what is considered in the following sections of this paper.

The original software of the Digital City project completion with the results of LiDAR data processing. Loading derivative information from the LiDAR data processing into the digital city project can be achieved either through the direct extraction and modeling of buildings in specialized software, if it supports such functionality, or through importing a .CSV table containing information about building height, volume, and its coordinates to a GIS platform. This table should be obtained from an application that processes LiDAR data and extracts discrete building models from point clouds. A relevant example of such software can be the *iQ City Change Management (CCM)* application developed by one of the authors of this paper. The desktop software designed for the Windows operating system, utilizing C++ and Python tools for its algorithmic core, along with C# MS.NET for user interface solutions, was created between 2012 and 2018. This development was primarily led by the first author of this paper and was carried

out as a non-commercial project without any external financial support. This software product made its initial debut as the author's creation in an academic paper that presented findings from urban studies involving LiDAR data processing in the Kharkiv region [11]. The most recent update to this software occurred in 2019, involving the adoption and rewriting of the algorithmic core to use C++ 11 and Python 3.7. The CCM software possesses a user-friendly interface, that is governed by various *Managers* (*Project, File, Layer, Processing, View, Processing*, etc.) (Fig. 5).

Upon launching the CCM software, a user has an option to either browse recent projects by selecting *File => Recent Projects*, or initiate a new one. When starting a new project, a user needs to configure project parameters in the *Project Preferences* section. This includes selecting a suitable projection from the various projection categories supported by CCM to match a geographic location of the data being used. Additional settings can be adjusted in various sections of the *Project Preference* dialog, starting with the *General settings*. A user should complete the project setup and proceed to import raw .LAS files. In the subsequent steps, within the High Polyhedral Modeling frameworks, a user should perform *BE (Building Extraction)* and *CD (Change Detection)* functional-

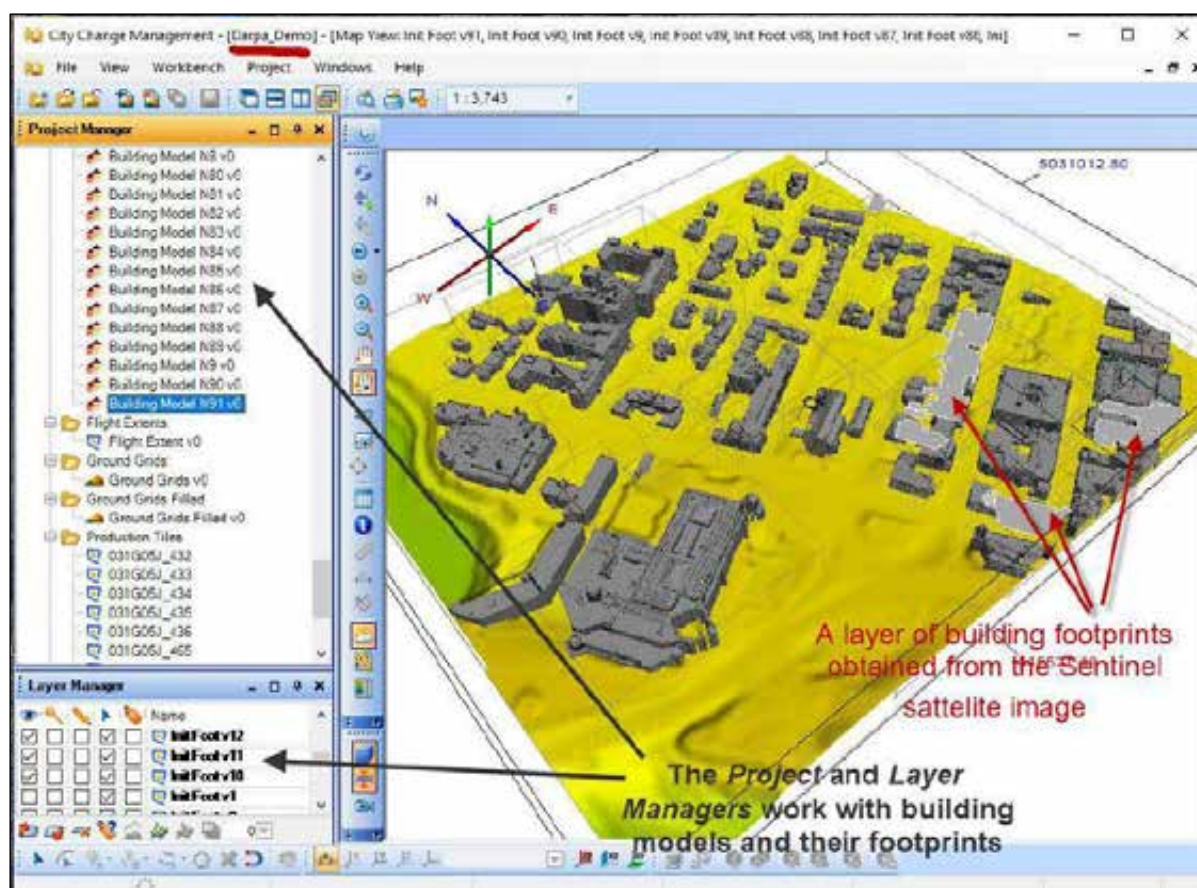


Fig. 5. Implementation of the *DARPA* (<https://www.darpa.mil/>) challenging LiDAR project in the *CCM* interface

ties in a sequence. This begins by accessing the *Workbench* menu, which invokes the *Building Extraction Technology* tool. All three options available through this tool facilitate HPM building detection, building extraction, and the identification of changes in urban features, saving the results as *.OBJ* and *.ThreeDFM* files. Thus, this software application features the key functionality for extracting and HPM-modeling of buildings from input *.LAS* files. The result of this data processing is a set of discrete building models with geographic references and an attribute table containing information about each constructed building model, including its area, volume, height, and coordinates.

In the mentioned way, while applying several years ago for a research grant from the *DARPA* agency [52], we completed a testing task – a challenging LiDAR project due to modeling of some urban area in the United States. The results obtained proved high accuracy of the urbanistic environment reconstruction, what was determined by both high accuracy of the Airborne LiDAR data involved, and high recession of building models generated by *CCM*. Spatial location's accuracy of these models was estimated by comparison of the *CCM* delineated footprints with the building footprints extracted from a *Sentinel* satellite image (Fig. 5).

Upon a condition of provision an Airborne LiDAR survey for Kharkiv urban area, similar proficient results as in the project referred to above can be obtained. A *.CSV* table mentioned above can be exported from the *CCM* application in *.CSV* format and subsequently imported into a GIS project of the Digital City for Kharkiv as a layer of building centroids, generated basing on the attribute fields with the coordinates of each building. Such a layer would contain all the attribute information that has been calculated for the *CCM* building models. This information can then be transferred through spatial intersection to a layer of building footprints, previously imported, for example, from *OpenStreetMap*. Finally, with a layer of building footprints containing information about building height and volume, *LODI* models can be constructed by extruding their height from the appropriate attribute field. The models obtained in this way can be used for implementing for Kharkiv, at least, those three user's scenarios described above (Fig. 4, A-C). It is exactly that feasible perspective of a full-format DCP implementation for Kharkiv, what has titled this section of our paper.

A urban system or urban sprawl? Geosituational analysis within the Digital City project. Once, while examining modeled characteristics of the actual urban environment and its urban geosystem, we

defined their models as quasi-rasterized and quasi-vectorized ones, correspondingly [13]. We also referred to the essence of real objects both models represent – physical environment of a real city (modeled by the *urbanistic environment*) and sets of separate features in it (simulated by the UGS). We attempted to explain that research and developing steps *Initial / Derivative data => Urbanistic environment => Urbogeosystem* could be provided within the frameworks of the functionality of raster-vector transformations in a full-format GIS-platform. Applying this routine GIS-functionality and analyzing results of this application can be one from two, although sophisticated, but efficient functional procedures, which can assist to answer the question: if an examined city rather belongs to an *urban system*, than to *urban sprawl* [53]. Another such delineating procedure is the *geosituational analysis* within urban areas [37].

In addition to the model of the urbanistic environment and the UGS model the Digital City project is one too. It can be considered as a comprehensive model of a city, consisting of numerous vector layers of urban features filled with various attribute data describing quantitative and qualitative characteristics of these features. These characteristics can be visualized on a map using various methods of GIS-map building: thematic mapping, buffer zones, 3D models, matrices, heat maps, and other results of the data visualization techniques. Such concentration of diverse data about the urban environment in a unified information space allows to detect and delineate the *urban geosituations* within this space. These entities can be accepted as the *third criterion* (after an urbogeosystem and urbanistic environment) due to definition of the main trend of the city development, as it was already emphasized above: either to an urban system, or to an urban sprawl. An *urban geographical situation* can be defined, as a particular *simulated* state and conditions of the certain spatial extent of the urbogeosystems. These state and conditions are, in their turn, determined by various *urban configurations*, which consist of a particular structure of city blocks and a number of other both static, and dynamic features of actual urban environment. Thus, in common meaning, an urban geosituation is rather a research construction and corresponds to the urbanistic environment category [13, 37, 51], while an urban configuration would rather relate to a straightforward view of this city physical space, either a static view, or a dynamic one. Both these views, in their turn, can be simulated by either *static*, or *dynamic geosituation*.

What is remarkable, that within the DCP multiple layers of the same these features can be created, while each would visualize different characteristics of these features. By switching between these layers, one can observe the redistribution of urban geosituations based on the specific attribute under this rese-

arch. In this way, urban geosituations may only be discerned in a particular urban research context [37], while urban configurations, either sustainable, or unsustainable ones should actually physically exist within a city area.

A DCP would precisely enable efficient switching among these contexts, allowing the examination of various urban phenomena on the same features and recording diverse urban geosituations. Furthermore, using different data visualization methods within any city model from all those considered above, it would be possible to simultaneously represent the spatial distribution of various characteristics of urban features.

A united view of several such characteristics' distribution reveals fundamentally new urban geosituations, which become apparent only when GIS-layers are properly combined. For example, using a *heat map*, we can visualize the distribution of urban population density, overlay it with a layer of building footprints, thus indicating energy consumption levels for relevant buildings. Afterwards, a user can add a transparent layer of local climatic zones. This allows us to identify more precisely the most problematic areas of the city, for example in terms of population density and energy consumption, since the local climatic zones can provide insights into potential reasons, why some areas consume more energy than others. High energy consumption in the areas with a cold climate, for example, may be associated with low energy efficiency of buildings. If a similar level of consumption is observed in warmer zones, the reasons for such consumption may be miscellaneous and a subject to study. The population density map, in this context, may indicate whether the high energy consumption is caused by the residential buildings exclusively, or by other types of land use. Thus, by combining the visualization of different variables within the unified space modeled by the DCP, we can highlight qualitatively new patterns of urban geosituations, that might have been entirely different, had we excluded any one of these variables. A complete set of modeled *static geosituations* can be aggregated in this way. The more variables that can be visualized, the deeper the analysis of urban environments becomes, yielding more detailed urbogeosystem patterns and their properties. This is one of the main advantages of the DCP implementation in the context of geosituational analysis, the ability to integrate various parameters of the studied city by the GIS functionality and symbolize and visualize them.

In comparison with static geosituations an aggregation of a Digital City project by *dynamic ones* is rather a complicated issue, since we would need to apply to urban environment 1) repeated surveys based on 2) precise sensors and 3) reliable hardware platform. All this should be supported by efficient

monitoring technique like the *Change Detection (CD)* technique provided by our *CCM* software.

The CD tool of *iQ City Change Management* relies entirely on the functionality of High Polyhedral Modeling – Building Extraction and has been designed to monitor architectural (geometric) changes within a city over a specified time frame. It accomplishes this by automatically comparing and analyzing two divided by a temporal benchmark sets of LiDAR point clouds. Thus, two datasets, the primary and the secondary ones, of a repeated LiDAR survey are normally processed. This tool identifies alterations in the positions and shapes of buildings as *3D models*. Our CD-method addresses all three fundamental aspects necessary for comprehensive 3D change detection as it was referred to in an advanced literature review: 1) aligning coordinate systems, 2)

comparing spatial and spectral characteristics, and 3) representing and analyzing the detected changes [54]. Additionally, if we refer to the commonly used classifications of urban changes, which generally includes three primary categories – positive, negative, and no change, along with several subcategories – the two classes of building changes introduced in our approach as *Added* and *Removed* would correspond to partially detected cases in change detection, such as "new (part)" and "demolished (part)" as presented in these classifications [55, 56].

The *CCM CD* functionality had been applied to the open LiDAR data sources available for urban parcels and tracks in urban area of Tallinn, Estonia. All this allowed to delineate alterations in urban configurations mirrored by dynamic geosituations in selected urban parcels (Fig. 6).

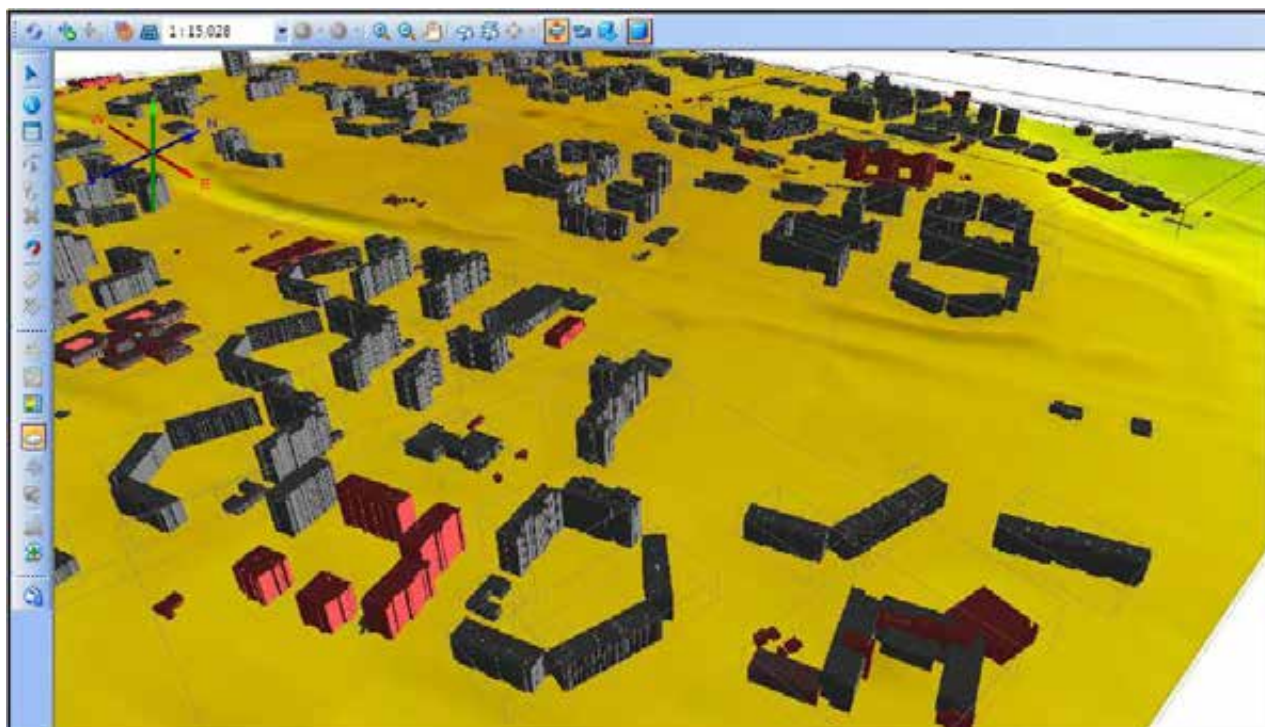


Fig. 6. The changes in urban configurations detected by *CCM* for the period of 2017-2021 for a given urban area (2 km * 2 km) in Tallin. Both added and removed changes depicted in **red**

Although this urban parcel is of an area, that is equal 4 sq. km only, it can be quite representative one for outlining the *urban configuration => geosituation* research sequence. If there were detected up to fifty architectural-morphological changes, and more, than forty from them are *Added* one, it would be easily to make a conclusion about a general trend of local urban development on the base of the geosituational analysis only. Moreover, the *iQ City Change Management* produces an attribute table for all changes detected. If this table exported in .CSV format, and a result then vectorized in a point layer of changes' centroids, that allows, e.g., to provide a comparison of CD footprints with Open Street Map building footprints. The latter guarantees that representative visualizing,

which would definitely delineate an existing *urban configuration => dynamic geosituation* sequence, while import of the *CCM* results into a full-format GIS give an opportunity of an extended spatial analysis provision (Fig. 7).

In the similar described way, if necessary LiDAR surveys are arranged, this technique of dynamic geosituation delineation can be applied for the Digital City project of Kharkiv, what for our city's past-war reconstruction and rehabilitation can hardly be overestimated.

If Kharkiv DCP is created once, it will not require constant drastic rebuilding with new data arrival. Instead, such data can be seamlessly integrated into existing attribute fields or object classes, while

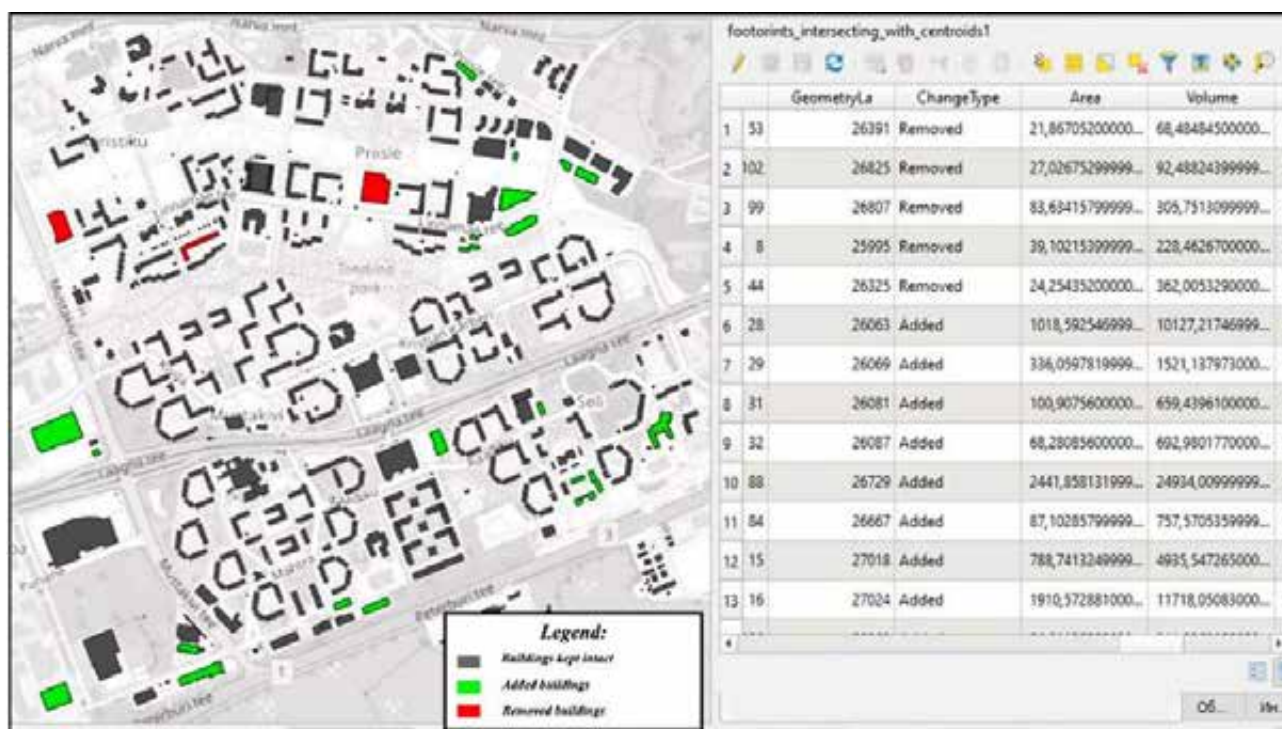


Fig. 7. The changes detected for an urban parcel Tallinn delivered from CCM to QGIS for 2D visualization and extended spatial analysis

keeping project data intact. This allows the project to be regularly and easily updated with new data, which can be compared and tracked over time for changes in various urban parameters. These changes become evident in the presence of varying urban configurations, which would be mirrored in the geosituations.

Case Study Second - Kharkiv: a perspective of geomarketing within the "Digital Kharkiv" project as a routine GIS one. Such UOM's component as the socially equitable urban environment (Fig. 1) implies sustainable functioning of socioeconomic services in a given city. Such activity and discipline as the *geomarketing* can substantially contribute to it.

The geomarketing is a Human Geography discipline within the Marketing domain that is based on the study of the patterns of interaction between *the market entities* and *the target audience*, taking into account the *geographical aspects*. This interaction is determined by the geographic localization of the objects and their orientation towards a specific geographic context. Therefore, the primary focus of the geomarketing is the geographical mapping of those socioeconomic objects that are affiliated with market interactions [57].

It is necessary to emphasize, that the user's option for editing data in the virtual space of the DCP provides a significant advantage in territorial marketing research: population density, commercial areas, population movement patterns, and more. In that virtual GIS space that supports the DCP there are efficient opportunities for analyzing demographic data of the population, competitors, choosing the most

favorable location, analyzing consumer behavior, planning the optimal route, market segmentation, and more. The key advantage of the "Digital City" project is the ability to perform such analysis based on open and up-to-date data [58]. In particular, this open access to data can contribute to greater transparency in the work of municipal authorities and commercial organizations in the urban environment. This may encourage the city's population to actively participate in decisions related to this city development.

Proceeding from all stated above, both in previous sections of our paper, and in this one, we suggest to examine the geomarketing approach implementation in a simplified approximation of a DCP - a typical GIS project called "Digital Kharkiv". It has been primarily combined on the base of the OSM data sources. The project contains geographic information that can assist in urban studies and consequent applied solutions both in the peacetime, and in the war-time (Fig. 8). For the time being, the "Digital Kharkiv" project contains information about various infrastructure objects, green areas, land use, buildings, and about some more urban features. From a geomarketing perspective, this information is extremely valuable for determining key parameters and measurements for provision of the geomarketing analysis.

Additionally, the project's advantage lies in the openness and currency of its data. Taking into account the tremendous military impact on Kharkiv upon the Russian aggression, especially at its beginning, it would be crucially needed to consider such a project's involvement in practical implementation of

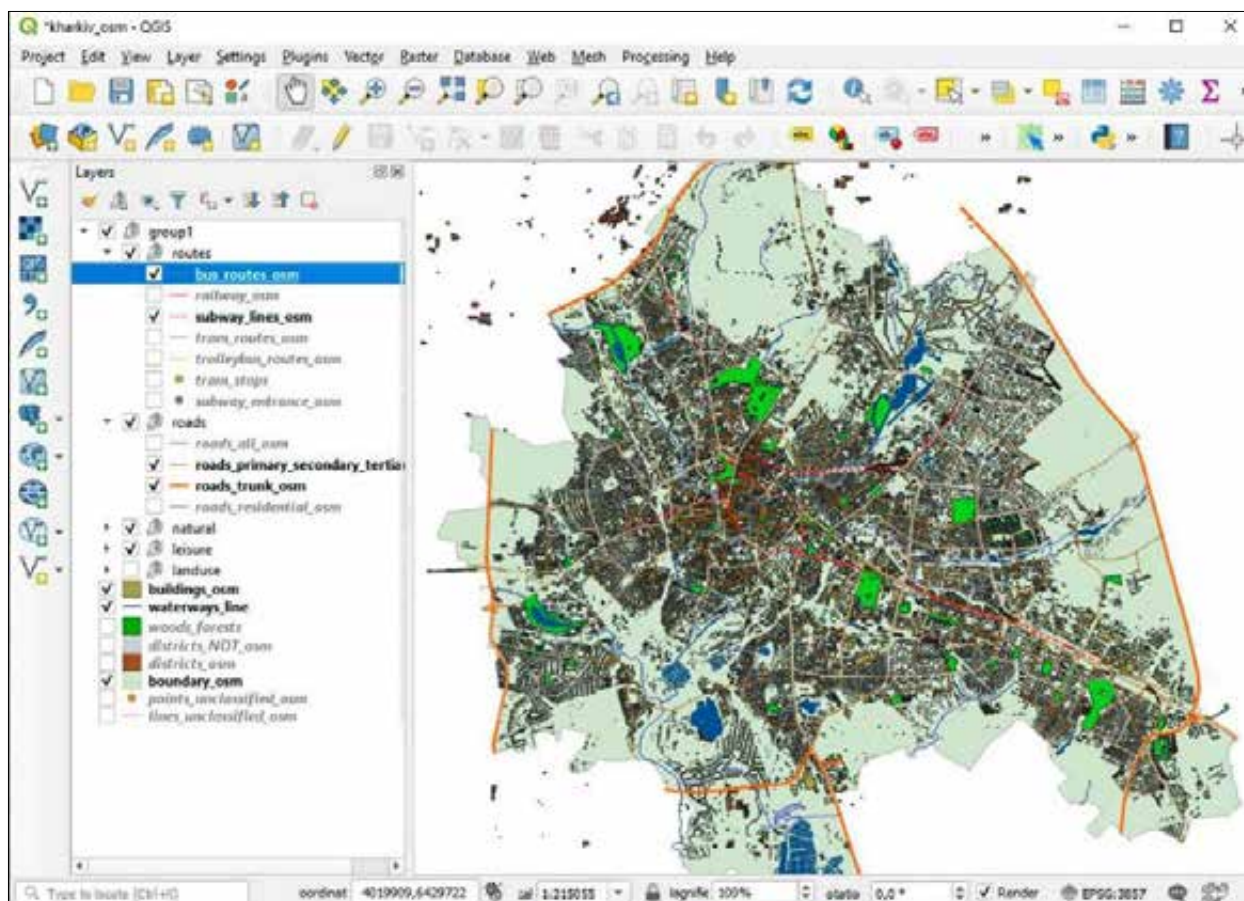


Fig. 8. The "Digital Kharkiv" project combined in the QGIS interface from OSM data sources and enhanced by derivative features obtained through GIS-operations

the necessary defensive and rehabilitating tasks within a perspective of "Digital Kharkiv". From the series of probable examples, we suggest to consider the placement's optimization of some *humanitarian objects* initiated by the Ukrainian government under the "*Resilience Point*" project. We intent to focus on the geomarketing aspects of their locational optimization. This methodology has been typically implemented within a specific spatial extent of the urban environment, defined within the context of the GIS project "Digital Kharkiv."

To perform a spatial analysis of geomarketing objects' distribution using a GIS, the *geocoding procedure* is required. Geocoding is the process of associating geographic coordinates (latitude and longitude) with data points on a map. In essence, it assigns and stores the *coordinate pairs, latitude and longitude*, to each object on the map that may be employed in geomarketing analysis. Similarly, coordinates are assigned to street names, public transportation stops, building addresses, park names, and more.

To perform geocoding, a database that stores addresses of urban objects is required. Global overview maps such as Google Maps and OpenStreetMap can be used as such databases. What is more, a geographic information system with a geocoding module is necessary. For this task, the *QGIS Bulk Nominatim*

module was applied, which interacts with the *Nominatim OpenStreetMap* service to provide geocoding of addresses and reverse geocoding of coordinates. Its primary tool is Bulk Geocoding, which implements *mass geocoding* (huge data can be processed). One of the mass geocoding options is the *Geocode Table*, where either a *QGIS* database or a vector layer containing address information can be employed. For our task, we need to select the column in the loaded *Excel* spreadsheet that contains information about addresses, specifically their coordinates. The module attempts to find matches with existing information. It's essential to note the possibility of including detailed address information in the search. This allows adding information from the cloud storage, matching it with the coordinates. This obtained vector layer is the visualization of the required information about addresses. For further analysis, a user can apply to the existing OSM layers of the GIS project "Digital Kharkiv" (Fig. 8).

The described geocoding tools were used to import and digitize the addresses of both demolished buildings (Fig. 9), and "Resilience Points" (Fig. 10) in the city of Kharkiv. Both types of the features had been detected for the period from March to November 2022. The *Bulk GeoCoding* module was employed, which enabled the automatic digitization of

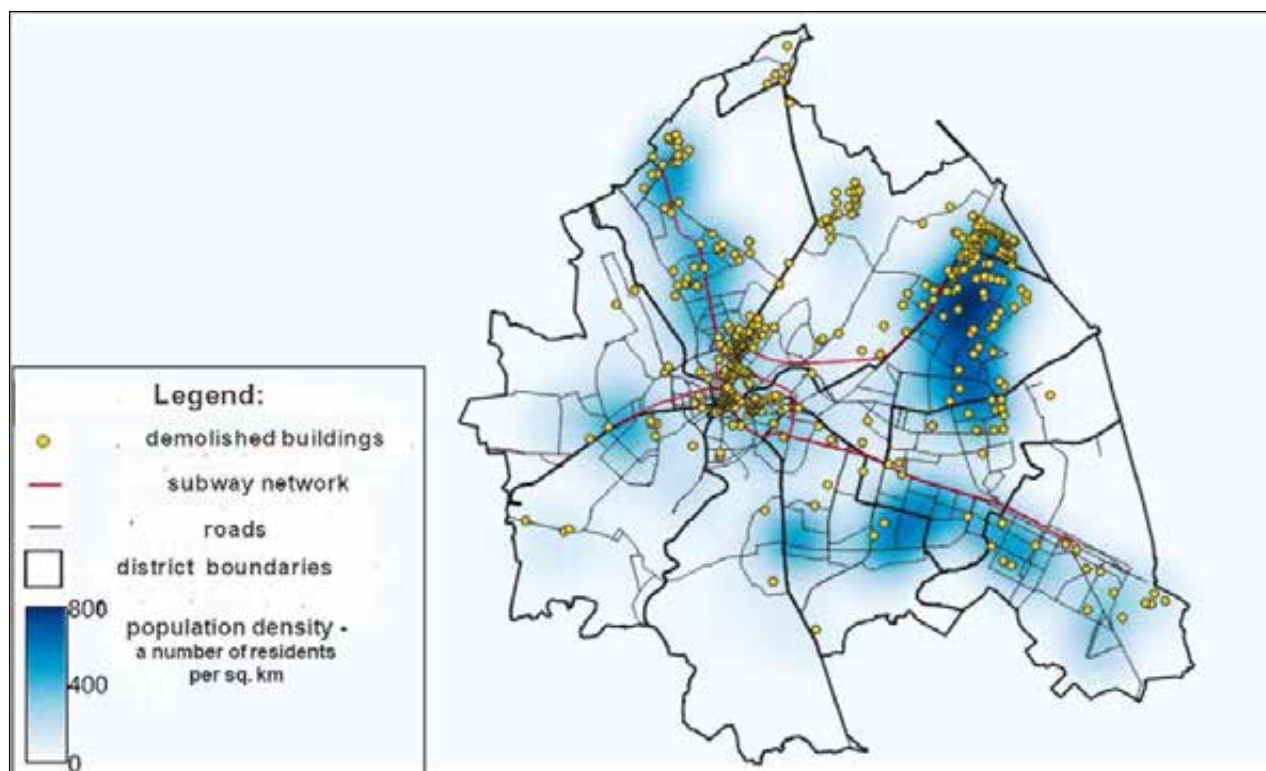


Fig. 9. A *Heat map* of population density in residential buildings and locations of demolished buildings in the city of Kharkiv during the period from March to November 2022 [59, 60]

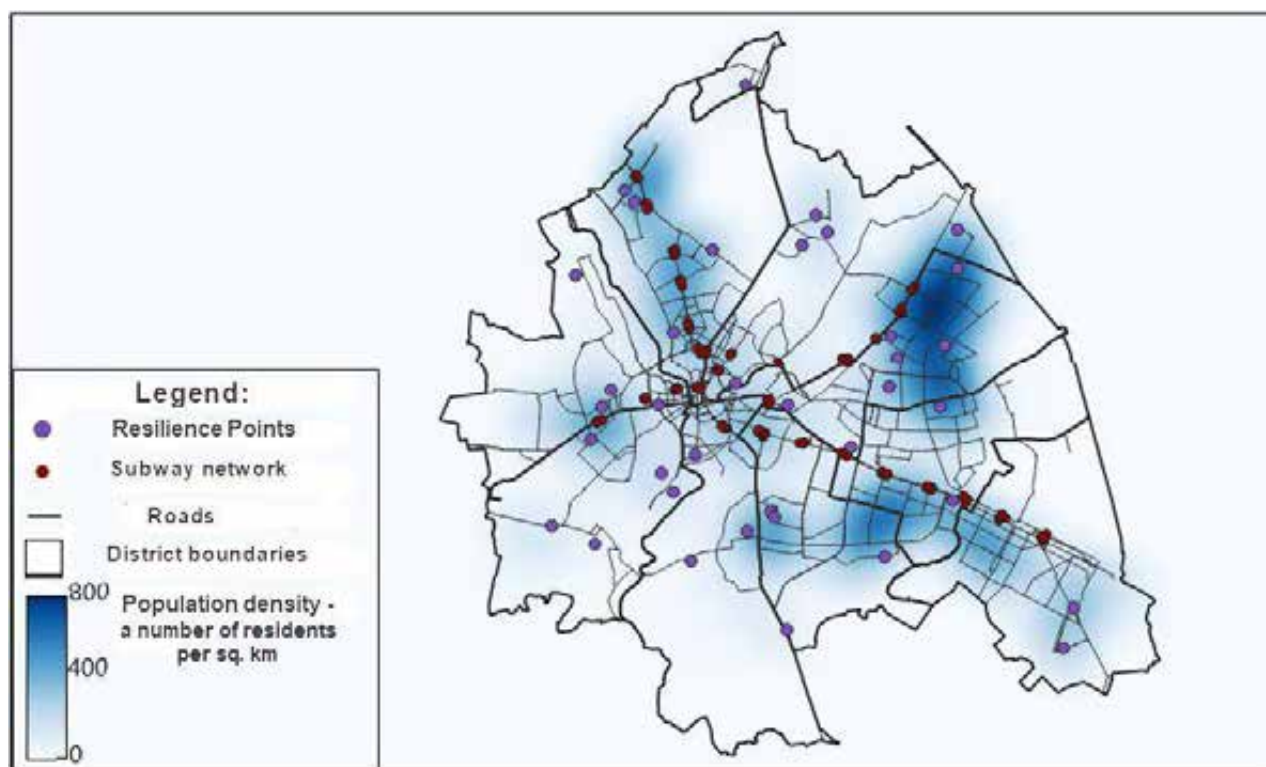


Fig. 10. A *Heat* of population density in residential buildings and locations of "Resilience Points" in the city of Kharkiv during the period from March to November 2022 [59, 60]

coordinate spreadsheets from an existing *Excel* table. This table contains data such as addresses, building types, and demolition dates. The data in this table were compiled from open government and public sources [59, 60].

Then, the *Overpass Turbo* web tool was used to query the OSM database for the residential buildings in Kharkiv. Using *Heat map* methods, a population density map has been created based on OSM buildings with a *weighting field* containing data on the

number of apartments in each building. This field has a direct correlation with the population that can reside in residential buildings.

It is commonly known that upon the full-scale Russian invasion, the most impacted area in the initial war months was the *Northern Saltivka* city district. This area had the highest population concentration and residential buildings, what has been confirmed by the map (Fig. 9). The main characteristic of the visualized data is that the highest population concentration was observed in Northern Saltivka, while the highest number of demolished buildings was in the central part of the city. This was a consequence of the fact, that the center of Kharkiv was densely populated, but mainly consisted of low-rise buildings, while Northern Saltivka was a classic residential area. Summarizing, it is necessary to underline that significant factors affected the final locations of demolished buildings may include the course of events during the full-scale invasion (proximity of the occupation to the city's borders), the geographic location of objects, and historical aspects (age of building construction). Regarding the latter, it would be essential to focus not only on the density of construction, but also on its age. Historical buildings in the city center are more fragile than those built in the second half of the 20th century, as exemplified by the Northern Saltivka district (Fig. 9).

Analyzing the population density indicators in Kharkiv before February 24, 2022, it is necessary to emphasize, that the geomarketing potential of the territory mostly has shown negative development trends recently. For instance, due to the high population concentration, Northern Saltivka had the highest potential for the geomarketing areal activity. However, after February 24, it has demonstrated the definite signs of stagnation. Meanwhile, some urban territories have an increased potential for geomarketing strategies because they stay almost undamaged. First and foremost, this is related to the southern districts of the city, where a significant portion of the population from the northern districts has resettled. Due to their security features and population growth in these areas, the restoration of social infrastructure (food establishments, shops) has been most active in the recent months.

The computer maps we have constructed based on the "Digital Kharkiv" project can serve as a basis for further research and humanitarian needs, such as identifying the most affected areas, determining objects that need to be restored urgently, forecasting demand, identifying gaps in the market where your products can be introduced. The overall potential of such visualization is high, given the convenience of using the project and the timeliness of the data. The data can be regularly updated and added based on real changes occurring in the city. Besides other techni-

ques, these changes can be evaluated by exactly that LiDAR surveys, we mentioned in the previous sections of this paper.

Exactly on the base of computer maps mentioned, it is possible to conclude, that the placement of "Resilience Points" strongly correlates with several factors: security issues allocation, population density, access to sources of energy and water supply, road networks, and public transportation, as well as territorial constraints and others. The characteristic feature of the placement of resilience points is their proximity to major roads and subway lines, ensuring accessibility for the population. Most resilience points are located in the premises of schools and kindergartens, with some of them situated in the premises of the State Emergency Service and fire departments. These objects have priority access to critical infrastructure, guaranteeing access to sources of energy. Another essential aspect of their location is *the integrity* of these infrastructure objects.

Comparing the resulted computer maps, it can be easily to observe a pattern where access to "Resilience Points" in the Northern Saltivka district is rather limited (Fig. 10). This limitation is a consequence of the significant number of demolished buildings in this area. However, it is worth highlighting the fact that there are still not enough "Resilience Points" in the city in total, despite that fact, that besides the main resilience points in the city, there are numerous supplementary point locations with generators such as shops, cafes, gas stations, pharmacies, and bank branches. It's also necessary to note that there were those resilience points operated by responsible businesses, but which were mostly located in the city center, corresponding to these businesses' concentration.

Summarizing this paper's section, we can underline, that for the successful placement and operation of resilience points in wartime conditions, it's essential to carefully analyze all the main factors that can affect their effectiveness and accessibility to the population. The UA / UOM applications, explained in the methodological part of this text, in exactly this subject extent could be straight to the necessary point. Nonetheless, it is an evident objective of the future research attempts, while the provision of the standard GIS-approach with "Digital Kharkiv" may be an efficient practical solution for the time being.

Case Study Third - Dnipro: implementation of a typical GIS-project for analyzing provision of the city population with public transportation infrastructural networks. Consideration of building another typical GIS-project within the DCP frameworks, but for another urban location, Dnipro-City, has concluded this our research.

We have explored in this concluding case study the option of urban research in the city of Dnipro

using its virtual model as a typical GIS-project, “Digital Dnipro”, also built primarily on the OSM data sources and enhanced by few derivative features (Fig. 11). That is the same research and development technique of the DCP implementation was applied, that had been used previously for “Digital Kharkiv”, as the previous section described it.

The *Overpass Turbo* and *Overpass QL*, both already referred to and discussed above, have been also employed in our third case study. Using the web-tools mentioned, we have revealed and exported data layers for the virtual representation of Dnipro in this

selected sample of a Digital City project. For example, to obtain data about one of the key infrastructural networks - the main roads in the city of Dnipro, we have formulated the query as follows: “*highway = primary in Dnipro*”, obtained the resulted script with the *Overpass Turbo Wizard*, and what is more – received the necessary visualized results of our query (Fig. 12). Thanks to these tools, we have been able to combine the remaining parts of the virtual Dnipro’s project and obtain those derivative GIS-features our project lacked previously.

After uploading all the GIS-layers into the *QGIS*

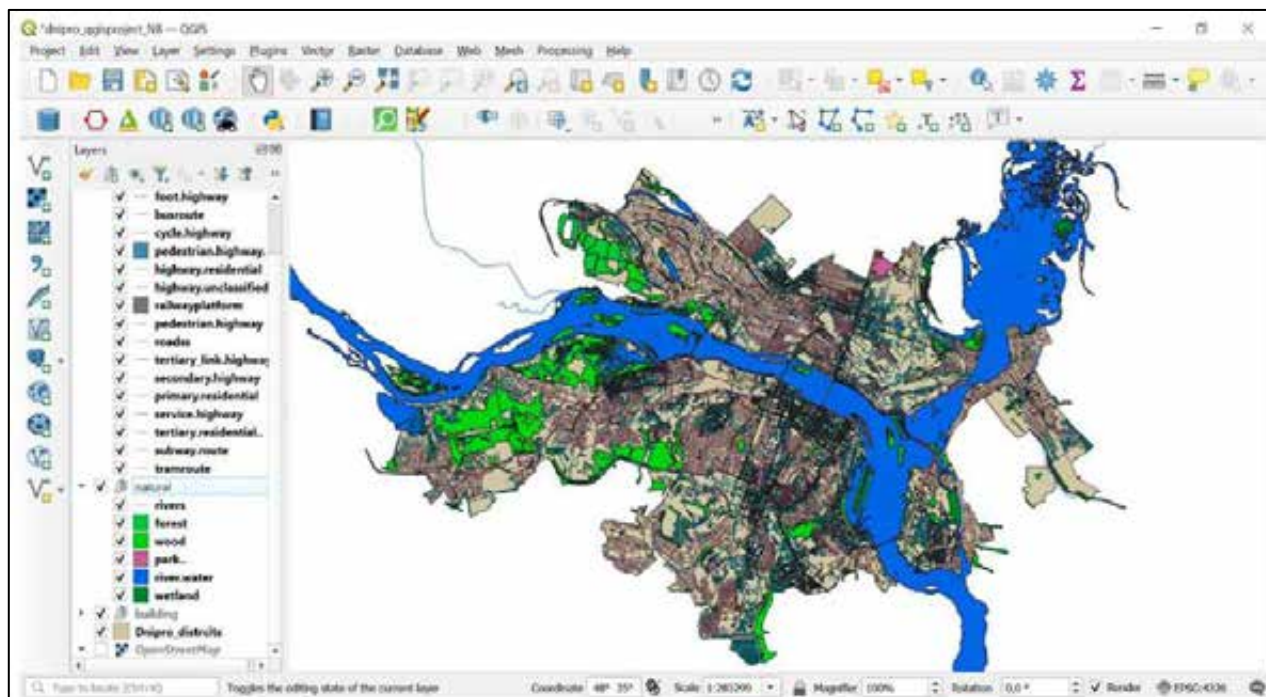


Fig. 11. The “Digital Dnipro” project combined in the QGIS interface from OSM data sources and enhanced by derivative features obtained through GIS-procedures

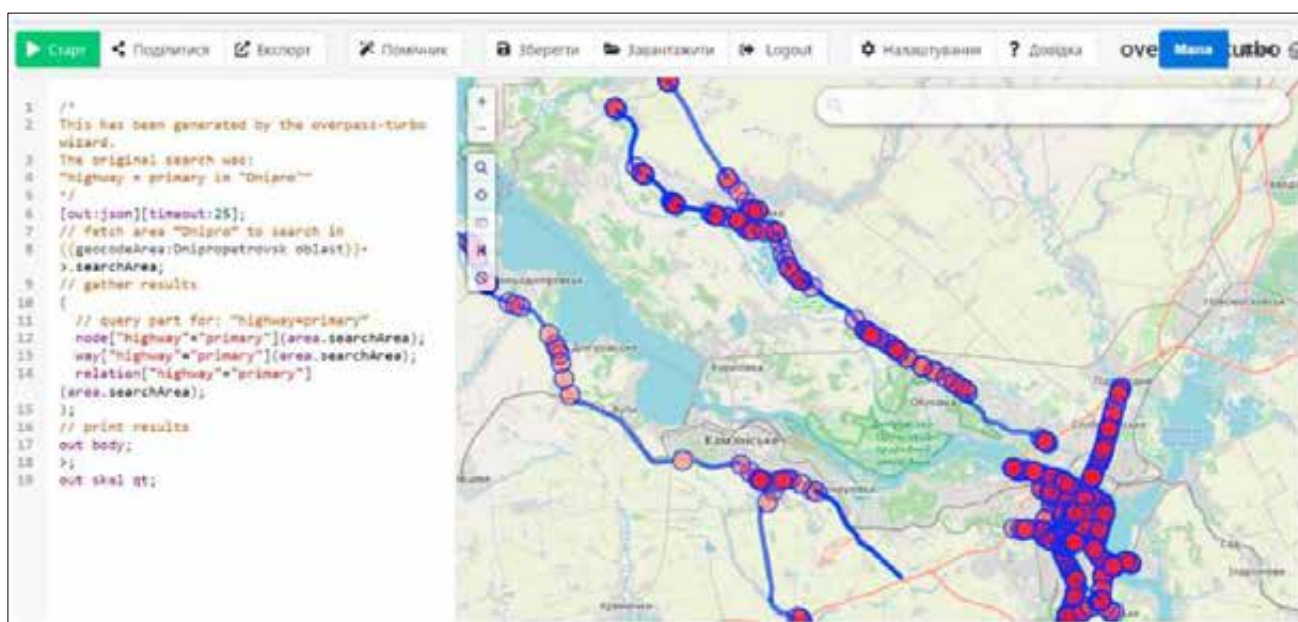


Fig. 12. The query script and corresponding visualized results for enhancing “Digital Dnipro” by one more infrastructural network layer

platform and saving them in *.SHP* vector format, we obtained a virtual model of an urban environment that enables a wide range of different research possibilities (Figure 11).

One of the advantages of using such a typical GIS project for urban research, as mentioned already for “Digital Kharkiv”, is that it may contain detailed *attribute information* for all objects located on the map. This attribute information can be extended according to user’s necessities. Thus, e.g., the “*Dnipro_districts*” layer contains attribute information for each district of Dnipro. For example, to analyze the current city’s demographic situation, we

had to add population attributes to respective polygon features of each district and visualize this attribute then. To obtain the necessary database information about various attributes we have referred to the external data sources - open available collections of information, as we did in the case of “Digital Kharkiv” [61, 62]. For a particular visualization in this case, we didn’t apply to a *heat map* approbated above, instead according to our research objectives we selected so-called *classified vector visualization*. To display population attributes on the map, we classified the vector data resulting in a map that visualizes population data for *each city district* (Fig. 13).

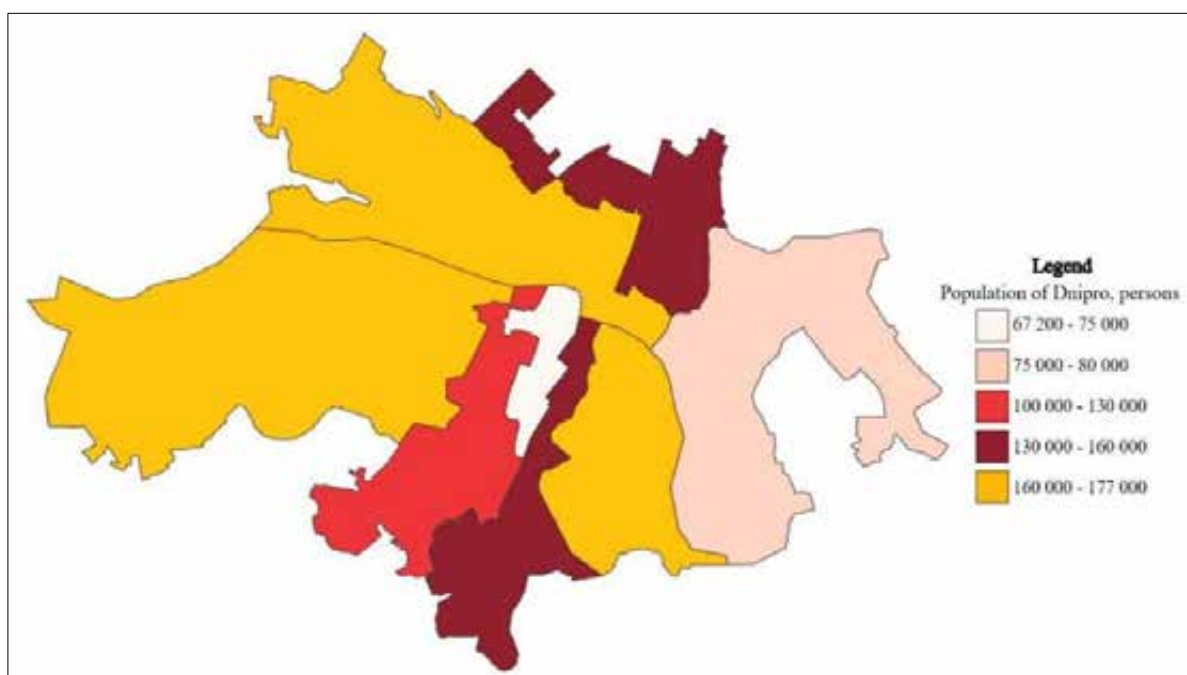


Fig. 13. Visualization of the population distribution in Dnipro on the base of the vector feature classification applied to the data from external sources [61]

On the base of this vector feature classification, it is possible to observe the highest population descending rank in the *Sobornyi District* (175,500 people), *Novokodatsky District* (161,026 people), and *Amur-Nizhnodniprovsky District* (160,123 people). Among the number of contributing factors, we should mention as a key one a particular segment of the transportation infrastructural network for each of these areas, as more accessible transportation tends to attract more residents. Another significant factor is the presence of the main employees of the industrial domain. Additionally, the availability of recreational areas should not be overlooked. Understandably, all these factors and conditions had worked before February 24, 2022 just as similar factor had done in a case of the urban area depicted by “Digital Kharkiv”.

For further comparison with existing official perspectives of the city infrastructural network optimization due to public transportation necessities we have to rasterize, provide raster-vector transforma-

tion and add to “Digital Dnipro” the following official content of the future urban development perspectives (Fig. 14) [62].

It is obvious that the war has drastically altered all plans like this yet, but suggested in this text by us the general *urbanistic environment / urbogeosystem ontological model* approach to the DCP implementation should be kept intact, then it allows to provide necessary sustainable updates in urban planning. E.g., an extended “Digital Dnipro” project can be created exactly on the base of vector datasets from the view of Fig. 14 and obtained on this base derivative GIS-layers. The broad standard GIS-functionality exists for “Digital Dnipro” and “Digital Dnipro Extended” comparison within the plain of an existing transportation network and its development plans. We would easily take into account population density distribution and other factor to see, if the plans are grounded and realistic. After estimating with the proposed tools, we can be assured to correct the plans.

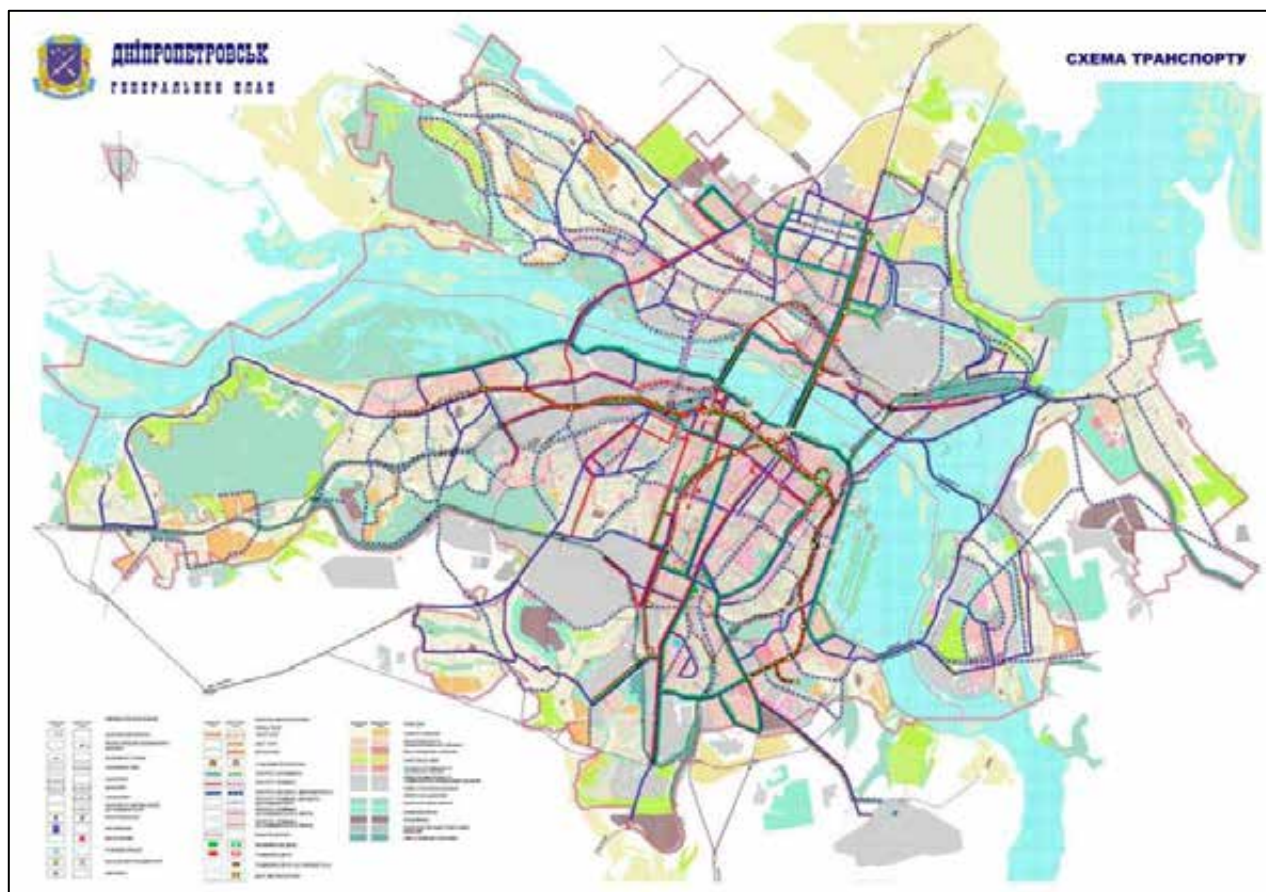


Fig. 14. The scheme of public transportation with a subway network in the General Plan of Dnipro-City urban development (a view of the original raster map) [62]

For example, it can be seen easily by comparing Fig. 13 and 14, that the transportation network had been planned proceeding from population spatial distribution, but the latter is expected to be drastically changed after the war. Thus, the general development plan for the city will be able to be easily corrected by the innovative GIS/DCP project “Digital Dnipro Extended”.

Conclusion. Our research has delved into the dynamic and transformative realm of Digital City Projects within megalopolises, with a particular focus on Kharkiv and Dnipro cities in Ukraine. The escalating urbanization of the twenty-first century has propelled cities to the forefront of global change, demanding innovative approaches to address urban complexity and challenges. The concept of Digital Cities, an evolution of Smart Cities, has gained prominence, offering both data-driven, and model-driven solutions to enhance urban life. This study underscores the significance of the urbogeosystemic approach and the urban geographical system's ontological model as pivotal tools in shaping the practical implementation of DCPs. The research emphasizes the importance of regional context, acknowledging some unique challenges and opportunities that megalopolises present. The case studies of Kharkiv and Dnipro underscore the potential for digitalization to

drive urban transformation, even in post-war rehabilitation scenarios. The use of both *OpenStreetMap* data, and processed LiDAR data for aggregating Digital City projects demonstrates the flexibility and efficiency of contemporary GIS tools in urban studies. The original desktop software developed by the authors for LiDAR data processing has proven its efficiency for urban studies. The geosituational analysis within the DCP offers a powerful tool for understanding urban configurations and trends. By integrating diverse parameters, the DCP serves as a dynamic platform for in-depth urban research.

Our paper has proven, that the application of the geomarketing within the Digital City project's framework emerges as a powerful tool for urban planning, enabling a detailed examination of market interactions and socio-economic services. This approach, combined with geocoding procedures, provides invaluable insights for decision-making in urban development. Moreover, the "Resilience Points" project within Kharkiv highlights the significance of strategic placement based on factors like accessibility, population density, and infrastructure integrity. The visualization and analysis facilitated by the DCP allow for informed decision-making in the context of urban resilience upon the military impact. In the case of Dnipro, the research demonstrates how a typical GIS

project, "Digital Dnipro," mainly constructed using OSM data, can serve as a foundation for urban studies of city infrastructural provision. The incorporation of detailed attribute information empowers in-depth demographic and infrastructure analysis, supporting urban planning efforts.

Each from the separate subject section of our pa-

per outlines the future research perspectives.

Ultimately, it can be concluded: the DCP framework stands as a versatile tool, adaptable to diverse urban contexts, offering a dynamic platform for decision-makers and researchers to explore, analyze, and strategize for resilient and sustainable urban futures.

Bibliography

1. United Nations. 68% of the World Population Projected to live in Urban Areas by 2050, Says UN. Department of Economic and Social Affairs [Електронний ресурс] / 2018 Revision of World Urbanization Prospect. – 2018. – Режим доступу: <https://www.un.org/development/desa/en/news/population/2018-revision-of-world-urbanization-prospects.html>
2. Battisti A. Sustainable Development Dimensions and Urban Agglomeration [Текст] / A. Battisti, S. Baiani // IntechOpen, London. – 2022. DOI: <https://doi.org/10.5772/intechopen.94779>
3. Dobbs R. Urban World: Mapping the Economic Power of Cities / R. Dobbs, S. Smit, J. Remes, J. Manyika, Ch. Roxburgh, A. Restrepo // McKinsey Global Institute. – 2011. – Режим доступу: <https://www.mckinsey.com/featured-insights/urbanization/urban-world-mapping-the-economic-power-of-cities>
4. Rezende D. A. Digital City: Chicago and Schaumburg (USA) Information, Sustainability Indicators and Public Services Projects [Текст] / D. A. Rezende // GeSec: Revista de Gestão e Secretariado. – 2016. – Vol. 7. – N. 2. – P. 55-79. DOI: <https://doi.org/10.7769/gesec.v7i2.545>
5. Biljecki F. Applications of 3D City Models: State of the Art Review [Текст] / F. Biljecki, J. Stoter, H. Ledoux, S. Zlatanov, A. Çöltekin // ISPRS Int. J. Geo-Inf. – 2015. – Vol. 4. – P. 2842-2889. DOI: <https://doi.org/10.3390/ijgi4042842>
6. Eremia M. The Smart City Concept in the 21st Century [Текст] / M. Eremia, L. Toma, M. Sanduleac // Procedia Engineering. – 2017. – Vol. 181. – P. 12-19. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.proeng.2017.02.357>
7. Rezende D.A. Public Policy and a Strategic Digital City Project: A Case Study of the Brazilian Municipality of Vinhedo [Текст] / D.A. Rezende, M. Procopiuck, F. Figueiredo // Journal of Urban Technology. – 2015. – Vol. 22. – P. 63-83. DOI: <http://dx.doi.org/10.1080/10630732.2014.971536#2015>
8. Bonini V. Effects of the digital transformation on the contemporary city project [Текст] / V. Bonini, P. Galelli, A. Minetto, I. Delponte, R. Morbiducci // Tema. – 2019. – Vol. 5. – N. 1. – P. 61-71. DOI: <https://doi.org/10.17410/tema.v5i1.215>
9. Härmäläinen M. Urban development with dynamic digital twins in Helsinki city [Текст] / M. Härmäläinen // IET Smart Cities. – 2021. – Vol. 3. – P. 201-210. DOI: <https://doi.org/10.1049/smc2.12015>
10. Dembski F. Urban Digital Twins for Smart Cities and Citizens: The Case Study of Herrenberg, Germany [Текст] / F. Dembski, U. Wössner, M. Letzgus, M. Ruddat, C. Yamu // Sustainability. – 2020. – Vol. 12. – P. 2307. DOI: <https://doi.org/10.3390/su12062307>
11. Kostrikov S. Geoinformation approach to the urban geographic system research (case studies of Kharkiv region) [Текст] / S. Kostrikov, L. Niemets, K. Sehida, K. A. Niemets, C. Morar // Вісник Харківського національного університету імені В. Н. Каразіна, серія "Геологія. Географія. Екологія". – 2018. – Вип. 49. – С. 107-121 DOI: <https://doi.org/10.26565/2410-7360-2018-49-09>
12. 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. DOI: <http://dx.doi.org/10.3390/ijgi9110650>
13. Kostrikov S. Urbogeosystemic Approach to Agglomeration Study within the Urban Remote Sensing Frameworks. Urban Agglomeration [Текст] / S. Kostrikov, D. Seryogin // Edited by A. Battisti and S. Baiani: IntechOpen, London. – Milan. – Zagreb. – 2022. – P. 251-273. DOI: <http://dx.doi.org/10.5772/intechopen.102482>
14. GEO Group on Earth Observation. Earth Observations for the Benefits of Humankind [Електронний ресурс] / GEOSS Portal. – 2019. Режим доступу: <http://www.earthobservations.org/index.php>
15. Weng Q. Remote Sensing for Sustainability [Текст] / Q. Weng // Boca Raton, FL: CRC Press, Taylor & Francis. – 2016. – 366 p.
16. Group on Earth Observations. The GEO 2016–2025 Strategic Plan: Implementing GEOSS [Електронний ресурс] / GEOSS Portal. – 2016 – Режим доступу: https://www.earthobservations.org/geoss_wp.php
17. Komminos N. Intelligent Cities: Innovation, Knowledge Systems and Digital Spaces [Текст] / N. Komminos // Spon Press, London. – New York. – 2002. – 320 p.
18. Caragliu A. Smart Cities in Europe [Текст] / A. Caragliu, C. Del Bo, P. Nijkamp // Journal of Urban Technology. – 2011. – Vol. 18. – P. 65-82. DOI: <http://dx.doi.org/10.1080/10630732.2011.601117>
19. Філатов В.М. Щодо розгляду окремих аспектів концепції «Розумне Місто» у суспільно-географічній площині [Текст] / В.М. Філатов, С.В. Костріков // РЕГІОН–2019: Суспільно-географічні аспекти. Матеріали Міжнародної науково-практичної конференції студентів, аспірантів та молодих науковців (м. Харків, 11–12 квітня 2019 р.). – Харків, 2019. – С. 108–111.
20. Orłowski A., Romanowska P. Smart Cities Concept: Smart Mobility Indicator [Текст] / A. Orłowski, P. Romanowska // Cybernetics and Systems. – 2019. – Vol. 50. – P. 118-131, DOI: <https://doi.org/10.1080/01969722.2019.1565120>

21. David M. "Smart Is Not Smart Enough!" Anticipating Critical Raw Material Use in Smart City Concepts: The Example of Smart Grids [Текст] / M. David, F. Kosh // Sustainability. – 2019. – Vol. 11. – P. 4422. DOI: <https://doi.org/10.3390/su11164422>
22. Bastidas V. Concepts for Modeling Smart Cities [Текст] / V. Bastidas, I. Reyhach, A. Ofir, M. Bezbradica, M. Helfert // Business Information Systems and Engineering. – 2022. – Vol. 64. – P. 359-373. DOI: <https://doi.org/10.1007/s12599-021-00724-w>
23. Nam T. Smart City as Urban Innovation: Focusing on management, Policy, and Context [Текст] / T. Num, T.A. Pardo // ICEGOV Conference, Tallin, Estonia 26-28 September, 2011. – P. 185-194.
24. Giffinger R. Smart Cities Ranking: An Effective Instrument for the Positioning of Cities? [Текст] / R. Giffinger, H. Gudrun // ACE: Architecture, City and Environment. – 2010. – Vol. 4. – No 12. – P. 7-25. DOI: <http://dx.doi.org/10.5821/ace.v4i12.2483>
25. Hall R. E. The vision of a smart city / R.E. Hall // Proceedings of the 2nd International Life Extension Technology Workshop, Paris, France, 28 September. – 2000. – Режим доступу: <https://www.osti.gov/servlets/purl/773961/>
26. Hartley J. Innovation in governance and public services: Past and present [Текст] / J. Hartley // Public Money & Management. – 2005. – Vol. 25. – No 1. – P. 27-34. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1467-9302.2005.00447.x>
27. Toppeta D. The Smart City Vision: How Innovation and ICT Can Build Smart, "Livable", Sustainable Cities / D. Toppeta // The Innovation Knowledge Foundation. – 2010. – Vol. 5. – P. 1-9.
28. Washburn D. Helping CIOs Understand "Smart City" Initiatives: Defining the Smart City, Its Drivers, and the Role of the CIO [Текст] / D. Washburn, U. Sindhu, S. Balaouras, R.A. Dines, N.M. Hayes, L.E. Nelson // Cambridge, MA: Forrester Research, Inc. – 2010. – Режим доступу: http://public.dhe.ibm.com/partner-world/pub/smb/smarterpla net/forr_help_cios_and_smart_city_initiatives.pdf
29. Kramers A. Smart sustainable cities – Exploring ICT solutions for reduced energy use in cities [Текст] / A. Kramers, M. Höjer, N. Lövehagen, J. Wangel // Environmental Modelling & Software. – 2014. – Vol. 56. – P. 52-62. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2013.12.019>
30. Bibri S.E. The IoT for smart sustainable cities of the future: An analytical framework for sensorbased big data applications for environmental sustainability [Текст] / S.E. Bibri // Sustainable Cities and Society. – 2018. – Vol.38. – P. 230-253. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scs.2017.12.034>
31. Li Y. Knowledge polycentricity and the evolving Yangtze River Delta megalopolis [Текст] / Y. Li, N.A. Phelps // Regional Studies. – 2017. – Vol. 51. – P. 1035-1047, DOI: <https://doi.org/10.1080/00343404.2016.1240868>
32. Ma H. Proximity and the evolving knowledge polycentricity of megalopolitan science: Evidence from China's Guangdong-Hong Kong-Macao Greater Bay Area, 1990–2016 [Текст] / H. Ma, Y. Li, X. Huang // Urban Studies. – 2021. – Vol. 58. – P. 2405-2423. DOI: <https://doi.org/10.1177/0042098020942665>
33. Buck T. Competitive urbanism and the limits to smart city innovation: The UK Future Cities initiative [Текст] / T. Buck, N. While, A. While // Urban Studies – 2017. – Vol. 54. – P. 501-519. DOI: <https://doi.org/10.1177/0042098015597162>
34. Parteka E. Digital planning of the city of Barcelona and its relations with the strategic digital city [Текст] / E. Parteka, D. A. Rezende // Journal of Technology Management & Innovation. – 2018 – Vol. 13. – P. 54-60. DOI: <https://doi.org/10.4067/S0718-27242018000400054>
35. Kostrikov S. V. GIS-modelling of regional commuting (a case study of Kharkiv region) [Текст] / S. V. Kostrikov, K. Yu. Sehida // Актуальні проблеми економіки. – 2016. – № 12. – С. 399-410. – Режим доступу: http://nbuv.gov.ua/UJRN/ape_2016_12_45
36. 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. DOI: <https://doi.org/10.26565/2410-7360-2019-50-08>
37. Серьогін Д. До питання виокремлення урбаністичних геоситуацій [Текст] / Д. Серьогін, С. Костріков // Вісник Харківського національного університету імені В. Н. Каразіна, серія «Геологія. Географія. Екологія». – 2023. – Вип. 58. – С. 241-256. <https://doi.org/10.26565/2410-7360-2023-58-19>
38. Johnson J. Complexity Theories of Cities Have Come of Age / J. Johnson // In: An Overview with Implications to Urban Planning and Design. Editors: Portugali J., Meyer H., Stolk E., Tan E. // NY-London: Springer. – 2012. – P. 1-17. DOI: http://dx.doi.org/10.1007/978-3-642-24544-2_9
39. Potere D. Mapping urban areas on a global scale: Which of the eight maps now available is more accurate [Текст] / D. Potere, A. Schneider, A. Shlomol, D.L. Civco // International Journal of Remote Sensing. – 2009. – Vol. 30. – P. 6531-6558. DOI: <http://dx.doi.org/10.1080/01431160903121134>
40. Dong P. LiDAR Remote Sensing and Applications [Текст] / P. Dong, Q. Chen (Editors). – Boca Raton: CRC Press, 2018. – 246 p.
41. Esch T. Towards a Large-Scale 3D Modeling of the Built Environment – Joint Analysis of TanDEM-X, Sentinel-2 and Open Street Map Data [Текст] / T. Esch, J. Zeidler, D. Palacios-Lopez et al. // Remote Sensing – 2020. – Vol. 12. – P. 2391. DOI: <https://doi.org/10.3390/rs12152391>
42. Wang M. Quality analysis of open street map data [Текст] / M. Wang, Q. Li, Q. Hu, M. Zhou // International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Science. – 2013. – Vol. XL-2/W1. – P. 155–158. DOI: <https://doi.org/10.5194/isprsarchives-XL-2-W1-155-2013>
43. Shi J. An ontology-based methodology to establish city information model of digital twin city by merging BIM, GIS and IoT [Текст] / J. Shi, Z. Pan, L. Jiang, X. Zhai // Advanced Engineering Informatics. – 2023. – Vol. 57. – P. 102114. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.aei.2023.102114>
44. Eckle M. Leveraging OpenStreetMap to support flood risk management in municipalities: a prototype decision support system / M. Eckle, J.P. de Albuquerque, B. Herfort, R. Wolff, A. Zipf, R. Leiner, C. Jacobs // In: 13th International

- Conference on Information Systems for Crisis Response and Management ISCRAM 2016, Rio de Janeiro, Brazil, 22-25 May, 2016. Available at: <https://wrap.warwick.ac.uk/78697/>
45. Ali M. Generating open-source datasets for power distribution network using openstreetmaps [Текст] / M. Ali, C.A. Macana, K. Prakash, R. Islam, I. Colak, H. Pota // In: 9th International Conference on Renewable Energy Research and Application (ICRERA). IEEE. – 2020. – P. 301-308. DOI: <https://doi.org/10.1109/ICRERA49962.2020.9242771>
 46. Fonte C., Minghini M., Antoniou V., See L., Patriarca J., Brovelli M., Milcinski G. Automated methodology for converting OSM data into a land use / cover map. In: 6th International Conference on Cartography & GIS, Albena, Bulgaria, 13-17 June 2016. Available at: <https://pure.iiasa.ac.at/id/eprint/13152/1/An%20automated%20methodology%20for%20converting%20OSM%20data%20into%20a%20landuse%20cover%20map.pdf>
 47. Kostrikov S. Automated Extraction of Heavyweight and Lightweight Models of Urban Features from LiDAR Point Clouds by Specialized Web-Software [Текст] / S. Kostrikov, R. Pudlo, D. Bubnov, V. Vasiliev, Y. Feday // Advances in Science, Technology and Engineering Systems. – 2020. – Vol. 5. – P. 72-95. DOI: <https://doi.org/10.25046/aj050604>
 48. Cao R. 3D building roof reconstruction from airborne LiDAR point clouds: a framework based on a spatial database [Текст] / R. Cao, Y. Zhanga, Z. Zhao // International Journal of Geographic Information Science. – 2017. – Vol. 31. – P. 1359-1380. DOI: <http://dx.doi.org/10.1080/13658816.2017.1301456>
 49. Fekete A. Tree segmentation and change detection of large urban areas based on airborne LiDAR [Текст] / A. Fekete, M. Cserep // Computers and Geoscience. – 2021. – Vol. 156. – P. 104900. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.cageo.2021.104900>
 50. Chen Y. A new urban change detection method based on the local G and local spatial heteroscedasticity [Текст] / Y. Chen, R. Tao // Transactions in GIS. – 2022. – Vol. 26. – P. 3315-3329. DOI: <http://dx.doi.org/10.1111/tgis.13004>
 51. Костріков С. Візуальний аналіз урбаністичного середовища як складова урбогеосистемно-го підходу [Текст] / С. Костріков, Д. Серьогін, В. Бережний // Часопис соціально-економічної географії. – 2021. – Вип.30(1). – С. 7-23. DOI: <https://doi.org/10.26565/2076-1333-2021-30-01>
 52. DARPA: Defense Advanced Research Projects Agency. Creating breaking through technologies and capabilities for national security. – 2023. Available at: <https://www.darpa.mil/>
 53. Tsai Y.H. Quantifying urban form: Compactness versus “sprawl” [Текст] / Y.H. Tsai // Urban Studies. – 2005. – Vol. 42. – P. 141-161. DOI: <https://doi.org/10.1080/0042098042000309748>
 54. Stilla, U. Change detection of urban objects using 3D point clouds: A review [Текст] / U. Stilla, Y. Xu // ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing. – 2023. – Vol. 197. – P. 228-255. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2023.01.010>
 55. Tian, J., Chaabouni-Chouayakh H., Reinartz P. 3D building change detection from high resolution spaceborne stereo imagery / J. Tian, H. Chaabouni-Chouayakh, P. Reinartz // 2011th International Workshop on Multi-Platform/Multi-Sensor Remote Sensing and Mapping. IEEE. Xiamen, China, 10-12 January 2011. DOI: <http://dx.doi.org/10.1109/M2RSM.2011.5697371>
 56. Awrangjeb M. Building change detection from Lidar point cloud data based on connected component analysis [Текст] / M. Awrangjeb, C. Fraser, G. Lu // ISPRS Annals of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Science. – 2015. – Vol. 2. – P. 393-400. DOI: <http://dx.doi.org/10.5194/isprsannals-II-3-W5-393-2015>
 57. Андерсон В.М. Бізнес-географія і геомаркетинг – нові напрямки конструктивної географії [Текст] / В. М. Андерсон // Наукова парадигма географічної освіти України в XXI столітті: Збірник наукових статей II Міжвузівської науково-практичної конференції 22 грудня 2006 року. – Донецьк: ДОУ. – 2006. – С. 83-94.
 58. Verschuren M. Geomarketing GIS & Marketing, New Combination of Knowledge [Текст] / Verschuren M. // Wageningen: Wageningen University and Research Centre. – 2006. – 68 p.
 59. Пункти незламності. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://nezlamnist.gov.ua/>
 60. Карта відновлення. [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://reukraine.shtab.net/>
 61. Офіційний сайт головного управління статистики у Дніпропетровській області. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.dneprstat.gov.ua/statinfo/ds/>
 62. Офіційний сайт Дніпровського метрополітену. [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://metro.dp.ua/maps/>

Authors Contribution: All authors have contributed equally to this work

References

1. United Nations. (2018). 68% of the World Population Projected to live in Urban Areas by 2050, Says UN. Department of Economic and Social Affairs. Available at: <https://www.un.org/development/desa/en/news/population/2018-revision-of-world-urbanization-prospects.html>
2. Battisti A., Baiani S. (2022). Sustainable Development Dimensions and Urban Agglomeration. IntechOpen, London. DOI: <https://doi.org/10.5772/intechopen.94779>
3. Dobbs R. Smit S., Remes J., Manyika J., Roxburgh Ch., Restrepo A. (2011). Urban World: Mapping the Economic Power of Cities. Available at: <https://www.mckinsey.com/featured-insights/urbanization/urban-world-mapping-the-economic-power-of-cities>
4. Rezende D. A. (2016). Digital City: Chicago and Schaumburg (USA) Information, Sustainability Indicators and Public Services Projects. GeSec: Revista de Gestão e Secretariado. 7 (2), 55-79. DOI: <https://doi.org/10.7769/gesec.v7i2.545>

5. Biljecki F., Stoter J., Ledoux H., Zlatanova S., Çöltekin A. (2015). Applications of 3D City Models: State of the Art Review. *ISPRS Int. J. Geo-Inf.* 4, 2842–2889. DOI: <https://doi.org/10.3390/ijgi4042842>
6. Eremia M., Toma L., Sanduleac M. (2017). The Smart City Concept in the 21st Century. *Procedia Engineering*. 181, 12-19. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.proeng.2017.02.357>
7. Rezende D.A., Procopiuck M., Figueiredo F. (2015). Public Policy and a Strategic Digital City Project: A Case Study of the Brazilian Municipality of Vinhedo. *Journal of Urban Technology*. 22, 63–83. DOI: <http://dx.doi.org/10.1080/10630732.2014.971536#2015>
8. Bonini V., Galelli P., Minetto A., Delponte I., Morbiducci R. (2019). Effects of the digital transformation on the contemporary city project. *Tema*. 5 (1), 61-71. DOI: <https://doi.org/10.17410/tema.v5i1.215>
9. Hämäläinen M. (2021). Urban development with dynamic digital twins in Helsinki city. *IET Smart Cities*. 3, 201-210. DOI: <https://doi.org/10.1049/smc2.12015>
10. Dembski F., Wössner U., Letzgus M., Ruddat M., Yamu C. (2020). Urban Digital Twins for Smart Cities and Citizens: The Case Study of Herrenberg, Germany. *Sustainability*. 12, 2307. DOI: <https://doi.org/10.3390/su12062307>
11. Kostrikov S., Niemets L., Sehida K. [and other]. (2018). Geoinformation approach to the urban geographic system research (case studies of Kharkiv region). *Visnyk of V.N. Karazin Kharkiv National University. Series "Geology. Geography. Ecology"*. 49, 107-121. DOI: <https://doi.org/10.26565/2410-7360-2018-49-09>
12. 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. DOI: <http://dx.doi.org/10.3390/ijgi9110650>
13. Kostrikov S., Seryogin D. (2022). Urbogeosystemic Approach to Agglomeration Study within the Urban Remote Sensing Frameworks. *Urban Agglomeration*. Edited by A. Battisti and S. Baiani: Intech Open, London, Milan, Zagreb. 251-273. DOI: <http://dx.doi.org/10.5772/intechopen.102482>
14. GEO Group on Earth Observation. (2019). Earth Observations for the Benefits of Humankind. GEOSS Portal. Available at: <http://www.earthobservations.org/index.php>
15. Weng Q. (2016). *Remote Sensing for Sustainability*. Boca Raton, FL: CRC Press, Taylor & Francis. 366.
16. Group on Earth Observations. (2016). The GEO 2016–2025 Strategic Plan: Implementing GEOSS. GEOSS Portal. Available at: https://www.earthobservations.org/geoss_wp.php
17. Komminos N. (2002). *Intelligent Cities: Innovation, Knowledge Systems and Digital Spaces* Spon Press, London, New York. 320.
18. Caragliu A., Del Bo C., Nijkamp P. (2011). Smart Cities in Europe. *Journal of Urban Technology*. 18, 65-82. DOI: <http://dx.doi.org/10.1080/10630732.2011.601117>
19. Filatov, V.M., Kostrikov, S.V. (2019). Towards the consideration of some aspects of the Smart City concept in the Human Geography perspective. *REGION 2019: Human–Geographical aspects. Proceedings of the International Conference for young scientists and post-graduate students*. Kharkiv, 108–111.
20. Orlowski A., Romanowska P. (2019). Smart Cities Concept: Smart Mobility Indicator. *Cybernetics and Systems*. 50, 118-131. DOI: <https://doi.org/10.1080/01969722.2019.1565120>
21. David M., Kosh F. (2019). "Smart Is Not Smart Enough!" Anticipating Critical Raw Material Use in Smart City Concepts: The Example of Smart Grids. *Sustainability*. 11, 4422. DOI: <https://doi.org/10.3390/su11164422>
22. Bastidas V., Reyhach I., Ofir A., Bezbradica M., Helfert M. (2022). Concepts for Modeling Smart Cities. *Business Information Systems and Engineering*. 64, 359-373. DOI: <https://doi.org/10.1007/s12599-021-00724-w>
23. Nam T., Pardo T.A. (2011). Smart City as Urban Innovation: Focusing on management, Policy, and Context. *ICEGOV Conference, Tallinn, Estonia, 26-28 September 2011*. 185-194.
24. Giffinger R., Gudrun H. (2010). Smart Cities Ranking: An Effective Instrument for the Positioning of Cities?. *ACE: Architecture, City and Environment*. 4(12), 7-25. DOI: <http://dx.doi.org/10.5821/ace.v4i12.2483>
25. Hall R. E. (2000). The vision of a smart city. *Proceedings of the 2nd International Life Extension Technology Workshop, Paris, France, 28 September*. Available at: <https://www.osti.gov/servlets/purl/773961/>
26. Hartley J. (2005). Innovation in governance and public services: Past and present. *Public Money & Management*. 25(1), 27-34. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1467-9302.2005.00447.x>
27. Toppeta, D. (2010). *The Smart City Vision: How Innovation and ICT Can Build Smart, "Livable", Sustainable Cities*. The Innovation Knowledge Foundation. 5, 1-9.
28. Washburn D., Sindhu U., Balaouras S., Dines R.A., Hayes N.M., Nelson L.E. (2010). *Helping CIOs Understand "Smart City" Initiatives: Defining the Smart City, Its Drivers, and the Role of the CIO*. Cambridge, MA: Forrester Research, Inc. Available at: http://public.dhe.ibm.com/partner-world/pub/smb/smarterpla_net/forr_help_cios_and_smart_city_initiatives.pdf
29. Kramers A., Höjer M., Lövehagen N., Wangel J. (2014). Smart sustainable cities – Exploring ICT solutions for reduced energy use in cities. *Environmental Modelling & Software*. 56, 52-62. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2013.12.019>
30. Bibri S.E. (2018). The IoT for smart sustainable cities of the future: An analytical framework for sensorbased big data applications for environmental sustainability. *Sustainable Cities and Society*. 38, 230-253. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scs.2017.12.034>
31. Li Y., Phelps N.A. (2017). Knowledge polycentricity and the evolving Yangtze River Delta megalopolis. *Regional Studies*. 51, 1035-1047. DOI: <https://doi.org/10.1080/00343404.2016.1240868>

32. Ma H., Li Y., Huang X. (2021). Proximity and the evolving knowledge polycentricity of megalopolitan science: Evidence from China's Guangdong-Hong Kong-Macao Greater Bay Area, 1990–2016. *Urban Studies*. 58, 2405–2423. DOI: <https://doi.org/10.1177/0042098020942665>
33. Buck T., While N., While A. (2017). Competitive urbanism and the limits to smart city innovation: The UK Future Cities initiative. *Urban Studies*. 54, 501–519. DOI: <https://doi.org/10.1177/0042098015597162>
34. Parteka, E., Rezende, D. A. (2018). Digital planning of the city of Barcelona and its relations with the strategic digital city. *Journal of Technology Management & Innovation*. 13, 54–60. DOI: <https://doi.org/10.4067/S0718-27242018000400054>
35. Kostrikov, S. V., Sehida K. (2016). GIS-modelling of regional commuting (a case study of Kharkiv region). *Actual problems of economics*. 12, 399–410. Available at: http://nbuv.gov.ua/UJRN/ape_2016_12_45
36. Kostrikov, S. (2019). Urban remote sensing with LIDAR for the Smart City concept implementation. *Visnyk of V.N. Karazin Kharkiv National University. Series "Geology. Geography. Ecology"*. 50, 101–124. DOI: <https://doi.org/10.26565/2410-7360-2019-50-08>
37. Serohin D., Kostrikov S. (2023). Towards urbanistic geosituation delineation. *Visnyk of V.N. Karazin Kharkiv National University. Series "Geology. Geography. Ecology"*. 58, 241–256. DOI: <https://doi.org/10.26565/2410-7360-2023-58-19> [in Ukrainian].
38. Johnson J., Portugali J., Meyer H., Stolk E., Tan E. (2012). Complexity Theories of Cities Have Come of Age. – In: *An Overview with Implications to Urban Planning and Design*. NY-London: Springer. 1–17. DOI: http://dx.doi.org/10.1007/978-3-642-24544-2_9
39. Potere D., Schneider A., Shlomol A., Civco D.L. (2009). Mapping urban areas on a global scale: Which of the eight maps now available is more accurate. *International Journal of Remote Sensing*. 30, 6531–6558. DOI: <http://dx.doi.org/10.1080/01431160903121134>
40. Dong P., Chen Q. (2018). *LiDAR Remote Sensing and Applications*. Boca Raton: CRC Press. 246.
41. Esch T., Zeidler J., Palacios-Lopez D. [and other]. (2020). Towards a Large-Scale 3D Modeling of the Built Environment – Joint Analysis of TanDEM-X, Sentinel-2 and Open Street Map Data. *Remote Sensing*. 12, 2391. DOI: <https://doi.org/10.3390/rs12152391>
42. Wang M., Li Q., Hu Q., and Zhou M. (2013). Quality analysis of open street map data. *International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Science*. XL-2/W1. 155–158. DOI: <https://doi.org/10.5194/isprsarchives-XL-2-W1-155-2013>
43. Shi J., Pan Z., Jiang L., Zhai X. (2023). An ontology-based methodology to establish city information model of digital twin city by merging BIM, GIS and IoT. *Advanced Engineering Informatics*. 57. 102114. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.aei.2023.102114>
44. Eckle M., de Albuquerque J. P., Herfort B., Wolff R., Zipf A., Leiner R., Jacobs C. (2016). Leveraging OpenStreetMap to support flood risk management in municipalities: a prototype decision support system. In: *13th International Conference on Information Systems for Crisis Response and Management ISCRAM 2016*, Rio de Janeiro, Brazil, 22–25 May 2016. Available at: <https://wrap.warwick.ac.uk/78697/>
45. Ali M., Macana C.A., Prakash K., Islam R., Colak I., Pota H. (2020). Generating open-source datasets for power distribution network using openstreetmaps. – In: *9th International Conference on Renewable Energy Research and Application (ICRERA)*. IEEE. 301–308. DOI: <https://doi.org/10.1109/ICRERA49962.2020.9242771>
46. Fonte C., Minghini M., Antoniou V., See L., Patriarca J., Brovelli M., Milcinski G. (2016). Automated methodology for converting OSM data into a land use / cover map. In: *6th International Conference on Cartography & GIS*, Albena, Bulgaria, 13–17 June 2016. Available at: <https://pure.iiasa.ac.at/id/eprint/13152/1/An%20automated%20methodology%20for%20converting%20OSM%20data%20into%20a%20landuse%20cover%20map.pdf>
47. 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. *Advances in Science, Technology and Engineering Systems*. 5, 72–95. DOI: <https://doi.org/10.25046/aj050604>
48. Caoa R., Zhanga Y., Zhao Z. (2017). 3D building roof reconstruction from airborne LiDAR point clouds: a framework based on a spatial database. *International Journal of Geographic Information Science*. 31, 1359–1380. DOI: <http://dx.doi.org/10.1080/13658816.2017.1301456>
49. Fekete A., Cserep M. (2021). Tree segmentation and change detection of large urban areas based on airborne LiDAR. *Computers and Geoscience*. 156. 104900. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.cageo.2021.104900>
50. Chen Y., Tao R. (2022). A new urban change detection method based on the local G and local spatial heteroscedasticity. *Transactions in GIS*. 26, 3315–3329. DOI: <http://dx.doi.org/10.1111/tgis.13004>
51. Kostrikov S., Serohin D., Berezhnoy V. (2021). Visibility analysis of the urbanistic environmet as a constituent of the urbogeosystems approach. *Human Geography Journal*, 30(1), 7–23, DOI: <https://doi.org/10.26565/2076-1333-2021-30-01> [in Ukrainian]
52. DARPA: Defense Advanced Research Projects Agency. Creating breaking through technologies and capabilities for national security. (2023). Available at: <https://www.darpa.mil/>
53. Tsai Y.H. (2005). Quantifying urban form: Compactness versus “sprawl”. *Urban Studies*. 42, 141–161. DOI: <https://doi.org/10.1080/0042098042000309748>
54. Stilla, U., Xu Y. (2023). Change detection of urban objects using 3D point clouds: A review. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*. 197, 228–255. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2023.01.010>

55. Tian, J., Chaabouni-Chouayakh H., Reinartz P. (2011). 3D building change detection from high resolution spaceborne stereo imagery. 2011th International Workshop on Multi-Platform/Multi-Sensor Remote Sensing and Mapping. IEEE. Xiamen, China, 10-12 January 2011. DOI: <http://dx.doi.org/10.1109/M2RSM.2011.5697371>
56. Awrangjeb M., Fraser, C., Lu G. (2015). Building change detection from Lidar point cloud data based on connected component analysis. ISPRS Annals of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Science. 2, 393-400. DOI: <http://dx.doi.org/10.5194/isprsannals-II-3-W5-393-2015>
57. Anderson V.M. (2006). Business geography and geomarketing - new directions in constructive geography. Scientific Paradigm of Geographic Education in Ukraine in the 21st Century: Collection of Scientific Articles of the 2nd Inter-university Scientific and Practical Conference, Donetsk, December 22, 2006, 83-94 [in Ukrainian].
58. Verschuren M. (2006). Geomarketing GIS & Marketing, New Combination of Knowledge / Verschuren M. – Wageningen: Wageningen University and Research Centre, 68.
59. Resilience Points. Available at: <https://nezlamnist.gov.ua/>
60. The Map of Recovery. Available at: <https://reukraine.shtab.net/>
61. Official website of the main statistics office in Dnipropetrovsk region. Available at: <http://www.dneprstat.gov.ua/statinfo/ds/>
62. Official website of the Dnipro metro. Available at: <https://metro.dp.ua/maps/>

Значення проектів «цифрове місто» в урбаністичних дослідженнях мегаполісів (користувацькі сценарії на прикладах міст Харкова і Дніпра)

Сергій Костріков¹

д. геогр. н., професор, кафедра соціально-економічної географії та регіонаознавства імені Костянтина Немця,

¹ Харківський національний університет імені В. Н. Каразіна,

м. Свободи, 4, м. Харків, 61022, Україна;

Катерина Кравченко¹

к. геогр. н., доцент, кафедра соціально-економічної географії та регіонаознавства імені Костянтина Немця;

Денис Серьогін¹

аспірант кафедри соціально-економічної географії та регіонаознавства імені Костянтина Немця;

Софія Білянська¹

студентка магістратури кафедри соціально-економічної географії та регіонаознавства імені Костянтина Немця;

Анастасія Савченко¹

студентка бакалаврату кафедри соціально-економічної географії та регіонаознавства імені Костянтина Немця

Стаття розглядає методологічну й методичну послідовності впровадження концепції Проекту «Цифрове Місто» (ПЦМ) - від удосконалення і подальшого розвитку окремих теоретичних положень цієї концепції до переліку заходів щодо її практичної імплементації через засоби веб- та настільного програмного забезпечення. Ці програмні додатки працюють з унікальними результатами моніторингу міського (урбанізованого) середовища на підставі даних дистанційного лазерного зондування (лідарних даних). Метою статті є спроба виконати на підставі урбогеосистемного аналізу оцінку ефективності застосування ПЦМ як для теоретичних урбаністичних досліджень, так й для розв'язання певних актуальних соціально-економічних проблем міського довкілля, виявлених вкрай загостреними через російську агресію. У цьому зв'язку дослідження сфокусовано на урбаністичному середовищі мегаполісів Харкова й Дніпра. Представлене дослідження оцінює ефективність теоретичного внеску, що випливає із останніх удосконалень концепції урбогеосистем (УГС), в прикладну імплементацію низки проектів «цифрових міст». У цьому зв'язку розглядається й обговорюється перспектива реалізації «повноформатних проектів цифрових міст». Для таких рішень автори пропонують, що повноформатні ПЦМ повинні слугувати всеосяжними моделями реального (фізичного) міського довкілля, охоплюючи всі його структурні елементи та ключові об'єкти, виходячи за межі можливостей типового проекту ГІС. Останній, тим не менш, й це окремо підкреслюється, може вирішувати низку актуальних завдань міських досліджень. Щодо цього представлені інтерфейс й функціональність авторського настільного програмного застосування щодо обробки лідарних даних й 3D-моделювання міського середовища. Також розглядаються й пояснюються веб-інструменти роботи з картами глобального покриття (КГП). Останні виступають основними джерелами наповнення поточних практичних ПЦМ. У статті послідовно наводяться відповідні практичні рішення щодо користувацьких сценаріїв: 1) повноформатний ПЦМ Харкова, що реалізується на підставі його наповнення із КГП, обробки лідарних даних та геоситуаційного аналізу; 2) реалізація геомаркетингових досліджень на підставі ГІС-проекту «Цифровий Харків» з наголосом на оптимізацію розташування існуючої мережі укриттів; 3) побудова ГІС-проекту «Цифровий Дніпро» як для аналізу забезпеченості транспортною мережею міського населення, так й для планування міського розвитку у післявоєнний час.

Ключові слова: проект «Цифрове Місто», онтологічна модель урбогеосистеми, урбаністичне середовище, карти глобального покриття, інтерфейс і функціональність настільного застосування, користувацькі сценарії застосування програмного додатку, типовий ГІС-проект, веб-інструменти.

Внесок авторів: всі автори зробили рівний внесок у цю роботу

Надійшла 23 серпня 2023 р.

Прийнята 20 жовтня 2023 р.

Remote sensing data for drought stress and croplands productivity assessment in Kherson region

Pavlo Lykhovyd

DSc (Agriculture), Senior Researcher, Department of Irrigated Agriculture and Decarbonization of Agroecosystems, Institute of Climate-Smart Agriculture of NAAS,
24 Mayatska doroha St., Khlibodarske vil., Odesa, 67667, Ukraine,
e-mail: pavel.likhovid@gmail.com,  <http://orcid.org/0000-0002-0314-7644>

ABSTRACT

Formulation of the problem. Remote sensing data might be used for indirect assessment of croplands conditions and drought stress through the calculation of specific vegetation indices, such as vegetation health index (VHI), agriculture stress index (ASI), and drought intensity or weighted mean vegetation health index (WMVHI). However, the accuracy of these indices is not clear for some territories. For example, the South of Ukraine is a zone of risky agriculture, because of low natural moisture supply and high evapotranspiration. Moisture supply is the main limiting factor for sustainable crop production in this region.

The goals of this study were: 1) to assess the reliability of the mentioned vegetation indices in drought assessment through the direct comparison with the UNEP aridity index; 2) to find out whether remote sensing drought indicators could be used for the yield prediction of major crops on the regional scale.

Methods. The study was conducted for Kherson region of Ukraine, as it is one of the most arid regions of the country with very high drought risks. The data on average weighted annual VHI, ASI, and WMVHI for the period 1984-2022 (Season 1) were collected and generalized from the FAO Earth Observation services. UNEP aridity index was calculated using the data from Kherson regional hydrometeorological center. Correlation and linear regression analysis were performed using common statistical methodology.

Results. As a result, it was found that 1) all the studied remote sensing drought indicators demonstrate poor correlation with the aridity index, therefore, they should not be used to determine meteorological drought in the region; 2) all the studied remote sensing indices, especially VHI, demonstrate moderate-to-strong correlation with the yields of certain crops, cultivated in Kherson region ($R=0.54-0.86$), and could be used for the yield prediction; 3) the aridity index have poor relation to the yields of major crops, cultivated in the studied area; 4) VHI-based linear regression models for the crops' yields prediction are reliable and reasonable for scientific and practical use just for cereal crops, and are much less accurate for grain corn and sunflower; 5) based on the study findings, it could be concluded that aridity index provides pure climatological characteristics of the region, while the studied vegetation indices are mainly focused on the level of drought stress that impacts crops during the growing season.

Scientific novelty and practical significance. The article provides novel insights on the implementation of remote sensing data in drought risks assessment in crop production, and their utilization for the purpose of croplands productivity prediction. The study has theoretical and practical importance for current agriculture, and the findings could be used both in scientific, educational, and practical purposes.

Keywords: agriculture stress index, aridity index, drought intensity, vegetation health index, yield.

In cites: Lykhovyd Pavlo (2023). Remote sensing data for drought stress and croplands productivity assessment in Kherson region. Visnyk of V. N. Karazin Kharkiv National University, series "Geology. Geography. Ecology", (59), 166-177. <https://doi.org/10.26565/2410-7360-2023-59-12>

Introduction. Global climate change is one of the greatest challenges for modern agriculture, as this branch of economy is highly dependent on environmental conditions and weather [1]. Sustainable crop production is possible just under the satisfaction of crops' requirements for vital elements, such as light, heat, nutrition, and water. Lack of natural moisture supply, accompanied by significant increase in air temperature, is one of the most important limiting factors for sustainable agriculture in the arid and semi-arid regions of the world. In these areas, which are gradually increasing in the intercourse of global warming, stable crop yields could be harvested in the irrigated conditions only [2, 3]. However, global water resources scarcity limits irrigation capacities, therefore, current irrigation should be not only water-saving, but it should also be provided on the territories, where its positive effects are expected to be the best [4]. In order to judge about the necessity of

irrigation in the concrete territory, modern agricultural and meteorological science provides direct and in-direct methods for drought risk assessment.

Among direct methods for the assessment of the level of climate aridity, the United Nations Environment Program (UNEP) aridity index (AI) calculations are simple and reliable, and this meteorological indicator is widely used in international scientific community to estimate the impacts of current climate change. The method is based on the ratio of the precipitation amounts (PA) and evaporation (PET) rates ($AI=PA/PET$), observed in the territory for the stipulated period of time. According to the calculation results, six types of climate are marked out, namely: extremely arid or sub-desert ($AI<0.05$); arid ($AI=0.05-0.20$); semi-arid ($AI=0.20-0.50$); dry sub-humid ($AI=0.50-0.65$); humid ($AI=0.65-0.75$); hyper humid ($AI>0.75$) [5, 6]. UNEP aridity index is referred as the standard methodology for climatological

assessment of the territories in many scientific studies, and it has proved its reliability [7].

At the same time, current science and technology offers great variety of alternative in-direct methods for drought risk and aridity assessment. Among them, remote sensing-based methods are of great importance and interest for agricultural science and practice.

For example, Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO) developed the agriculture stress index (ASI) as a measure for the operational assessment of water stress and drought in croplands. The ASI is based on the integration of the Vegetation Health Index (VHI) in temporal and spatial dimensions to assess drought events. The ASI is provided by administrative regions, and each administrative region is classified according to the percentage of the possibly affected by drought area into six classes (ASI<10; 10-25; 25-40; 40-55; 55-70; 70-85; >85) [8]. The ASI is not widely implemented, but it demonstrated good results in the estimation of El Nino's drought impacts on agriculture [9]. However, the role of the ASI in drought characteristics in different environments re-mains unclear, as well as the suitability of this index for crop yield prediction.

The Vegetation Health Index (VHI) is one of the most widely implemented vegetation indices, used for drought conditions assessment and monitoring. The VHI utilizes the Vegetation Condition Index (VCI) and the thermal Condition Index (TCI) to estimate drought [10]. Prior studies testified that the VHI is dependent on such features of the territory as geographical location and type of the vegetation cover [11]. Besides, it was determined that the input of the VHI constituent indices VCI and TCI into the final assessment is also dependent on vegetation type and general climate parameters of the studied area [12]. Therefore, it is necessary to evaluate its capacity to represent drought stress conditions in croplands in every certain area. Besides, the VHI is also suitable for crop yield prediction, as it was proved by some scientific studies for rice and wheat, cultivated in different environments [13, 14].

Apart from ASI and VHI, FAO proposes another interesting index for assessment of the intensity of agricultural drought conditions, based on the Weighted Mean Vegetation Health Index (WMVHI in percents) aggregated per GAUL 2 region. The intensity of drought is assessed using the presumption that the poorer the vegetation health is, the more severe the drought is. The WMVHI-based drought

intensity index subdivides the areas by agricultural drought manifestation into five classes (WMVHI<25; 25-35; 35-38; 38-42; >42) [15]. The index found very little scientific and practical implementation in drought monitoring and croplands productivity prediction, however, this neglection lacks scientific justification.

Therefore, remote sensing methods for drought assessment are represented by somewhat different approaches in the interpretation of the VHI. It should be noted that while VHI is commonly used for croplands health monitoring, the ASI and the WMVHI are less common and less studied indicators of drought. The goals of current study were: i) to assess the reliability of the ASI, VHI, and WMVHI in drought assessment through the establishment of their relationship with aridity index level; ii) to find out whether the studied vegetation indices could be used for the yield prediction of major crops, cultivated in the South of Ukraine. As the reliability of the methods for drought risk assessment should be better evaluated in the areas, where climate aridity and droughts are common, it was determined that Kherson region of Ukraine, representing the zone of risky agriculture because of lack of natural moisture supply and high evaporation, is a good one for such a purpose [16].

Materials and methods. The study was carried out for Kherson region of Ukraine for the period 1984-2022. Geographical location of the region is presented in the Figure 1. The region represents typical Steppe zone climate, which is characterized by [17, 18] as BSk or cold semi-arid climate. The region belongs to the zone of risky agriculture with systematic impacts of drought events on croplands [19].

The images of annual VHI for the Season 1 croplands were extracted for the calculations and analysis from the Global Information and Early Warning System on Food and Agriculture (GIEWS) Living Atlas map, presented via ArcGIS Online platform.

The Season 1 croplands represent growing season of most cultivated crops in the region, as by the FAO's definition it falls within the period March-August in the region (Figure 2).

The extracted images were analyzed using Pixel Color Counter (<https://townsean.github.io/canvas-pixel-color-counter/>) to obtain quantitative characteristics of the representation of each VHI class in the images. The final VHI score was calculated using the following equation (1):

$$VHI = a*n_a + b*n_b + c*n_c + d*n_d + e*n_e + f*n_f + g*n_g + h*n_h + i*n_i, \quad (1)$$

where a, b, c, d, e, f, g, h, i are corresponding classes of the VHI values, namely, 0.075, 0.20, 0.30, 0.40, 0.50, 0.60, 0.70, 0.80, 0.85; n_{a-i} are corresponding share of the pixels in the image, which represent

particular VHI class, calculated as the ratio of the pixels of certain color band to the total number of cropland-representing pixels in the image.

The values of ASI and WMVHI were retrieved



Fig. 1. Location of Kherson region in the map of Europe (created with <https://mapchart.net>)

from the data, provided by FAO (could be accessed from <https://www.fao.org/giews/earthobservation/country/index.jsp?lang=en&code=UKR>). The association between the VHI, ASI, and WMVHI indicators is presented in the Figure 3 on the example of 2000 year.

The UNEP aridity index for the stipulated period was calculated using historical meteorological data obtained at Kherson regional hydrometeorological center and the open data from *meteoblue* service (<https://www.meteoblue.com/en/>). Further, mutual relationship between the VHI, ASI, WMVHI and the UNEP aridity index was calculated using common correlation analysis methodology in Microsoft Excel 365 statistical toolkit [20]. Strength of the relationship between the studied indicators was evaluated by the guidelines [21]. The methodological flow chart of this part of the study could be presented as follows (Figure 4).

Further, historical yielding data for the period 2005-2021 were retrieved from official statistical bodies of Ukraine. Five major crops, including winter wheat, spring wheat, barley, grain corn, and sunflower were analyzed. The yielding data were associated with every studied drought index and statistically processed to estimate whether they are appropriate for yield prediction through the procedure of linear regression analysis toolkit within Microsoft Excel 365 [22]. Finally, linear regression models of major crops yield prediction were developed, if reasonable. The models are developed based on the ba-

sic equation of linear regression (2):

$$\text{Yield} = a + b \cdot x, \quad (2)$$

where Yield is the value of a certain crop productivity, t/ha; x – the value of a certain drought index; a – the interception of the regression model; b – regression coefficient.

Linear models were chosen because of small input sample size (less than 30), therefore, non-linear models, requiring bigger sample sizes, were concluded to be inappropriate in the study because of the overfitting hazard. Regression models were developed in BioStat v.7 software.

Results. The result of the study will be presented in the following sub-sections depending on their relevance to the stipulated tasks of the investigation.

3.1. Relationship between the studied drought indicators

As a result of correlation analysis, it was found out that there is extremely strong relationship between FAO's drought intensity (MWVHI) and ASI indices, while there is almost no connection between the UNEP aridity index (AI) and all other studied indicators (Table 1).

Strong relationship was established between VHI, ASI, and MWVHI. It should be noted that the relationship is inverted for VHI – ASI, ASI – MWVHI, and ASI – AI pairs. It means that an increased VHI results in less ASI values, and so on. This is quite logical, because high VHI, and MWVHI

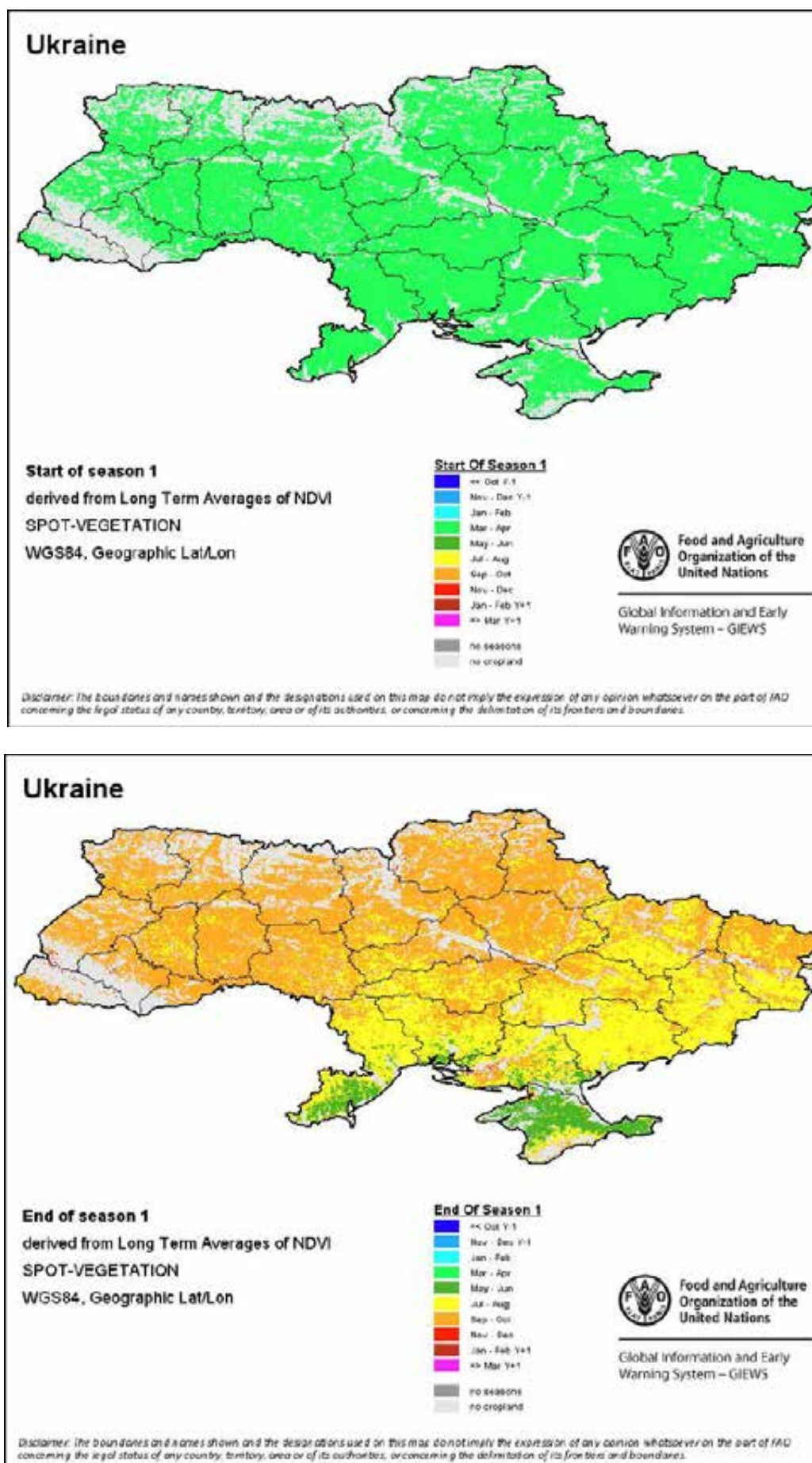


Fig. 2. Season 1 duration for Kherson region of Ukraine (retrieved from FAO Earth Observation services, <https://www.fao.org/giews/earthobservation/country/index.jsp?lang=en&code=UKR>)



Fig. 3. Association between the studied remote sensing drought indicators in Kherson region in 2000 year (extracted from ArcGIS Online platform)

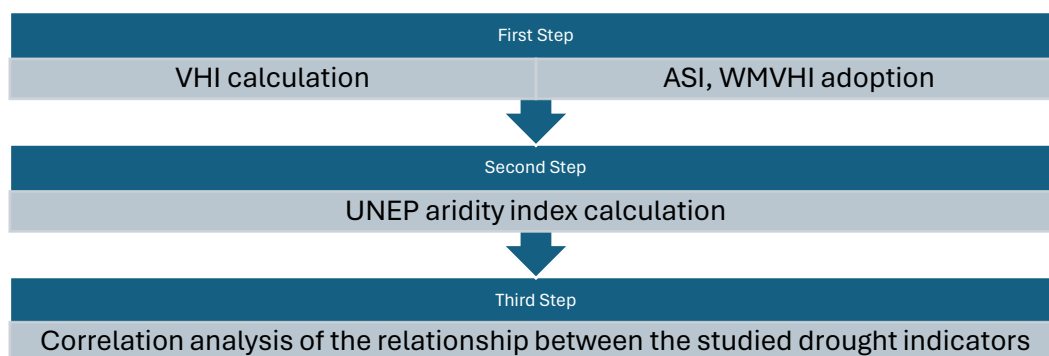


Fig. 4. Methodological flow chart of the study

Table 1

The results of correlation analysis between the studied drought indicators

Indicators pair	Correlation coefficient	Determination coefficient
VHI – ASI	-0.7975	0.64 (64%)
VHI – MWVHI	0.8071	0.65 (65%)
VHI – AI	0.2016	0.04 (4%)
ASI – MWVHI	-0.9625	0.93 (93%)
ASI – AI	-0.1269	0.02 (2%)
MWVHI – AI	0.1173	0.01 (1%)

values tell about better vegetation cover conditions and less stress in plants, while high ASI tells about higher affection of the area with drought stress. As well, higher UNEP AI values mean less arid and dry climate, therefore, it is logical, that higher UNEP AI shall correspond to lower ASI values.

3.2. Yields of major crops and drought stress indicators

The yields of major crops, cultivated in Kherson region, namely, winter and spring wheat, barley, grain corn, and sunflower are strongly dependent on the levels of natural moisture supply in the region, as well as irrigation [23]. Therefore, there should be a connection between the crops' productivity and drought indicators in the region. Tables 2–5 present generalized information on the mean annual yields of the studied crops in Kherson region, as well as their relationship with the studied drought indicators.

From the study results, it becomes evident that the strongest relationship between the crops' yields and drought indicators belongs to the pair "Yield – VHI", where determination coefficient, depending on the crop, fluctuates within 0.29–0.75. The weakest

connection is determined for grain corn, while the strongest – for winter wheat. There is almost no statistically significant relationship between the crops' yields and UNEP aridity index. This is because the mentioned above indicator refers mainly to pure meteorological characteristics of the period and does not reflect real in-field conditions of drought intensity, which could be quite different because of additional parameters, affecting crops' state (irrigation, agrotechnological measures for moisture preservation, etc.). As for ASI and WMVHI, there is mild-to-moderate connection with crops' yields in the region. However, it is sufficiently lower than for VHI. Therefore, it is reasonable to create yield prediction models based on the VHI values, and other indices could be just supportive in this regard.

3.3. Crops' yield prediction models based on the vegetation health index

Based on the inputs, provided in the Table 2, linear regression models have been developed for each crop, cultivated in Kherson region. The statistics for the developed models are presented in Table 6.

Considering the results of linear regression analy-

Table 2

Historical mean annual yields of major crops, cultivated in Kherson region,
and vegetation health index values

Year	VHI	Crops' yields, t/ha				
		Winter wheat	Spring wheat	Barley	Corn	Sunflower
2006	0.55	2.54	2.54	2.12	3.87	1.00
2008	0.61	3.28	3.28	3.09	5.99	1.11
2009	0.52	2.44	2.44	2.14	5.46	0.82
2010	0.52	2.43	2.43	1.63	5.29	1.23
2011	0.56	3.47	3.47	2.71	5.24	1.29
2013	0.51	2.41	2.41	1.97	4.97	0.77
2014	0.55	2.94	2.94	2.29	5.18	0.87
2015	0.68	3.54	2.86	3.10	7.10	1.70
2016	0.62	3.62	3.43	3.18	5.77	1.65
2017	0.53	3.49	3.00	3.05	5.97	1.34
2018	0.52	3.22	2.56	3.47	6.56	1.64
2019	0.60	3.49	3.14	4.09	8.03	1.79
2020	0.59	3.16	3.16	3.20	8.42	1.65
2021	0.74	4.22	4.22	4.42	6.70	2.00
2005	0.55	2.45	2.45	1.54	4.47	1.03
2007	0.26	1.85	1.85	0.90	4.13	0.57
2012	0.27	1.57	1.57	1.33	4.96	0.83
Correlation coefficient		0.86	0.86	0.78	0.54	0.73
Determination coefficient		0.75	0.74	0.61	0.29	0.54

Table 3

Historical mean annual yields of major crops, cultivated in Kherson region, and UNEP aridity index values

Year	UNEP AI	Crops' yields, t/ha				
		Winter wheat	Spring wheat	Barley	Corn	Sunflower
2006	0.35	2.54	2.54	2.12	3.87	1.00
2008	0.51	3.28	3.28	3.09	5.99	1.11
2009	0.48	2.44	2.44	2.14	5.46	0.82
2010	0.54	2.43	2.43	1.63	5.29	1.23
2011	0.20	3.47	3.47	2.71	5.24	1.29
2013	0.24	2.41	2.41	1.97	4.97	0.77
2014	0.23	2.94	2.94	2.29	5.18	0.87
2015	0.35	3.54	2.86	3.10	7.10	1.70
2016	0.38	3.62	3.43	3.18	5.77	1.65
2017	0.20	3.49	3.00	3.05	5.97	1.34
2018	0.27	3.22	2.56	3.47	6.56	1.64
2019	0.43	3.49	3.14	4.09	8.03	1.79
2020	0.23	3.16	3.16	3.20	8.42	1.65
2021	0.53	4.22	4.22	4.42	6.70	2.00
2005	0.49	2.45	2.45	1.54	4.47	1.03
2007	0.35	1.85	1.85	0.90	4.13	0.57
2012	0.23	1.57	1.57	1.33	4.96	0.83
Correlation coefficient		0.09	0.18	0.10	0.00	0.15
Determination coefficient		0.01	0.03	0.01	0.00	0.02

Table 4

Historical mean annual yields of major crops, cultivated in Kherson region, and agriculture stress index values

Year	ASI	Crops' yields, t/ha				
		Winter wheat	Spring wheat	Barley	Corn	Sunflower
2006	10.0	2.54	2.54	2.12	3.87	1.00
2008	10.0	3.28	3.28	3.09	5.99	1.11
2009	10.0	2.44	2.44	2.14	5.46	0.82
2010	10.0	2.43	2.43	1.63	5.29	1.23
2011	10.0	3.47	3.47	2.71	5.24	1.29
2013	17.5	2.41	2.41	1.97	4.97	0.77
2014	10.0	2.94	2.94	2.29	5.18	0.87
2015	10.0	3.54	2.86	3.10	7.10	1.70
2016	10.0	3.62	3.43	3.18	5.77	1.65
2017	10.0	3.49	3.00	3.05	5.97	1.34
2018	10.0	3.22	2.56	3.47	6.56	1.64
2019	10.0	3.49	3.14	4.09	8.03	1.79
2020	10.0	3.16	3.16	3.20	8.42	1.65
2021	10.0	4.22	4.22	4.42	6.70	2.00
2005	10.0	2.45	2.45	1.54	4.47	1.03
2007	77.5	1.85	1.85	0.90	4.13	0.57
2012	47.5	1.57	1.57	1.33	4.96	0.83
Correlation coefficient		-0.64	-0.62	-0.59	-0.40	-0.53
Determination coefficient		0.41	0.38	0.35	0.16	0.28

Table 5

Historical mean annual yields of major crops, cultivated in Kherson region, and drought intensity (weighted mean vegetation health index) index values

Year	WMVHI	Crops yield, t/ha				
		Winter wheat	Spring wheat	Barley	Corn	Sunflower
2006	71.0	2.54	2.54	2.12	3.87	1.00
2008	71.0	3.28	3.28	3.09	5.99	1.11
2009	71.0	2.44	2.44	2.14	5.46	0.82
2010	71.0	2.43	2.43	1.63	5.29	1.23
2011	71.0	3.47	3.47	2.71	5.24	1.29
2013	71.0	2.41	2.41	1.97	4.97	0.77
2014	71.0	2.94	2.94	2.29	5.18	0.87
2015	71.0	3.54	2.86	3.10	7.10	1.70
2016	71.0	3.62	3.43	3.18	5.77	1.65
2017	71.0	3.49	3.00	3.05	5.97	1.34
2018	71.0	3.22	2.56	3.47	6.56	1.64
2019	71.0	3.49	3.14	4.09	8.03	1.79
2020	71.0	3.16	3.16	3.20	8.42	1.65
2021	71.0	4.22	4.22	4.42	6.70	2.00
2005	71.0	2.45	2.45	1.54	4.47	1.03
2007	30.0	1.85	1.85	0.90	4.13	0.57
2012	36.5	1.57	1.57	1.33	4.96	0.83
Correlation coefficient		0.66	0.64	0.58	0.37	0.50
Determination coefficient		0.43	0.41	0.34	0.14	0.25

Table 6

Regression statistics for the developed models of the crops' yields prediction
based on the values of vegetation health index

Statistical criteria	Crop name				
	Winter wheat	Spring wheat	Barley	Grain corn	Sun-flower
Number of inputs (N)	17	17	17	17	17
Correlation coefficient (R)	0.8644	0.8583	0.7802	0.5360	0.7349
Coefficient of determination (R^2)	0.7471	0.7367	0.6088	0.2873	0.5401
Adjusted R^2	0.7302	0.7192	0.5827	0.2398	0.5094
Predicted R^2	0.6873	0.6421	0.5223	0.1509	0.4242
Mean square error (MSE)	0.1323	0.1138	0.3963	1.2219	0.0879
Standard deviation (SD)	0.3637	0.3373	0.6295	1.1054	0.2965
Mean average percentage error (MAPE)	10.40%	9.67%	20.96%	13.90%	21.89%

sis. Five regression models have been developed for the yield prediction based on the VHI values (Table 7). However, it should be noted that the accuracy of the developed models is unequal, and the best quality of the prediction was achieved for winter and spring wheat. The greatest errors were established for grain corn and sunflower predictions, while barley yield prediction model has the lowest error and high fitting

quality, taking into account the values of correlation and determination coefficients.

Therefore, the models for wheat and barley could be recommended for practical use, while the lower accuracy and fitting quality of the models for grain corn and sunflower makes these models contradictory and does not allow to recommend them for practitioners.

Table 7

Linear regression models for the studied crops' yields prediction based on vegetation health index values

Crop name	Model
Winter wheat	Yield=0.2296+5.0346*VHI
Spring wheat	Yield=0.3548+4.5446*VHI
Barley	Yield=-0.8136+6.3248*VHI
Grain corn	Yield=2.7183+5.65358VHI
Sunflower	Yield=-0.1453+2.5882*VHI

Discussion. Current study provides first scientific insight on the relationship between different drought risk indicators, both remotely sensed and directly measured. Special attention has been paid to comparatively rarely used in science and practice indicators, such as Agri-culture Stress Index (ASI), and FAO's drought intensity indicator (based on the Weighted Mean Vegetation Health Index WMVHI). These drought risk indicators are specific for agricultural use, but they found narrow implementation in science and practice. For example, the ASI was applied in several studies to assess drought impacts of the El Niño phenomenon on agricultural lands [15, 24] and as a remotely sensed indicator for crop insurance [25]. But none of the quoted studies investigated the relationship between the real meteorological drought and/or aridity indicators, as well as other remotely sensed drought indicators. This statement is also true for the FAO's drought intensity indicator. But the situation with the VHI is absolutely different.

The vegetation health index is one of the most well-studied drought and vegetation cover conditions indicators, which are computed based on the remote

sensing data. The study [12] evaluated the relationship between the VHI and SPEI (Standardized Precipitation-Evapotranspiration Index) and found that these two indices are moderately correlated with each other. The study [26] revealed that the VHI moderately correlates with the NDVI (Normalized Difference Vegetation Index), and weakly correlates with the LST (Land Surface Temperature). The study [27] on the optimization of the VHI computation technique revealed that the correlation between the original VHI and scaled PDSI (Palmer's Drought Severity Index) was mild-to-moderate (0.38), while the optimized calculations resulted in better correlation between the two drought indicators (enhanced to 0.51). In the study [28] the authors revealed presence of moderate correlation between the VHI and SMI (Soil Moisture Index), favoring for the assumption that vegetation health index could be a reliable predictor of soil drought. Another study [29] claims that both VHI and SPI-3 (Standardized Precipitation Index) can clearly explain the relationship between meteorological drought and agricultural drought in Indonesia; the VHI and SPI-3 are strongly correlated with

each other. Therefore, it is evident that vegetation health index is vastly studied in terms of its reliability in drought assessment and its connection with other popular meteorological indicators, calculated based on actual meteorological data. Notwithstanding the fact, there is no study available in scientific literature, devoted to the investigation on the relationship between the VHI and UNEP-AI. Thus, current study provides novel insight into this subject, pointing out on extremely weak correlation between all the studied remote sensing-based drought indicators and aridity index. At the same time, it has been proved that all the remote sensing indicators are moderately-to-strong correlated with each other. Considering the study outcomes regarding the correlation between the crops' yields in Kherson region and the studied indicators, it is possible to conclude that the UNEP aridity index provides pure climatological characteristics, while the ASI, MWVHI, and VHI provide indirect characteristics of drought effects on the croplands.

As for the crops' yields prediction, it was found out that vegetation health index is the only one to be implemented in this purpose, because the relationship between the yields and ASI/MWVHI is much weaker. Current study is not the first one to build up the models for crops' yields prediction based on remote sensing VHI data; although, it is the first study made for the specific conditions of Kherson region, which is characterized as the zone of risky agriculture. Kussul et al. (2015) refer to the VHI-based empirical models for regional crop yield prediction as commonly used in agricultural science [30]. VHI-based empirical models were developed and successfully used in scientific purposes for such crops as rice, cultivated in Bangladesh ($R = 0.71-0.83$) [31]; winter wheat, cultivated in Australia ($R \geq 0.70$) [14], India (mean absolute percentage error of the predictive models was less than 10%) [32], Ukraine (VHI-based model outperformed NDVI-based and FAPAR-based ones having the lowest root mean square error of 0.51 t/ha) [33] etc.; grain corn,

cultivated in Bulgaria (strong correlation between the crop yields and VHI was detected) [34]. Thus, it is evident that the VHI-based approach is well-known in modern agricultural science, but still not widely implemented. Current study provides some additional insights on the relationship between the VHI and regional yields of wheat, barley, grain corn and sunflower crops, pointing out that there is a great difference in this relationship for each of the studied crops. If cereal crops are strongly related to vegetation health index, grain corn and sunflower are much less related to this indicator, thus, making VHI-based yield prediction less reliable and reasonable. Such a discrepancy could be put upon different reaction of the studied crops on drought conditions, as well as great inequality in the areas under irrigation for each crop.

Conclusions. Current study is devoted to the investigation of the inter-relationship between drought indicators, such as ASI, MWVHI, VHI, and UNEP AI, as well as their correlation with the yields of major crops, cultivated in Kherson region of Ukraine. It was revealed that UNEP AI is weakly related both to remote sensing drought indicators and crops' yields in the region, providing mainly pure climatological characteristics, while other studied indicators are moderately-to-strong related to the yields of the studied crops, providing the information on how the cultivated plants react to drought conditions in the region. VHI-based linear regression models were developed to predict the yields of the studied crops for Kherson region. It was established that the best accuracy and reliability of the models is attributed to cereal crops, e.g., wheat and barley, while late-spring crops (grain corn and sunflower) have much less relation to the VHI. The developed models could be applied in scientific and practical purposes to predict the yields of the studied crops in Kherson region of Ukraine. Further studies will be conducted to learn more details about the patterns and features of the relationship between the remote sensing drought indicators and real-life productivity of crops.

Bibliography

1. Devendra C. *Climate change threats and effects: Challenges for agriculture and food security*. Kuala Lumpur: Academy of Sciences, 2012.
2. Ткачук О.П., Вітер Н.Г. Динаміка кліматичних показників та їх вплив на урожайність основних сільськогосподарських культур у Вінницькій області. *Аграрні Інновації*. 2023. Вип. 17. С. 139–149. <https://doi.org/10.32848/agrar.innov.2023.17.19>
3. El-Beltagy A., Madkour M. *Impact of climate change on arid lands agriculture*. Agriculture and Food Security. 2012. Vol. 1. P. 1–12. <https://doi.org/10.1186/2048-7010-1-3>
4. Rosa L., Chiarelli D.D., Rulli M.C., Dell'Angelo J., D'Odorico P. *Global agricultural economic water scarcity*. Science Advances. 2020. Vol. 6(18). P. eaaz6031. <https://doi.org/10.1126/sciadv.aaz6031>
5. Colantoni A., Delfanti L., Cossio F., Baciotti B., Salvati L., Perini L., Lord R. *Soil aridity under climate change and implications for agriculture in Italy*. Applied Mathematical Sciences. 2015. Vol. 9(50). P. 2467–2475. <https://doi.org/10.12988/ams.2015.52112>
6. Arora V.K. *The use of the aridity index to assess climate change effect on annual runoff*. Journal of Hydrology. 2002. Vol. 265(1–4). P. 164–177. [https://doi.org/10.1016/S0022-1694\(02\)00101-4](https://doi.org/10.1016/S0022-1694(02)00101-4)

7. Bannayan M., Sanjani S., Alizadeh A., Lotfabadi S.S., Mohamadian A. Association between climate indices, aridity index, and rainfed crop yield in northeast of Iran. *Field Crops Research*. 2010. Vol. 118(2). P. 105–114. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2010.04.011>
8. Van Hoolst R., Eerens H., Haesen D., Royer A., Bydekerke L., Rojas O., Li Y., Racionzer P. FAO's AVHRR-based Agricultural Stress Index System (ASIS) for global drought monitoring. *International Journal of Remote Sensing*. 2016. Vol. 37(2). P. 418–439. <https://doi.org/10.1080/01431161.2015.1126378>
9. Rojas O., Li Y., Cumani R. Understanding the drought impact of El Niño on the global agricultural areas: an assessment using FAO's Agricultural Stress Index (ASI). *Environment and Natural Resources Management Series, Climate Change – FAO 2014*. Vol. 23. P. 42.
10. Gouveia C., Trigo R.M., DaCamara C.C. Drought and vegetation stress monitoring in Portugal using satellite data. *Natural Hazards and Earth Systems Sciences*. 2009. Vol. 9(1). P. 185–195. <https://doi.org/10.5194/nhess-9-185-2009>
11. Karnieli A., Bayasgalan M., Bayarjargal Y., Agam N., Khudulmur S., Tucker C.J. Comments on the use of the vegetation health index over Mongolia. *International Journal of Remote Sensing*. 2006. Vol. 27(10). P. 2017–2024. <https://doi.org/10.1080/01431160500121727>
12. Bento V.A., Gouveia C.M., DaCamara C.C., Trigo I.F. A climatological assessment of drought impact on vegetation health index. *Agricultural and Forest Meteorology*. 2018. Vol. 259. P. 286–295. <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2018.05.014>
13. Rahman A., Roytman L., Krakauer N.Y., Nizamuddin M., Goldberg M. Use of vegetation health data for estimation of Aus rice yield in Bangladesh. *Sensors*. 2009. Vol. 9(4). P. 2968–2975. <https://doi.org/10.3390/s90402968>
14. Kogan F., Guo W., Yang W., Shannon H. Space-based vegetation health for wheat yield modeling and prediction in Australia. *Journal of Applied Remote Sensing*. 2018. Vol. 12(2). P. 026002. <https://doi.org/10.1117/1.JRS.12.026002>
15. Rojas O. Agricultural extreme drought assessment at global level using the FAO-Agricultural Stress Index System (ASIS). *Weather and Climate Extremes*. 2020. Vol. 27. P. 100184. <https://doi.org/10.1016/j.wace.2018.09.001>
16. Вожегова Р.А. Динаміка зміни температурного режиму та кількості опадів у Херсонській області в контексті змін клімату. *Аграрні Інновації*. 2021. Вип. 5. С. 17–21. <https://doi.org/10.32848/agrar.innov.2021.5.3>
17. Beck H.E., Zimmermann N.E., McVicar T.R., Vergopolan N., Berg A., Wood E.F. Present and future Köppen-Geiger climate classification maps at 1-km resolution. *Scientific Data*. 2018. Vol. 5(1). P. 1–12. <https://doi.org/10.1038/sdata.2018.214>
18. Beck H.E., Zimmermann N.E., McVicar T.R., Vergopolan N., Berg A., Wood E.F. Publisher Correction: Present and future Köppen-Geiger climate classification maps at 1-km resolution. *Scientific Data*. 2020. Vol. 7. P. 274. <https://doi.org/10.1038/s41597-020-00616-w>
19. Vozhehova R., Lykhovyd P., Biliaieva I. Aridity assessment and forecast for Kherson oblast (Ukraine) at the climate change. *EurAsian Journal of BioSciences*. 2020. Vol. 14(1). P. 1455–1462.
20. Gogtay N.J., Thattai U.M. Principles of correlation analysis. *Journal of the Association of Physicians of India*. 2017. Vol. 65(3). P. 78–81.
21. Evans J.D. *Straightforward statistics for the behavioral sciences*. Thomson Brooks/Cole Publishing Co: Portland, USA, 1995. 624 pp.
22. Pandey S. Principles of correlation and regression analysis. *Journal of the Practice of Cardiovascular Sciences*. 2020. Vol. 6(1). P. 7–11. https://doi.org/10.4103/jpcs.jpcs_2_20
23. Lykhovyd P. Irrigation needs in Ukraine according to current aridity level. *Journal of Ecological Engineering*. 2021. Vol. 22(8). P. 11–18. <https://doi.org/10.12911/22998993/140478>
24. Rojas O., Li Y., Cumani R. Understanding the drought impact of El Niño on the global agricultural areas: An assessment using FAO's Agricultural Stress Index (ASI) (No. 23). *Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO): Rome, Italy*, 2014.
25. Rojas O., Ahmed S. Feasibility of using the FAO-Agricultural Stress Index System (ASIS) as a remote sensing based index for crop insurance. *Food and Agriculture Organization of the United Nations*, 2016.
26. Masitoh F., Rusydi A.N. Vegetation Health Index (VHI) analysis during drought season in Brantas Watershed. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 2019. Vol. 389(1). P. 012033. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/389/1/012033>
27. Zeng J., Zhou T., Qu Y., Bento V.A., Qi J., Xu Y., Li Y., Wang Q. An improved global vegetation health index dataset in detecting vegetation drought. *Scientific Data*. 2023. Vol. 10(1). P. 338. <https://doi.org/10.1038/s41597-023-02255-3>
28. Kloos S., Yuan Y., Castelli M., Menzel A. Agricultural drought detection with MODIS based vegetation health indices in southeast Germany. *Remote Sensing*. 2021. Vol. 13(19). P. 3907. <https://doi.org/10.3390/rs13193907>
29. Ma'Rufah U., Hidayat R., Prasasti I. Analysis of relationship between meteorological and agricultural drought using standardized precipitation index and vegetation health index. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. Vol. 54(1). P. 012008. <http://doi.org/10.1088/1755-1315/54/1/012008>
30. Kussul N., Shelestov A., Kolotii A., Yashchuk D. Wheat yield forecasting in Ukraine. 17th International Conference "Astronomy School for Young Scientists. Problems of Astronomy and Space", Zhytomyr, Ukraine, 2015. P. 96–97.
31. Rahman A., Roytman L., Krakauer N.Y., Nizamuddin M., Goldberg M. Use of vegetation health data for estimation of Aus rice yield in Bangladesh. *Sensors*. 2009. Vol. 9(4). P. 2968–2975. <https://doi.org/10.3390/s90402968>
32. Chakraborty D., Sehgal V.K., Ray M., Dhakar R., Sahoo R.N., Das D.K., Manjaiah K.M., Lal K., Kumar P. District-wise statistical yield modelling of wheat using weather and remote sensing inputs. *Journal of Agricultural Physics*. 2018. Vol. 18(1). P. 48–57.
33. Kussul N., Kolotii A., Shelestov A. Estimating relative efficiency of use multisource satellite data for winter wheat yield forecasting in Ukraine. *Earth observation for sustainable development and security: Materials of reports of the Fourth International Conference "GEO-UA 2014"*, Kyiv, Ukraine, 2014. P. 62–64.

34. Kogan F., Popova Z., Singh R., Alexandrova P. Early forecasting corn yield using ground truth data and vegetation health indices in Bulgaria. *Bulgarian Journal of Agricultural Sciences*. 2018. Vol. 24(Suppl. 2). P. 57–67.

References

1. Devendra, C. (2012). *Climate change threats and effects: challenges for agriculture and food security*. Kuala Lumpur: Academy of Sciences Malaysia.
2. Tkachuk, O.P., & Viter, N.G. (2023). Dynamika klimatychnykh pokaznykiv ta ikh vplyv na urozhainist osnovnykh silskohospodarskykh kultur u Vinnytskii oblasti [Dynamics of climatic indicators and their influence on the productivity of the main agricultural crops in the Vinnytsia region]. *Agrarian Innovations*, 17, 139–149. [In Ukrainian] <https://doi.org/10.32848/agrar.innov.2023.17.19>
3. El-Beltagy, A., & Madkour, M. (2012). Impact of climate change on arid lands agriculture. *Agriculture & Food Security*, 1, 1–12. <https://doi.org/10.1186/2048-7010-1-3>
4. Rosa, L., Chiarelli, D. D., Rulli, M. C., Dell'Angelo, J., & D'Odorico, P. (2020). Global agricultural economic water scarcity. *Science Advances*, 6(18), eaaz6031. <https://doi.org/10.1126/sciadv.aaz6031>
5. Colantoni, A., Delfanti, L., Cossio, F., Baciotti, B., Salvati, L., Perini, L., & Lord, R. (2015). Soil aridity under climate change and implications for agriculture in Italy. *Applied Mathematical Sciences*, 9(50), 2467–2475. <https://doi.org/10.12988/ams.2015.52112>
6. Arora, V. K. (2002). The use of the aridity index to assess climate change effect on annual runoff. *Journal of hydrology*, 265(1–4), 164–177. [https://doi.org/10.1016/S0022-1694\(02\)00101-4](https://doi.org/10.1016/S0022-1694(02)00101-4)
7. Bannayan, M., Sanjani, S., Alizadeh, A., Lotfabadi, S. S., & Mohamadian, A. (2010). Association between climate indices, aridity index, and rainfed crop yield in northeast of Iran. *Field crops research*, 118(2), 105–114. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2010.04.011>
8. Van Hoolst, R., Eerens, H., Haesen, D., Royer, A., Bydekerke, L., Rojas, O., ... & Racionzer, P. (2016). FAO's AVHRR-based Agricultural Stress Index System (ASIS) for global drought monitoring. *International Journal of Remote Sensing*, 37(2), 418–439. <https://doi.org/10.1080/01431161.2015.1126378>
9. Rojas, O., Li, Y., & Cumani, R. (2014). Understanding the drought impact of El Niño on the global agricultural areas: an assessment using FAO's Agricultural Stress Index (ASI) (No. 23). Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO).
10. Gouveia, C., Trigo, R. M., & DaCamara, C. C. (2009). Drought and vegetation stress monitoring in Portugal using satellite data. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 9(1), 185–195. <https://doi.org/10.5194/nhess-9-185-2009>
11. Karnieli, A., Bayasgalan, M., Bayarjargal, Y., Agam, N., Khudulmur, S., & Tucker, C. J. (2006). Comments on the use of the vegetation health index over Mongolia. *International Journal of Remote Sensing*, 27(10), 2017–2024. <https://doi.org/10.1080/01431160500121727>
12. Bento, V. A., Gouveia, C. M., DaCamara, C. C., & Trigo, I. F. (2018). A climatological assessment of drought impact on vegetation health index. *Agricultural and forest meteorology*, 259, 286–295. <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2018.05.014>
13. Rahman, A., Roytman, L., Krakauer, N. Y., Nizamuddin, M., & Goldberg, M. (2009). Use of vegetation health data for estimation of Aus rice yield in Bangladesh. *Sensors*, 9(4), 2968–2975. <https://doi.org/10.3390/s90402968>
14. Kogan, F., Guo, W., Yang, W., & Shannon, H. (2018). Space-based vegetation health for wheat yield modeling and prediction in Australia. *Journal of Applied Remote Sensing*, 12(2), 026002–026002. <https://doi.org/10.1117/1.JRS.12.026002>
15. Rojas, O. (2020). Agricultural extreme drought assessment at global level using the FAO-Agricultural Stress Index System (ASIS). *Weather and Climate Extremes*, 27, 100184. <https://doi.org/10.1016/j.wace.2018.09.001>
16. Vozhehova, R.A. (2021). Dynamika zminy temperaturnoho rezhymu ta kilkosty opadiv u Khersonskii oblasti v konteksti zmin klimatu [Dynamics of changes in air temperature and precipitation amounts in Kherson oblast in the context of climate change]. *Agrarian Innovations*, 5, 17–21. [In Ukrainian] <https://doi.org/10.32848/agrar.innov.2021.5.3>
17. Beck, H. E., Zimmermann, N. E., McVicar, T. R., Vergopolan, N., Berg, A., & Wood, E. F. (2018). Present and future Köppen-Geiger climate classification maps at 1-km resolution. *Scientific data*, 5(1), 1–12. <https://doi.org/10.1038/sdata.2018.214>
18. Beck, H. E., Zimmermann, N. E., McVicar, T. R., Vergopolan, N., Berg, A., & Wood, E. F. (2020). Publisher Correction: Present and future Köppen-Geiger climate classification maps at 1-km resolution. *Scientific data*, 7, 274. <https://doi.org/10.1038/s41597-020-00616-w>
19. Vozhehova, R., Lykhovyd, P., & Biliaieva, I. (2020). Aridity assessment and forecast for Kherson oblast (Ukraine) at the climate change. *EurAsian Journal of BioSciences*, 14(1), 1455–1462.
20. Gogtay, N.J., & Thatte, U.M. (2017). Principles of correlation analysis. *Journal of the Association of Physicians of India*, 65(3), 78–81.
21. Evans, J.D. (1995). *Straightforward Statistics for the Behavioral Sciences*; Thomson Brooks/Cole Publishing Co: Portland, USA. 624 pp.
22. Pandey, S. (2020). Principles of correlation and regression analysis. *Journal of the practice of cardiovascular sciences*, 6(1), 7–11. https://doi.org/10.4103/jpcs.jpcs_2_20
23. Lykhovyd, P. (2021). Irrigation needs in Ukraine according to current aridity level. *Journal of Ecological Engineering*, 22(8), 11–18. <https://doi.org/10.12911/22998993/140478>

24. Rojas, O., Li, Y., & Cumani, R. (2014). *Understanding the drought impact of El Niño on the global agricultural areas: an assessment using FAO's Agricultural Stress Index (ASI)* (No. 23). Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO).
25. Rojas, O., & Ahmed, S. (2016). *Feasibility of using the FAO-Agricultural Stress Index System (ASIS) as a remote sensing based index for crop insurance*. Flood and Agriculture Organization of the United Nations.
26. Masitoh, F., & Rusydi, A. N. (2019, November). *Vegetation Health Index (VHI) analysis during drought season in Brantas Watershed*. In IOP Conference Series: Earth and Environmental Science (Vol. 389, No. 1, p. 012033). IOP Publishing. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/389/1/012033>
27. Zeng, J., Zhou, T., Qu, Y., Bento, V. A., Qi, J., Xu, Y., ... & Wang, Q. (2023). *An improved global vegetation health index dataset in detecting vegetation drought*. Scientific Data, 10(1), 338. <https://doi.org/10.1038/s41597-023-02255-3>
28. Kloos, S., Yuan, Y., Castelli, M., & Menzel, A. (2021). *Agricultural drought detection with MODIS based vegetation health indices in southeast Germany*. Remote Sensing, 13(19), 3907. <https://doi.org/10.3390/rs13193907>
29. Ma'Rufah, U., Hidayat, R., & Prasasti, I. (2017). *Analysis of relationship between meteorological and agricultural drought using standardized precipitation index and vegetation health index*. In IOP conference series: earth and environmental science (Vol. 54, No. 1, p. 012008). IOP Publishing. <http://doi.org/10.1088/1755-1315/54/1/012008>
30. Kussul, N., Shelestov, A., Kolotii, A., & Yashchuk, D. (2015). *Wheat yield forecasting in Ukraine*. In 17th International Conference "Astronomy School for Young Scientists. Problems of Astronomy and Space", Zhytomyr, Ukraine, 2015, 96–97.
31. Rahman, A., Roytman, L., Krakauer, N. Y., Nizamuddin, M., & Goldberg, M. (2009). *Use of vegetation health data for estimation of Aus rice yield in Bangladesh*. Sensors, 9(4), 2968–2975. <https://doi.org/10.3390/s90402968>
32. Chakraborty, D., Sehgal, V. K., Ray, M., Dhakar, R., Sahoo, R. N., Das, D. K., ... & Kumar, P. (2018). *District-wise statistical yield modelling of wheat using weather and remote sensing inputs*. Journal of Agricultural Physics, 18(1), 48–57.
33. Kussul, N., Kolotii, A., & Shelestov, A. (2014). *Estimating relative efficiency of use multisource satellite data for winter wheat yield forecasting in Ukraine*. In Earth observation for sustainable development and security: Materials of reports of the Fourth International Conference "GEO-UA 2014", Kyiv, Ukraine, 62–64.
34. Kogan, F., Popova, Z., Singh, R., & Alexandrova, P. (2018). *Early forecasting corn yield using ground truth data and vegetation health indices in Bulgaria*. Bulgarian Journal of Agricultural Science, 24 (Suppl. 2), 57–67.

Дані дистанційного зондування для оцінки стресу від посухи та продуктивності сільськогосподарських угідь у Херсонській області

Павло Лиховид

д. сільгосп. н., ст. наук. співробітник,
відділ зрошувального землеробства та декарбонізації агроєкосистем,
Інститут кліматично орієнтованого сільського господарства НААН,
вул. Маяцька дорога 24, смт Хлібодарське, Одеса, 67667, Україна

Дані дистанційного зондування Землі є цінним джерелом інформації про стан навколишнього середовища в цілому та сільськогосподарських угідь зокрема. У статті описано результати вивчення застосування індексу здоров'я рослинності (VHI), індексу сільськогосподарського стресу (ASI) та індексу інтенсивності посухи (WMVHI) для оцінки інтенсивності негативної дії посушливих явищ на агрофітоценози у контексті їх кореляції з метеорологічним індексом аридності та продуктивністю сільськогосподарських земель Херсонської області. Дослідження базувалося на даних, знятих у період 1984–2022 рр., щодо врожайності основних сільськогосподарських культур у регіоні (озима та яра пшениця, ячмінь, кукурудза, соняшник) та величині вегетаційних індексів, розрахованих у відповідності до методики ФАО ООН за супутниковими знімками сервісу FAO Earth Observation Services. Індекс аридності було оцінено за методикою UNEP за даними Херсонського обласного гідрометеорологічного центру. Статистичну обробку даних виконували згідно традиційних методик кореляційно-регресійного аналізу та моделювання у Microsoft Excel 365 та BioStat v.7. У результаті досліджень встановлено, що супутникові вегетаційні індекси тісно корелюють із продуктивністю досліджуваних сільськогосподарських культур, та можуть бути успішно використані для стратегічного та оперативного прогнозування їх урожайності. Щодо метеорологічного індексу аридності, то він слабо корелює з урожайністю культурних рослин, і є суто кліматологічним показником, який має другорядне значення для оцінки стану та прогнозування продуктивності агрофітоценозів. Таким чином, запропоновано новий підхід до оцінки інтенсивності впливу посушливих явищ на агрофітоценози півдня України та прогнозу їх продуктивності за даними дистанційного зондування Землі, що має високу науково-теоретичну та практичну цінність.

Ключові слова: *індекс сільськогосподарського стресу, індекс аридності, інтенсивність посухи, індекс здоров'я рослинності, урожай.*

Надійшла 13 жовтня 2023 р.
Прийнята 20 листопада 2023 р.

Modern changes in climatic characteristics and minimum flow of the rivers in the basin of lake Sevan

*Varduhi Margaryan*¹

PhD (Geography), Associate Professor of the Department of Physical Geography and Hydrometeorology,

¹ Yerevan State University, 1 Alek Manoukian St., Yerevan, 0025, Armenia,

e-mail: vmargaryan@ysu.am, <https://orcid.org/0000-0003-3498-0564>;

*Armen Sedrakyan*²

PhD (Physics and Mathematics), Associate Professor of the Department of Physics,

² National Polytechnic University of Armenia, Faculty of Applied Mathematics and Physics,

105 Teryan St., Yerevan, 0009, Armenia,

e-mail: asedrakyan@seua.am, <https://orcid.org/0009-0000-1153-3492>;

*Hovik Sayadyan*³

³ German Agency for International Cooperation, Adviser on Sustainable land-use,

59 Hanrapetutyan St., Yerevan, 0010, Armenia,

e-mail: hovik.sayadyan71@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0003-1703-3098>;

*Svitlana Reshetchenko*⁴

PhD (Geography), Associate Professor of the Department of Physical Geography and Cartography,

⁴ V.N. Karazin Kharkiv National University, 4 Svobody Sq., Kharkiv, 61022, Ukraine,

e-mail: s.reshetchenko@karazin.ua, <https://orcid.org/0000-0003-0744-4272>;

*Sviatoslav Dmitriiev*⁴

PhD student, Senior Lecturer at the Department of Physical Geography and Cartography,

e-mail: s.dmitriiev@student.karazin.ua, <https://orcid.org/0000-0001-9256-6455>

ABSTRACT

Formulation of the problem. Studies and data on modern changes in the winter minimum average monthly flow of the rivers of the Lake Sevan basin and their climatic characteristics have acquired great practical importance and considerable interest due to the increased use of water resources for the purposes of various types of economic activities, in particular, in connection with the development of the economy, hydropower, irrigation, population growth and rising living standards. Especially relevant are the calculations of the minimum flow in relation to solving the problems of water supply for settlements, industrial enterprises.

The aim of the work. Assessment of modern changes in the winter minimum average monthly runoff of rivers in the Lake Sevan basin and their climatic characteristics.

Methods. The following methods were used in the work: mathematical-statistical, extrapolation, interpolation, spatial analysis, analogy, correlation and cartography.

Results. A physical map has been compiled with a network of meteorological stations and hydrological posts in the Lake Sevan basin. Close correlations were obtained between the values of the winter minimum average monthly runoff and the average runoff of the winter period for a hydrological year. These dependences can be used for preliminary estimates of the minimum runoff of the winter low-water period of unstudied rivers in the territory under consideration. In the course of the research, the winter minimum average monthly discharges were calculated by months and for the entire observation period, the average value of the minimum runoff for the winter low water, and the linear trend of the climatic characteristic. Based on the obtained results, a map of the distribution of the moduli of the average minimum runoff of the winter low-water period and the coefficients of the linear trend of the winter air temperature were constructed. Examples of curves of long-term changes in precipitation amounts for the autumn and winter periods, the sum of positive temperatures and the number of days with a positive average daily air temperature in the winter period for a series of meteorological stations in the study area are presented.

The rivers of the Lake Sevan basin are characterized by an uneven spatio-temporal distribution of winter minimum runoff and climatic characteristics, changes in the winter average monthly minimum runoff, precipitation amounts for the autumn and winter periods are multidirectional, and air temperature changes are only an upward trend. In the area under consideration, there is mainly (by 8 out of 12 stations under study) a tendency to decrease in the values of the minimum average monthly river flow. The conducted studies lead us to the conclusion that the main factor causing changes in the low-water runoff of the rivers in the Lake Sevan basin in winter is the air temperature, or rather, its increase. It follows from this that when calculating and forecasting winter runoff, it is necessary to relate the values of runoff and air temperature.

Keywords: rivers of the Lake Sevan basin, low water, winter minimum average monthly runoff, air temperature, precipitation, Long-term changes, water regime changes, Coefficients of the linear trend.

In cites: Margaryan Varduhi, Sedrakyan Armen, Sayadyan Hovik, Reshetchenko Svitlana, Dmitriiev Sviatoslav (2023). Modern changes in climatic characteristics and minimum flow of the rivers in the basin of lake Sevan. *Visnyk of V. N. Karazin Kharkiv National University, series "Geology. Geography. Ecology"*, (59), 178-189. <https://doi.org/10.26565/2410-7360-2023-59-13>

Problem description. The problem of assessing current and expected changes in the water regime becomes a theoretical and actual practical task [1, 3, 7, 10]. It becomes obvious that the ongoing climate change in a number of large regions has led to significant changes in the water regime of rivers [22–25].

Considering the warming that has already taken place and the high probability of this trend continuing in the coming decades, the problem of assessing runoff changes becomes relevant, especially since solving the problems of water management and hydraulic engineering design requires a reliable determination of the parameters characterizing the river runoff regime [4–6, 12–16]. A sharp increase in the level of water consumption with an uneven distribution of water resources across the territory and the practically uncontrolled impact of water use on the environment, as well as pollution of water resources, makes us pay more attention to the study of seasonal river flow, especially in limiting periods. In addition, the intensified processes of global warming cast doubt on the concept of stationarity of long-term fluctuations in hydrometeorological values, which, in turn, requires the development of methods for processing non-stationary sequences of river runoff and the considera-

tion of new stochastic models that make it possible to describe non-stationary processes.

The minimum river flow is one of the most important hydrological characteristics that must be considered when designing hydraulic structures, when using the flow for economic purposes. In the watersheds of mountainous areas, the minimum river flow is usually observed during the winter low water period, when the rivers are fed by groundwater. In general, winter minima are less than summer ones due to a decrease in underground feeding.

Formation, calculation and spatio-temporal distribution of the winter minimum ten-day runoff of the rivers of the lake Sevan basin were discussed in the following works [8–9, 11, 18].

Since the basin of Lake Sevan is presented as a triangular basin surrounded by high mountain ranges (fig. 1), except for the northwestern part near the city of Sevan, where the watershed line of the basin drops to the level of the lake and the only river flowing from the lake, Hrazdan, originates. The study area is located within the altitude range of 1900–3600 m and extends from the northwest to the southeast. It occupies an area of 4891 km², equal to approximately 1/6 of the territory of the republic.

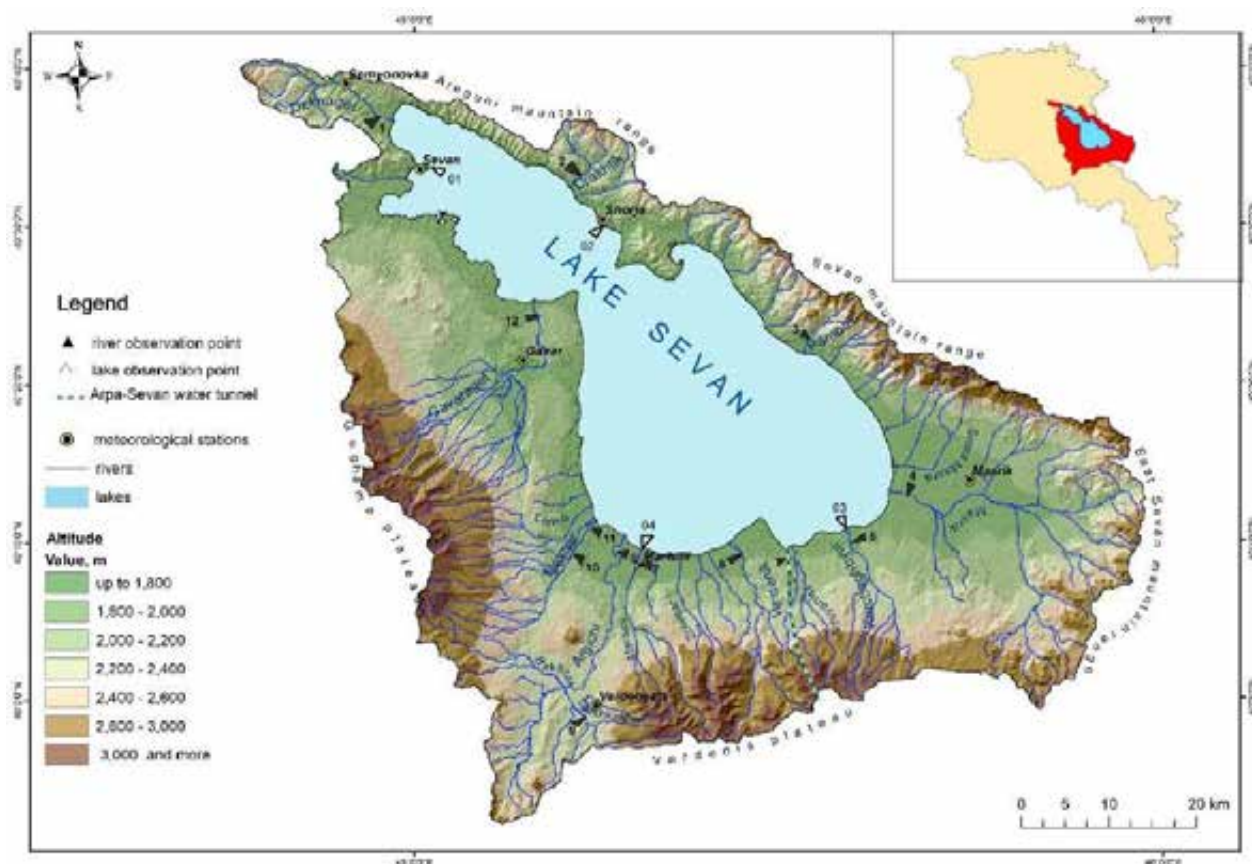


Fig. 1. Physical map, network of meteorological stations and hydrological posts in the lake basin Sevan (the position of the lake basin Sevan basin among the main river basins in Armenia)

The bottom of the depression is occupied by Lake Sevan. Lake Sevan is a strategic storage of fresh waters in Armenia. As a result of long-term and

intensive use of the age-old reserves of the lake, its water level has significantly decreased (from 1934 to 2002 – 18,5 m), which led to drastic changes in the

natural conditions (climatic, hydrological, biological, etc.) of the lake and the entire basin, to the violation of the ecological balance. The study area has a temperate continental climate with a well-defined vertical zones.

In general, this is a complex region not only in terms of geological structure and morphology, but also in terms of climate conditions and the hydrological regime of rivers. The lake basin in the north is bounded by the slopes of the Areguni and Sevan mid-altitude fold-fault ranges (from 2000–3300 m) of the Paleogene and Cretaceous, strongly dissected by numerous valleys of predominantly short mountain streams. To the southeast coast of the lake Sevan adjoins the Masrik lake plain (1900–2200 m), bounded by the slopes of the Sevan and Vardenis ranges. The western slopes of the lake depression are formed by the slopes of the volcanogenic Geghama Highlands, composed of lavas and tuffs, in their southern part they are cut by canyon-like valleys of a few rivers.

A common characteristic feature of the regime of the rivers of the lake Sevan basin is that in the annual course of their levels and runoff, two periods of increased water content are clearly distinguished - in spring (spring flood) and autumn (the first due to melt water, the second from rains) - and two periods of low runoff observed in summer and winter (summer and winter low water). In addition to the commonality of certain features of the regime, individual water-courses and even groups of rivers have significant differences among themselves in the distribution of runoff within the year, the nature of nutrition, and some other characteristics, which is mainly due to the peculiar geological structure, morphological features of watersheds and several factors that have a local effect. meaning.

For this reason, the lake Sevan basin, despite its relatively small size, is divided into several characteristic sub-regions, namely: the eastern slope of the Geghama massif, the basin of the Dzyknaget river, the slopes of the Areguni and Sevan ranges, the Masrik basin, the northern part of the Vardenis range.

The goal of the study. To resume the contemporary ideas about the impact of climate change on the winter average monthly minimum runoff of the rivers of the Lake Sevan. The solution of this important task can help prevent economic damage, raise the issue of extreme runoff risk management.

Material and methodology. As the source material were used the data of actual hydrometeorological observations of the “Center for Hydrometeorology and Monitoring” of the SNCO of the Ministry of Environment of the Republic of Armenia.

The values of the average monthly runoff during the winter low water period of twelve rivers flowing into the lake Sevan were studied with a duration of observations of more than 50 years and a minimum

number of gaps in observations. Wherever it was possible the available gaps were restored, considering analogue rivers using standard and generally accepted methods in hydrological calculations. The winter low water in the study area is established from the end of November-December to February-March, in this work, data on runoff were used for November to March period Twelve posts, the data for which are considered, are distributed unevenly within the basin of the lake Sevan: three of them are in the north and northeast of the territory, one is in the west, and the remaining eight are in the south. The catchment areas related to these twelve hydrological posts are practically in the range from 20,4 to 673 km², and the altitudes are from 1900 to 2300 m.

The base of initial meteorological data includes winter daily actual values of air temperature and precipitation in the autumn and winter months (September - November) for a long-term period. The data series on air temperature and precipitation have different lengths (1966–2021). The precipitation series can be considered representative and homogeneous only since 1966. Currently (as of January 1, 2023) there are seven meteorological stations operating on the territory of the Sevan basin, the data of which (except for the Vardenyats meteorological station - since 1995 it has been operating only in the warm season) have become the basis for research. The results would be much more complete if there were posts and meteorological stations with a catchment height of more than 2300 m on the territory. Especially the altitudinal zone of the basin is not completely covered by observational data.

To assess the ongoing changes in the water regime of rivers based on observational data, two main approaches are used: 1) comparison of average values or indicators of variability of runoff characteristics for the contemporary period with the corresponding values of the previous (base) period; 2) identification of a linear trend in the observational data of the considered runoff characteristic. Both approaches assume that there is a unidirectional change in runoff characteristics under the influence of global warming. In this study, to assess the current changes in the average monthly minimum runoff during the winter low water for the rivers of the lake basin Sevan, according to observations, the second approach is used.

The following methods were used in the work: mathematical-statistical, extrapolation, interpolation, analysis, analogy, correlation and cartographic. In this work, the significance of the trend is proposed to be reduced to an estimate of the correlation coefficient R of the dependence $Y = f(t)$, where Y is the characteristic under study; t is time. A trend is considered statistically significant if the ratio is true ($R/\sigma_R \geq s$), where σ_R – random mean square error. At 5% significance level or at 95% confidence limit

s = 2.

Results and discussion. The winter minimum river runoff is formed in difficult natural conditions and under the influence of anthropogenic factors, the influence of which was reflected in its uneven distribution. In the area under discussion of the lake basin, the winter minimum average monthly discharges are in the range of 0,015 (Drakhtik river - Drakhtik village) – 1,68 m³/s (Gavaraget river - Noratus village) (table 1).

The largest of them was 4,61 m³ / s (1974/1975) and was observed on the river Argichi - the village of Getashen, and the smallest - on the river Drakhtik - Drakhtik village - there was no runoff (1956/1957).

Small values of the winter minimum average monthly runoff are observed on rivers fed by rain and melt water on small rivers. Relatively large values stand out on those rivers that have a large natural runoff regulation (greater underground feeding). In the study area, the rivers Masrik, Lichk, Gavaraget stand out with a relatively large underground supply (underground supply exceeds the surface supply by 51% or more) (table 2).

During the research, the average value of the winter minimum runoff was also calculated. Using the obtained calculated values, a map of the distribu-

tion of the modulus of the average minimum runoff of the winter low-water period was constructed (fig. 2). As a rule, the values of the modulus of the average minimum runoff of the winter period increase with height: at average heights of the catchment area up to 2100–2200 m - from 1,0 to 1,5 l / (s km²), and at altitudes of 2600 m they reach almost 6,0 l/(s km²). This map can be used to estimate the average minimum runoff of the winter low water of unstudied and little-studied rivers in the territory under consideration.

For the study area, the value of the coefficient of variation Cv of winter minimum average monthly discharges is 0,15–0,64, and the values of the asymmetry coefficient are 0,15–1,06.

Close correlations have been obtained between the winter minimum average monthly runoff and the average runoff of the winter period for a hydrological year. These relationships can be used to obtain the winter minimum average monthly discharges of unstudied and poorly studied rivers in the basin (fig. 3). The presence of a rather close relationship between them indicates that how small the minimum average monthly runoff is, how small the average runoff for the winter period is, and vice versa. As the average monthly minimum water consumption, the smallest value of the monthly consumption of the winter pe-

Table 1

Average monthly minimum runoff (m³/sec) for the winter low water period of the rivers in the Sevan basin

№ according to the list of observation points	River - point	Observation period	Average monthly minimum runoff					
			XI	XII	I	II	III	during the period
1	R.Dzknaget – p.Tsovagyugh	1927-31, 33-34, 37-39, 41-45, 1948-2021	0,10	0,054	0,018	0,017	0,019	0,017
2	R.Drakhtik – p.Drakhtik	1972-92, 1998-2021	0,023	0,015	0,024	0,024	0,058	0,015
3	R.Pambak – p.Pambak	1947-50, 53-54, 56-68, 1971-89, 1998-2021	0,039	0,038	0,031	0,033	0,053	0,031
4	R.Masrik – p.Tsovak	1967-2021	1,38	1,23	0,99	1,15	1,40	0,99
5	R.Karchaghbyur – p.Karchaghbyur	1927-30, 53-95, 1998-2021	0,32	0,30	0,27	0,33	0,34	0,27
6	R.Vardenis – p.Vardenik	1927-38, 40-43, 46-48, 50-95, 1998-2021	0,16	0,11	0,098	0,11	0,12	0,098
7	R.Martuni – p.Geghhovit	1955-2021	0,21	0,19	0,22	0,22	0,28	0,19
8	R.Argichi – p.Getashen	1927-2021	1,11	1,28	0,90	1,19	1,35	0,90
9	R.Tsaghkashen – p.Vaghashen	1971-2000, 2005-2019	0,16	0,20	0,23	0,24	0,30	0,16
10	R.Lichk – p.Lichk	1960-62, 77-95, 1998-2021	0,87	0,89	0,89	0,90	0,84	0,84
11	R.Bakhtak – p.Tsakkar	1928-30, 1952-2021	0,038	0,031	0,023	0,033	0,048	0,023
12	R.Gavaraget – p.Noratus	1927-42, 44, 49-50, 53-92, 1998-2021	1,68	1,74	2,10	2,14	2,17	1,68

Table 2

The ratio of river feeding sources from the annual (%) rivers of the basin lake Sevan

№ according to the list of observation points	River - point	Catchment area, km ²	Average catchment height, m	Power Sources		
				melt-waters	rain water	ground-water
1	R.Dzknaget – p.Tsovagyugh	82,6	2220	47	35	18
2	R.Drakhtik – p.Drakhtik	39,2	2270	41	23	36
3	R.Pambak – p.Pambak	20,4	2540	49	15	36
4	R.Masrik – p.Tsovak	673	2310	14	8	78
5	R.Karchaghbyur – p.Karchaghbyur	116	2650	22	6	72
6	R.Vardenis – p.Vardenik	117	2680	56	13	31
7	R.Martuni – p.Geghhovit	84,5	2760	50	14	36
8	R.Argichi – p.Getashen	366	2470	55	9	36
9	R.Tsaghkashen – p.Vaghashen	92,4	2570	–	–	–
10	R.Lichk – p.Lichk	33,0	2060	3	1	96
11	R.Bakhtak – p.Tsakkar	144	2570	45	14	41
12	R.Gavaraget – p.Noratus	467	2430	11	6	83

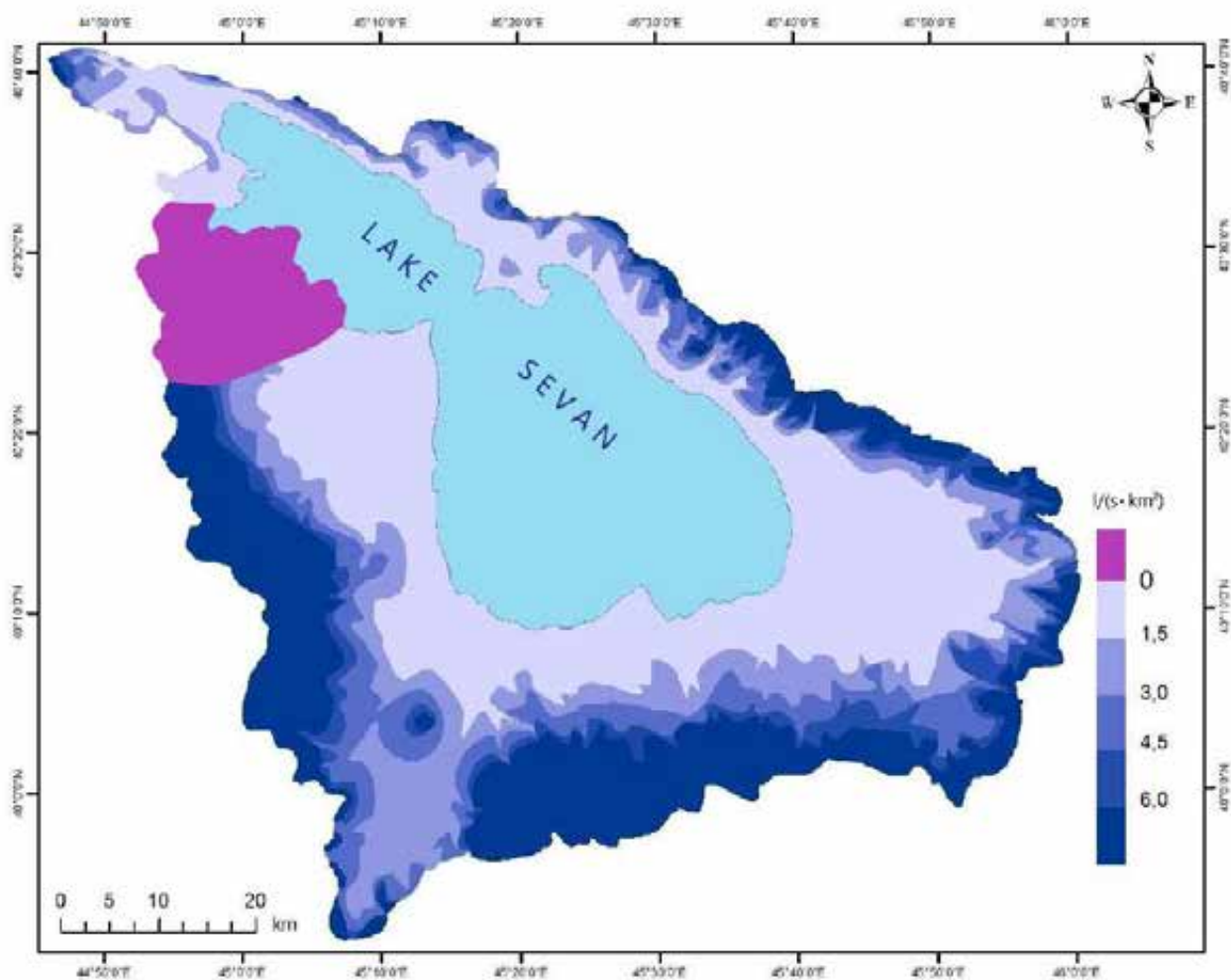


Fig. 2. Distribution of the module of the average minimum flow of the winter period (November - March) on the territory of the Lake Sevan basin

riod was chosen. Therefore, the minimum average monthly runoff is much less than the average runoff of the winter period - from about 2 (R. Gavaraget – p. Noratus) to 21 times (R. Dzyknaget – p. Tsovag-yukh). This close relationship is since in winter, in

general, the variability of runoff is small, which is mainly due to the underground feeding of rivers during this period of the year. The values of the average runoff of the winter period vary within 0,10–3,03 m³/s (fig. 3).

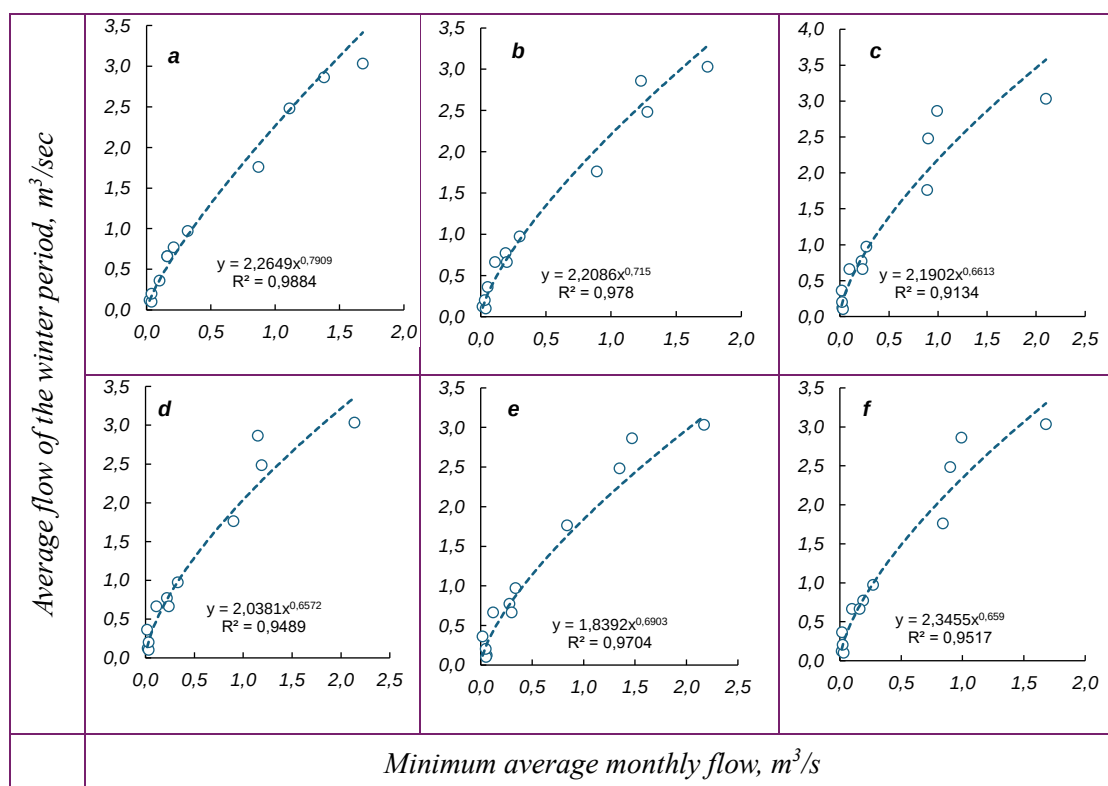


Fig. 3. Correlation relationship between winter values minimum average monthly flow and average winter flow. a – November; b – December; c – January; d – February; e – March; f – November – March

The runoff of low-water periods is determined to the greatest extent by the level of groundwater, which depends on the amount of precipitation of previous periods. Depending on the physical and geographical conditions (climatic zone, geological or hydrogeological structure of the territory, etc.), these may be precipitation of a given or previous month, previous season, year or longer period. In addition, in the case of significant warming, the snow that melted as a result of the thaw can serve as a source of food for the river in winter.

Changes in precipitation amounts for the autumn period. Autumn precipitation plays a major role in the formation of groundwater, which is the main source of river nutrition during the winter low water period. Changes in the amount of precipitation in the autumn months (September - November) for the period from 1966 to 2021 are analyzed (fig. 4).

The coefficient of the linear trend of this characteristic is statistically insignificant for almost all-weather stations. In general, at three meteorological stations of the study area, their values are growing, and at three meteorological stations, a decrease is detected. The coefficient of the linear trend of autumn precipitation at three meteorological stations in the

basin is negative and does not exceed –8 mm / 10 years, at other meteorological stations it has small positive values (table 3). Thus, the change in the amount of precipitation during the autumn period cannot be the main reason for the observed increase and decrease in low-water winter runoff in the Lake Sevan basin.

On figure 4 shows examples of curves for changes in winter precipitation totals for various meteorological stations in the Lake Sevan basin, from which it follows that the long-term course of winter precipitation varies significantly at different meteorological stations. A statistically significant weak positive linear trend can be traced over most of the study area (table 3). Thus, in these regions, the linear trend coefficient varies from +1,73 mm/10 years to 7,60 mm/10 years. However, there are areas (northern and northeastern parts of the lake basin) with a negative trend. Thus, the change in the amount of precipitation during the winter period cannot also serve as the dominant cause of the observed change in the low-water winter minimum runoff in the Lake Sevan basin.

Change in winter precipitation amounts. One of the factors that determine the flow of low-water peri-

Table 3

Coefficients of the linear trend of climatic characteristics of precipitation for meteorological stations in the basin of the lake. Sevan for the period from 1966/67 to 2020/21

Meteorological station	Linear trend of climate characteristic	
	sum amount of precipitation for autumn, mm/10 years	sum amount of precipitation for the winter, mm / 10 years
<i>Semyonovka</i>	-8,01	-10,3
<i>Sevan</i>	+3,86	+7,60
<i>Shorzha</i>	-5,62	-0,50
<i>Gavar</i>	-4,46	+3,12
<i>Masrik</i>	+2,30	+1,73
<i>Martuni</i>	+0,15	+5,14

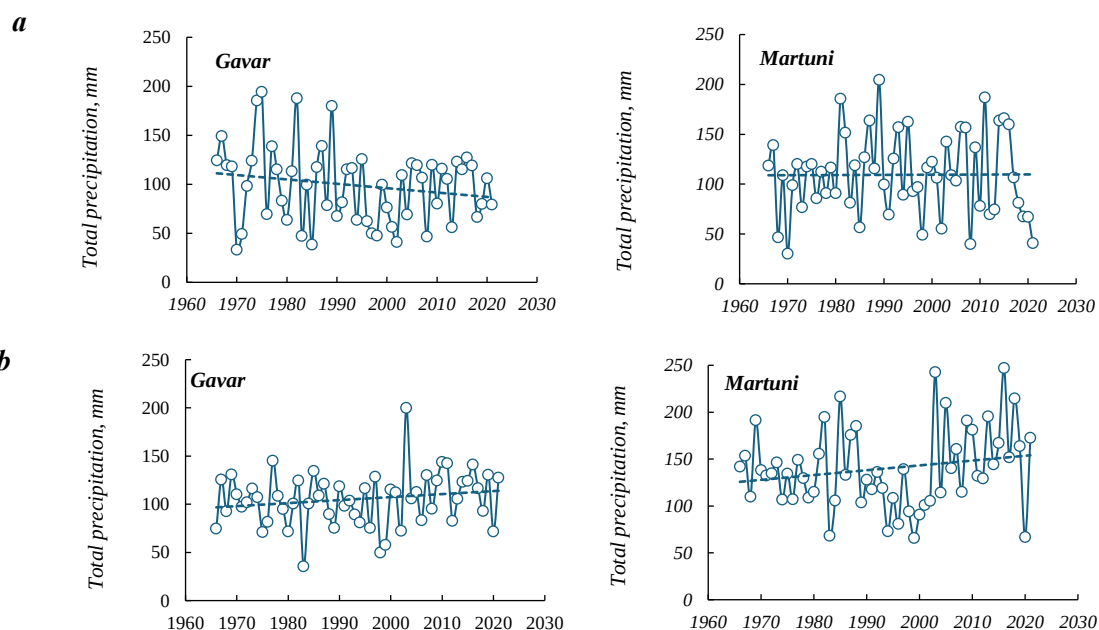


Fig. 4. Long-term changes sum amount of precipitation for the autumn (a) and winter (b) periods for several meteorological stations in the basin lake Sevan

ods is winter precipitation: in case of their growth, the groundwater level will be higher due to the greater volume of snowmelt and groundwater recharge. For this purpose, changes in the amount of precipitation for the winter period (for December - March) were studied.

Changes in the temperature regime of the winter period. As a rule, a sufficiently large frequency and duration of thaws can play an important role in the formation of winter runoff. As it is known, the modern period is characterized by an increase in surface air temperature, which is most pronounced just in winter [24-25]. The increase in the share of winter runoff is due to an increase in the frequency of positive winter anomalies, the magnitude of the values and duration of winter thaws.

At all meteorological stations of the basin of the lake. Sevan during the entire study period (November-March) an increase in winter air temperature was recorded, the most intense in Sevan, Shorzha and Martuni (table 4), where the linear trend coefficient

is $+0,44 - +0,45$ °C / 10 years.

The winter warming is decreasing as per increasing in altitude (fig. 5). It was also used the data of the high-altitude meteorological station Aragats h/m. The linear trend coefficient at altitudes of 2000–2200 m is $+0,30 - +0,40$ °C/10 years, and above 2500 m it is less than $+0,20$ °C/10 years. At most meteorological stations of the lake Sevan basin revealed trend is statistically significant. At all weather stations, there is a pronounced increase in air temperature in winter (fig. 6).

At all weather stations there is also a pronounced increase in the sum of positive temperatures (fig. 6, a) and the number of days (fig. 6, b) with a positive average daily temperature for the winter period.

The course of the spatial distribution of the coefficient of the linear trend of the winter average air temperature and the sum of positive temperatures of the winter period coincide. Here, the most intensive growth is also observed in the area of Sevan, Shorzha and Martuni (table 3) - the coefficient of the linear

Table 4

Coefficients of the linear trend of climatic characteristics of air temperature for meteorological stations of the basin lake Sevan for the period from 1966/67 to 2020/21

Meteorological station	Linear trend of climate characteristic		
	air temperature during the winter, °C/10 years	average daily positive temperatures for the winter period	
		sums °C/10 years	number of days, days/10 years
Semyonovka	+0,27	+5,44	+1,74
Sevan	+0,45	+14,3	+4,03
Shorzha	+0,34	+10,1	+3,70
Gavar	+0,29	+2,52	+0,90
Masrik	+0,32	+3,78	+0,87
Martuni	+0,44	+12,4	+3,84

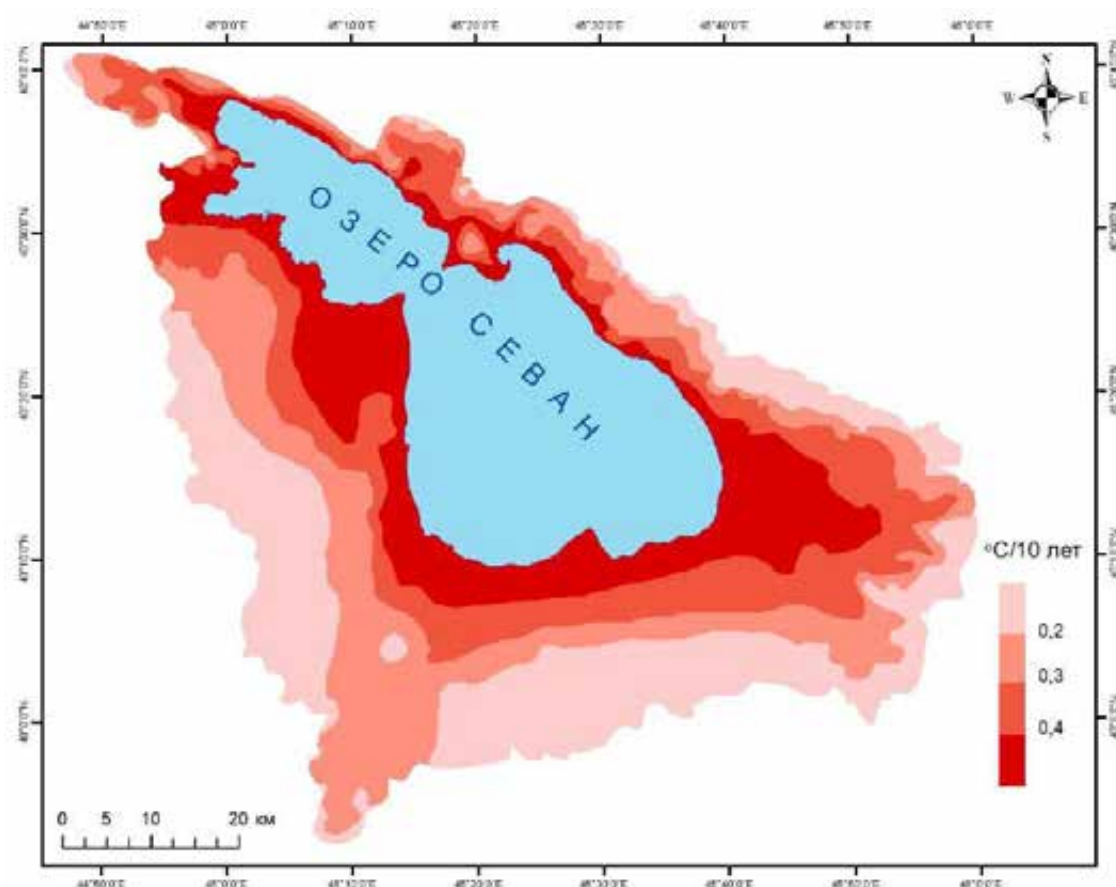


Fig. 5. Coefficients of the linear trend of winter air temperature in °C/10 years for the period from 1966/67 to 2020/21 on the territory of the Lake Sevan basin

trend of the sum of positive temperatures exceeds +10,0 °C/10 years, and the coefficient of the linear trend of the number of days with a positive average daily temperature is +3,5 days/10 years.

The most significant changes in the sums of positive air temperatures (fig. 4) and the number of days with a positive average daily temperature can be traced in the coastal zone of Lake Sevan up to a height of 2000 m. Statistically significant trends are observed here, the maximum values reach +14,3 °C/10 years and +4,03 days/10 years, respectively (table 4).

At all meteorological stations of the basin of the lake. There was recorded an increase in winter air temperature and in the sum of positive temperatures and in the number of days with a positive average daily temperature during the winter period in Sevan area during the study period (November–March) 1966–2021, the most intense in the Sevan, Shorzha and Martuni regions. With height, the intensity of winter warming decreases.

It was revealed that predominantly (among 12 studied posts by 8) there is a tendency to decreasing

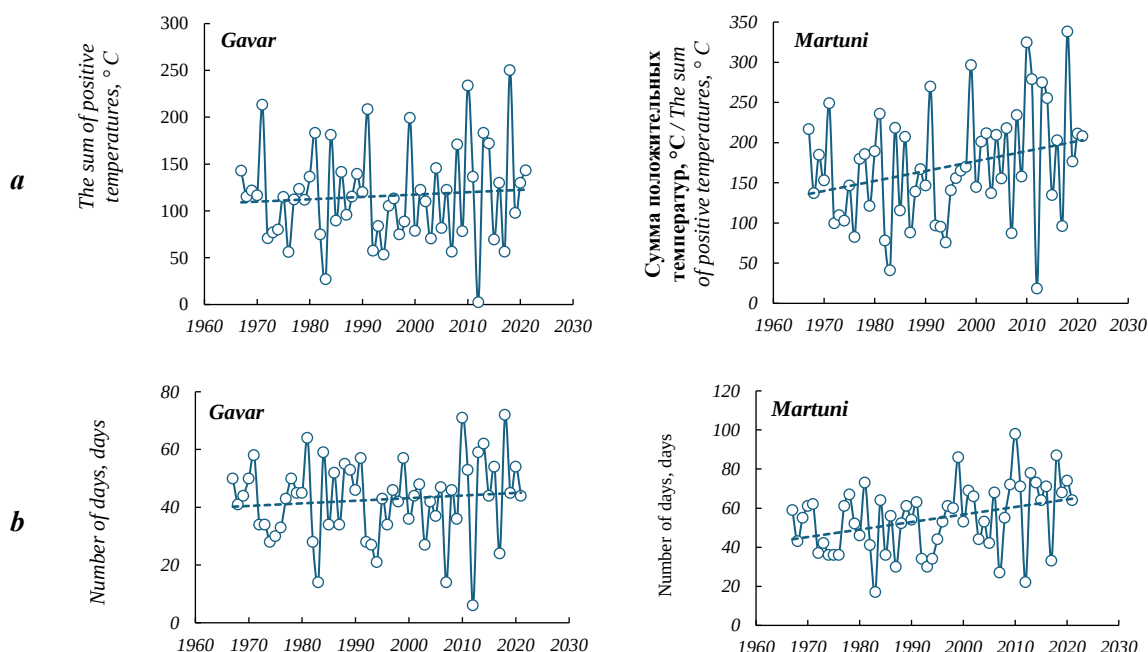


Fig. 6. Long-term changes in the sum of positive temperatures in °C (a) and the number of days with a positive (in days) average daily air temperature (b) in the winter period for meteorological stations in the lake Baikal basin Sevan

in the values of the average monthly minimum river flow; Sevan has undergone significant changes in recent decades (mainly in the mid-1990s) in the winter minimum monthly water discharges.

The increase in water content in the winter low water in most of the rivers of the lake Sevan basin happened due to the impact of climate change. These changes differ in different physiographic regions. The most intensive increase in the winter minimum average monthly runoff occurs in the Argichi River basin, where the minimum water discharge almost doubled (by 60 % or more).

As a result, to ensure the integrated use of water resources, it is necessary to consider the current trends in the long-term distribution of the river flow in the Lake Sevan basin.

Thus, the conducted studies lead to the conclusion that the main factor causing changes in the winter low-water runoff of the rivers of the lake Sevan basin is a change in the temperature regime of the winter period (an increase in winter temperatures and their characteristics).

As the analysis shows, a decrease in the winter minimum average monthly flow was revealed for the Masrik, Bakhtak, Lichk and Gavaraget rivers, that is, on the rivers for which underground feeding exceeds surface feeding by 51% or more. Hence, it should be concluded that in the river basins where the winter minimum average monthly runoff decreased, there is a decrease in groundwater reserves.

In general, for the study area in recent decades, there have been significant changes in the winter

minimum average monthly water discharges. Most of the changes took place in the mid-1990s.

Changes in the winter low-water runoff of rivers create the prerequisites for positive and negative hydrological, water management and environmental consequences. For those rivers where there is a tendency to reduce the winter minimum average monthly flow, river ecosystems are becoming more vulnerable, especially in river basins with intensively developed hydropower (Dzoragyugh, Masrik, Vardenis, Martuni, Argichi, Karchaghbyur). On the other hand, the flow of small rivers is often almost completely consumed due to inefficient water intake, as a result of which some of them freeze in winter.

Conclusions. The dynamics and transformation of the leading natural factors determine the uniqueness and anomalies of the winter minimum average monthly runoff in the current climatic period and create the prerequisites for positive and negative hydrological, water management and environmental consequences. Under such conditions, the risks of problems of sustainable use of water resources in the Lake Sevan basin increase, which requires an increase in the efficiency of water use in all sectors of the economy.

It has been established that the rivers of the basin Lake Sevan are characterized by an uneven spatio-temporal distribution of the winter minimum runoff and their climatic characteristics, so that the changes in the winter minimum average monthly runoff, the amount of precipitation for the autumn and winter periods are multidirectional - a growth trend is predominantly observed, and air temperature changes have

only a growth trend.

It is determined that the rivers of the lake Sevan basin are distinguished by the diversity of the risk of the minimum average monthly runoff in the winter period - in some rivers there is a decrease in the latter, and in other rivers - an increase.

The results of the research make it possible to develop ways for the efficient use of water resources for water supply, water consumption and operation of

irrigation systems, as well as to optimize in advance the needs of water consumers and water users and to conduct the correct policy of water distribution and water consumption.

Acknowledgments: The work was supported by the Science Committee of RA, in the frames of the research project 21T-1E215 «Hydro-ecological assessment of winter low water period discharge characteristics of lake Sevan basin rivers».

Bibliography

1. Божок Ю.В. Оцінка змін водних ресурсів річки Дунай у XXI сторіччі за сценарієм A18 з використанням моделі «Клімат-стік» [Текст] / Ю.В. Божок., Н.С. Лобода // Український гідрометеорологічний журнал. Одеса, 2016. №18. С. 112-120.
2. Варданян Т.Г. Метеорологія і кліматологія: навч. посіб. для вишів [Текст] / Т.Г. Варданян, В.Г. Маргарян. Єреван: Вид-во «Астхік Гратун», 2014. 532 с. [вірменською мовою].
3. Гребін В.В. Сучасний водний режим річок України (ландшафтно-гідрологічний аналіз). Київ: Ніка-Центр, 2010. 316 с.
4. Польовий А.М. Зміна показників термічного режиму повітря в Україні на період до 2030 р. [Текст] / А.М. Польовий., О.О. Дронова, Л.Ю. Божко, Г.О. Боровська // Український гідрометеорологічний журнал. Одеса : ТЕС, 2014. №14. С. 95-104.
5. Фролов І.Е. Зміни клімату Арктики та Антарктики – результат дії природних причин [Текст] / І.Е. Фролов, З.М. Гудкович, В.П. Карклін, В.М. Смолянський // Проблеми Арктики та Антарктики. 2010. № 2 (85). С. 52-61.
6. Коваль Я.В. Тенденція змін планетарного клімату та їх можливого впливу на основні сектори української економіки [Текст] / Я.В. Коваль, І.М. Лицар, М.А. Хвесик. Київ : Логос, 2012. 268 с.
7. Комплексний метод довгострокового прогнозування гідрологічних характеристик весняного водопілля річок: Проблеми гідрології, гідрохімії, гідроеколог: монографія / Шакирзанова Ж. Р., Докус А., О., Сербов З.Ф., Швець Н.М.; за ред. В.І. Осадчого та ін. Київ: Ніка-Центр, 2019. С. 58-74.
8. Маргарян В.Г. Мінливість зимових екстремальних низьких температур приземного шару повітря у басейні озера Севан (Вірменія) [Текст] / В.Г. Маргарян // Стійкий розвиток гірських територій. 2020. Т.12. №4 (46). С. 523-531. DOI: <https://doi.org/10.21177/1998-4502-2020-12-4-523-531>.
9. Маргарян В.Г. Просторово-часова мінливість зимового мінімального місячного стоку у річках басейну озера Севан (Вірменія) [Текст] / В.Г. Маргарян, К.Г. Клименко, Т.Г. Ткаченко // Вісник Харківського національного університету імені В.Н. Каразіна. Серія «Геологія. Географія. Екологія», 2020. № 52. С. 182–192. DOI: <https://doi.org/10.26565/2410-7360-2020-52-13>
10. Сусідко М.М. Математичне моделювання процесів формування стоку як основа прогностичних систем. / Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія. 2000. Том 1. С. 32-40.
11. Margaryan V.G. Ice regime of the rivers of the Debed basin, Armenia. Ice and Snow. 2021;61(2):248-261. <https://doi.org/10.31857/S2076673421020086>
12. Changing climate shifts timing of European floods / Blöschl G. et al. Science. 2017. Vol. 357(6351). Pp. 588-590. <https://doi.org/10.1126/science.aan2506>.
13. Joint trends in flood magnitude s and spatial extents across Europe / Kemter M. et al. Geophysical Research Letters. 2020. 46. Pp. 1-8. <https://doi.org/10.1029/2020GL087464>.
14. Adamo N. Climate Change: Droughts and Increasing Desertification in the Middle East, with Special Reference to Iraq [Text] / N. Adamo, N. AlAnsari, V. Sissakian, K.J. Fahmi and S.A. Abed // Engineering, 14, 2022. P. 235-273.
15. Balling R. C., Jr. Influence of lunar phase on daily global temperatures [Text] / R. C. Balling, Jr., R. S. Cerveny // Science, 1995. Vol. 267. P. 1481–1483
16. Cheredko N.N. The long-term dynamics of surface air temperature [Text] / N.N. Cheredko // Geography and Natural Resources, 2015. Vol. 36. P. 154–160.
17. Hydrological calibration scenarios of the HSPF model for the upper Iskar basin / Ninov P. et al. Conference abstracts XXIII of the Danubian countries on hydrological forecasting and hydrological bases of water management, 28-31 August. Serbia : Belgrade, 2006. P. 59.
18. Margaryan V. About the features of the time course of the average annual air temperature in the territory of the Debed river basin (Armenia) [Text] / V. Margaryan, G. Tsibulskii, K. Raevich // E3S Web of Conferences, Volume 223 (2020), id. 03009. Regional Problems of Earth Remote Sensing (RPERS 2020), 2020. P. 1-20. DOI: <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202022303009>
19. Chambadal P. Évolution et Applications du Concept D'Entropie [Text] / P. Chambadal. – Paris, 1963. 279 P.
20. Robaa S.M. Trends of annual mean surface air temperature over Iraq [Text] / S.M. Robaa, Z.J. Al-Barazani // Nature and Sciences. 2013. Vol. 11. № 12. P. 138-145.
21. Barber D. Sediment-laden sea ice in southern Hudson Bay: Entrainment, transport, and biogeochemical implications. [Text] / D. Barber // Elementa: Science of the Anthropocene. 2021. P. 1-20. DOI: <https://doi.org/10.1525/elementa.2020.00108>.

22. Steiner A. K. *Temperature Changes in the Troposphere and Stratosphere from 1979 to 2018* [Text] / A. K. Steiner // J. Climate, 2022. Vol. 33. P. 8165–8194. DOI: <https://doi.org/10.1175/JCLI-D-19-0998.1>
23. Armenia's Fourth National Communication on Climate Change [Text], 2020. 213 p. URL: https://unfccc.int/sites/default/files/resource/NC4_Armenia.pdf
24. IPCC, 2021: *Summary for Policymakers*. In: *Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Text]. 2021. 31 p. URL: https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/downloads/report/IPCC_AR6_WGI_SPM_final.pdf.
25. WMO *Provisional State of the Global Climate 2022*. [Text]. URL: https://library.wmo.int/doc_num.php?explnum_id=11359

Authors Contribution: All authors have contributed equally to this work

References

1. Bozhok, Y.V., Loboda, N.S. (2016). *Assessment of changes in water resources of the Danube River in the 21st century according to scenario A18 using the Climate-Stick model*. Odesa, 112-120.
2. Vardanyan, T.G., Margaryan, V.G. (2014). *Meteorology and climatology: teaching manual for universities* Yerevan, 532. [in Armenian].
3. Hrebin, V.V. (2010). *The current water regime of the rivers of Ukraine (landscape-hydrological analysis)*. Kyiv: Nika-Tsentr. 316.
4. Dronova, O.O., Polevyi, A.M., Bozhko, L.Yu., Borovska, G.O. (2014). *Changes in indicators of the thermal regime of the air in Ukraine for the period until 2030*. Odesa, 95-104.
5. Gudkovich, Z.M., Frolov, I.E., Karklin, V.P., Smolyanitsky, V.M. (2010). *Changes in the climate of the Arctic and Antarctic - the result of natural causes*. *Problems of the Arctic and Antarctic*, 2 (85), 52-61.
6. Koval, Y.V., Lytsar, I.M., Khvesyk, M.A. (2020). *The trend of planetary climate changes and their possible impact on the main sectors of the Ukrainian economy*. Kyiv, 268.
7. Shakirzanova, Zh. R., Dokus, A.O., Serbova, Z.F., Shvets, N.M. (2019). *Complex method of long-term forecasting of hydrological characteristics of spring waterlogging of rivers: Problems of hydrology, hydrochemistry, hydroecology*. Edited by Osadchyi, V.I. Kyiv: Nika-Center. 58-74.
8. Margaryan, V.G. (2020). *Variability of winter extreme low surface air temperatures in the Lake Sevan basin (Armenia). Sustainable development of mountain areas*, 523-531. DOI: <https://doi.org/10.21177/1998-4502-2020-12-4-523-531>
9. Margaryan, V.G., Klymenko, V.G., Tkachenko, T.G. (2020). *Spatial-temporal variability of the winter minimum monthly flow in the rivers of the Lake Sevan basin (Armenia)*. *Visnyk of V. N. Karazin Kharkiv National University, series "Geology. Geography. Ecology"* (52), 182–192. DOI: <https://doi.org/10.26565/2410-7360-2020-52-13> [in Ukrainian]
10. Susidko, M.M. (2000). *Mathematical modeling of flow formation processes as a basis for prognostic systems*. *Hydrology, hydrochemistry and hydroecology*. 1, 32-40. [in Ukrainian]
11. Adamo, N., AlAnsari N., Sissakian V., Fahmi, K.J. and Abed, S.A. (2022). *Climate Change: Droughts and Increasing Desertification in the Middle East, with Special Reference to Iraq*. *Engineering*, 14, 235-273.
12. Balling, R. C., Jr., Cervený, R. S. (1995). *Influence of lunar phase on daily global temperatures*. *Science*, 267, 1481–1483.
13. Chambadal, P. (1963). *Évolution et Applications du Concept D'Entropie*. Paris, 279.
14. Barber, D. (2021). *Sediment-laden sea ice in southern Hudson Bay: Entrainment, transport, and biogeochemical implications*. *Elementa, Science of the Anthropocene*, 1-20. DOI: <https://doi.org/10.1525/elementa.2020.00108>
15. *Changing climate shifts timing of European floods* (2017). *Science*, 357(6351), 588-590. <https://doi.org/10.1126/science.aan2506>.
16. *Joint trends in flood magnitude s and spatial extents across Europe*. (2020). *Geophysical Research Letters*, 46, 1-8. <https://doi.org/10.1029/2020GL087464>
17. Cheredko, N.N. (2015). *The long-term dynamics of surface air temperature*. *Geography and Natural Resources*, 36, 154–160.
18. *Hydrological calibration scenarios of the HSPF model for the upper Iskar basin* (2006). Serbia : Belgrade, 59.
19. Margaryan, V. (2020). *About the features of the time course of the average annual air temperature in the territory of the Debed river basin (Armenia)*. *E3S Web of Conferences*, 223, 1-20. DOI: <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202022303009>
20. Margaryan, V.G. (2021). *Ice regime of the rivers of the Debed basin, Armenia*. *Ice and Snow*, 61(2), 248-261. <https://doi.org/10.31857/S2076673421020086>
21. Reshetchenko, S. I., Dmitriyev, S. S., Cherkashyna, N. I., Tkachenko, T. H., Sych, V. A. (2022). *Climate monitoring as an indicator of the hydrological condition of the Siversky Donets' river basin*. *Visnyk of V. N. Karazin Kharkiv National University, Series: Geology. Geography. Ecology*, 56, 172-184. <https://doi.org/10.26565/2410-7360-2022-56-12>
22. Reshetchenko, S.I., Dmytriev, S.S., Cherkashyna, N.I., Goncharova, L. D. (2020). *Climate indicators of changes in hydrological characteristics (a case of the Psyol river basin)*. *Visnyk of V. N. Karazin Kharkiv National University, Series: Geology. Geography. Ecology*, 53, 175-188. <https://doi.org/10.26565/2410-7360-2020-53-13>

23. Robaa, S.M. (2013). Trends of annual mean surface air temperature over Iraq. *Nature and Sciences*, 11, 12, 138-145.
24. Steiner, A. K. (2022). Temperature Changes in the Troposphere and Stratosphere from 1979 to 2018. *J. Climate*, 33, 8165–8194. DOI: <https://doi.org/10.1175/JCLI-D-19-0998.1>
25. Armenia's Fourth National Communication on Climate Change. (2020). 213. URL: https://unfccc.int/sites/default/files/resource/NC4_Armenia.pdf
26. IPCC, 2021: Summary for Policymakers. In: *Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. 2021, 31. URL: https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/downloads/report/IPCC_AR6_WGI_SPM_final.pdf
27. WMO Provisional State of the Global Climate 2022. URL: https://library.wmo.int/doc_num.php?explnum_id=11359

Сучасні зміни кліматичних характеристик та мінімального стоку річок басейну Севан

Вардуй Маргарян¹

к. геогр. н., доцент кафедри фізичної географії та гідрометеорології,

¹ Єреванський державний університет, вул. Алека Манукяна, 1, Єреван, 0025, Вірменія;

Армен Седракян²

к. фіз.-мат. н., доцент кафедри фізики,

² Національний політехнічний університет Вірменії,

факультет прикладної математики та фізики, вул. Теряна, 105, Єреван, 0009, Вірменія;

Овік Саядян³

³ Німецьке агентство з міжнародного співробітництва,

радник з питань сталого землекористування, вул. Антрапетутяна, 59, Єреван, 0010, Вірменія;

Світлана Решетченко⁴

к. геогр. н., доцент кафедри фізичної географії та картографії,

⁴ Харківський національний університет імені В.Н. Каразіна, пл. Свободи, 4, 61022, м. Харків;

Святослав Дмитрієв⁴

аспірант, ст. викл. кафедри фізичної географії та картографії

У статті наводяться результати дослідження змін основних кліматичних характеристик та зимового мінімального середньомісячного стоку річок басейну озера Севан. В якості вихідних даних використовувалися щодобові витрати води на дванадцяти гідрологічних постах та кліматичні ряди температури повітря, атмосферних опадів на шести метеорологічних станціях «Центру гідрометеорології й моніторингу» ДНКО Республіки Вірменія. Проведено аналіз гідрологічних та кліматичних показників, визначені закономірності їх просторово-часового розподілу, а також нестационарність в рядах мінімального зимового стоку. Отримано тісні кореляційні зв'язки між значеннями зимового мінімального середньомісячного стоку та середнім стоком зимового періоду за гідрологічний рік. Отримані залежності допомагають провести попереднє оцінювання мінімального стоку річок взимку, що мало дослідженні на представленій території. Розраховано мінімальні середньомісячні витрати води за кожен місяць та весь період спостережень, середнє значення мінімального стоку під час зимової межени та лінійний тренд основних кліматичних показників. Встановлені дати зміни стаціонарних режимів мінімального зимового стоку, що дає підставу корегувати заходи управління екстремальними мінімальними витратами води. Побудовано карти розподілу модуля середнього стоку межени в зимовий період та коефіцієнтів лінійного тренду температури повітря. Встановлено, що зміни мінімального стоку річок озера Севан взимку мають різноспрямований характер, де переважають тенденції до збільшення. Визначено, що для змін кількості опадів на досліджуваній території взимку та восени характерним є двох спрямований процес. Температури повітря взимку характеризуються тенденцією до зростання. Доведено, що в межах басейну озера Севан існують різноспрямовані ризики екстремальних мінімальних витрат води у зимовий період. Так, в деяких ріках відбувається зменшення мінімального стоку, в інших – незначне зростання. Створені картографічні твори відбивають характер змін мінімального стоку на базі даних до 2021 року. Отримані результати мають практичне спрямування під час розв'язання гідроecологічних задач щодо раціонального використання та управління водними ресурсами басейну озера Севан, їх охорони та захисту від деградації, проектування водосховищ та інших гідротехнічних споруд в гідроенергетиці.

Ключові слова: річки басейну озера Севан, межень, зимовий мінімальний середньомісячний стік, температура повітря, кількість опадів, багаторічні зміни, зміни водного режиму, коефіцієнти лінійного тренду.

Внесок авторів: всі автори зробили рівний внесок у цю роботу

Надійшла 3 квітня 2023 р.

Прийнята 20 червня 2023 р.

Культурний ландшафт як спадщина: пропозиції для України з досвіду окремих країн Європи

Катерина Поливач

к. геогр. н., незалежна наукова співробітниця відділу суспільної та регіональної географії

Інституту географії Словацької академії наук,

вул. Штефаникова, 49, Братислава, 81473, Словаччина,

e-mail: geogpoly@savba.sk,  <https://orcid.org/0000-0001-6823-3431>

Мета цієї публікації – розроблення пропозицій щодо впровадження концепту культурного ландшафту у сфері охорони та збереження культурної і природної спадщини на засадах виконання відповідних міжнародних зобов'язань України та запровадження кращих механізмів та практик окремих європейських країн. Методологія дослідження ґрунтується на описовому якісно-порівняльному підході, що дав змогу розкрити особливості досвіду збереження культурного ландшафту як спадщини у окремих країнах ЄС – представників «старої Європи» (Італії та Іспанії), постсоціалістичного (Польща, Словаччина, Чехія) та пострадянського (Латвія і Литва) простору. Вивчення європейського досвіду здійснювалось через призму виконання вимог Європейської ландшафтно-конвенції та можливостей його практичного застосування в Україні. Аналіз прикладів з практичного впровадження європейськими країнами концепту культурного ландшафту у порівнянні із практикою в Україні дав змогу визначити головні проблеми у цій галузі та окреслити орієнтовні напрями у можливій стратегії їх вирішення, основні механізми, інструменти і конкретні заходи з їх реалізації. Першочерговим заходом у формуванні такої стратегії може стати розроблення та схвалення урядовим розпорядженням Національного плану дій з охорони та збереження культурно-ландшафтно-спадщини України. Загальною метою цього плану на найближчі 5-10 років має стати забезпечення охорони, збереження та дбайливого використання культурних ландшафтів країни шляхом: приведення законодавства країни у відповідність до системи правових та нормативних стандартів ЄС з питань охорони, регулювання та планування ландшафтів; врахування цих питань при формуванні та реалізації державної культурної, екологічної та містобудівної політики та включення, як неодмінної складової, до стратегії повоєнної відбудови України; привернення суспільної уваги та залучення громадськості до охорони та популяризації культурних ландшафтів.

Ключові слова: культурний ландшафт, культурна і природна спадщина, культурно-ландшафтна спадщина, культурно-ландшафтний підхід, європейський досвід.

Як цитувати: Поливач Катерина. Культурний ландшафт як спадщина: пропозиції для України з досвіду окремих країн Європи / Катерина Поливач // Вісник Харківського національного університету імені В. Н. Каразіна, серія «Геологія. Географія. Екологія», 2023. – Вип. 59. – С. 190-208. <https://doi.org/10.26565/2410-7360-2023-59-14>

In cites: Polyvach Kateryna (2023). Cultural landscape as heritage: proposals for Ukraine from the experience of certain European countries. Visnyk of V. N. Karazin Kharkiv National University, series "Geology. Geography. Ecology", (59), 190-208. <https://doi.org/10.26565/2410-7360-2023-59-14> [in Ukrainian]

Постановка проблеми. Питання збереження культурних ландшафтів за допомогою пам'ятко-охоронних механізмів на міжнародному рівні почало вирішуватись з 1992 р., коли ця дефініція була включена в Керівні настанови до реалізації Конвенції про охорону всесвітньої культурної і природної спадщини (далі – Конвенція ВКПС).

Зазначені Керівні настанови визначили культурні ландшафти як об'єкти культурної спадщини, що представляють собою «спільні творіння людини і природи», які ілюструють еволюцію людської спільноти і поселень з плином часу, що відбувалася під впливом фізичних обмежень і / або можливостей, що накладаються або надаються природним місцем існування людини, а також соціальних, економічних і культурних чинників, що змінюють один одного, як зовнішніх, так і внутрішніх [37].

Включення культурних ландшафтів, як окремої номінації до Списку всесвітньої спадщини, та їх інтенсивно зростаюча кількість (станом на кінець 2023 р. номінація включала 126 об'єктів з 67

держав або 10,5 відсотка від загальної кількості об'єктів Списку), засвідчили про велику зацікавленість урядів, широкої громадськості та місцевих спільнот до збереження культурної і природної спадщини (далі – КПС) на засадах їх взаємозв'язку та взаємодії та застосування культурного ландшафту як одного з кращих, фундаментальних та ефективних інструментів збереження спадщини на всіх територіальних рівнях.

Україна ратифікувала Конвенцію ВКПС ще у 1988 р., однак перша згадка про існування, необхідність та особливості збереження пам'яток культурної спадщини, включених до Списку всесвітньої спадщини ЮНЕСКО, у вітчизняному законодавстві з'явилась лише через 30 років.

Про існування пам'ятки всесвітньої природної спадщини в країні (а саме, об'єкту «Первісні букові ліси Карпат та інших регіонів Європи», понад 25% території якого розташовані в Україні, з найбільшою у світі за суцільною площею букових пралісів) та необхідність її аналогічного правового збереження законодавець не згадує. Як нас-

лідок, термін «природна спадщина» досі не імплементовано і відповідної законодавчої та нормативно-правової бази не розроблено [11]. Хоча, згідно Статуту ООН міжнародні зобов'язання повинні не просто дотримуватися, а сумлінно виконуватися, процес їх імплементації Україною у сфері охорони КПС не витримує жодної критики.

У 2000 р. у Флоренції Рада Європи прийняла «Європейську ландшафтну конвенцію» (далі – ЄЛК), яку уже ратифікувало 40 держав Європи. Цілями ЄЛК є сприяння охороні, регулюванню та плануванню ландшафтів. Ландшафт в цій Конвенції означає територію, як її сприймають люди, характер якої є результатом дії та взаємодії природних та/або людських факторів. Це стосується ландшафтів, які можна вважати унікальними, а також звичайних або деградуючих ландшафтів. Кожна Сторона ЄЛК зобов'язується: визнавати ландшафти у законі як суттєвий компонент оточення людей, як вираження різноманітності їхньої спільної КПС та як основу їхньої ідентичності; визначати та впроваджувати ландшафтну політику, спрямовану на охорону, регулювання і планування ландшафту шляхом здійснення конкретних заходів; встановлювати порядок участі широкого загалу, місцевих і регіональних органів влади та інших сторін, заінтересованих у визначенні та впровадженні ландшафтної політики; включати ландшафт до своєї політики у сфері регіонального та міського планування та до своєї культурної, екологічної, сільськогосподарської, соціальної та економічної політики, а також до будь-якої іншої політики, що може безпосередньо або опосередковано впливати на ландшафт.

Серед конкретних заходів, обов'язкових для кожної Сторони ЄЛК: підвищення рівня обізнаності суспільства, приватних організацій та органів державної влади щодо цінності ландшафтів, їхньої ролі та змін у них; ідентифікації ландшафтів на всій її території; освіти та підготовки спеціалістів у галузі оцінки ландшафтів та роботи з ними; впровадження інструментів, спрямованих на охорону, регулювання та/або планування ландшафту.

У ст.11 ЄЛК також заснувала Ландшафтну відзнаку Ради Європи, метою якої є відзначення взірцевих практичних ініціатив, спрямованих на успішне досягнення цілей якості ландшафтів на територіях Сторін Конвенції [3].

Україна підписала ЄЛК 17 червня 2004 р. та ратифікувала згідно відповідного Закону від 7 вересня 2005 р. № 2831-IV. Міжнародні зобов'язання у цій сфері охорони передбачали, в тому числі, запровадження відповідних правових засад, належних організаційних та економічних механізмів і інструментів з метою формування національної ландшафтної політики та створення сучасної системи охорони, збереження, використання та регулювання ландшафтами.

Однак, перша і, до цих пір, єдина спроба імплементації Конвенції шляхом прийняття Верховною Радою України проекту Закону України «Про ландшафти» у 2012 р. була невдалою. Лише через 10 років проектом «Плану відновлення України» (липень 2022 р.) було передбачено розроблення нової редакції цього закону з граничним терміном прийняття у 2024 р.

Вагомим чинником прийняття цього рішення та загальне прискорення виконання Україною міжнародних правових зобов'язань у сфері охорони КПС є конституційно визначений стратегічний курс на європейську інтеграцію та офіційне отримання 23 червня 2022 р. статусу кандидата в члени Європейського Союзу. Неодмінною умовою прийняття нових членів до ЄС є приведення законодавства країни-кандидата у відповідність до системи правових та нормативних стандартів ЄС (*acquis communautaire*), яка включає директиви, регламенти, рішення, рекомендації, конвенції, загальні стратегії тощо.

Серед факторів, що сприятимуть досягненню необхідних здобутків на цьому шляху, може стати вивчення досвіду тих зарубіжних країн Європи, які започаткували розбудову своїх національних концепцій і систем охорони КПС, в тому числі культурних ландшафтів, задовго до прийняття даних міжнародних документів та за минулі десятиліття успішно реалізували їх на практиці.

Результати цих зусиль, наприклад, гідно представлені у Списку всесвітньої спадщини – так, за категорією «культурний ландшафт» Італія і Франція має по 8 об'єктів кожна, Велика Британія – 6, Іспанія і Німеччина – по 5, Чехія – 4.

Україна, попри величезний історико-культурний та природний потенціал, в цій категорії Списку представлена лише одним об'єктом – *стародавнім містом Херсонесом Таврійським і його Хорою (2013)*, який, як це не дивно виглядає, у нашій країні з формальних причин таким не вважається.

Стан культурно-ландшафтної спадщини¹, який викликає давнє занепокоєння громадськості, багатократно погіршився внаслідок повномас-

¹ Для цілей даного дослідження, під культурно-ландшафтною спадщиною розуміється сукупність культурних ландшафтів, охоплених існуючими територіальними організаційно-правовими формами та механізмами охорони КПС на міжнародному, національному та місцевому рівнях. Під культурним ландшафтом розуміється цілісний

образ культурно-природного локального територіального утворення, яке є спільним продуктом історичної та сучасної взаємодії даного суспільства і навколишнього середовища визначної культурної значущості, що цінується та охороняється за її культурні (матеріальні і духовні) та природні якості [5].

штабної збройної агресії росії проти України. Зруйновані та потребують відбудови громадські простори майже 1900 міст і сіл, постраждало 20% територій ПЗФ, зафіксовано пошкодження та руйнування понад 1 тис. пам'яток культурної спадщини, музеїв, релігійних споруд (<https://culturecrimes.mkp.gov.ua/>).

Аналіз останніх досліджень і публікацій.

Загальний обсяг наукових досліджень у світі з питань збереження ландшафтів як КПС вимірюється тисячами праць з різних галузей знань: географії, культурології, містобудування та територіального планування, ландшафтної архітектури, правознавства, тощо. Зазвичай, вони присвячені загальним теоретичним, методологічним, практичним або іншим аспектам у цій сфері або акцентують свою увагу на результатах, отриманих в межах окремо взятої країни чи її території. Значно менша кількість публікацій з цього доробку припадає на дослідження, які носять порівняльний (компаративний) аналіз систем або підсистем (правових, інституційних, нормативних, наукових, методичних тощо) різних країн.

Наприклад, деякі дослідження зарубіжних вчених останніх років присвячені законодавчим аспектам охорони «характерного вигляду (культурного) ландшафту» [26]; оцінці поточного стану національних систем ландшафтного планування після підписання ЄЛК з особливим акцентом на політику та інструменти планування [18]; огляду інтегрованих ландшафтних ініціатив (проектів, програм, платформ, комплексів заходів тощо) [23]; питанню ідентифікації природних ландшафтів [33]; підходам щодо типології, класифікації, ідентифікації і картографування ландшафтів в різних країнах світу з метою визначення основних методологічних стратегій [42] тощо.

Зарубіжний досвід збереження ландшафтів у вітчизняній науковій літературі представлений одиничними публікаціями. Зокрема, в деяких дисертаційних дослідженнях з природоохоронного права розглядається питання правового регулювання ландшафтного використання та охорони земель в Україні, в тому числі, в порівнянні з окремими країнами та виконано порівняльний аналіз регулювання охорони ландшафтів в Україні та Європейському Союзі (О.В. Лозо, 2015).

Аналогічно, в дисертаційних дослідженнях з пам'яткоохоронного права розглядаються питання, дотичні до впровадження культурно-ландшафтного підходу до охорони культурної спадщини на прикладі окремих країн Європи (О. В. Спіфанов, 2018; Т. В. Мазур, 2021).

Важливим видається інтерес ландшафтознавців до дослідження досвіду Великої Британії щодо залучення концепції ландшафту у системі ухвалення рішень в окремих сферах практичної

діяльності – просторовому плануванні, охороні природи, збереженні культурної спадщини та ін. [13].

Загалом, проблема вивчення європейських практик з метою визначення можливостей та напрямів їх привнесення до державної ландшафтно-політики, механізмів і інструментів її реалізації залишається невирішеною.

Формулювання мети статті. Мета цієї публікації – розроблення пропозицій щодо впровадження концепту культурного ландшафту у сфері охорони та збереження культурної і природної спадщини на засадах виконання відповідних міжнародних зобов'язань України та запровадження кращих механізмів та практик окремих європейських країн.

Досягнення поставленої мети передбачає виконання таких завдань:

- вивчення та аналіз сучасного стану культурно-ландшафтно-спадщини України та вітчизняного досвіду щодо забезпечення її збереження;
- вивчення та аналіз досвіду окремих європейських країн із впровадження концепту культурного ландшафту в контексті можливостей його практичного застосування в Україні;
- розроблення пропозицій щодо основних напрямів дій з охорони та збереження культурно-ландшафтно-спадщини України.

Виклад основного матеріалу дослідження.

Сучасний стан культурно-ландшафтно-спадщини України та вітчизняний досвід щодо забезпечення її збереження

У чинне законодавство України не впроваджено термін «культурний ландшафт», прийнятий Конвенцією ВКПС. Натомість, Законом України «Про охорону культурної спадщини» (далі – ЗУ ПОКС) в якості окремого типу виділяються «визначні місця» – зони або ландшафти, природно-антропогенні витвори, що донесли до нашого часу цінність з археологічного, естетичного, етнологічного, історичного, архітектурного, мистецького, наукового чи художнього погляду». Однак, на відміну від інших типів культурної спадщини (окремих споруд та їх комплексів/ансамблів) ця дефініція жодним чином не була деталізована відповідними підзаконними, нормативними та методичними документами та, як результат, з причин їх повної формалізованої відсутності не враховується у державній статистичній звітності.

Як окремий вид, ЗУ ПОКС виділяє «ландшафтні об'єкти», під якими розуміються «природні території, які мають історичну цінність» (ст. 2) [8]. Ця дефініція входить у протиріччя з їх трактуванням Конвенцією ВКПС як «спільних витворів людини та природи» та акцентує увагу на природній складовій ландшафту. Про тісний зв'язок з ландшафтами законом наголошується при визначенні інших видів культурної спадщини, таких, як

об'єкти садово-паркового мистецтва та об'єкти містобудування. Примітно, що за відсутності законодавчо визначеного терміну, наприклад, в Законі України від 9 квітня 1999 р. №586-XIV «Про місцеві державні адміністрації» йдеться мова про «палацово-паркові, паркові та історико-культурні ландшафти», охорону, реставрацію та використання яких мають організовувати місцеві державні адміністрації.

Опосередкованою та важливою формою правового захисту культурних ландшафтів стало запровадження інституту охоронного зонування: у 1948 р. – у вітчизняну пам'яткоохоронну діяльність, а з 1978 р. – у законодавство. У чинному ЗУ ПОКС з метою захисту традиційного характеру середовища окремих пам'яток, історико-культурних заповідників, історико-культурних заповідних територій та об'єктів всесвітньої спадщини визначаються зони охорони (охоронні зони, зони регулювання забудови, зони охоронюваного ландшафту, зони охорони археологічного культурного шару) і буферні зони (ст. 32-1). Згідно із внесеними змінами у 2021 р. до ЗУ ПОКС також введено термін «територія пам'ятки» – яка «історично і топографічно пов'язана з розпланувально-просторовою еволюцією пам'ятки, для якої визначається спеціальний охоронний режим її використання з метою збереження цілісності пам'ятки» (ст. 14-1). Відомості про визначені межі і режими використання території пам'ятки, зон охорони, буферних зон, історичних ареалів населених місць вносяться до Державного земельного кадастру, містобудівного кадастру як відомості про обмеження у використанні земель [8].

На основі вищезазначених положень законодавства були розроблені відповідні підзаконні акти та нормативні документи (зокрема, державні будівельні норми – ДБН Б.2.2-12:2019. Планування та забудова територій) та плануються до розроблення в наступні роки проекти постанов Кабінету Міністрів України щодо порядку визначення меж та режимів використання зон охорони, території пам'ятки та буферної зони.

Одним із завдань *природоохоронного законодавства*, згідно ст. 1. Закону України «Про охорону навколишнього природного середовища» від 25 червня 1991 р. №1264-XII, визначено збереження ландшафтів та інших природних комплексів, унікальних територій та природних об'єктів, пов'язаних з історико-культурною спадщиною. Цим же Законом ландшафти віднесені до об'єктів державної охорони і регулювання використання на території України, зокрема, особливій державній охороні підлягають території та об'єкти природно-заповідного фонду й інші природні території та об'єкти, що визначені відповідно до законодавства (ст. 5) та утворюють єдину територіальну

систему (ст. 60-63) [9]. Основними формами правової охорони і регулювання використання природного ландшафту, згідно із з положень Закону України «Про природно-заповідний фонд України», виступають регіональні ландшафтні парки, ландшафтні заказники, заповідні урочища, пам'ятки природи та штучно створені об'єкти: ботанічні сади, дендрологічні парки, зоологічні парки, парки-пам'ятки садово-паркового мистецтва [10].

З інших чинних нормативно-правових актів слід акцентувати увагу на Державному стандарті України «Захист довкілля. Ландшафти. Терміни та визначення понять», підготовлений Інститутом гідротехніки і меліорації УААН [2]. Його концепція з дублюванням багатьох норм та положень пов'язані зі стандартами колишнього СРСР: «ГОСТ 17.8.1.01-86 Охорона природи. Ландшафти. Терміни та визначення» «ГОСТ 17.8.1.02-88 Охорона природи. Ландшафти. Класифікація», розроблених в Інституті географії СРСР під керівництвом В.С. Преображенського. Як наслідок, у ДСТУ не відображені міжнародно визнані концепти Конвенцій ВКПС та ЄЛК, що ставить під сумнів правомірність підходу авторів.

Загалом, деталізоване правове регулювання ландшафтами як окремого напрямку в Україні відсутнє, незважаючи на спробу його започаткування шляхом прийняття проекту Закону України «Про ландшафти», який з 2009 р. розглядався Верховною Радою України. Після трьох років обговорень та прийняття його було відхилено президентом країни, вето якого депутати не змогли подолати. Головне юридичне та Головне науково-експертне управління Верховної Ради, підтримуючи наміри законодавця щодо необхідності збереження та невиснажливого використання ландшафтів України та доцільності прийняття окремого закону з питань ландшафтів, акцентували увагу на наступних зауваженнях, які зумовили негативний результат розгляду:

– неврахування у повній мірі приписів європейської ландшафтно-політики, зокрема ті, що містять визначення ключових термінів у даній сфері, наприклад, щодо невизнання в Законі ландшафтів як вираження різноманітності їхньої спільної КПС, та як основу їх ідентичності (ст. 14);

– невизначеність механізмів, які б забезпечили реальну охорону ландшафтів та їх збереження, зокрема, декларативний характер положень Закону, де йдеться про участь громадян та їх об'єднань у заходах щодо охорони та використання ландшафтів (ст. 11), запровадження та проведення моніторингу ландшафтів (ст. 13), про державний облік ландшафтів (ст. 16), компоненти, межі і розміри ландшафтів (ст. 17) тощо [7].

Необхідно також зауважити, що визначення багатьох термінів та юридичних категорій,

наприклад, ландшафту, антропогенного ландшафту, елементи та компоненти ландшафту та інших (ст. 2) та запропонована класифікація ландшафтів за різними критеріями (ст. 14), що включені до Закону, ґрунтуються на вищезазначеному стандарті колишнього СРСР, без врахування сучасних зарубіжних наукових досліджень та досвіду їх законодавчого впровадження. Введення державного обліку територій ландшафтів, як складової частини Державного земельного кадастру, державних кадастрів інших природних ресурсів, територій та об'єктів природно-заповідного фонду, Державного реєстру нерухомих пам'яток України, державної статистичної звітності (ст. 16) виглядає вкрай гіпотетичною та проблематичною ініціативою, особливо в умовах, коли чинне законодавство не відносить ландшафти до природних ресурсів та відсутні нормативно встановлені процедури ідентифікації, розмежування та віднесення ландшафтів до тих чи інших категорій і груп.

Таким чином, в разі включення до «Плану відновлення України» розроблення нової редакції цього закону вимагатиме суттєвих та принципових змін його концепції та змістового наповнення.

Логічним результатом того, що ландшафт до цих пір законодавчо не закріплений як компонент довкілля людей та їх культури, є повна відсутність цього поняття в стратегіях державної культурної та екологічної політики, відповідному *стратегічному і програмно-цільовому плануванню* на державному, галузевому і регіональному рівнях.

Діяльність з наукового і методичного забезпечення з впровадження та популяризації культурно-ландшафтного підходу в Україні здійснюють установи та організації центральних органів виконавчої влади, органів місцевого самоврядування та громадських організацій, зокрема, міністерств України: МКІП, захисту довкілля та природних ресурсів (Міндовкілля), розвитку громад та територій (Мінінфраструктури), освіти і науки (МОН), Національної академії наук України, Української академії аграрних наук, Українського товариства охорони пам'яток історії та культури та інших.

На відміну від багатьох зарубіжних країн, концепт культурного ландшафту став об'єктом дослідження багатьох українських пам'яткознавців, істориків, архітекторів, географів, природоохоронців, правників, краєзнавців, лише на початку ХХІ століття, як у вигляді теоретико-методологічних досліджень, так і виконаних на регіональному рівні науково-прикладних досліджень.

Цільове вивчення історико-культурних особливостей ландшафтів з метою їх подальшого збереження як об'єктів культурної спадщини, ще не отримало свого належного місця та відображення

в науковому географічному середовищі, незважаючи на значний розвиток ландшафтознавчих досліджень в останніх декількох десятиліттях. Зокрема, С.В. Міхелі (2016) у своєму дисертаційному дослідженні відзначає факт створення потужних і стабільних центрів та шкіл розвитку ландшафтознавства у Київському, Львівському, Одеському, Чернівецькому, Таврійському національних університетах, Інституті географії НАН України, Вінницькому, Тернопільському, Криворізькому та Уманському педагогічних університетах. Це забезпечило комплексне фізико-географічне вивчення ландшафтів у всіх регіонах країни та широке розповсюдження досліджень природної складової ландшафтів для визначення потенційних об'єктів та територій для природоохоронного заповідання. Ваговим імпульсом із започаткування вивчення культурних ландшафтів у цьому контексті стало ухвалення ЄЛК та її ратифікація Україною, що підкреслюється ландшафтознавцями, які наголошують на «суспільній потребі» в таких дослідженнях та «ефективності ландшафтного підходу, яка виявилася у формуванні принципів нових об'єктів спадщини» [1].

Тривалий час основним осередком практичної діяльності з впровадження культурно-ландшафтного підходу у сфері охорони та збереження культурної спадщини був НДІ пам'яток охоронних досліджень (НДПД) МКІП, співробітниками якого за період 2000-2016 рр. було виконано значний обсяг робіт з розроблення проектів нормативних документів, науково-методичних рекомендацій та здійснення прикладних наукових досліджень, за результатами яких деякі з культурних ландшафтів були занесені до переліку об'єктів культурної спадщини. Однак, розроблені НДПД проекти Положення про визначні місця, Методичних рекомендацій щодо визначення ландшафтних об'єктів культурної спадщини (культурних ландшафтів), Методичних рекомендацій щодо заповнення облікової картки об'єкта культурної спадщини за видом «ландшафтний» та паспорта об'єкта культурної спадщини за видом «ландшафтний», Методичних рекомендацій з визначення предмета охорони ландшафтних об'єктів культурної спадщини тощо не отримали підтримки ні МКІП, ні інших центральних органів виконавчої влади та відповідного нормативно-правового відображення.

Після реорганізації НДПД, який з квітня 2017 р. носить назву – «Український державний інститут культурної спадщини», відсутні будь-які відомості про виконання науково-дослідницьких праць, оприлюднення їх результатів в Національному репозитарії академічних текстів та припинено видання збірника наукових праць. Подібна ситуація спостерігається ще з одним важливим

осередком досліджень ландшафтів як пам'яток культурної спадщини – Центром пам'ятокознавства НАН України і Українського товариства охорони пам'яток історії та культури, заснованим у 1991 р.

Існуючі недоліки, неконкретність та розпливчастість існуючого вітчизняного законодавчого визначення культурного ландшафту обумовили подальші труднощі у розробленні та, як наслідок, незатвердженні відповідних нормативно-правових актів та методичних рекомендацій про порядки його виявлення, визначення предмета охорони, підготовки облікової та іншої документації тощо. Це призвело до повної невизначеності того, за якими критеріями, ознаками, в яких топографічних межах та, відповідно, категоріях значення виявляти ландшафтні об'єкти культурної спадщини, несистемності у прийнятті рішень та парадоксальних результатів цієї, загалом скромної, діяльності за минулі більш ніж 20 років існування цього виду пам'яток.

Станом на кінець 2023 р. до Державного реєстру нерухомих пам'яток України за цією категорією внесені лише 8 об'єктів, які підлягають охороні як окремі територіальні утворення, з них: «Історичний ландшафт центру Буго-Гардівської паланки Війська Запорозького» (2009) у Миколаївській області та «Замкова гора у м. Чигирин» Черкаської області (2012) – національного значення; «Урочище «Дуб Максима Залізняка» у х. Будда та «Урочище «Три криниці» у с. Суботові Чигиринського р-ну (2009); «Історичний ландшафт Київських гір і долини рік Дніпра у м. Києві» (2010), «Історичний ландшафт давньоруського м. Вишгород» (2010); «Історичний центр міста Глухова XII-XVIII ст.» (2014) та «Міський сад м. Полтава» (2019) – місцевого значення.

Загалом, це неприпустимо мало, однак при цьому слід зважати, що до введення цього поняття у чинне законодавство, на державний облік взято багато об'єктів за іншими видами спадщини, які відповідають критеріям Конвенції ВКПС та ЄЛК. Попередній розгляд об'єктів, які охороняються згідно пам'яткоохоронного або природоохоронного законодавства України та підпадають під встановлені міжнародним законодавством критерії визначення як культурного ландшафту, свідчить про їх значну кількість та велике типологічне різноманіття. Наприклад, до категорії культурних ландшафтів можуть бути віднесені понад 320 пам'яток садово-паркового мистецтва, оскільки характеризуються «поєднанням паркового будівництва з природними або створеними людиною ландшафтами» [8] та серед яких є видатні об'єкти національного значення – парки «Софіївка» в Умані, «Олександрія» у Білій Церкві,

«Качанівка» та «Тростянець» на Чернігівщині та інші.

Крім того, збереження ландшафтів та інших природних комплексів, унікальних територій та природних об'єктів, пов'язаних з історико-культурною спадщиною є одним із завдань і природоохоронного законодавства. Основними формами правової охорони і регулювання використання ландшафтів виступають парки-пам'ятки садово-паркового мистецтва (понад 570 об'єктів, з них 89 – загальнодержавного значення, при чому, значна частина яких захищені також пам'яткоохоронним законодавством), дендрологічні парки, ботанічні сади, ландшафтні заказники тощо.

Відсутність тривалого законодавчого невизнання культурного ландшафту, не встановлення меж, предмету охорони, історико-культурної цінності та категорії значення призводить до можливості його безкарного руйнування та знищення. Наприклад, пам'ятка «Історичний ландшафт Київських гір», у склад якого входять об'єкт Списку всесвітньої спадщини (Києво-Печерська Лавра) та номінант на включення до нього (Андріївська церква), з орієнтовною загальною площею майже 2800 га, є лише пам'яткою ландшафту місцевого значення.

За даними МКІП, тільки 9% об'єктів, занесених до Державного реєстру нерухомих пам'яток, мають розроблені і затверджені в установленому порядку межі і режими використання зон охорони. Із загальної кількості об'єктів (140 тис.), які перебувають на державному обліку, території визначені лише для 1%. Враховуючи те, що землі, на яких розташовані пам'ятки культурної спадщини, відповідно до статті 53 Земельного кодексу є землями історико-культурного призначення порядку використання яких визначається законом, така ситуація не може не відображатись на регламентації правил та процедур, пов'язаних з використанням таких земель.

В результаті, має місце хаотичний, слабо контрольований та зовсім байдужий до збереження культурних та природних цінностей розвиток комерційного житлового та офісного будівництва. Як наслідок – деформація або втрата унікальних ландшафтів у багатьох містах та селах країни, втрата традиційного історичного середовища та цілісності сприйняття його образу.

Наведені факти свідчать про те, що в Україні без міжнародно визнаної необхідності посилення державних, приватних і громадських зусиль на збереженні культурно-ландшафтної спадщини та створенні відповідної системи законодавчого, нормативного-правового, наукового і методичного забезпечення буде вкрай важко зупинити тенденцію поступової деградації ландшафтів.

Досвід окремих європейських країн у сфері збереження культурно-ландшафтної спадщини в контексті можливостей його практичного застосування в Україні

Ключова роль ландшафту, як невід'ємної складової людства, його культури, ідентичності та навколишнього природного середовища визнається однією із засадничих умов його збереження як спадщини при формуванні державної культурної та природоохоронної політики та законотворчої діяльності в європейських країнах вже протягом багатьох десятиліть.

При цьому, кожна держава має свої особливості формування та реалізації такої стратегії і застосовує різноманітні механізми, які важливо враховувати при доцільності їх можливого впровадження в Україні. З цих вихідних положень та після вивчення численних публікацій з ландшафтної тематики було вирішено зупинитися на більш детальному розгляді та аналізі досвіду у країнах ЄС, що представляють так звану «стару Європу» (Італія та Іспанія), постсоціалістичний (Польща, Словаччина, Чехія) та пострадянський (Латвія і Литва) простір.

В першу чергу розглядається діяльність із збереження культурного ландшафту в наступних аспектах: його законодавчого визнання, створення та функціонування відповідної державно-управлінської системи, включення до документів із стратегічного, програмно-цільового та просторового планування, розроблення нормативно-правового та методичного забезпечення, розвитку наукових досліджень щодо виявлення, ідентифікації, типології, картографічної візуалізації та популяризації, що представляє суттєвий інтерес для цілей використання в Україні.

Італія є єдиною серед країн Європи, де правове регулювання збереження та захисту ландшафтів здійснюється на всеохоплюючому системному рівні: в країні ландшафт закріплений як об'єкт статті Конституції, є об'єктом спеціального кодифікованого закону та ряду регіональних правових актів і включено до статей інших, більш загальних законів.

У статті 9 Конституції Італії 1947 р. йдеться про те, що держава повинна забезпечувати охорону природних видів ландшафту, історичної та мистецької спадщини нації. Право на ландшафт і природну красу, один із фундаментальних принципів Конституції, бере свій початок у стародавньому законі Фердинанда II Бурбонського від 19 липня 1841 р.

Започаткування правової охорони ландшафту у країні мало місце з прийняттям Закону від

11 червня 1922 р. № 778 про охорону природної краси та об'єктів особливого історичного значення або Закону **Кроче** (за ім'ям його ініціатора Бенедетто **Кроче**), в якому ландшафт розглядався як комплекс **природних красвидів** країни, осередок історичної та **культурної самобутності** громади і, як такий, вартий захисту [34]. Про формування системної охорони як пам'яток архітектури, так і ландшафтів, що їх оточують, можна стверджувати, починаючи з 1939 р., коли прийняття Закону від 29 червня 1939 р. №1497 про захист природної краси у поєднання із Законом від 1 червня 1939 р. №1089 про захист культурних цінностей, дав успішні результати в обох сферах.

Підписання Італією у 2000 р. ЄЛК та її ратифікація у 2006 р., в умовах розширення та урізноманітнення пам'яткоохоронного та природоохоронного законодавства стало важливою передумовою щодо його трансформації. Для систематизації і охоплення основних засад, принципів та конкретних аспектів комплексного регулювання цієї сфери, що спираються на національні закони та норми міжнародного права, було прийнято консолідований Кодекс культурної спадщини і ландшафту або Кодекс Урбані, названий за ім'ям його ініціатора Д. Урбані, затверджений законодавчим декретом №42 від 22 січня 2004 р. [19]. Кодекс Урбані, який забезпечує законодавчу реалізацію ст.9 Конституції щодо захисту культурної спадщини (ст.1) у складі культурних цінностей і ландшафтних цінностей (активів) (ст.2), містить положення дотичних до цієї тематики законів 1939 та 1985 років. До ландшафтних цінностей (активів) Кодекс Урбані включає споруди та зони (ділянки), наділені історичною, культурною, природною, морфологічною та естетичною цінністю (ст. 2, п. 3, ст. 134). Італійський дослідник M.D. Paolucci (2008) підкреслює, що на відміну від попередніх законів, які не пропонували визначення культурного ландшафту, Кодекс Урбані точно визначає термін «ландшафт» як «територію, що виражає ідентичність, характер якої походить від дії природних і людських факторів та їх взаємозв'язків» (ст. 131)². Це доводить, що концепції, запроваджені ЄЛК, були прийняті і значення культурного ландшафту було розширено на набагато більшу групу цінностей на основі взаємовідношення між людською культурою (суспільством) і ландшафтом. Це положення підтверджено іншими пунктами ст.131, де викладена концепція охорони ландшафту щодо тих аспектів і характеристик, які складають матеріальне та видиме *відображення* національної ідентичності (п.2), та її спрямування на визнання, захист та, у разі необ-

² Формулювання наведено в редакції ст. 131 Кодексу Урбані від 30.07.2009

хідності, відновлення культурних цінностей, які він виражає (п.4). [39].

Серед багатьох питань, які регулюються Кодексом Урбані, особливий інтерес викликають статті, присвячені ландшафтному плануванню (Ст. 135, 143-145). Зазначається, що держава та регіони забезпечують належне пізнання, охорону, планування та управління всією територією на основі цінностей, виражених різними контекстами, які її складають. З цієї метою регіони підпорядковують територію спеціальному законодавству щодо використання через ландшафтні плани або містобудівні територіальні плани. Розроблення ландшафтних планів здійснюється спільно Міністерством культури та регіональними органами влади із залученням Міністерства навколишнього середовища та охорони суші і моря. З дати прийняття ландшафтного плану втручання, що суперечать вимогам охорони, не допускаються. Відповідні положення та вимоги є обов'язковими для виконання та переважають над положеннями планів території та містобудування.

Відповідальність за реалізацію приписів Кодексу Урбані покладена на засноване в 1974 р. Міністерство культурної та природної спадщини (з 2021 р. – Міністерство культури). У складі Міністерства культури було утворено Головне управління археології, образотворчого мистецтва та ландшафту та ряд консультативних та допоміжних структур науково-технічного характеру з цих питань: Вища рада з культурних і ландшафтних цінностей, Науково-технічний комітет ландшафту, Національна обсерваторія якості ландшафту.

У національному законодавстві *Іспанії* термін «культурний ландшафт» відсутній: у статті 15 Закону 16/1985 від 25 червня про історичну спадщину Іспанії певне наближення до цього поняття розглядається у пункті «Історичне місце»; у статті 17 Закону 4/1989 від 27 березня про збереження природних просторів, дикої флори та фауни ключовими компонентами охоронюваних ландшафтів були визнані культурні та естетичні цінності; Закон 42/2007 від 13 грудня про природну спадщину та біорізноманіття, що замінив вищенаведений закон, статтею 3 адаптував іспанські охоронювані ландшафти згідно визначення ландшафту, даного ЄЛК.

Поглиблення інтересу до цієї проблематики було пов'язане з включенням декількох культурних ландшафтів країни до Списку всесвітньої спадщини, підписанням та ратифікацією нею у 2007 р. ЄЛК, а результатом стало схвалення на сесії Ради історичної спадщини, що відбулася в Мадриді 4 жовтня 2012 р., Національного плану культурного ландшафту (далі – НПКЛ) [40]. НПКЛ, розроблений Іспанським інститутом культурної

спадщини, визначив культурний ландшафт як результат взаємодії людей і природного середовища протягом тривалого часу, вираження якого є територія, яка сприймається та цінується за її культурні якості, як продукт процесу та основу ідентичності спільноти. У НПКЛ також наголошується на особливих характеристиках культурного ландшафту як об'єкта спадщини.

Загальною метою НПКЛ визнано охорону ландшафтів країни, що становлять культурний інтерес, розуміючи під цим будь-які заходи, спрямовані на забезпечення життєздатності культурного ландшафту, включаючи дії з ідентифікації, характеристики, документування, дослідження, збереження, охоплення необхідними аспектами визначення, розмежування, аналізу компонентів та управління через перспективу сталого розвитку. Оскільки у НПКЛ передбачено приділити першочергову увагу ландшафтам культурного інтересу, його початковим етапом стало формування орієнтовного переліку саме таких культурних ландшафтів. Тим самим, передбачалось, по-перше, зробити наближення до документального обліку ландшафтів культурного інтересу, дотримуючись попередньо встановленої методології, що дозволяє їх ідентифікацію та документування. По-друге, визначити та опублікувати добірку іспанських ландшафтів («Сто культурних ландшафтів Іспанії») з метою представити їх велику типологічну та географічну різноманітність [17].

Вибірка зі ста ландшафтів відібраних з 173 кандидатів з усієї Іспанії з описом унікальних особливостей кожного з них, визначенням складових елементів і домінуючого характеру показала широкий діапазон їх масштабів: від ландшафту площею від 1 га до 250 000 га, який охоплює історичний регіон. Це свідчить про певні відмінності між регіонами в розумінні поняття «культурний ландшафт», тому в ході дослідження визнано потребу в розробленні керівних принципів для ідентифікації ландшафтів, що представляють особливий інтерес, особливо якщо вони будуть потім перетворені на культурні об'єкти [41]. Іншим інструментом реалізації цього напряму НПКЛ стало виконання проекту «Narrando Paisajes» (www.100paisajes.es), головна мета якого – зробити цифровий контент про культурні ландшафти Іспанії доступним через Інтернет [15].

В останні десятиліття XX ст. *Польща*, на думку польських дослідників, була серед міжнародних лідерів у сфері охорони культурного ландшафту [28] та стала ініціатором постановки цієї проблеми у європейському масштабі [35]. Цьому сприяли кілька факторів. Перш за все, теоретичні розробки з питань ландшафту та концепції польської системи його охорони, які проводилися під керівництвом З. Новака та Я. Богдановського. Уже

в 1990 р. до Закону від 15 лютого 1962 р. про охорону культурних цінностей були внесені положення про визнання культурного ландшафту новою категорією «пам'яток» (за два роки до аналогічного міжнародного визнання Конвенцією ВКПС) і визначені форми його охорони у вигляді заповідників, заповідних зон культурного ландшафту і культурних парків. У 1995 р. започатковано створення 5-ї програми Міністерства культури та національної спадщини «Охорона та збереження історичного культурного ландшафту» [28].

У 2001 р. Польща підписала ЄЛК, яку згодом ратифікувала у 2004 р., що надало новий імпульс діяльності у цій сфері. Приймається новий Закон від 23 липня 2003 р. про охорону та догляд за пам'ятками, в якому викладені наступні ландшафтні ініціативи як культурної спадщини: введено поняття «культурний ландшафт» з тлумаченням на засадах Конвенції ВКПС та ЄЛК; культурний ландшафт знову розглядається як типологічна група у складі нерухомих пам'яток (ст. 6); зроблені зміни щодо форм його збереження, які виглядають наступним чином – внесення до реєстру пам'яток, визнання пам'яткою історії, створення культурного парку, запровадження заходів з охорони в місцевому плані просторового розвитку (ст. 7) [44]. Тобто, на культурний ландшафт поширюються як звичайні форми, встановлені для інших категорій нерухомих пам'яток, так і особливі – у вигляді заснування культурних парків, при цьому вирішено відмовитись від впровадження культурних заповідників та заповідних зон культурного ландшафту, які планувалось створювати відповідно до природоохоронних аналогів. Крім того, статтями 84-87 передбачено кожні 4 роки розроблення та реалізація Національної програми охорони та догляду за пам'ятками³. На такий же період приймаються воєводські, повітові або гмінні програми догляду за пам'ятками.

Паралельно здійснюється діяльність із інституційного забезпечення охорони культурного ландшафту, важливе значення в якій мало офіційне створення у 2002 р. Комісії з культурного ландшафту Польського географічного товариства, як міждисциплінарного наукового форуму, який слугує поширенню поглядів і дослідницьких концепцій щодо еволюції, формування та охорони культурного ландшафту в регіональному та комплексному аспектах (<https://krajobrazkulturowy.us.edu.pl/index.php>). Під час підготовки законодавчих ініціатив із захисту ландшафтів цій Комісії було доручено підготувати дослідження щодо ідентифікації, характеристики та оцінки ландшафтів як з природної, так і з культурної точки зору [43].

Робота, яка являє собою детальну методологічну, методичну та технічну основу (посібник) для підготовки ландшафтного аудиту, стала базою для прийняття в подальшому відповідного нормативно-правового акту.

Однак, незважаючи на зусилля у створенні системи управління та захисту ландшафту в країні, ці заходи все ще приносять незадовільні результати [20]. З метою зупинити деградацію ландшафту, забезпечити комплексне регулювання стану всіх ландшафтів та, водночас, транспонувати окремі положення ЄЛК у своє законодавство, був прийнятий Закон від 24 квітня 2015 р. про внесення змін до деяких законів щодо посилення засобів охорони ландшафту», т.зв. «Закон про ландшафти». Закон означив поняття «культурний ландшафт» як «сприйманий людьми простір, що містить природні елементи і продукти цивілізації, історично сформовані в результаті природних факторів і діяльності людини» та включив його до Закону від 23 липня 2003 р. про охорону та догляд за пам'ятками та Закону від 16 квітня 2004 р. про охорону природи. Закон про ландшафти також запровадив поняття «пріоритетний ландшафт» та такі нові інструменти у сфері збереження ландшафтів як ландшафтний аудит, який має проводитися на території воєводства принаймні кожні 20 років.

В той же час, як вважає А. Wiczeorek (2022), надмірно деталізована регламентація підготовки ландшафтних аудитів надзвичайно його ускладнює. Основні загрози якості ландшафту включали низький рівень охорони територій у місцевих планах просторового розвитку, тому достатньо було посилити положення щодо підготовки досліджень умов і напрямів просторового розвитку гмін, зокрема щодо ідентифікації та оцінки ландшафтів, що зустрічаються на їх території, а отже, по всій країні. Оскільки план місцевого розвитку, на відміну від ландшафтного аудиту, є джерелом права і являє собою найкращий інструмент охорони ландшафту, було б доцільно заохочувати владу гмін мати ці плани для всієї території, якою вони керують [46].

Найбільш популярною пам'яткоохоронною формою на сучасному етапі в країні є культурний парк, який своєю постановою може створити рада гміни для захисту культурного ландшафту та збереження територій із самобутнім ландшафтом і нерухомими пам'ятками, характерними з точки зору місцевої забудови та поселенських традицій. На думку Z. Myczkowski, культурний парк є найбільш значущим проявом відповідальності місцевої влади за довірену їй територію [36]. Щоб

³ На кінець 2023 р. виконані дві національні програми – на 2014 – 2017 та 2019 – 2022 роки, готується до ухвалення наступна.

прокласти шлях до нової форми охорони пам'яток, з дотриманням низки адміністративних та право-вих вимог, було розроблено посібник та у 2005 р. Радою охорони пам'яток при Міністерстві культури прийнято виконавчу інструкцію «Принципи створення культурного парку, управління ним та складання плану охорони».

Станом на початок 2022 р. було створено 41 парк, крім того, нараховується 70 парків, для яких проводилися офіційно-юридичні заходи, які стали предметом громадського обговорення та які знаходяться на стадії формулювання пропозицій без здійснення подальших кроків [36]. Домінуючим напрямком, на цей час, є створення культурних парків, що охоплюють простір історичних центрів міст. Великий потенціал для створення культурних парків мають сільські ландшафти та ландшафти малих міст, як найхарактерніші типи культурного ландшафту в Польщі (особливо в східних регіонах) [16].

У *Словаччині* проблематика ландшафту, в тому числі, культурного, як і в інших країнах, стала особливо актуальною з точки зору виконання зобов'язань ЄЛК після підписання її Словацькою Республікою у 2005 р. Однак, ще до цього, у 1994 р. був прийнятий закон, у назві якого прямо згадувався термін ландшафт, який через вісім років був замінений чинним на сьогодні Законом №2002 543/2002 про охорону природи та ландшафту.

У статті 18 цього закону встановлюється, що Уряд Словацької Республіки може своїм указом оголосити заповідним ландшафтом велику територію, зазвичай площею понад 1000 га, з розосередженими екосистемами, важливими для збереження біологічного різноманіття та екологічної стабільності, з характерним виглядом ландшафту або з конкретними формами історичного заселення. Крім того, запровадив нову категорію природоохоронних територій: заповідний ландшафтний елемент (ст. 25) [50].

З 2002 р. термін «культурний ландшафт» введено до Закону №49/2002 про охорону пам'ятного фонду. Крім того, у статті 17 зазначено, що територія з історичною забудовою, територія культурного ландшафту з історичними цінностями або територія з археологічними знахідками та археологічними пам'ятками, які можна топографічно визначити, може бути оголошена міністерством культури пам'ятною зоною [49].

Це прагнення захистити вибрані цінні частини ландшафту відображає той факт, що середовище пам'ятки сприймається як його невід'ємна частина та співтворець монументальних цінностей. При цьому, обов'язковою умовою є наявність пам'яток культури у визначеному ландшафті.

Для охорони національних пам'яток культу-

ри, пам'ятних заповідників і пам'ятних зон призначено спеціальний інструмент – охоронна зона. Враховуючи, що фонд нерухомих пам'яток культури налічує майже 10 тис. національних пам'яток культури, необхідно ієрархізувати, для яких із них необхідно оголосити охоронну зону. Пріоритетним завданням є охорона виняткових ландшафтних пам'яток і значущих ландшафтних якостей міських одиниць – особливо силуетів і панорам історичних ядра міст, які охороняються як пам'ятні заповідники та пам'ятні зони [21].

Знання та конкретизація характерних особливостей ландшафту потребує попередньої розробки типології культурного ландшафту (різноманітності типів ландшафту), яка є складнішою, ніж типологія природного ландшафту. Специфічним явищем культурного ландшафту є пам'ятки культури, погляд на охорону яких зазнав поступового розширення від охорони окремих цінних об'єктів (охорона елемента без зв'язку з його оточенням) до моніторингу зв'язків історичних об'єктів з їхнім найближчим та ширшим оточенням [38].

Т. Hrnčiarová (2010) на основі чинного законодавства Словаччини виділяє наступні категорії об'єктів, в яких змішані елементи природного та культурного ландшафтів: пам'ятки історичної рослинності, охоронювані території та об'єкти, внесені до Списку ВКПС з цінностями культурно-історичного та природного характеру. З точки зору збереження історичних ландшафтних структур, а також культурних традицій і укладів регіону, автор визначає заходи управління у сфері природо-користування та культурної політики: порівняти всі пам'ятки історичного ландшафту з категоріями охорони природи та визначити культурний потенціал території – цінну територію з культурної та екологічної точки зору; опрацювати типологію культурного ландшафту, картографувати та оцінити елементи історичних ландшафтів Словаччини; забезпечити інтегровану інформаційну систему збереження культурного ландшафту, яка також має включати моніторинг стану ландшафту [25].

Спробу окреслити принципи типологічної класифікації культурного ландшафту також було зроблено в Інституті географії Словацької академії наук, які базуються на аналізі природних та соціально-економічних факторів, що визначають походження та характер культурного ландшафту з наданням великого значення часовим аспектам його розвитку [24].

Ще один напрямок становлять географічні методи дослідження культурних пам'яток як елементів більш-менш компактного історичного культурного ландшафту, що дозволяє розглядати загальну картину відповідної пам'ятки і її включення в перетворений культурний історичний пей-

заж [31].

У Чехії склалася достатньо розвинута система законодавчих та нормативних актів з охорони ландшафтної спадщини країни, в основі якої закони з охорони природи і ландшафту та про державну охорону пам'яток. Природоохоронним законодавством встановлено декілька категорій охоронюваних територій, в тому числі, ландшафтних – великомасштабних, таких, як національний парк, заповідна ландшафтна територія, природний парк або невеликих за розміром територіальних форм – природний заповідник, природна пам'ятка, значний ландшафтний елемент тощо [47].

Концептуальний інтерес до збереження ландшафту також пов'язаний з прийняттям Закону №20/1987 про державну охорону пам'яток. Як відзначає К. Куца, пам'яткоохоронна діяльність долучилася цієї сфери спочатку опосередковано – через охорону ландшафтних доміант (замків, церков), тобто окремих будівель чи їх ділянок, які охороняються як пам'ятки культури чи національні пам'ятки культури. Деякі з них також отримали охоронну зону, яка охороняє саме непорушений ландшафтний ефект цих елементів. Іншою формою піклування пам'яткоохоронної служби про ландшафт, був, наприклад, захист городищ, які нерідко представляють дуже характерні особливості ландшафту. Деякі з них уже в 1960-х роках стали заповідниками археологічної спадщини, інші охороняються як культурні пам'ятки. Виразні ландшафтні аспекти мають замкові та заповідні парки, паломницькі алеї, хресні дороги. Досить поширеною є охорона історичних технічних водогосподарських споруд, які сьогодні також сприймаються переважно як «природні» елементи і в усякому разі, як важливі ландшафтні елементи. До 1990 р. деякі великі ділянки ландшафту стали об'єктом охорони, найбільш знаною з яких є «Бабусина долина» – національна природна пам'ятка (1952) та національна культурна пам'ятка (1978), відома, в основному, завдяки книзі Божени Немцовой «Бабуся» [29].

Закон про державну охорону пам'яток запровадив, як особливу форму територіальної охорони пам'яток, категорію «Ландшафтна пам'яткоохоронна зона» (ЛПЗ) Зокрема, передбачено, що Міністерство культури за погодженням з регіональним управлінням може оголосити територію населеного пункту або її частину, історичне середовище чи частину ландшафту, в якій представлені як природні, так і культурно-історичні цінності, значення яких є визначальним для встановлення правового захисту для цієї території, зоною спадщини та визначити умови її охорони (§ 6, абз. 1) [48].

Загалом за період 1992-2022 років було створено 27 ЛПЗ (з 74 зареєстрованих пропозицій),

розмір яких коливається від 123 га до 14 220 га. Деякі з них стали об'єктами Всесвітньої спадщини ЮНЕСКО, зокрема, Ледніце-Валтіце – один із найбільших рукотворних ландшафтів у Європі [32].

Підписання країною у 2002 р. ЄЛК та її ратифікація 2004 р., відколи вона стала обов'язковою для Чехії, надало новий і значний поштовх у збереженні культурного ландшафту, яке з 2010 р. стало одним із пріоритетів і цілей, визначених Стратегічною програмою сталого розвитку Чеської Республіки, та іншими державними стратегічними документами.

Зокрема, виявлення, визначення, збереження та розвиток типових культурних характеристик ландшафтів країни було одним з головних напрямів у сфері збереження культурної спадщини, встановлених «Державною культурною політикою на 2015 – 2020 роки (з перспективою до 2025 р.)».

З 2008 р. згідно прийнятої на урядовому рівні міжвідомчої концепції прикладних досліджень і розвитку національно-культурної ідентичності (NAKI) виконується низка дослідницьких проектів за участі наукових установ.

Одним з результатів цих проектів стала методологія Типології історичного культурного ландшафту, яка отримала сертифікат Міністерства культури та визнана основним інструментом для ідентифікації культурного ландшафту у будь-якому місці на території країни на основі культурної та історичної цінності території. В основі створення національної типології історичного культурного ландшафту є опрацювання трьох основних категорій культурного ландшафту (цілеспрямовано створених, органічно розвинених та асоціативних), визначених Комітетом всесвітньої спадщини. В межах цього поділу визначено 34 типи історичних культурних ландшафтів, представлених в умовах Чехії, які об'єднані в 9 типових груп, серед яких, наприклад, виділені індустриальні, військові, меморіальні та інші ландшафти. Тип і межі історичного культурного ландшафту визначаються його характерними ознаками, які є носіями важливих культурних цінностей і базуються на матеріальних фізично збережених явищах, а також нематеріальних явищах, пов'язаних із соціальною пам'яттю, міфологією, традицією чи життям і діяльністю відомої особистості [22].

Використання типології історичного культурного ландшафту може слугувати відправною точкою для подальшої роботи у сфері догляду за історико-культурним ландшафтом та для проектування можливих зон збереження ландшафту, оскільки існуючі ЛПЗ охоплюють не всі цінні види історичного ландшафту, чи інших рівнів захисту [30].

Латвія ратифікувала ЄЛК у 2007р. та у 2010р.

включила Довгострокові цілі ландшафтної політики до головного довгострокового планового документу країни – Стратегії сталого розвитку Латвії до 2030 р.. Згідно з цією стратегією, охорона унікальних традиційних латвійських природних і культурних типів ландшафту як чинника, що визначає якість життя, вимагає: державної підтримки відповідних багатофункціональних сільських районів та захист і розвиток культурних ландшафтів; ідентифікацію та інвентаризацію унікальних традиційних типів латвійського ландшафту, внесення пропозицій щодо моніторингу ландшафтного менеджменту та діяльності в ландшафті; навчання та залучення громадськості до регулювання ландшафтів та визначення вимог до просторових планів та умов охорони важливих типів ландшафтів.

У 2013 р. Урядом Латвії була затверджена Ландшафтна стратегія на 2013-2019 роки, в якій відповідальність за реалізацію ландшафтної політики країни покладено на Міністерство захисту довкілля та регіонального розвитку (МЗДРР). Стратегією було визначено два основних пріоритети на цей період: удосконалення ландшафтного регулювання та законодавчої бази; формування розуміння цінностей ландшафту та підвищення освіти, професійної підготовки та досліджень у сфері ландшафтів.

Відповідно до плану дій Ландшафтної стратегії здійснюється оцінка ландшафтів країни. На першому етапі оцінки (2017-2019 рр.) у діалозі з суспільством було визначено 50 значущих ландшафтів («Ландшафтних скарбів Латвії») по 10 на кожний історико-культурний регіон: Латгале, Земгале, Курземе, Відземе і Ризький. У співпраці з Національною бібліотекою Латвії були створені пересувні виставки та електронне сховище (www.ainavudargumi.lv) з фотографіями та розповідями про ландшафтні скарби. На основі 50 ландшафтних скарбів експертна рада з ландшафтів узгодила 8 унікальних або культових ландшафтів, наприклад, прибережну зону Балтійського моря або ландшафт стародавньої долини Абава, які доповнили культурний канон Латвії.

Очікувані результати другого етапу оцінки ландшафтів, який розпочався 2020 р., мають містити наступні компоненти: визначення районів «Національних ландшафтів»; створення електронного ландшафтного атласу; розроблення рекомендацій міністерствам, регіонам планування, муніципалітетам, які стануть основою для формування наступного програмного документа – Національного плану ландшафтної політики.

З 2012 р. Латвія долучилась до європейського конкурсу з присудження Ландшафтної ознаки Ради Європи. Зростання його популярності та кількості учасників обумовило необхідність з 2020 р. орга-

нізації національного відбору шляхом проведення конкурсів у кожному з п'яти регіонів країни.

Литва підписала ЄЛК у 2000 р., ратифікувала у 2002 р. та відтоді розпочала процес її імплементації. Оскільки ландшафтна тематика є предметом різних законів, Литва не приймала окремого закону про ландшафт і йшла шляхом поступового ухвалення декількох підзаконних нормативно-правових актів. 1 грудня 2004 р. уряд Литви прийняв постанову №1526 «Ландшафтна політика Литовської Республіки». Документ поєднує різні наукові парадигми в області ландшафту і містить національне бачення охорони, регулювання, планування ландшафту та керівні принципи щодо його якості, просторових планів, моніторингу, діяльності з планування та відновлення, а також інтеграцію в територіальне та стратегічне планування тощо.

У своїй наступній постанові від 22 серпня 2005 р. №909 «Засоби реалізації ландшафтної політики в Литовській Республіці» уряд визначив три основні цілі на період до 2020 р.: оцінка ландшафтної структурної різноманітності; розроблення законодавчих актів, координація дій органів місцевого самоврядування щодо охорони та використання ландшафтів; вивчення ландшафту, глибше розуміння громадськістю та професійна підготовка. Відповідальність за різні завдання була розподілена між міністерствами навколишнього середовища, культури та сільського господарства.

У 2007 р. було засновано Національну ландшафтну премію Литви, у 2015 р. Міністерство освіти організувало Конкурс регіональних ландшафтів, яких найкраще відображають особливості усіх п'яти етнографічних регіонів Литви.

З 2009 р. запроваджено моніторинг національної ландшафтної політики та інформування громадськості про хід її реалізації. Зведений щорічний звіт про його результати представляється громадськості на веб-сторінці Мінприроди.

З метою визначення довгострокової стратегії охорони ландшафту Мінприроди затвердив у 2015 р. Національний план управління ландшафтом (далі – НПУЛ). НПУЛ встановлює напрямки регулювання ландшафту, диференційовані на території інтенсивного використання та території сталого або комплексного використання з урахуванням природних і культурних цінностей їхнього ландшафту. НПУЛ також рекомендує заходи щодо підтримання екологічної рівноваги ландшафту, формування природного каркасу та збереження природно-культурних цінностей і ландшафтних комплексів [27]. НПУЛ має бути включено до Комплексного плану території Литовської Республіки та затверджено урядом Литви, він стане важливим правовим інструментом

реалізації політики охорони та регулювання ландшафту на національному та регіональному рівнях. Це дозволить інтегрувати принципи ландшафтної політики в стратегічні програми та плани інших секторів економіки. НПУЛ також можна розглядати як джерело знань для громадськості про ландшафт країни та засіб формування активної і відповідальної громадянської позиції з питань його збереження.

З 2020 р. здійснюється доопрацювання Національної ландшафтної політики з перспективою на наступний період [14].

Пропозиції щодо основних напрямів дій з охорони та збереження культурно-ландшафтною спадщини України

Аналіз прикладів успішного досвіду окремих європейських країн з практичного впровадження концепту культурного ландшафту у порівнянні із вітчизняною практикою в Україні дав змогу визначити основні проблеми у цій галузі та окреслити орієнтовні напрями у стратегії їх вирішення, основні механізми і інструменти з реалізації.

Першочерговим заходом у формуванні такої стратегії може стати розроблення та схвалення розпорядженням Уряду Національного плану дій з охорони та збереження культурно-ландшафтною спадщини України (далі – НПД), до якого пропонується включити наступні положення та заходи⁴.

Основною метою НПД на найближчі 5-10 років має стати забезпечення охорони, збереження та дбайливого використання культурних ландшафтів країни шляхом:

врахування при формуванні та реалізації державної культурної, екологічної та містобудівної політики;

включення, як неодмінної складової, до стратегії повоєнної відбудови України;

привернення суспільної уваги та залучення громадськості до охорони та популяризації культурних ландшафтів.

Реалізацію заходів НПД, як у коротко-, так і довгостроковій перспективі, пропонується здійснювати за такими напрямками:

1. Удосконалення системи законодавчого забезпечення з питань охорони, регулювання та планування ландшафтів та її приведення у відповідність до правових та нормативних стандартів ЄС, що передбачає виконання таких завдань та заходів:

1.1 Розроблення проектів Законів України та законодавчих положень, зокрема:

– Проекту Закону України «Про ландшафти» або (як альтернативного варіанту) – «Про внесення змін до деяких законодавчих актів України щодо вдосконалення системи охорони, регулювання та планування ландшафту» з пропозиціями що змін до законів про охорону культурної спадщини, про охорону навколишнього природного середовища, про природно-заповідний фонд, про регулювання містобудівної діяльності тощо;

– Проекту «Кодексу культурної і природної спадщини і ландшафту» шляхом консолідації законів про охорону культурної спадщини та про природно-заповідний фонд з включенням розділу про ландшафтне планування (у довгостроковій перспективі);

– Законодавче запровадження поняття «культурний ландшафт» на міжнародно визнаних засадах⁵ та поняття «Охоронювана культурно-ландшафтна територія», як особливої форми його збереження;

– Внесення до Розділу VI «Захист традиційного характеру середовища та об'єктів культурної спадщини» Закону України «Про охорону культурної спадщини» нової статті «Охоронювана культурно-ландшафтна територія» та передбачення нею наступних видів у вигляді «Охоронюваної культурно-ландшафтною зони» та «Культурно-ландшафтного парку», які створюються для охорони, збереження та дбайливого використання культурного ландшафту з пов'язаними з ним нерухожими пам'ятками або їх комплексами на території населеного пункту або за його межами місцевого чи національного значення.

Переведення частини значних за територією та своєю вагомістю існуючих ландшафтних об'єктів до категорії «Охоронювана культурно-ландшафтна зона»⁶.

1.2 Розроблення та затвердження нормативно-правових актів (порядків, методик, стандартів, інструкцій) щодо:

– Топографічного визначення території об'єктів культурної спадщини та їх зони охорони, розроблення зон охорони, визначення та затвердження меж і режимів їх використання;

– Оголошення територій охоронюваною культурно-ландшафтною територією та розроблення плану організації її території;

– Виявлення, характеристики, типології, ідентифікації, оцінки, документування, інвентаризації ландшафтів тощо з урахуванням їх природної, культурної та історичної цінності;

⁴ При підготовці пропозицій використані публікації автора [6, 12].

⁵ Наприклад, як «топографічно визначену територію, як її сприймають люди та характер якої є спільним продуктом історичної та сучасної взаємодії даного суспільства і навколишнього середовища визначної культурної (материль-

ної і духовної) значущості».

⁶ «Історичний ландшафт Київських гір і долини рік Дніпра у м. Києві», «Історичний ландшафт центру Буго-Гардівської паланки Війська Запорозького» та «Замкова гора у м. Чигирин».

2. Удосконалення системи державного управління та інституційного забезпечення шляхом виконання наступних завдань та заходів:

2.1 Удосконалення стратегічного та програмно-цільового планування з питань охорони, регулювання та планування ландшафтів

– розроблення та затвердження розпорядженням Кабінету Міністрів України Концепції державної ландшафтно-політики (або Державної ландшафтно-стратегії) з покладенням відповідальності за їх реалізацію та звітування на міністерства захисту довкілля та природних ресурсів (Міндовкілля), культури та інформаційної політики (МКІП), розвитку громад, територій та інфраструктури (Мінінфраструктури), створення міжвідомчої комісії для координації діяльності та розроблення пропозицій щодо формування і реалізації державної ландшафтно-політики;

– сприяння врахуванню питань охорони ландшафтів при розробленні, затвердженні та реалізації: стратегії сталого розвитку України та її регіонів; стратегії державної політики у сфері охорони культурної спадщини; Державної, регіональних та місцевих програм охорони культурної спадщини;

2.2 Посилення інституціональної, організаційної, комунікативної та фінансової спроможності органів охорони КПС:

– Ініціювання створення Державного агентства культурної спадщини та Державного агентства природної спадщини як центральних органів виконавчої влади;

– Реорганізація та довгострокова підтримка діяльності Українського державного інституту культурної спадщини (УДІКС), як головного центру з наукової, науково-організаційної та науково-технічної діяльності у сфері охорони нерухомої культурної спадщини. Важливими елементами діяльності УДІКС має функціонування регіональних відділень та введення до структури підрозділу з питань культурного ландшафту;

– Створення, шляхом інтеграції існуючих галузевих систем, загальнодержавної інформаційно-комунікаційної системи культурної та природної спадщини України та відповідного геопорталу з візуалізацією на інтерактивних картах та наданням різноманітної інформації про їх об'єкти та території, в рамках якої передбачити виділення розділу «Культурний ландшафт» (у довгостроковій перспективі);

3. Розвиток системи охорони і збереження культурно-ландшафтно-спадщини

Розроблення та виконання заходів щодо:

– Проведення досліджень з виявлення, характеристики, типології, ідентифікації, оцінки, документування, інвентаризації культурних ландшафтів;

– Визначення найбільш цінних і пріоритетних для заповідання культурно-ландшафтних територій для забезпечення подальшого резервування та виділення земель для їх створення;

– Започаткування та реалізація проекту «Ландшафтне багатство України» з визначення та представлення в інформаційному просторі добірки найбільш видатних культурних ландшафтів кожного з регіонів з метою відобразити їх велику типологічну та географічну різноманітність;

– Започаткування та реалізація проекту «Червона книга культурних ландшафтів» з матеріалами вивчення та узагальнення матеріалів про стан ландшафтів, що знаходяться під загрозою інтенсивної антропогенної трансформації та знищення;

– Створення електронних атласів культурної і природної спадщини регіонів України, її історичних або етнографічних територій тощо;

4. Створення та розвиток системи просвіти, інформування та залучення громадськості до популяризації та охорони культурних ландшафтів

Розроблення та виконання заходів щодо:

– Приєднання до європейського конкурсу з присудження «Ландшафтно-ознаки Ради Європи» з відповідною організацією та проведенням національного та регіональних конкурсів-відборів;

– Організація заходів з щорічного відзначення 20 жовтня як «Міжнародного дня ландшафтів» з нагоди прийняття Європейської ландшафтно-конвенції;

– Організація і проведення Всеукраїнської громадської акції «Сім культурно-ландшафтних чудес України», в тому числі, з визначенням на першому етапі найбільш значущих культурних ландшафтів кожного регіону;

– Встановлення Національної ландшафтно-премії та започаткування Конкурсу регіональних культурних ландшафтів, які найкраще відображають особливості етнографічних регіонів України (в довгостроковій перспективі).

Висновки. Україна володіє великим та унікальним за різноманітністю культурно-ландшафтним потенціалом, від збереження та ефективного використання якого значною мірою залежить якість життя населення як нашої країни, так і всієї Європи в цілому. Проте стан ландшафтів, який викликає давнє занепокоєння громадськості, багаторазово погіршився внаслідок повномасштабної збройної агресії росії проти України. При цьому в Україні спостерігається відставання у імплементації зобов'язань, прийнятих європейською та світовою спільнотою в ряді міжнародних документів щодо збереження культурних ландшафтів.

Причини існуючого становища полягають не тільки у нехтуванні прийнятими зобов'язаннями та зацікавленості з боку державних та місцевих органів влади щодо вирішення цих питань. Питання слід розглядати у більш широкому контексті, оскільки суспільний запит щодо розвитку культурно-ландшафтної проблематики в Україні не реалізується в повній мірі внаслідок:

- дефіциту розроблених, прийнятих та впроваджених законодавчих, нормативно-правових, інституційних, методичних та практичних механізмів;

- недостатнього комплексного наукового вивчення культурних ландшафтів, перш за все з боку географічної науки, в контексті їх виявлення та охорони як КПС, що здійснюється, при цьому, в умовах зменшення кількості наукових установ та кадрів, невинної втрати загального науково-технічного потенціалу та зниження його професійного рівня;

- недостатнього інформування суспільства, поширення знань про культурні ландшафти та залучення громадськості до їх збереження та дбайливого використання.

Ігнорування або недооцінка культурних ландшафтів як КПС може привести до їх деградації, руйнування та загрози безповоротної втрати. Подолання негативних тенденцій у цій сфері має бути пов'язане з визначенням довгострокової стратегії, розробленої з урахуванням успішного досвіду окремих європейських країн з практичного впровадження концепту культурного ландшафту, першочерговим заходом у формуванні якої може стати розроблення та схвалення урядовим розпорядженням Національного плану дій з охорони та збереження культурно-ландшафтної спадщини України.

Подяка. Дослідження фінансується ЄС NextGenerationEU з коштів механізму Плану відновлення та стійкості в рамках проекту «Стипендії видатним дослідникам, яким загрожує військовий конфлікт в Україні» № 09I03-03-V01-00021. Ця стаття є одним із результатів теми «Електронне картографування культурно-ландшафтної спадщини України» в рамках гранту №2/0043/23 «Ідентифікація ландшафтного різноманіття та його змін у Словаччині на основі даних дистанційного зондування в контекст європейської зеленої угоди» за підтримки Словацького наукового грантового агентства VEGA.

Список використаної літератури

1. Денисюк Г.І. Етнокультурне ландшафтознавство у Вінницькому педуніверситеті // *Етнокультурне ландшафтознавство: теоретичні та прикладні аспекти: матеріали I Всеукраїнської науково-практичної інтернет-конференції (з міжнародною участю), м. Вінниця, 28-29 травня 2018 р. / відп. ред. В.М. Воловик. Вінниця, 2018. – С. 3-8.*
2. ДСТУ 7739:2015 *Захист довкілля. Ландшафти. Терміни та визначення понять.* Київ: УкрНДНЦ, 2016. – 25 с.
3. Європейська ландшафтна конвенція. Офіційний переклад. – Режим доступу: <https://rm.coe.int/16802f3fc0>
4. Поливач К. Культурно-ландшафтне районування України // *Вісник Харківського національного університету імені В. Н. Каразіна, серія «Геологія. Географія. Екологія», 2022. – Вип. 57. – С. 173-183.* <https://doi.org/10.26565/2410-7360-2022-57-13>
5. Поливач К.А. Культурно-ландшафтна спадщина України: концепція електронного атласу // *Географічна освіта і наука: виклики і поступ: матеріали міжнародної науково-практичної конференції, присвяченої 140-річчю географії у Львівському університеті (м. Львів, 18–20 травня 2023 р.) / У 3-ох томах. Львів: Простір-М, 2023. – Том 3. – С. 91-96*
6. Поливач К.А. Проекти Концепції державної політики у сфері охорони нерухомої культурної спадщини та Плану заходів з її реалізації // *Культурна спадщина в Атласній геоінформаційній системі сталого розвитку України: Л.Г. Руденко, К.А. Поливач, В.С. Чабанюк та ін./ за ред. Л.Г. Руденка, 2018. – С. 165-178*
7. Про ландшафти. Проект Закону України від 13.02.2012 до другого читання. – Режим доступу: <https://w1.c1.rada.gov.ua/pls/zweb2/webproc34?id=&pf3511=36258&pf35401=214088>
8. Про охорону культурної спадщини Закон України від 8 червня 2000 р. № 1805-III. – Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1805-14#Text>
9. Про охорону навколишнього природного середовища. Закон України від 25 червня 1991 р. № 1264-XII. – Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1264-12#Text>
10. Про природно-заповідний фонд України. Закон України від 16 червня 1992 р. № 2456-XII. – Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2456-12#Text>
11. Руденко Л.Г. Поливач К.А. Природна спадщина: досвід та перспективи картографування в Україні // *Укр. геогр. журн.* – 2015. – №4 – С. 40-49. <https://doi.org/10.15407/ugz2015.04.040>
12. Руденко Л.Г., Поливач К. А. Збереження і використання культурної спадщини в Україні: проблеми та конструктивні пропозиції // *Укр. геогр. журн.* – 2018. – № 2. – С. 51-61. <https://doi.org/10.15407/ugz2018.02.051>
13. Чехній В.М. Концепція ландшафту у сфері практичної діяльності: досвід Великої Британії // *Ландшафтознавство.* – 2022. – 2 (2). – 72-83. <https://doi.org/10.31652/2786-5665-2022-2-72-83>
14. 11th Council of Europe Conference on the European Landscape Convention. Addresses from States participating in the Conference. Strasbourg 26-27 May 2021. CEP-CDCPP (2021) 3Bil. – Режим доступу: <https://rm.coe.int/11th-council-of-europe-conference-on-the-european-landscape-convention/1680a248f1>
15. Arques, F S. & Mariné, N C. (2021). *Hacia un hiperatlas para el conocimiento y difusión de los paisajes culturales*

- españoles // *Patrimonio cultural de España*, №12. – P. 372-384.
16. Bernat, S., Jaraszek, K., & Mękal, A. (2022). Assessment of the possibility of establishing cultural parks in selected rural and small town areas in the Lublin Province // *Acta Scientiarum Polonorum Administratio Locorum*. – 2022. – 21(1). – P. 25–40. <https://doi.org/10.31648/aspol.7077>
 17. Cruz, L., & Carrión, M. (eds.) 100 paisajes culturales en España. Madrid: Ministerio de Educación, Cultura y Deporte, 2015, 478 p.
 18. De Montis, A. Impacts of the European Landscape Convention on national planning systems: A comparative investigation of six case studies // *Landscape and Urban Planning*. – 2014. – 124. – P. 53-65. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2014.01.005>
 19. Decreto Legislativo 22 gennaio 2004, n. 42 Codice dei beni culturali e del paesaggio. – Режим доступу: <https://www.normattiva.it/uri-res/N2Ls?urn:nir:stato:decreto.legislativo:2004-01-22;42>
 20. Degórski M., (2012) Problemy planowania ochrony krajobrazu w Polsce. // *Problemy Ekologii Krajobrazu*, t. 33, s. 17-29.
 21. Dvorakova, V (2012). Kulturna krajina a jej ochrana z hľadiska kulturneho dedictva // *Urbanita*, 4. – Режим доступу: <https://www.uzemneplany.sk/sutaz/kulturna-krajina-a-jej-ochrana-z-hladiska-kulturneho-dedictva>
 22. Ehrlich, M. Kuča, K., Kučová, V., Pacáková B., Pavlátová, M., Salašová, A., Šantrůčková M., Vorel, I., Weber, M. Typologie historické kulturní krajiny České republiky. České Budějovice: Národní památkový ústav, 2020. – 170 s.
 23. García-Martina, M., Bieling, C., Hartc, A., & Plieninger, T. Integrated landscape initiatives in Europe: Multi-sector collaboration in multi-functional landscapes // *Land Use Policy*. – 2016. – 58. – P. 43-53. <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2016.07.001>
 24. Hanušin, J., Ira, V., Ořahel, J., Podolák P. Identification of historical cultural landscape using the example of selected municipalities in the hinterland of Bratislava. // *Geografický časopis*. – 2015. – 67. – P. 3-24.
 25. Hrnčiarová, T. Reprezentatívne historické prvky krajiny a ich manažment // *Folia geographica*. – 2010. – 16 Prešov. – P. 79-92.
 26. Huba, M., Kubišová, K. Legislatívne aspekty ochrany charakteristického vzhľadu (kulturnej) krajiny v medzinárodnom kontexte // *Geographia Slovaca*. – 2017. – No.33. – P. 31-57.
 27. Kavaliauskas P., Veteikis D., Volungevičius J., Skorupskas R., Dumbliauskienė M. Creating The National Landscape Management Plan of the Republic Lithuania. Vilnius, 2013. – Режим доступу: https://www.lgd.lt/sites/default/files/Landscape_Manag_Plan_2013_Kavaliauskas_Veteikis_0.pdf
 28. Klupsz, L. Krajobraz kulturowy jako kategoria zabytków i jego specyfika // *Ochrona Dziedzictwa Kulturowego*. – 2016. – 2 (16). – P. 41-56. https://doi.org/10.24358/ODK_2016_02_04
 29. Kuča, K. Ochrana kulturní krajiny z hlediska památkové péče // In.: Štréblová Hronovská, K. , Kupka, J. (eds) Ochrana kulturní krajiny – hledání cílů, možností a pravidel. České vysoké učení technické v Praze, Praha, 2013. – P. 79-84.
 30. Kupka, J. Typologie historické kulturní krajiny jako podklad pro památkovou péči a regionální rozvoj // *Regionální rozvoj mezi teorií a praxí*. – 2022. – №3. – P. 47-60. – Режим доступу: <http://www.regionalni-rozvoj.eu/vydani/202203>.
 31. Lacika, J. Geografický přístup k výskumu kulturních památek a historické kulturní krajiny (na příklade Podmalo-karpatského regiónu) // *Geografický časopis*. – 2015. – 67. – P. 359-378.
 32. Lipský, Z. Krajinne památkové zóny jako nástroj ochrany historické kulturní krajiny. // *Životné prostredie*. – 2014. – 48. – s.15-19.
 33. Majchrowska A. Doświadczenia innych krajów w identyfikowaniu typów krajobrazowy // *Identyfikacja i waloryzacja krajobrazów – wdrażanie Europejskiej Konwencji Krajobrazowej*. Materiały konferencyjne. Warszawa: GDOŚ, 2013. – P. 6-16.
 34. Marconi I. L'articolo 9 della Costituzione: cultura, paesaggio e ricerca. Contenuto, genesi e finalità della norma. Altalex, 2021. – Режим доступу: <https://www.altalex.com/guide/articolo-9-della-costituzione>
 35. Myczkowski Z. Krajobraz kulturowy – fenomen integracji ochrony dziedzictwa kulturowego i przyrodniczego//*Wiadomości Konserwatorskie*. – 2018. – 56. – P. 70-87.
 36. Myczkowski Z., Marcinek R., Siwek A. Park kulturowy jako forma ochrony krajobrazu kulturowego (historycznego). Narodowy Instytut Dziedzictwa, Kraków, 2017. – Режим доступу: <http://krajobrazmojegomiasta.pl/wydawnictwa>
 37. Operational Guidelines for the Implementation of the World Heritage Convention / WHC.17/01 12 July 2017. Режим доступу: <https://whc.unesco.org/document/163852>
 38. Ořahel, J., Hrnčiarová, T., Kozová, M. Typológia krajiny Slovenska: regionalizácia jej prírodno-kulturného charakteru // *Život. Prostr.* – 2008. – Vol. 42. – No. 2. – P. 70-76.
 39. Paolucci M. D. The protection of Italian cultural landscape through its legislative system. // *Journal of the City Planning Institute of Japan*. – 2008. – Vol.43.3. – P. 529-534. – Режим доступу: https://www.jstage.jst.go.jp/article/journalcpj/43.3/0/43.3_529/article-char/en
 40. Plan Nacional de Paisaje Cultural. Aprobación: Consejo de Patrimonio Histórico celebrado en Madrid, octubre de 2012. Ministerio de Educación, Cultura y Deporte, Edición, 2015. – 49 p.
 41. Rodrigo de la O Cabrera, M., Marine, N. & Escudero, D. Spatialities of cultural landscapes: towards a unified vision of Spanish practices within the European // *Landscape Convention, European Planning Studies*. – 2020. – 28:9. – P.1877-1898. <https://doi.org/10.1080/09654313.2019.1701633>
 42. Simensen T., Halvorsen R., Erikstad L. Methods for landscape characterisation and mapping: A systematic review // *Land Use Policy*. – 2018. – Vol. 75. – P. 557-569. <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2018.04.022>
 43. Solon J., Chmielewski T.J., Myga-Piątek U., Kistowski M. Identyfikacja i ocena krajobrazów Polski – etapy i metody postępowania w toku audytu krajobrazowego w województwach // *Problemy Ekologii Krajobrazu*. – 2015. – 40. – P.

55-76.

44. Ustawa z dnia 23 lipca 2003 r. o ochronie zabytków i opiece nad zabytkami. Nr 162 poz. 1568. – Режим доступу: <https://isap.sejm.gov.pl/isap.nsf/download.xsp/WDU20031621568/T/D20031568L.pdf>
45. Ustawa z dnia 24 kwietnia 2015 r. o zmianie niektórych ustaw w związku ze wzmocnieniem narzędzi ochrony krajobrazu. – Режим доступу: <https://isap.sejm.gov.pl/isap.nsf/download.xsp/WDU20150000774/T/D20150774L.pdf>
46. Wieczorek A. Audyt krajobrazowy – czy jest potrzebny? // Mazowsze. Studia Regionalne, №42, Mazowieckie Biuro Planowania Regionalnego w Warszawie, 2022. – s. 83-93. – Режим доступу: https://mazowszestudiaregionalne.pl/wp-content/uploads/2023/03/MSR_42_04_Wieczorek.pdf
47. Zákon České národní rady č. 114/1992 Sb. o ochraně přírody a krajiny. – Режим доступу: <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/1992-114>
48. Zákon České národní rady č. 20/1987 Sb. o státní památkové péči. – Режим доступу: <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/1987-20>
49. Zákon Slovenskej národnej rady o ochrane pamiatkového fondu č. 49/2002 Zz. – Режим доступу: <https://www.zakonypreludi.sk/zz/2002-49>
50. Zákon Slovenskej národnej rady o ochrane prírody a krajiny č. 543/2002 Zz. – Режим доступу: <https://www.zakonypreludi.sk/zz/2002-543#p33>

Cultural landscape as heritage: proposals for Ukraine from the experience of certain European countries

Kateryna Polyvach

PhD (Geography), Independent Researcher,
Department of Human and Regional Geography,
Institute of geography, Slovak Academy of Sciences,
49 Štefánikova St., Bratislava, 81473, Slovakia

ABSTRACT

Formulation of the problem. Ukraine has a vast and uniquely diverse cultural landscape potential. However, the state of the landscapes, which has long been a matter of public concern, has deteriorated many times over as a result of Russia's full-scale armed aggression against Ukraine. At the same time, Ukraine is far behind in implementing the commitments made by the European and international community in a number of international documents on the preservation of cultural landscapes.

The purpose of the article. The purpose of this publication is to develop proposals for the implementation of the concept of cultural landscape in the field of protection and preservation of cultural and natural heritage on the basis of fulfilling Ukraine's relevant international obligations and introducing the best mechanisms and practices of European countries.

Methodology and results. The research methodology is based on a descriptive qualitative and comparative approach, which made it possible to reveal the peculiarities of the experience of preserving the cultural landscape as a heritage in certain EU countries - representatives of the "old Europe" (Italy and Spain), post-socialist (Poland, Slovakia, Czech Republic) and post-Soviet (Latvia and Lithuania) space. The European experience was studied through the prism of meeting the requirements of the European Landscape Convention and the possibilities of its practical application in Ukraine.

The analysis of examples of practical implementation of the concept of cultural landscape by European countries in comparison with domestic practice in Ukraine made it possible to identify the main problems in this area and to outline indicative directions of a possible strategy for their solution, the main mechanisms, tools and specific measures for their implementation.

The first step in the development of such a strategy could be the development and adoption by government decree of a National Action Plan for the Protection and Preservation of the Cultural Landscape Heritage of Ukraine. The overall goal of this plan for the next 5-10 years should be to ensure the protection, preservation and careful use of the country's cultural landscapes by: bringing the country's legislation into line with the EU system of legal and regulatory standards for landscape protection, regulation and planning; taking these issues into account in the formulation and implementation of state cultural, environmental and urban planning policies and including them as an integral part of the strategy for Ukraine's post-war reconstruction; raising public awareness and involving communities.

Scientific novelty and practical significance. The novelty of the study is the identification of the main areas of action for the protection and preservation of the cultural landscape heritage of Ukraine and the development of concrete proposals for their filling with appropriate measures.

Acknowledgement. The research is financed by the European Union NextGenerationEU from the funds of the Recovery and Resilience Plan mechanism within the project "Scholarships for outstanding researchers threatened by the military conflict in Ukraine" No. 09I03-03-V01-00021. This article is one of the results of the research within the framework of grant no. 2/0043/23 "Identification of landscape diversity and its changes in Slovakia based on remote sensing data in the context of the European Green Deal" supported by the Slovak Scientific Grant Agency VEGA.

Keywords: cultural landscape, cultural and natural heritage, cultural landscape heritage, European experience.

References

- Denysyk H.I. (2018) Ethnocultural Landscape Studies at Vinnytsia Pedagogical University. *Ethnocultural Landscape Studies: Theoretical and Applied Aspects: Proceedings of the First All-Ukrainian Scientific and Practical Internet Conference*, 3-8. [in Ukrainian]
- DSTU 7739:2015. (2016) *Protecting the environment. Landscapes. Terms and Definitions*, 25. [in Ukrainian]
- Council of Europe (2000) *European Landscape Convention*, Florence, 20.X.2000. ETS No 176. <https://www.coe.int/en/web/conventions/full-list?module=treaty-detail&treatynum=176>
- Polyvach K. (2022) Cultural landscape zoning of Ukraine. *Visnyk of V. N. Karazin Kharkiv National University, series "Geology. Geography. Ecology"*, (57), 173-183. <https://doi.org/10.26565/2410-7360-2022-57-13> [in Ukrainian]
- Polyvach K.A. (2023) Cultural landscape heritage of Ukraine: concept of the electronic atlas. *Geographical education and science: challenges and advancement: Proceedings of the international scientific and practical conference dedicated to the 140th anniversary of Geography at Lviv University*, Lviv, Vol.3, 91-96. [in Ukrainian]
- Polyvach K.A. (2018) Drafts of the Concept of State Policy in the field of protection of immovable cultural heritage and the Action Plan for its implementation. In: *Cultural heritage in the Atlas Geographic Information System of Sustainable Development of Ukraine/* edited by L.G. Rudenko, Kyiv, 165-178. [in Ukrainian]
- Verkhovna Rada of Ukraine (2012) On the landscapes: Draft Law of Ukraine on February 13, 2012 for the second reading. <https://w1.c1.rada.gov.ua/pls/zweb2/webproc34?id=&pf3511=36258&pf35401=214088> [in Ukrainian]
- Verkhovna Rada of Ukraine (2000) On the protection of cultural heritage: Law of Ukraine No. 1805-III on June 8, 2000. <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1805-14#Text> [in Ukrainian]
- Verkhovna Rada of Ukraine (1991) On Environmental Protection: Law of Ukraine No 1264-XII on June 25, 1991. <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1264-12#Text> [in Ukrainian]
- Verkhovna Rada of Ukraine (1992) On Nature Reserve Fund of Ukraine: Law of Ukraine No 2456-XII on June 16, 1992. <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2456-12#Text> [in Ukrainian]
- Rudenko, L.H. & Polyvach, K.A. (2015) Natural heritage: experience and prospects of mapping in Ukraine. *Ukrainian Geographical Journal*, 4, 40-49. <https://doi.org/10.15407/ugz2015.04.040> [in Ukrainian]
- Rudenko, L.H. & Polyvach, K.A. (2018) Conservation and use of cultural heritage in Ukraine: problems and constructive proposals. *Ukrainian Geographical Journal*, 2, 51-61. <https://doi.org/10.15407/ugz2018.02.051> [in Ukrainian]
- Chekhniy V.M. (2022) The concept of landscape in practice: the experience of Great Britain. *Landscape Science*, 2 (2), 72-83. <https://doi.org/10.31652/2786-5665-2022-2-72-83> [in Ukrainian]
- Council of Europe (2021) 11th Council of Europe Conference on the European Landscape Convention. *Addresses from States participating in the Conference. CEP-CDCPP (2021) 3Bil.* <https://rm.coe.int/11th-council-of-europe-conference-on-the-european-landscape-convention/1680a248f1>
- Arques, F.S. & Mariné, N.C. (2021) Towards a hyperatlas for the knowledge and dissemination of Spanish cultural landscapes. *Cultural heritage of Spain*, 12, 372-384 [in Spanish]
- Bernat, S., Jaraszek, K., & Mękal, A. (2022) Assessment of the possibility of establishing cultural parks in selected rural and small town areas in the Lublin Province. *Acta Scientiarum Polonorum Administratio Locorum*, 21(1), 25-40. <https://doi.org/10.31648/aspal.7077>
- Cruz, L., & Carrión, M. (eds.) (2015) *100 Spain cultural landscapes*. Madrid: Ministry of Education, Culture and Sports. 478. [in Spanish]
- De Montis, A. (2014) Impacts of the European Landscape Convention on national planning systems: A comparative investigation of six case studies. *Landscape and Urban Planning*, 124, 53-65. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2014.01.005>
- Italian Government (2004) *Cultural Heritage and Landscape Code: Legislative Decree 22 January 2004*, n. 42. <https://www.normattiva.it/uri-res/N2Ls?urn:nir:stato:decreto.legislativo:2004-01-22;42> [in Italian]
- Degórski M. (2012) Problems of landscape conservation planning in Poland. *Problems of Landscape Ecology*, 33, 17-29. [in Polish]
- Dvorakova, V. (2012). Cultural landscape and its protection in terms of cultural heritage. *Urbanita*, 4. <https://www.uzemneplany.sk/sutaz/kulturna-krajina-a-jej-ochrana-z-hladiska-kulturneho-dedictva> [in Slovak]
- Ehrlich, M., Kuča, K., Kučová, V., Pacáková B., Pavlátová, M., Salašová, A., Šantrůčková M., Vorel, I., Weber, M. (2020) *Typology of the historical cultural landscape of the Czech Republic*. České Budějovice: National Heritage Institute, 170. [in Czech]
- García-Martina, M., Bieling, C., Hart, A., & Plieninger, T. (2016) Integrated landscape initiatives in Europe: Multi-sector collaboration in multi-functional landscapes. *Land Use Policy*, 58, 43-53. <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2016.07.001>
- Hanušín, J., Ira, V., Ořáheľ, J., Podolák P. (2015) Identification of historical cultural landscape using the example of selected municipalities in the hinterland of Bratislava. *Geographical Journal*, 67, 3-24.
- Hrnčiarová, T. (2010) Representative historical landscape features and their management. *Folia geographica*, 16 Prešov, 79-92. [in Slovak]
- Huba, M., Kubišová, K. (2017) Legislative aspects of the protection of the characteristic appearance of (cultural) landscapes in the international context (comparative study). *Geographia Slovaca*, 33, 31-57. [in Slovak]
- Kavaliauskas P., Veteikis D., Volungevičius J., Skorupskas R., Dumbliauskienė M. (2013) *Creating The National Landscape Management Plan of the Republic Lithuania*. Vilnius. https://www.lgd.lt/sites/default/files/Landscape_Manag_Plan_2013_Kavaliauskas_Veteikis_0.pdf

28. Klupsz, L. (2016) Cultural landscape as a category of monuments and its specificity. *Cultural Heritage Protection*, 2 (16), 41-56. https://doi.org/10.24358/ODK_2016_02_04 [in Polish]
29. Kuča, K. (2013) Protection of the cultural landscape from the point of view of conservation. In: Štréblová Hronovská, K., Kupka, J. (eds) *Protection of cultural landscapes - search for goals, possibilities and rules*. Czech Technical University in Prague, Prague, 79-84. [in Czech]
30. Kupka, J. (2022) Typology of historical cultural landscapes as a basis for conservation and regional development. *Regional development between theory and practice*, 3, 47-60. <http://www.regionálnyrozvoj.eu/vydani/202203> [in Czech]
31. Lacika, J. (2015) Geographical approach to the research of cultural monuments and historical cultural landscapes (on the example of the Sub-Malocarpian region). *Geographical Journal*, 67, 359-378. [in Slovak]
32. Lipský, Z. (2014) Landscape conservation zones as a tool for the protection of historic cultural landscapes. *Environment*, 48, 1, 15-19. [in Czech]
33. Majchrowska A. (2013) Experiences of other countries in identifying landscape types. *Identification and valorisation of landscapes - implementation of the European Landscape Convention: Conference materials*, Warszawa, 6-16. [in Polish]
34. Marconi I. (2021) Article 9 of the Constitution: culture, landscape and research. Content, genesis and purpose of the norm. *Altalex*. <https://www.altalex.com/guide/articolo-9-della-costituzione> [in Italian]
35. Myczkowski Z. (2018) Cultural landscape – the phenomenon of integrating cultural and natural heritage conservation. *The Conservation News*, 56, 70-87. [in Polish]
36. Myczkowski Z., Marcinek R., Siwek A. (2017) Cultural park as a form of cultural (historical) landscape protection. National Heritage Institute, Cracow. <http://krajobrazmojegomiasta.pl/wydawnictwa> [in Polish]
37. UNESCO (2017) Operational Guidelines for the Implementation of the World Heritage Convention, WHC.17/01, 12 July 2017. <https://whc.unesco.org/document/163852>
38. O'ahel', J., Hrnčiarová, T., Kozová, M. (2008) Typology of the landscape of Slovakia: regionalisation of its natural and cultural character. *Environment*, Vol. 42, 2, 70-76. [in Slovak]
39. Paolucci M. D. (2008) The protection of Italian cultural landscape through its legislative system. *Journal of the City Planning Institute of Japan*, 43.3, 529-534.
40. Historical Heritage Council (2015) National Cultural Landscape Plan, Madrid, October 2012. Madrid: Ministry of Education, Culture and Sport, 49. [in Spanish]
41. Rodrigo de la O Cabrera, M., Marine, N., Escudero, D. (2020) Spatialities of cultural landscapes: towards a unified vision of Spanish practices within the European. *Landscape Convention, European Planning Studies*, 28:9, 1877-1898. <https://doi.org/10.1080/09654313.2019.1701633>
42. Simensen T., Halvorsen R., Erikstad L. (2018) Methods for landscape characterisation and mapping: A systematic review. *Land Use Policy*, 75, 557-569. <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2018.04.022>
43. Solon J., Chmielewski T.J., Myga-Piątek U., Kistowski M. (2015) Identification and evaluation of Poland's landscapes – stages and methods of landscape audit proceedings in the provinces. *Problems of Landscape Ecology*, 40, 55-76. [in Polish]
44. Sejm (2003) Act of 23 July 2003 on the protection and care of historical monuments, Nr 162, poz. 1568. <https://isap.sejm.gov.pl/isap.nsf/download.xsp/WDU20031621568/T/D20031568L.pdf> [in Polish]
45. Sejm (2015) Act of 24 April 2015 amending certain laws in connection with the strengthening of landscape protection tools. <https://isap.sejm.gov.pl/isap.nsf/download.xsp/WDU20150000774/T/D20150774L.pdf> [in Polish]
46. Wieczorek A. (2022) Landscape audit – is it needed? Mazowsze. *Regional Studies*, 42, 83-93. https://mazowszestudiaregionalne.pl/wp-content/uploads/2023/03/MSR_42_04_Wieczorek.pdf [in Polish]
47. Czech National Council (1992) On Nature and Landscape Protection: Act No. 114/1992. <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/1992-114> [in Czech]
48. Czech National Council (1987) On State Heritage Protection: Act No. 20/1987. <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/1987-20> [in Czech]
49. Slovak National Council (2002a) On the Protection of the Monument Fund: Act No. 49/2002. <https://www.zakonypreludi.sk/zz/2002-49> [in Slovak]
50. Slovak National Council (2002b) On Nature and Landscape Protection: Act No. 543/2002. <https://www.zakonypreludi.sk/zz/2002-543#p33> [in Slovak]

Received 12 October 2023
Accepted 26 November 2023

An approach to using the AQI components in urban air pollution sources identifying

Svitlana Prokhorova

PhD (Biology), Senior Scientist of the Grassland Ecology research group,
Bern University of Applied Sciences, School of Agricultural, Forest and Food Sciences,
Länggasse 85, 3052 Zollikofen, Switzerland
e-mail: s.boyko.prokh@gmail.com,  <https://orcid.org/0000-0001-7458-7666>

ABSTRACT

Problem statement. The fact that the air we breathe is polluted is well known. There are many sources of pollution, especially in big cities. Various sensors are installed to monitor pollutants in the air. One of the global systems for registering the concentration of pollutants in urban air is AQI. Air quality monitors collect data of five major air pollutants – ground-level ozone, particle pollution, carbon monoxide, sulfur dioxide, and nitrogen dioxide, that then convert to the Air Quality Index. And although the sensors themselves are not capable of reducing pollution in the air, based on the data they provide, it is possible to create indicative maps of urban pollution. Such mapping of urban areas will enable authorities to develop and implement plans to improve the most dangerous areas, as is already done in other countries. But there are still no such maps for Kyiv.

Study objective is to analyse the air quality index in Kyiv, identify the main source of atmospheric pollution and to visualize urban air pollution.

Methodology involves data analysis from 15 sensors of the AQI worldwide network. We analyzed the concentration of 5 main air pollutants contributed to the common Air Quality Index for a certain period in Kyiv and its surroundings. Knowing the exact coordinates of each sensor and the results of their measurements, we drew a map of air pollution in Kyiv using OriginPro 8.1 software and images from the Google maps.

Research results. It was determined that the largest contribution to the Air Quality Index is made by the fine particulate matter emissions. We determined that the morning sensor data on the amount of dust in the air is the most informative. It is known transportation is one of the main sources of PM_{2.5} in the city. Our map clearly shows that the area with the highest AQI value coincides with a major road junction on the north-west outskirts of the city. Thus, atmospheric pollution in Kyiv is mainly determined by the amount of fine dust in the air. Further research will be aimed at identifying the relationship between the amount of PM_{2.5} in the air and the morphological parameters of indicator plants.

Scientific novelty of the research. We showed for the first time that air pollution does not coincide with the official sources of atmospheric pollution given by the Kyiv Bureau of Technical Supervision. We also presented new approach to draw up-to-date, representative, and accurate pollution maps that can be submitted to the representatives of environmental services and other interested parties. Such investigations are of great importance as they can give the opportunity to the government to take real actions on pollutants reducing.

Keywords: pollution, Air Quality Index, AQI, particulate matter, PM_{2.5}, environment, monitoring, city, Kyiv.

In cites: Prokhorova Svitlana (2023). An approach to using the AQI components in urban air pollution sources identifying. *Visnyk of V. N. Karazin Kharkiv National University, series "Geology. Geography. Ecology"*, (59), 209-220. <https://doi.org/10.26565/2410-7360-2023-59-15>

Introduction. Air pollution is one of the key global environmental problems.

In cities where the air is more polluted, the general morbidity of the population is also greater, according to the World Health Organization [1]. The particulate matter, especially 2.5 micrometers or less in diameter (PM_{2.5} or fine particles), is regarded as one of the most serious components of the urban emissions due to its negative impact on the human health and even mortality [2–5].

In the current situation, the problem is compounded by the positive correlation between the spread of the COVID-19 virus and air pollution. Particulate matter (PM) forms the basis for long-range transmission of the virus. PM also aggravates the symptoms of COVID-19 patients. Such data are presented in many foreign publications in 2020 [6–8]. Although PM concentration, as shown by Daniella and Leonardo Rodriguez-Urrego [9], dropped drama-

tically during the quarantine period, air quality monitoring remains the most important activity for scientists from around the world, including Ukraine [10].

Different sensors and stations are used by the environmental organizations in Ukraine for the air quality monitoring. Although monitoring stations do not reduce air pollution themselves, they can provide adequate and relevant information about the current state of the air.

Simple and affordable electrochemical sensors for measuring different substances in the air have appeared in the recent years and have quickly become popular. Constantly working servers linked to the sensors set in different locations form the whole monitoring system able to control atmospheric pollution in different points at the same time.

Two monitoring networks constantly provide available for everyone data on the Internet are the most popular in the capital of Ukraine: AQI [11] and

SmartCity [12].

The most popular global monitoring system is an AQI-net that includes over 12000 stations from 100 countries. Air quality monitors collect air pollution data that are converted to the Air Quality Index (AQI). This Index is based on the highest value of five major air pollutants – ground-level ozone (O_3), particle pollution (also known as a particulate matter – $PM_{2.5}$ and PM_{10}), carbon monoxide (CO), sulfur dioxide (SO_2), and nitrogen dioxide (NO_x).

The parameters given in the relative units are based on the comparison with the pollutants MPC (maximum permissible concentration) established by the World Health Organization. The scale includes 6 air pollution levels: 0–50 – good, 51–100 – moderate, 101–150 – unhealthy for sensitive groups, 151–200 – unhealthy, 201–300 – very unhealthy, more than 300 – hazardous.

There are a lot of studies based on the Air Quality Index in different countries.

For example, the sources of air pollution in the Yangtze River Basin [13] and in Romania [14] were classified based on the AQI data. Also, the air quality forecast for different cities of Japan was made by Liu with co-authors [15].

Original monitoring network Carepol has been created to control air pollution in Indonesia [16]. Scientists around the world are developing and offering their own indices for air pollution monitoring [17, 18]. Silva L.T. & Mendes J.F.G. also built a map of urban air pollution with CO_2 . Based on this map the municipal service was provided with recommendations for mitigating and improving the air condition in the most "difficult" zones in the city.

Mapping "dry" statistical data on air pollution

and its sources enables citizens to better track "clean" and "dirty" places in cities, as well as take measures to control the situation for local authorities [5].

Schmitz O. et al. [19] built quite successful air pollution maps of Belgium and the Netherlands, which show the average annual concentrations of nitrogen, oxides, and dust particles. There is also an eco-map of sources and concentrations of pollutants in China [20].

However, there are still no such maps for Kyiv.

In Kyiv, environmental maps could be used for urban planning and development [21], as well as for strategic detection and control of emission sources [22].

It should be noticed that the current air pollution maps for Kyiv are characterized by the low informational content and insufficient data visualization. Therefore, it is hard to separate sites with differing environmental conditions and the centers of the pollution.

The maps created by the BTS, the former Sanitary and Epidemiological Service (SES, Kyiv) and the CityScale-project [23] are presented in Figures 1–4 as the examples.

The map created by BTS (Fig. 1) includes only qualitative characteristics of some Kyiv districts like "bad" or "good" places. The separate data about pollution sources and concentration of the pollutants are given in the second and the third maps (Fig. 2, 3). It does not seem possible to join these data into the one informative and understandable image. More data about pollution levels have presented in Figure 4, but they are also scattered and don't give the integral picture of the atmosphere pollution.

Thus, at the moment there are no informative and indicative maps of air pollution in Kyiv. Of course,

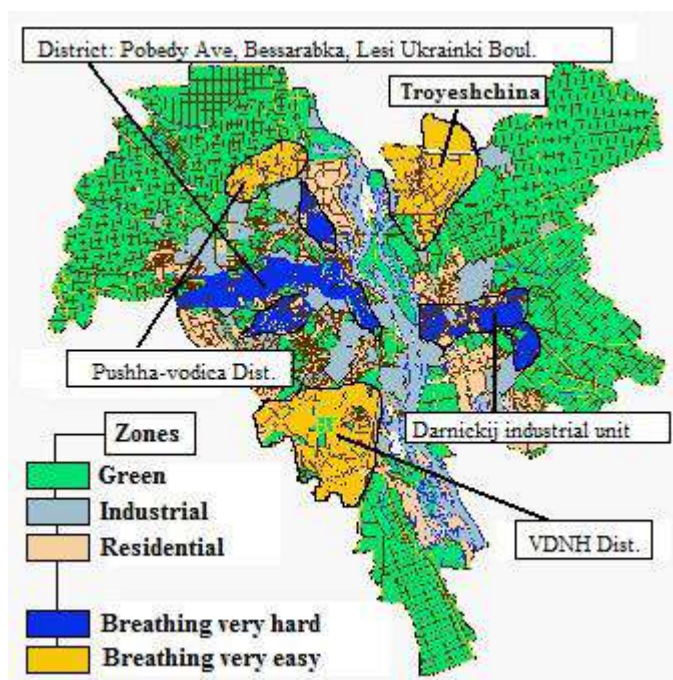


Fig. 1. Environmental map of Kyiv (according to Kyiv Bureau of Technical Supervision)

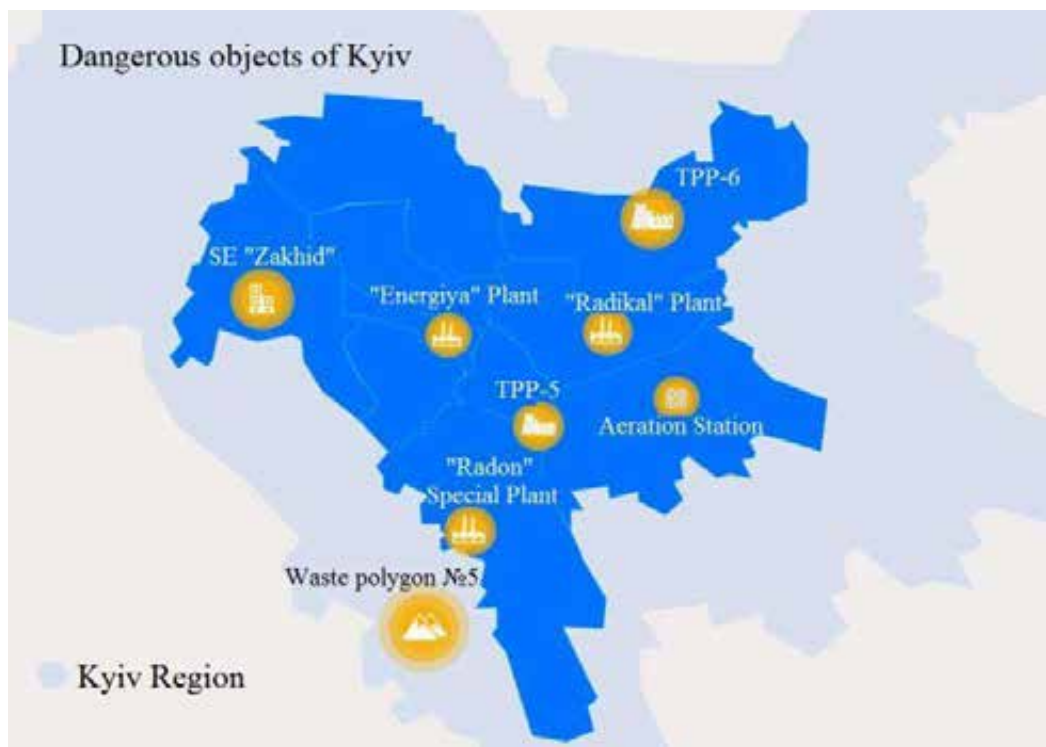


Fig. 2. The main sources of pollution in Kyiv region (published on the website imbf.org)

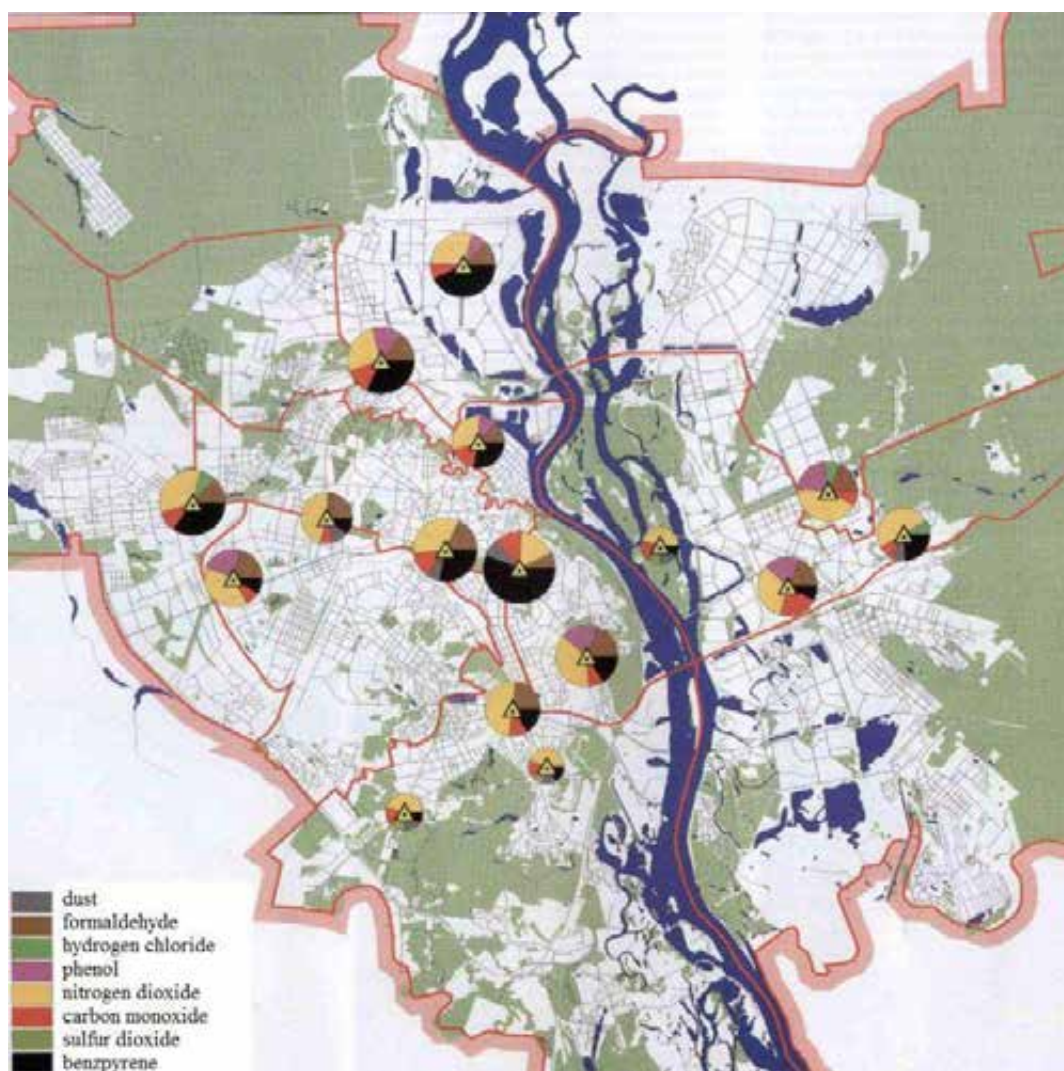


Fig. 3. Air pollution in Kyiv (by BTS)

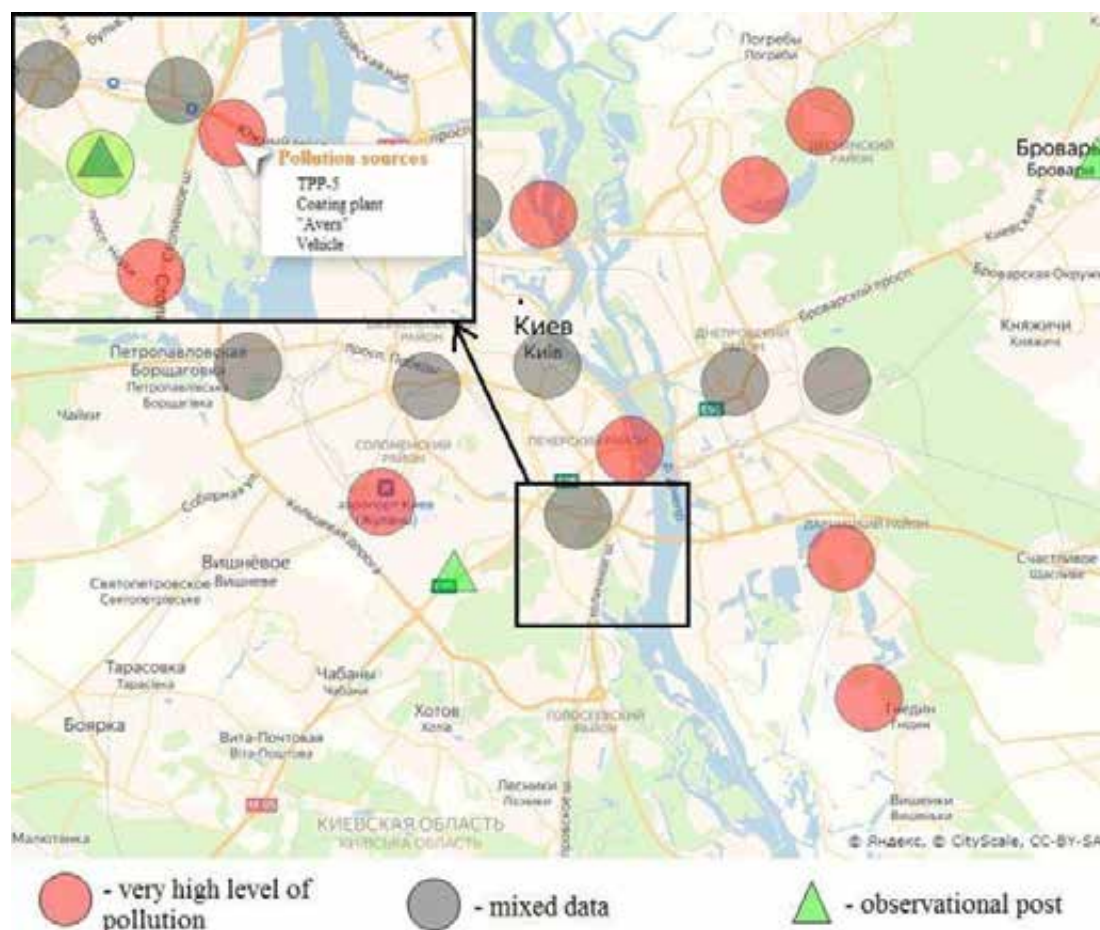


Fig. 4. Pollution sources in Kyiv region (by CityScale)

se, there are many attempts to provide information on pollutants in the form of maps, but all of them do not provide a high-quality and easy-to-interpret picture.

The aim of our study was to develop an approach that allows to create an informative map of Kyiv region pollution based on the data of the AQI's sensors.

To achieve the goal, the following tasks were set:

- 1) To analyze the data of the AQI network on the main air pollutants in Kyiv for a certain period of time.
- 2) To analyze morning, afternoon and evening data on dust air pollution (PM).
- 3) To compare cartographic data with information on the main sources of air pollution in Kyiv.
- 4) To identify the sources that contribute the most to air pollution in the city.

Materials and methods.

To study the composition of the surface layer of the atmosphere, both instrumental techniques and laboratory analysis are used. In the first case, the concentration of pollutants is analyzed using gas analyzers. For example, gas analyzers MQ135, MQ-7 detects ammonia, benzene, smoke, toxic gases and carbon monoxide in the air [24]. In particular, portable analyzers are available today. With their help everyone can determine the amount of formaldehyde and fine particles in the air, dust, CO, CH₂O, RH and so on.

To analyze the composition of gases in the air in a laboratory, samples are taken in the field, then certain components are isolated using chemical reagents and additional procedures (evaporation, freezing, precipitation) [25].

The main disadvantage of the above methods is the complexity of covering large territories for one researcher, as well as high costs for the laboratory equipment.

The Hydrometeorological Service of Ukraine monitors air pollution in 53 cities of Ukraine with the help of 163 stationary, 2 observation mobile posts and 2 mobile stations. Major pollutants such as dust, nitrogen dioxide, sulfur dioxide, carbon monoxide, formaldehyde, lead and benzopyrene are monitored. Additionally, the presence of heavy metals is monitored: cadmium, iron, manganese, copper, nickel, lead, chromium and zinc, and some other elements [26].

Monitoring at the state level allows to unify data from different cities, as well as take into account weather, climatic conditions, compile statistics for a certain period of time and make a forecast of future changes.

The problem is the difficulty of obtaining all the data of the Hydrometeorological Service, since they are not always available to a wide range of users.

In this situation, AQI is devoid of all disadvanta-

ges. The network includes professional, high-quality sensors, the indicators of which are directly available.

In this study we used the AQI data for Kyiv region as this system gives more parameters than other local monitoring nets (e.g. SmartCity).

Knowing given by the AQI values of the main air pollutants gives us the opportunity to decide what anthropogenic or natural emissions' source makes the greatest contribution into the atmospheric pollution. As it is well documented that:

- transport is the main source of the particulate matter (PM) in the air,
- the high value of NO_x is caused by high temperature technological processes pass in the metallurgical and power plants,
- SO₂ appears as a result of the fossil fuels burning (coal) and
- CO – organic fuels burning (diesel, gasoline);
- O₃ (ozone) level arises in the air due to the electrical devices used by consumers.

We registered all the AQI data during 6 days (from 17.07.2019 to 22.07.2019) at a different time of a day. It was found that morning and evening indices differ substantially, and indices measured at the daytime represented the average value between the first two ones. Thus, we decided to use only morning and evening AQI data.

We chose 15 sensors set on the territory of Kyiv and its surroundings, their full addresses with exact coordinates are given in Table 1.

Data analysis. The data were averaged and then visualized as XYZ contour plots together with longitude and latitude values of the points. The analysis was conducted with OriginPro 8.1 software. The images with a transparency 50% were overlapped on the Google maps. The border areas were smoothed, increments were set as 10% increment.

Results and discussion. Environmental graphs analysis. Air Quality Index analysis. The cumulative AQI values that were received from all sensors for the whole studied period are presented in Figure 5.

It is noteworthy that the center of the most dangerous pollution is in the Svyatoshinskii district and the purest place is in the center of the city on the both sides of the Dnieper river. The results show no clear coincidences with the published maps (see Figures 1–4). Just one source of the pollution marked in Figure 2 – State Enterprise «Zapad» – occurs in the highly polluted place. However, this object pollutes mainly the soils but not the air as it was the underground storage of high toxic chemicals on its territory during a long period (since 1970s to 2012). At the same time Thermal Power Plant (TPP) number 5, as one of the most powerful sources of the air pollution after vehicle, lies in the relatively clean area.

The center of the polluted area on our graph (see Figure 5) coincides with the building site near the Nyvky district if check on the satellite map.

It should be assumed that the traffic flow on Pe-

Table 1

Addresses and coordinates of the sensors used in the study

№	Address	Longitude	Latitude
1.	Soborna street, 163, Irpin, Kyiv region	30,235559	50,528192
2.	Sim'yi Kulzhenskiv street, 31, Kyiv	30,468016	50,520742
3.	Perova boulevard, 48, Kyiv	30,591417	50,491685
4.	Yurkivska street, 28, Kyiv	30,508242	50,472942
5.	Mykhaila Hrushevskoho street, 30, Kyiv	30,539953	50,444940
6.	DataStory 1, Urlivska street, Kyiv	30,617864	50,409385
7.	Mykhaila Dontsya street, 2, Kyiv	30,432667	50,433793
8.	Vasilya Stusa street, 28A, Kyiv	30,358727	50,460529
9.	Sofiivska Borshchahivka, Soborna street, 114, Kyiv	30,359104	50,408840
10.	Instytut kosmichnykh doslidzhen, Akademika Hlushkova Avenue, Kyiv	30,444866	50,362938
11.	Borispol-1, Kyiv region	30.89656	50.35176
12.	Reheneratorna street, 4, Kyiv	30,623137	50,434631
13.	Pokrovska street, Kyiv-Sviatoshyn district, Kyiv region	30,519283	50,461114
14.	Vadyma Hetmana street, 1v, Solomianskyi district, Kyiv	30,447067	50,452443
15.	MEREZhA-868, Zdolbunivska street, Poznyaky, Darnytskyi district, Kyiv	30,619948	50,416830

remogi Avenue directed towards Europe is the most dangerous source of pollution. In this case we can see the coincidence of the data with the first Figure (see Fig. 1).

Morning and evening PM_{2.5} data analyses. The particulate matter PM_{2.5} concentration in the atmosphere measured in the morning and in the evening during one day (18.07.2019) is given in Figure 6.

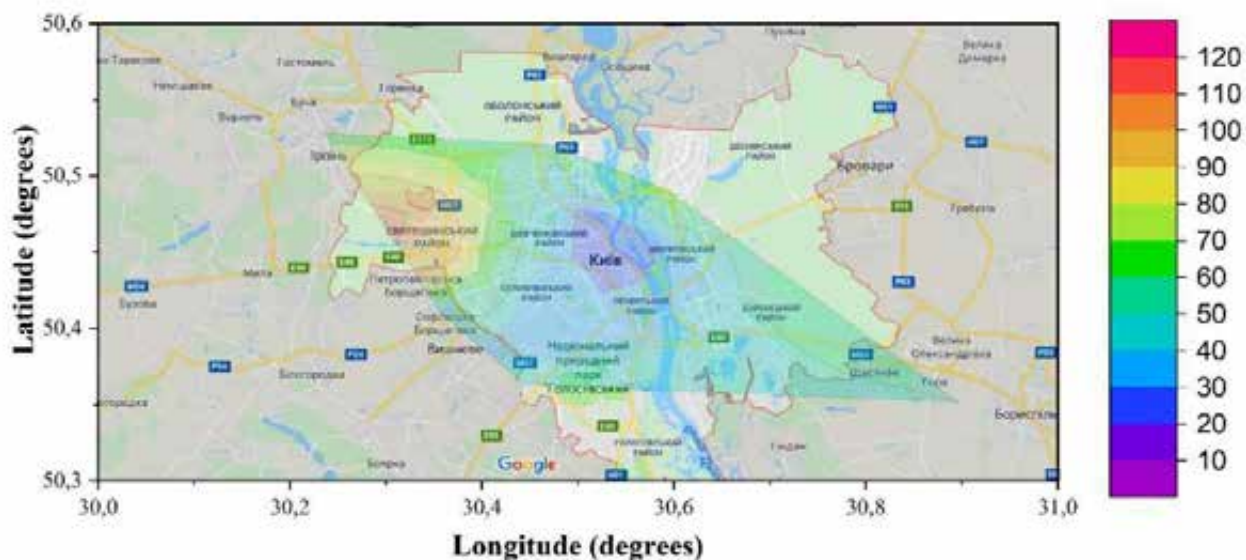


Fig. 5. Morning AQI levels in Kyiv region for the period 17–22.07.2019. Air pollution levels (here and in the figures 6–8): 0–50 – good, 51–100 – moderate, 101–150 – unhealthy for sensitive groups, 151–200 – unhealthy, 201–300 – very unhealthy, more than 300 – hazardous

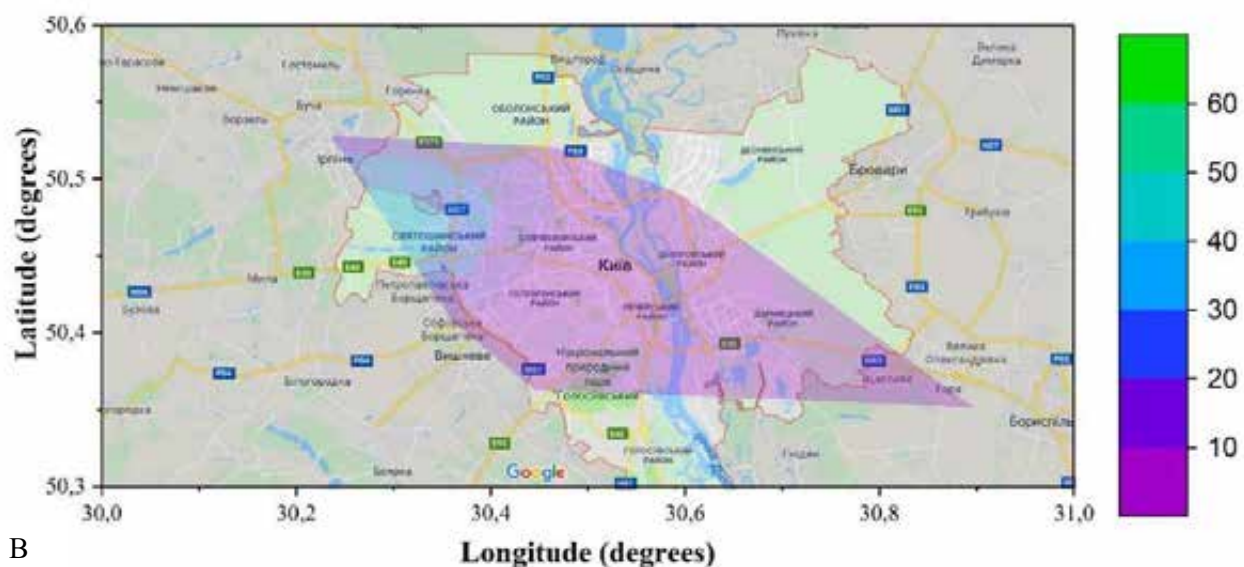
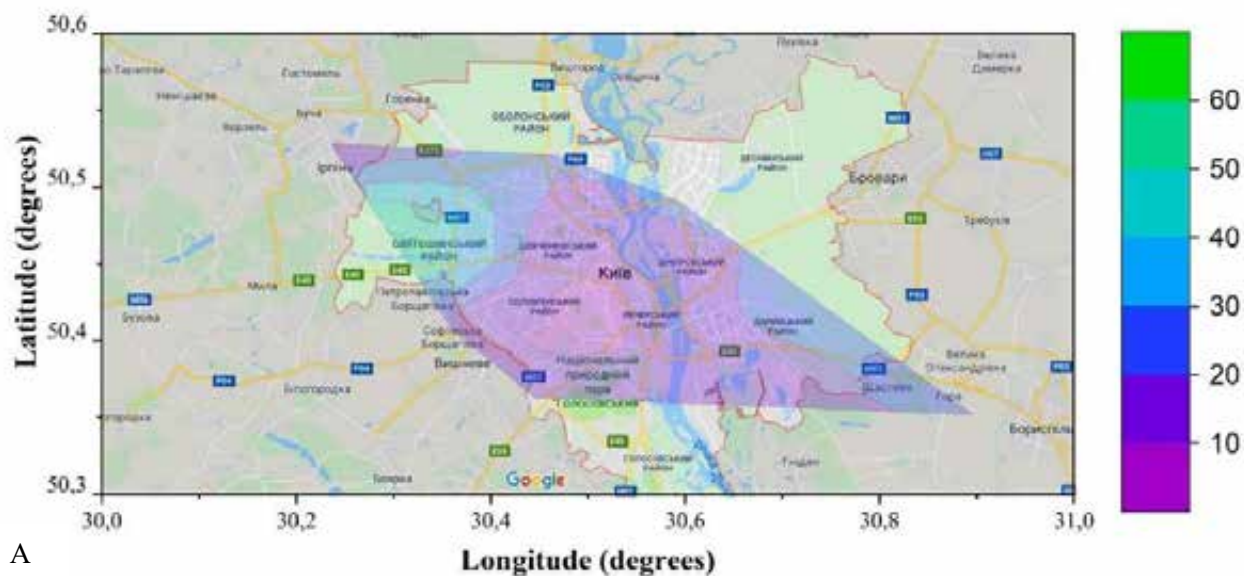


Fig. 6. PM_{2.5} concentration in the atmosphere: A – morning data, B – evening data

Morning data about $PM_{2.5}$ concentration are almost the same with the cumulative AQI data except of the clear area in the city center. According to Figure 6 (A) this clear area spreads on the whole central part of the city. In the evening dust disappears in the city suburbs as well.

Particulate matter data analyses (PM_{10} and $PM_{2.5}$). As it was found, the morning data are more informative than the evening ones, we will consider parameters that were taken from the sensors only in the morning hours. Modern laser sensors are able to catch fine (less than 2.5 micrometers) and coarse (less than 10 micrometers) particulate matter in the air. In the next Figure (Fig. 7) there is morning graph for 18.07.2019 showing the distribution of the coarse dust (PM_{10}).

It is clearly seen that the graph with PM_{10} data isn't much representative in regard both to the parameter values and their distribution on the map of the city. Therefore, we will not take them into account in our further analyses.

Comparing the effects of different pollution sources. Transportation is the main source of the air pollution in Kyiv region based on the environmental graphs' analysis. That is why the situation in the city could change greatly from day to day. To check this prediction, we chose the "hardest" day, 22 of July, when AQI in Svyatoshinskii District reached the hazardous level of the air pollution.

Graphs of the air quality index and its components distribution are presented in Figure 8. Primarily it is needed to note the similarity in AQI and $PM_{2.5}$ distribution that means general air quality index in Kyiv is based mainly on the fine dust amount raised by transport.

Other 4 components give the similar picture of the air pollution: clearer northern part of the city

compared with the more polluted southern and eastern parts. Obviously, this fact can be explained by the location of three big plants on the south-east of the city – Thermal Power Plants № 5 and № 6, and the incineration plant "Energiya". These objects are the sources of the CO , SO_2 , NO_x and O_3 due to the technological processes taking place on their territory, such as burning of organic fuel with high sulfur content at high temperatures and also the distribution of generated electricity [27, 28].

Conclusions. All the initially set tasks were solved during our study:

1) Based on the 6-day monitoring of the indicators of 15 AQI sensors in Kyiv and the Kyiv region, we showed for the first time that air pollution does not coincide with the official sources of atmospheric pollution given by the Bureau of Technical Supervision.

2) We determined that the morning sensor data on the amount of dust in the air is the most informative.

3) It was determined that fine particulate matter ($PM_{2.5}$) contributed more to air pollution, while PM_{10} was not so much informative.

4) It was determined that the main source of air pollution is vehicle.

The main conclusion we can make is that the greatest contribution to the common Air Quality Index of Kyiv city was made by the fine particulate matter ($PM_{2.5}$). Also, vehicular emissions seem to be the main contributor to the $PM_{2.5}$ presence and quantity in the air of the city. The highest level of the fine PM due to our pollution maps was observed on the R30 and E40 highways at the North-West entrance to the city, where massive traffic jam constantly appears in the morning hours.

Using the algorithm experienced in this study

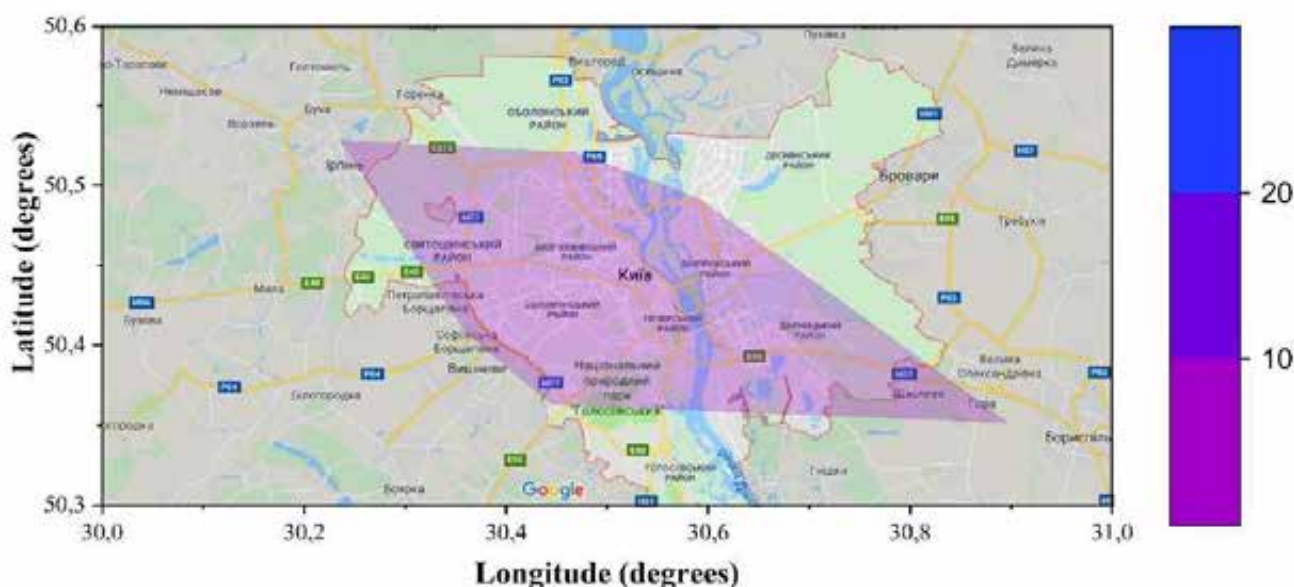


Fig. 7. Morning concentration of the coarse particulate matter

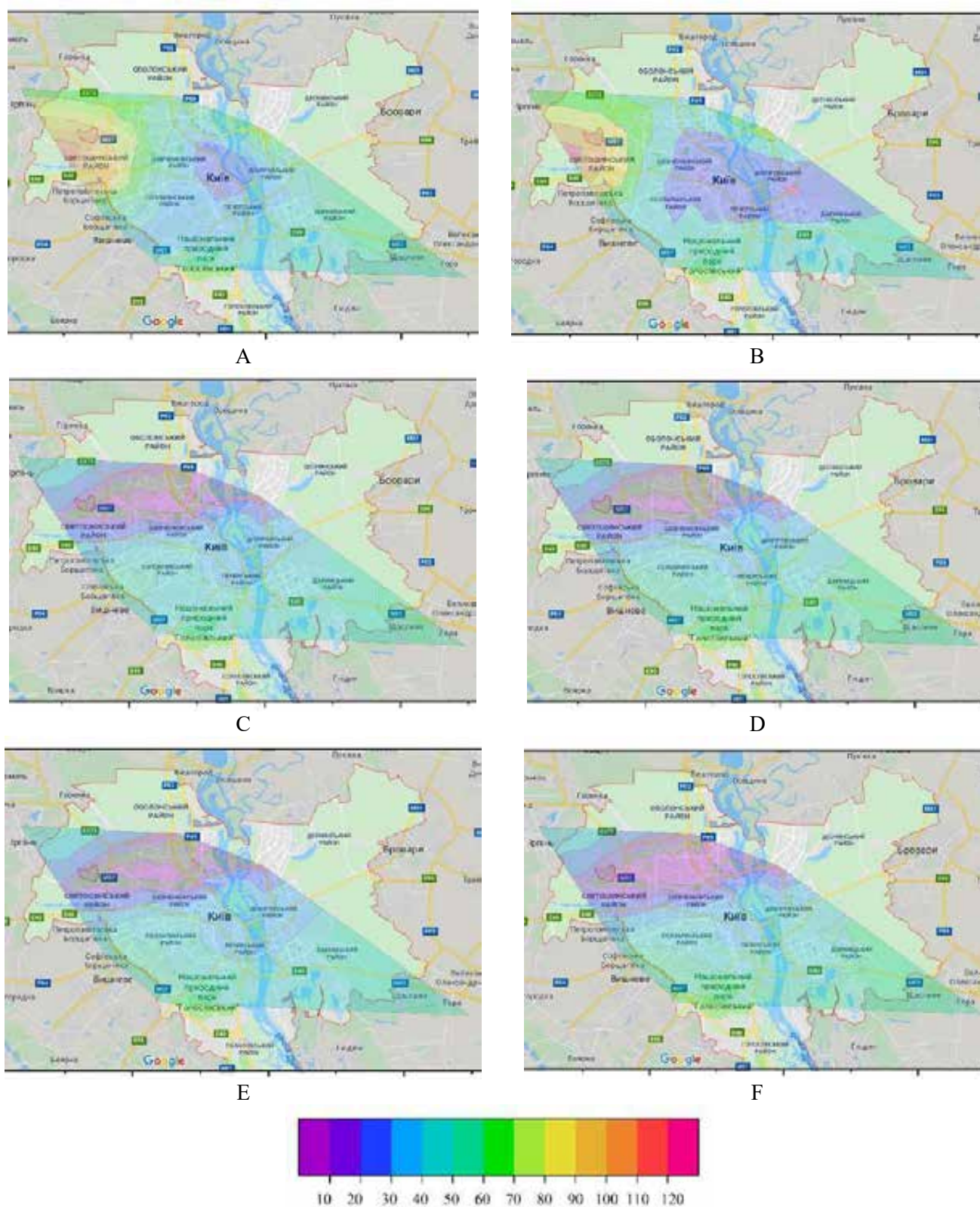


Fig. 8. Comparison of the AQI components distribution in Kyiv region (22.07.2019): A – Air Quality Index, B – PM_{2.5} concentration, C – NO_x concentration, D – SO₂ concentration, E – O₃ concentration, F – CO concentration

and knowing the AQI data for a specific region, it is possible to exclude sources without significant contribution to the whole Air Quality Index, and to highlight the main urban pollutants. The approach has a

great advantage among others as allows to draw up-to-date, representative and accurate pollution maps that can be submitted to the representatives of environmental services and other interested parties.

Such investigations are of great importance as they can give the opportunity to the government to take real actions on pollutants reducing.

We want to pay attention that this study is only the first part from the planned set of the research works devoted to the revealing the possibility to use plants, *Plantago lanceolata* in particular, as the air pollution indicators. The object was chosen as it is common ruderal plant species that spreading widely. Also, it was revealed that ribwort plantain is sensitive to air pollutants [29] and climatic factors [30].

It is well-documented that plants can capture PM

by their leaves and even be used as an instrument for air mitigating and decontaminating [31, 32]. Besides, plants not only accumulate PM on their leaf surfaces but can be affected by these particles. For this reason, leaves can perform the role of living sensors and their morphological changes can tell us about air contamination with particle matter [33].

We collected plants in all places where the sensors are set and measured parameters of their leaves and stems with spikes. The next step will be to verify our hypothesis and try to find indicative features joined with the PM value in the air.

Bibliography

1. *Ambient air pollution: a global assessment of exposure and burden of disease* / World Health Organization. 2016. 121 p. URL: [Ambient air pollution: A global assessment of exposure and burden of disease \(who.int\)](https://www.who.int/publications-detail/ambient-air-pollution-a-global-assessment-of-exposure-and-burden-of-disease).
2. Zou B., Luo Y., Wan N., Zheng ZH., Sternberg T., Liao Y. Performance comparison of LUR and OK in PM_{2.5} concentration mapping: a multidimensional perspective. *Scientific Reports*. 2015. №. 5. DOI: <https://doi.org/10.1038/srep08698>.
3. Anenberg S., Schwartz J., Shindell D., Amann M., Faluvegi G., Klimont Z., Janssens-Maenhout G., Pozzoli L., Van Dingenen R., Vignati E., Emberson L., Muller N., West J., Williams M., Demkine V., Hicks W.K., Kylenstierna J., Raes F., Ramanathan V. Global air quality and health co-benefits of mitigating near-term climate change through methane and black carbon emission control. *Environmental Health Perspectives*. 2012. Vol. 120, №. 6. P. 831–839.
4. Kaiser J. How dirty air hurts the heart. *Science*. 2015. Vol. 307. P. 1858–1859.
5. Wang S.-H., Hung R.-Y., Lin N.-H., Gómez-Losada Á., Pires J., Shimada K., Hatakeyama S., Takami A. Estimation of background PM_{2.5} concentrations for an air-polluted environment. *Atmospheric Research*. 2020. Vol. 231. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.atmosres.2019.104636>.
6. Karan A., Ali K., Teelucksingh S., Sakhamuri S. The impact of air pollution on the incidence and mortality of COVID-19. *Global Health Research and Policy*. 2020. Vol. 5, №. 39. DOI: <https://doi.org/10.1186/s41256-020-00167-y>.
7. Comunian S., Dongo D., Milani Ch., Palestin P. Air pollution and COVID-19: the role of particulate matter in the spread and increase of COVID-19's morbidity and mortality. *International Journal of Environmental Research and Public Health*. 2020. Vol. 17, №. 12. DOI: <https://dx.doi.org/10.3390%2Fijerph17124487>.
8. Zoran M.A., Savastru R.S., Savastru D.M., Tautan M.N. Assessing the relationship between surface levels of PM_{2.5} and PM₁₀ particulate matter impact on COVID-19 in Milan, Italy. *Science of the Total Environment*. 2020. №. 738. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.139825>.
9. Rodriguez-Urrego D., Rodriguez-Urrego L. Air quality during the COVID-19: PM_{2.5} analysis in the 50 most polluted capital cities in the world. *Environmental Pollution*. 2020. Vol. 266, №. 1. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2020.115042>.
10. World Bank. Ukraine Country Environmental Analysis. World Bank, Washington, DC, 2016. URL: <https://openknowledge.worldbank.org/handle/10986/24971>.
11. World's Air Pollution: Real-time Air Quality Index. 2020. URL: <https://waqi.info/>.
12. Kyiv Smart Environment / Kyiv Smart City. 2020. URL: <https://air.kyivsmartcity.com/>.
13. Song Yu, Liu B., Chen X., Liu J. Atmospheric pollution mapping of the Yangtze River Basin: an AQI-based weighted co-word analysis. *International Journal of Environmental Research and Public Health*. 2020. Vol. 17, №. 817. DOI: <https://doi.org/10.3390/ijerph17030817>.
14. Popescu F., Ionel I., Lontis N., Calin L., Dungan I.L. Air quality monitoring in an urban agglomeration. *Romanian Journal of Physics*. 2011. Vol. 56, №. 3–4. P. 495 – 506.
15. Liu B.-Ch., Binaykia A., Chang P.-Ch., Tiwari M.K., Tsao Ch.-Ch. Urban air quality forecasting based on multi-dimensional collaborative Support Vector Regression (SVR): A case study of Beijing-Tianjin-Shijiazhuang. *PLoS One*. 2017. Vol. 12, №. 7. DOI: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0179763>.
16. Agus M., Iqbal S.S. Urban air pollution monitoring system for mapping areas based on pollutant level. *Materials Science and Engineering: IOP Conference Series*. 2019. Vol. 662, №. 4. DOI: <https://doi.org/10.1088/1757-899X/662/4/042010>.
17. Murena F. Measuring air quality over large urban areas: development and application of an air pollution index at the urban area of Naples. *Atmospheric Environment*. 2004. Vol. 38. P. 6195–6202. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2004.07.023>.
18. Silva L.T., Mendes J. F. G. A new Air Quality Index for cities. Farhad Nejadkoorki (Eds.), *Advanced Air Pollution*. 2011. DOI: <https://doi.org/10.5772/16701>.
19. Schmitz O., Beelen R., Strak M., Hoek G., Soenarion I., Brunekreef B., Vaartjes I., Dijkstra M.J., Grobbee D.E., Karssenberg D. Data Descriptor: High resolution annual average air pollution concentration maps for the Netherlands. *Scientific Data*. 2019. Vol. 6. DOI: <https://doi.org/10.1038/sdata.2019.35>.

20. Rohde R., Muller R. Air pollution in China: mapping of concentrations and sources. *PLoS ONE*. 2015. Vol. 10, №. 8. DOI: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0135749>.
21. Bureau of Technical Supervision / Technical supervision of construction. Management of construction projects. Engineer Technical Supervision. 2020. URL: www.btm.kiev.ua/en/.
22. Ministry of Ecology and Natural Resources of Ukraine. 2020. URL: <https://menr.gov.ua/en/>.
23. CityScale. Pollution Sources. 2020. URL: www.cityscale.com.ua.
24. John B.J., Harish C., Lawrence C.C., Krishnakumar S., Divakaran S., Premkumar J., Kanmani P.G., Sabarivani A., Jagadeesan A.K. Monitoring indoor air quality using smart integrated gas sensor module (IGSM) for improving health in COPD patients. *Environmental Science and Pollution Research*. 2023. №. 30. P. 28889–28902.
25. Katulski R.J., Namieśnik J., Sadowski J., Stefański J., Wardencki W. Monitoring of gaseous air pollution. The impact of air pollution on health, economy, environment and agricultural sources / Edited by Khallaf M. Fayoum University, Egypt, 2011. DOI: <https://doi.org/10.5772/20771>
26. Averin G. European neighborhood and partnership instrument – shared environmental information system / Country report of Ukraine, Zoï Environment Network, Geneva, Switzerland, 2012.
27. Savenets M., Dvoretzka I., Nadtochii L. Current state of atmospheric air pollution in Ukraine based on sentinel-5p satellite data. *Visnyk of Karazin Kharkiv National University, series "Geology. Geography. Ecology"*. 2019. Vol. 51. P. 221–233. DOI: <https://doi.org/10.26565/2410-7360-2019-51-16>.
28. Pribylova B.N. Assessment of anthropogenic impact on the geological environment and features of the accumulation of pollutants in the zone of the Zmyiv thermal power-station (Kharkiv region). *Visnyk of V.N. Karazin Kharkiv National University, series "Geology. Geography. Ecology"*. 2013. Vol. 39, №. 1084. P. 237–243.
29. Skrynetska I., Karcz J., Barczyk G., Kandziora-Ciupa M., Ciepał R., Nadgórska-Socha A. Using *Plantago major* and *Plantago lanceolata* in environmental pollution research in an urban area of Southern Poland. *Environmental Science and Pollution Research*. 2019. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11356-019-05535-x>.
30. Prokhorova S., Netsvetov M. Morphological and phenological shifts in the *Plantago lanceolata* L. species as linked to climate change over the past 100 years. *Hacquetia*. 2020. Vol. 19, №. 2. P. 293–305. DOI: <https://ojs.zrc-sazu.si/hacquetia/article/view/7662/7862>.
31. Bharti S.K., Trivedi A., Kumar N. Air pollution tolerance index of plants growing near an industrial site. *Urban Climate*. 2017. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.uclim.2017.10.007>.
32. Viecco M., Vera S., Jorquera H., Bustamante W., Gironás J., Dobbs C., Leiva E. Potential of particle matter dry deposition on green roofs and living walls vegetation for mitigating urban atmospheric pollution in semiarid climates. *Sustainability*. 2018. Vol. 10. DOI: <https://doi.org/10.3390/su10072431>.
33. Chen X., Zhou Zh., Teng M., Wang P., Zhou L. Accumulation of three different sizes of particulate matter on plant leaf surfaces: effect on leaf traits. *Archives of Biological Sciences*. 2015. Vol. 67, №. 4. P. 1257–1267. DOI: <https://doi.org/10.2298/ABS150325102C>.

References

1. Ambient air pollution: a global assessment of exposure and burden of disease. (2016). World Health Organization. – 121. (available on the <https://www.who.int/phe/publications/air-pollution-global-assessment/en/>).
2. Zou, B., Luo, Y., Wan, N., Zheng, ZH., Sternberg, T., Liao, Y. (2015). Performance comparison of LUR and OK in PM_{2.5} concentration mapping: a multidimensional perspective. *Scientific Reports*, 5 (8698). <https://doi.org/10.1038/srep08698>.
3. Anenberg, S., Schwartz, J., Shindell, D., Amann, M., Faluvegi, G., Klimont, Z., Janssens-Maenhout, G., Pozzoli, L., Van Dingenen, R., Vignati, E., Emberson, L, Muller, N., West, J., Williams, M., Demkine, V., Hicks, W.K., Kuylenstierna, J., Raes, F., Ramanathan, V. (2012). Global air quality and health co-benefits of mitigating near-term climate change through methane and black carbon emission control. *Environmental Health Perspectives*, 120.
4. Kaiser, J. (2015). How dirty air hurts the heart. *Science*, 307, 1858–1859.
5. Wang, S.-H., Hung, R.-Y., Lin, N.-H., Gómez-Losada, Á., Pires, J., Shimada, K., Hatakeyama, S., Takami, A. (2020). Estimation of background PM_{2.5} concentrations for an air-polluted environment. *Atmospheric Research*, 231. <https://doi.org/10.1016/j.atmosres.2019.104636>.
6. Karan, A., Ali, K., Teelucksingh, S., Sakhamuri S. (2020). The impact of air pollution on the incidence and mortality of COVID-19. *Global Health Research and Policy*, 5(39). <https://doi.org/10.1186/s41256-020-00167-y>.
7. Comunian, S., Dongo, D., Milani, Ch., Palestin, P. (2020). Air pollution and COVID-19: the role of particulate matter in the spread and increase of COVID-19's morbidity and mortality. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 17(12): 4487. <https://dx.doi.org/10.3390%2Fijerph17124487>.
8. Zoran, M.A., Savastru, R.S., Savastru, D.M., Tautan, M.N. (2020). Assessing the relationship between surface levels of PM_{2.5} and PM₁₀ particulate matter impact on COVID-19 in Milan, Italy. *Science of the Total Environment*, 738. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.139825>.
9. Rodriguez-Urrego, D., Rodriguez-Urrego, L. (2020). Air quality during the COVID-19: PM_{2.5} analysis in the 50 most polluted capital cities in the world. *Environmental Pollution*, 266(1):115042. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2020.115042>.
10. World Bank. Ukraine Country Environmental Analysis. (2016). World Bank, Washington, DC. Retrieved from: <https://openknowledge.worldbank.org/handle/10986/24971>.

11. World's Air Pollution: Real-time Air Quality Index (2020). Retrieved from <https://waqi.info/>.
12. Kyiv Smart Environment. Kyiv Smart City (2020). Retrieved from <https://air.kyivsmartcity.com/>.
13. Song, Yu, Liu, B., Chen, X., Liu, J. (2020). Atmospheric pollution mapping of the Yangtze River Basin: an AQI-based weighted co-word analysis. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 17 (817). <https://doi.org/10.3390/ijerph17030817>.
14. Popescu, F., Ionel, I., Lontis, N., Calin, L., Dungan, I.L. (2011). Air quality monitoring in an urban agglomeration. *Romanian Journal of Physics*, 56 (3–4), 495–506.
15. Liu, B.-Ch., Binaykia, A., Chang, P.-Ch., Tiwari, M.K., Tsao, Ch.-Ch. (2017). Urban air quality forecasting based on multi-dimensional collaborative Support Vector Regression (SVR): A case study of Beijing-Tianjin-Shijiazhuang. *PLoS One*, 12 (7): e0179763. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0179763>.
16. Agus, M. & Iqbal, S.S. (2019). Urban air pollution monitoring system for mapping areas based on pollutant level. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 662 (4). <https://doi.org/10.1088/1757-899X/662/4/042010>.
17. Murena, F. (2004). Measuring air quality over large urban areas: development and application of an air pollution index at the urban area of Naples. *Atmospheric Environment*, 38, 6195–6202. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2004.07.023>.
18. Silva, L.T., Mendes, J. F. G. (2011). A new Air Quality Index for cities. In: Farhad Nejadkoorki (Eds.), *Advanced Air Pollution*. <https://doi.org/10.5772/16701>.
19. Schmitz, O., Beelen, R., Strak, M., Hoek, G., Soenari, I., Brunekreef, B., Vaartjes, I., Dijst, M.J., Grobbee, D.E., Karssenber, D. (2019). Data Descriptor: High resolution annual average air pollution concentration maps for the Netherlands. *Scientific Data*, 6:190035. <https://doi.org/10.1038/sdata.2019.35>.
20. Rohde, R., & Muller, R. (2015). Air pollution in China: mapping of concentrations and sources. *PLoS ONE*, 10(8): e0135749. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0135749>.
21. Bureau of Technical Supervision. Technical supervision of construction. Management of construction projects. Engineer Technical Supervision. (2020). Retrieved from www.btn.kiev.ua/en/.
22. Ministry of Ecology and Natural Resources of Ukraine. (2020). Retrieved from <https://menr.gov.ua/en/>.
23. CityScale. Pollution Sources. (2020). Retrieved from www.cityscale.com.ua.
24. John B.J., Harish C., Lawrence C.C., Krishnakumar S., Divakaran S., Premkumar J., Kanmani P.G., Sabarivani A., Jagadeesan A.K. Monitoring indoor air quality using smart integrated gas sensor module (IGSM) for improving health in COPD patients. *Environmental Science and Pollution Research*. 2023. №. 30. P. 28889–28902.
25. Katulski R.J., Namieśnik J., Sadowski J., Stefański J., Wardencki W. Monitoring of gaseous air pollution. The impact of air pollution on health, economy, environment and agricultural sources. Edited by Khallaf M. Fayoum University, Egypt, 2011. DOI: <https://doi.org/10.5772/20771>
26. Averin, G. (2012). *European Neighbourhood and Partnership Instrument – Shared Environmental Information System*. Country Report of Ukraine, Zoë Environment Network, Geneva, Switzerland.
27. Savenets, M., Dvoretzka, I., Nadtochii, L. (2019). Current state of atmospheric air pollution in Ukraine based on sentinel-5p satellite data. *Visnyk of V.N. Karazin Kharkiv National University, series "Geology. Geography. Ecology"*, 51, 221–233. <https://doi.org/10.26565/2410-7360-2019-51-16>.
28. Прибылова, В.Н. (2013). Assessment of anthropogenic impact on the geological environment and features of the accumulation of pollutants in the zone of the Zmyiv thermal power-station (Kharkiv region). *Visnyk of V.N. Karazin Kharkiv National University, series "Geology. Geography. Ecology"*, 39 (1084), 237–243.
29. Skrynetska, I., Karcz, J., Barczyk, G., Kandziora-Ciupa, M., Ciepał, R., Nadgórska-Socha, A. (2019). Using *Plantago major* and *Plantago lanceolata* in environmental pollution research in an urban area of Southern Poland. *Environmental Science and Pollution Research*. <https://doi.org/10.1007/s11356-019-05535-x>.
30. Prokhorova, S., Netsvetov, M. (2020). Morphological and phenological shifts in the *Plantago lanceolata* L. species as linked to climate change over the past 100 years. *Hacquetia*, 19 (2), 293–305. <https://ojs.zrc-sazu.si/hacquetia/article/view/7662/7862>.
31. Bharti, S.K., Trivedi, A., Kumar, N. (2017). Air pollution tolerance index of plants growing near an industrial site. *Urban Climate*. <http://dx.doi.org/10.1016/j.uclim.2017.10.007>.
32. Viecco, M., Vera, S., Jorquera, H., Bustamante, W., Gironás, J., Dobbs, C., Leiva, E. (2018). Potential of particle matter dry deposition on green roofs and living walls vegetation for mitigating urban atmospheric pollution in semi-arid climates. *Sustainability*, 10 (2431). <https://doi.org/10.3390/su10072431>.
33. Chen, X., Zhou, Zh., Teng, M., Wang, P., Zhou, L. (2015). Accumulation of three different sizes of particulate matter on plant leaf surfaces: effect on leaf traits. *Archives of Biological Sciences*. 67(4), 1257–1267. <https://doi.org/10.2298/ABS150325102C>.

Підхід до використання компонентів індексу якості повітря AQI для визначення джерел забруднення повітря в місті

Світлана Прохорова

к. біол. н., ст. наук. співробітник дослідницької групи «Екологія пасовищ»,
Бернський університет прикладних наук,
факультет сільськогосподарських, лісових і харчових наук,
Ланггасе 85, 3052 Цоллікофен, Швейцарія

Те, що повітря, яким ми дихаємо, забруднене – не новина. Джерел забруднення дуже багато, особливо, в великих містах. Для контролю забруднюючих речовин у повітрі встановлюють різноманітні датчики. Одна із глобальних систем реєстрації концентрації полутантів у міському повітрі – AQI. І хоча самі датчики не здатні зменшувати забруднення у повітрі, на базі тих даних, що вони надають, можна створювати показові карти забруднення міст. Таке картування міських територій дасть змогу вповноваженим органам розробляти та впроваджувати плани з покращення найнебезпечніших зон, як це вже робиться в інших країнах. Мета даної роботи – аналіз індексу якості повітря у Києві, визначення головного джерела атмосферного забруднення та побудова наочних екологічних карт. Ми проаналізували 5 головних показників, на яких базується індекс якості повітря, за визначений період у м. Київ та його околицях. Використовували дані 15 датчиків всесвітньої мережі AQI. Завдяки тому, що відомі точні координати кожного датчика та результати їхніх вимірювань, вдалось побудувати карти забруднення повітря, використовуючи програмне забезпечення OriginPro 8.1 та зображення з Google maps. Визначено, що найбільший внесок до індексу якості повітря дає суспензія дрібного пилу. Основним джерелом $PM_{2.5}$ в місті є транспорт. На нашій карті наочно показано, що ділянка з найбільшим значенням AQI співпадає з великою транспортною розв'язкою на північно-західній околиці міста. Таким чином, атмосферне забруднення у Києві визначається переважно кількістю дрібних часток пилу у повітрі. Ми вперше показали, що забруднення атмосфери не збігається з офіційними джерелами забруднення атмосфери, наданими Київським бюро технічного нагляду. Ми також представили новий підхід до складання актуальних, репрезентативних і точних карт забруднення, які можна надати представникам екологічних служб та іншим зацікавленим сторонам. Такі дослідження мають велике значення, оскільки вони можуть дати можливість уряду вжити реальних заходів щодо зменшення забруднюючих речовин. Подальше дослідження буде спрямовано на виявлення зв'язку кількості $PM_{2.5}$ у повітрі та морфологічних параметрів рослин-індикаторів.

Ключові слова: забруднення, індекс якості повітря, AQI, тверді частки, $PM_{2.5}$, навколишнє середовище, моніторинг, місто, Київ.

Надійшла 31 серпня 2023 р.
Прийнята 30 жовтня 2023 р.

Features of the local community involvement in the social tourism development (case study – Serik district, Antalya, Turkey)

Cemali Sari¹

DSc (Geography), Professor of Geography Department, Faculty of Literature,

¹ Akdeniz University, Antalya, Turkey,

e-mail: csari@akdeniz.edu.tr, <https://orcid.org/0000-0001-8377-2337>;

Kateryna Sehida²

DSc (Geography), Professor, Kostyantyn Niemets Department of Human Geography and Regional Studies,

¹ V.N. Karazin Kharkiv National University, Kharkiv, Ukraine,

e-mail: kateryna.sehida@karazin.ua, <https://orcid.org/0000-0002-1122-8460>;

Gamze Çakir¹

MSc (Geography), Research Assistant of Geography Department, Faculty of Literature,

e-mail: gamzeckrr01@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0003-2060-1711>;

Ievgeniia Telebienieva²

PhD (Geography), Associate Professor,

Kostyantyn Niemets Department of Human Geography and Regional Studies,

e-mail: telebenevaev@gmail.com, <http://orcid.org/0000-0002-7013-8836>

ABSTRACT

Introduction of the research problem. Tourism activities have shown a shift from privileged individuals with high purchasing power to individuals with lower income levels due to increased leisure time. Along with a high economic potential, tourism has an important social significance; namely, it ensures the restoration of human life forces spent in the work process and contributes to the spiritual and intellectual development of the individual, thereby increasing the quality of labor resources. Orientation to the development of tourism in view of the principles of sustainable development, with an understanding of the need for the development of social tourism and promoting the improvement of the level and quality of life of the population, ensuring accessibility for all segments of the population does not lose its relevance and the need to implement science-based initiatives and measures that should be based on specific research results, primarily geographical. In order to understand the opportunities and obstacles to the development of social tourism, the following questions remain essential: What is the attitude of the local population to the intensive development of tourism in the region of residence? What is the involvement of the local population in tourism? What problems does the local population face when organizing leisure activities? What are the obstacles, challenges, and opportunities for the organization of social tourism? Given the limited geographical studies on social tourism, this study is seen as an original and distinctive contribution. The significance of this research lies in its potential to serve as an example for Turkey.

The purpose of this research is to identify the participation of the local community living in urban and rural neighborhoods of Serik district, which constitutes one of the significant destination points in Antalya province, known as the tourism capital of Turkey, in tourism activities. Additionally, if there are any factors hindering their participation, the aim is to identify and highlight them.

Results, scientific novelty, practical significance. Research method was employed, and a face-to-face survey was conducted using a random sampling method between December 2022 and April 2023, reaching a total of 466 participants. Out of these, 33 surveys were used for pilot testing, and due to incomplete data, 384 surveys were entered into the SPSS software package for analysis. According to the findings, it was observed that 44.8% of the local community residing in urban and rural areas of Serik district had not had the opportunity to go on vacation in 2022 or earlier. In this context, it is evident that the most significant factor influencing the participants' inability to go on vacation is financial insufficiency. Therefore, the necessity of public and civil institutions and organizations supporting the local population with various holiday programs arises. Therefore, it is deemed necessary to integrate social tourism activities to the maximum extent possible in the tourism planning for the local community.

Keywords: *tourism geography, social tourism, local community, sustainability, accessibility, Serik, Antalya, Turkey.*

In cites: Sari Cemali, Sehida Kateryna, Çakir Gamze, Telebienieva Ievgeniia (2023). Features of the local community involvement in the social tourism development (case study – Serik district, Antalya, Turkey). *Visnyk of V. N. Karazin Kharkiv National University, series "Geology. Geography. Ecology"*, (59), 221-236. <https://doi.org/10.26565/2410-7360-2023-59-16>

Introduction. Tourism activities have shown a shift from privileged individuals with high purchasing power to individuals with lower income levels due to increased leisure time, along with economic and technological advancements in the 21st century [15]. Particularly, tourism activities at both macro and micro levels have moved away from being perceived as a luxury and have started to be seen as a social need, leading to an increase in the number of individuals participating in tourism activities and

their incomes [37, 38]. As these increases have reached a global scale, tourism activities have had economic, socio-cultural, and environmental impacts on countries [16, 22]. Along with a high economic potential, tourism has an important social significance; namely, it ensures the restoration of human life forces spent in the work process and contributes to the spiritual and intellectual development of the individual, thereby increasing the quality of labor resources. To achieve continuous growth in a highly

competitive environment, various countries have focused on the economic impacts of the tourism sector, which has high value-added and multiplier effects, while disregarding its environmental and socio-cultural impact [5, 13].

This situation has led to various problems for the economically weaker segments and the inability of individuals to participate in tourism activities, resulting in the antagonism stage described in Doxey's irritation index model [8]. In this context, it is crucial to prioritize social tourism to realize sustainable and accessible tourism activities. Therefore, when the relevant literature is scanned, it is seen that there are many studies on tourism on a national and international scale [1, 10, 17], but research on social tourism is limited. Social tourism is defined as a phenomenon or relationship that emerges when disadvantaged groups or economically weak segments within society participate in tourism activities [39]. The special social status of tourism and social tourism, in particular, were noted in 1980 in the Manila Declaration on World Tourism. It concerns the right to rest, vacation, and freedom of travel, and tourism is natural and inalienable for every person, which obliges countries to provide their citizens with real opportunities to access tourism. Social tourism is a goal that society should strive for in the interests of less well-off citizens. Social tourism should be a public goal for less well-off citizens in realizing their right to rest [19]. The Montreal Declaration, adopted in 1996 by the General Assembly of the International Bureau of Social Tourism (IBST), emphasizes the accessibility of tourism for all, including families, youth, and older people [23]. At the current stage, the concept of social tourism is based on such principles as providing rest and health for every member of society by attracting low-income people to the tourism environment, subsidizing tourist trips of poor citizens, and participating in state and social structures in tourism development. Akoğlu T. defines social tourism as the entirety of interests arising from the participation of social classes with limited or low purchasing power in tourism events through various special measures [3]. Based on these definitions, individuals involved in social tourism activities can participate in tourism activities with the support of non-profit organizations through various projects, incentives, and practices [35, 38].

Analysis of recent research and publications.

Our literature review revealed a scarcity of research on social tourism. Generally, research on social tourism has increased in importance in recent years, with awareness of the significance of the subject that emerged about 20 years ago and its place within development strategies.

Systematized and generalized literature based on a conceptual approach to studying the theoretical

foundations of social tourism is presented in Scott McCabe and Guanghui Qiao's paper through bibliometric analysis with the analytical review of the evolution of social tourism [20]. The latter is presented as a component of public welfare policy aimed at supporting participation in tourism activities of people whose financial or other circumstances do not allow them to do so. Recognizing its significance, a model of tourism as well-being is proposed, guiding future research development in the field of social tourism.

Many scientific papers reveal socio-economic aspects of social tourism development, both methodologically and through examples from specific countries and regions. In particular, the paper by Jana Jablonska, Matúš Jareňko, and Gejza M. Timčák [14] substantiates "social tourism" as one that aims to involve the whole society in tourism, regardless of whether they are disadvantaged due to economic reasons or conditions health, emphasizing the social benefits and opportunities of the organization. The issue of the organization of social tourism in Slovakia is considered, the rationale for creating products for social tourism is given. They contribute to the promotion and improvement of living conditions and social tourism services. The strengths and weaknesses of social tourism in Slovakia and the possibilities for its improvement are presented. Lynn Minnaert [23] reviewed social tourism networks, including beneficiaries who are usually excluded from participation in tourism. Some initiatives in the field of social tourism in Belgium are presented. Survey results reveal a common commitment to social tourism and differences in views between different groups of stakeholders in terms of factors that facilitate and hinder participation in travel. Farhad Rahmanov, Nataliia Letunovska, Oleksii Lyulyov reveal the issue of social tourism marketing as a driving tool for ensuring the growth of regional socio-economic development [34]. The authors presented the hypothesis that the same regional entity developing in the field of social tourism is perceived differently by the entities that interact with it.

An example is that the perceived quality of services and the level of available information will differ for representatives of different regions of the same nationality. As part of the study, the population of Ukraine was interviewed, notably respondents who used the services of a typical regional business entity. In our previous studies, certain issues of social tourism were considered in the context of the development of such types of tourism as rural [30], pilgrimage [26], ethnic [25], features of the involvement of the urban population, social and economic benefits and challenges in different regions of Ukraine. Several studies were devoted to developing children's and youth tourism as one of the types of social tourism [27, 28], as well as the development of tourism

in large cities [10].

A number of studies are devoted to certain aspects of the development of social tourism in Turkey. In particular, Murat Duymaz, Gamze Temizel [9] presented the social tourism environment in Turkey, evaluating positive and negative features. Authors justified natural opportunities; in particular, there are ample social and traditional tourism opportunities. The research results are widely presented and aimed at studying the evolution, meaning, and function of social tourism in Turkey by analyzing national program documents [32]. The study by Erkan Türkseven [40], utilizing the Maxqda method, aimed to determine whether Turkey needs a new social tourism policy. According to the obtained data, the study revealed the necessity for Turkey's inclusive and sustainable new social tourism policy. Therefore, efforts were made to develop a social tourism incentive model. In his study, Akdemir utilized ethnographic field research to examine alternative camps in Antalya to bring a new perspective to social tourism in the country. According to the data obtained, social tourism was identified as a means to increase disadvantaged individuals' social participation by adopting accessibility, diversity, and integrity.

In their previous research, Nehir Nur Delen and Cemali Sari [7] highlighted the population's attitude towards certain types of tourism, particularly eco-tourism activities in Paris (France). Individual aspects of alternative types of tourist activities in Turkey were studied. In particular, the Cemali Sari, Musa Yüksel presented the influence of local eating and drinking culture on tourism development in certain regions of Turkey [12]. The peculiarities of the tourism industry of the Mediterranean and Aegean coasts of Turkey were considered [29]. In the study [36], a quantitative research method was employed to examine the participation of residents in urban and rural neighborhoods of the Konyaalti district of Antalya in tourism activities and identify any obstacles to their participation. According to the data obtained, it was revealed that 72.8% of the residents in the urban and rural neighborhoods of Konyaalti district did not visit the Konyaalti tourism region for vacation purposes.

Orientation to the development of tourism in view of the principles of sustainable development, with an understanding of the need for the development of social tourism and promoting the improvement of the level and quality of life of the population, ensuring accessibility for all segments of the population does not lose its relevance and the need to implement science-based initiatives and measures that should be based on specific research results, primarily geographical. In order to understand the opportunities and obstacles to the development of social tourism, the following questions remain essential: What is the attitude of the local population to the intensive

development of tourism in the region of residence? What is the involvement of the local population in tourism? What problems does the local population face when organizing leisure activities? What are the obstacles, challenges, and opportunities for the organization of social tourism? Given the limited geographical studies on social tourism, this study is seen as an original and distinctive contribution. The significance of this research lies in its potential to serve as an example for Turkey.

In this context, the **purpose of this research** is to identify the participation of the local community residing in the urban and rural neighborhoods of Serik district, which constitutes one of the significant destination points in Antalya province, known as the tourism capital of Turkey, in tourism activities. Additionally, the study aims to uncover any factors hindering their participation.

This research aims to examine the residents' participation in both urban and rural neighborhoods of Serik in tourism activities. Additionally, if any factors hinder their participation, this study seeks to identify and present them. A quantitative research method was employed to ensure the validity and reliability of the research. The quantitative research method aims to describe the existing situation or phenomenon using numerical data and to reveal causal relationships between variables through independent and dependent variables [5].

In this context, a survey, which is a quantitative research method, was utilized to collect data. A scale entitled "Is Social Tourism Forgotten, Is the Sole Purpose of Tourism to Earn Foreign Currency?" was used to prepare the survey forms. After obtaining the necessary permissions from the authors of the scale, revisions were made to the survey form, taking into account three specialists' suggestions. The scale consists of three sections. In the first section, questions were asked about the characteristics of the local residents. The second section included questions related to their attitudes towards vacation. The third section focused on their attitudes towards social tourism. A random sampling method was employed among the local residents of both urban and rural neighborhoods in Serik, Antalya province, between December 2022 and April 2023. 466 individuals who agreed to participate in the interviews were surveyed. However, 33 surveys were excluded from the analysis as they constituted the pilot study, and 49 were excluded due to incomplete data. A total of 384 surveys, which is believed to represent the population, were included in the analysis. The obtained data were analyzed using the SPSS software package, conducting frequency and descriptive analyses.

The main material. The research field is the Serik district located within the Antalya section of the Mediterranean Region. In Serik district, which has 96

accommodation facilities, according to BETUYAB's 2022 data [4], 1,757,035 tourists benefitted from accommodation (Figure 1), but there is no available data on the percentage of individuals residing in the urban and rural neighborhoods of the district who participate in tourism activities. As seen in Figure 2, Serik district is located west of Aksu, east of Manavgat, south of the Mediterranean Sea, and north of Bucak district of Burdur and Sütçüler district of Isparta. In Turkey, with the Local Administration General Election held on March 30, 2014, through Law No. 5747 on Metropolitan Municipality, the villages affiliated with districts were converted into neighborhoods. In this context, Serik district has a total of 66 neighborhoods, consisting of 47 rural neighborhoods and 19 urban neighborhoods (see Figure 3).

Table 1 presents the demographic characteristics of the 384 individuals who comprised the sample of the research, in terms of percentage and frequency distributions. Demographic information of the participants is shown in Table 1 along with frequency and percentage values by numbering method. Values in the table containing demographic information; participants gender Male or Female; age of participants 18-23, 24-29, 30-35, 36-41, 42-46, 47-52, 53-58, 59-64 and 65+; marital status: Married, Single, Divorced; number of children No children, one child, two, three, more than four; The birthplace of the participants is Antalya or other provinces; Educational status of the participants: Primary Education, Secondary Education, High School, Associate Degree, Bachelor's Degree; occupations of the participants are Farmer, Tradesman, Civil Servant, Housewife, Retiree, Worker, Student and Other. Finally, the

monthly income scale of the participants is No income, 3,500-5,500 TL, 5,001-7,500 TL, 7,501-10,000 TL, 10,001-12,000 TL, 12,001-15,000 TL and 15,000+ TL.

As seen in Table 1, 228 (59.4%) of the participants were male and 156 (40.6%) were female. The participants' age range from 18-23 was 68 (17.7%), in the age range of 24-29 was 40 (10.4%), in the age range of 30-35 was 51 (13.3%), in the age range of 36-41 was 54 (14.1%), in the age range of 42-46 was 42 (10.9%), in the age range of 47-52 was 37 (9.6%), in the age range of 53-58 was 34 (8.9%), in the age range of 59-64 was 27 (7.0%), and in the age range of 65 and above was 31 (8.1%). Based on these values, it is observed that the age range with the highest number of participants is 18-23, while the age range with the lowest number of participants is 59-64.

When the education backgrounds of the participants are analyzed, it is seen that the number of individuals who completed primary education is 137 (35.7%), the number of individuals who completed secondary education is 140 (36.5%), the number of individuals who completed high school education is 61 (15.9%), the number of individuals with associate's degrees is 39 (10.2%), and the number of individuals with bachelor's degrees is 7 (1.8%). Based on these findings, it can be seen that the most common educational level among the local residents participating in the research is secondary education, while the least common is a bachelor's degree.

When it comes to the marital statuses of the participants, 251 individuals (65.4%) are married, 124 individuals (32.3%) are single, and 9 individuals (2.3%) are divorced. Based on these findings, it can be stated that the majority of the participants are married.



Fig. 1. Accommodation Facilities in Serik District, June 2023

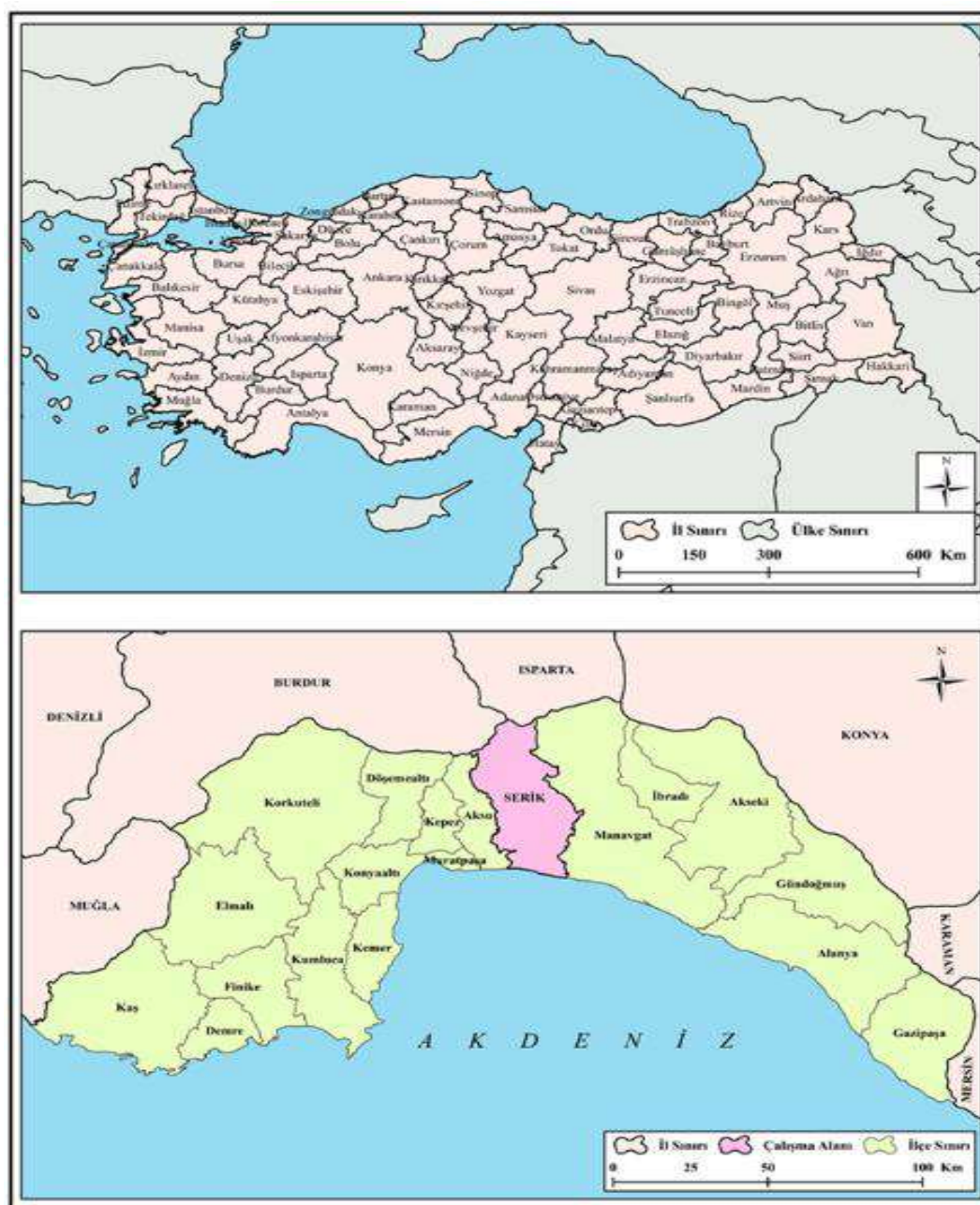


Fig. 2. Serik District Location Map

The analysis of the participants' occupations shows that 74 (19.3%) are farmers, 64 (16.7%) are retired, 56 (14.6%) are self-employed, 36 (9.4%) are workers, 30 (7.8%) are housewives, and 23 (6%) are civil servants. The rest of the participants from other occupational groups (such as tourist guides, lawyers, teachers, municipal officers, mechanics, bankers, accountants, drivers, police officers, cashiers, engineers, sales representatives, etc.) is 44 (11.5%) (see Table 1). As seen, the majority of the local participants work as farmers.

As can be seen, the number of individuals with no income is 87, the number of individuals with an income ranges from 3,500 to 5,000 TL is 37, the number of individuals with an income ranges from 5,001 to 7,500 TL is 79, the number of individuals with an

income ranges from 7,501 to 10,000 TL is 53, the number of individuals with an income ranges from 10,001 to 12,500 TL is 40, the number of individuals with an income ranges from 12,501 to 15,000 TL is 36, and the number of individuals with an income of 15,001 TL and above is 52.

Regarding the participants' ability to go on vacation in 2022 or earlier, it is observed that 212 individuals (55.2%) had the opportunity to take a vacation, while 172 individuals (44.8%) did not have the opportunity to go on vacation in 2022 or earlier. When examining the reasons why participants were unable to go on vacation in 2022 or earlier, it is observed that the three most influential factors are the perception of not being able to afford a vacation at the same level as foreign tourists, lack of sufficient



Fig. 3. Urban and Rural Neighborhoods of Serik District

funds, and accommodation issues. The three least influential factors are feeling tired of vacations, not having anyone to accompany them, and feeling unsafe. It is noteworthy that 55 participants strongly agreed and 55 participants strongly disagreed with the statement regarding their busy work schedule (see Table 2).

Of the participants who had the opportunity to go on vacation in 2022 or earlier, 128 individuals (60.4%) had the opportunity to go on vacation once a year, 38 individuals (17.9%) had the opportunity to go on vacation twice a year, 14 individuals (6.6%) had the opportunity to go on vacation three times a year, 4 individuals (1.9%) had the opportunity to go on vacation four times a year, 1 individual (0.4%) had the opportunity to go on vacation five times a year, and 28 individuals (11.8%) had the opportunity to go on vacation six times or more in a year (see Figure 4).

The analysis of the reasons for participants' vacations reveals that 94 individuals (44.3%) had vacations for entertainment, 6 individuals (2.8%) had vacations for health purposes, 10 individuals (4.7%) had vacations for adventure purposes, 9 individuals (4.2%) had vacations for cultural purposes, 11 individuals (5.2%) had vacations for business purposes, 37 individuals (17.5%) had vacations for visiting friends and relatives, 35 individuals (16.5%) had vacations for beach tourism, 1 individual (0.5%) had vacations for sports purposes, and 9 individuals

(4.2%) had vacations for other purposes such as relaxation, pleasure, tranquility, spending time in nature, honeymoon, or going to the highlands (see Figure 5).

Regarding the participants' companies in their vacations, it is observed that a total of 15 individuals (7.1%) had vacations with their families, 26 individuals (12.3%) had vacations alone, 63 individuals (29.7%) had vacations with their spouse and children, 28 individuals (13.2%) had vacations with friends, 26 individuals (12.3%) had vacations with their spouse, 42 individuals (19.8%) had vacations with relatives, and 12 individuals (5.6%) had vacations with other individuals (see Figure 6). It can be seen that the majority of the individuals had vacations with their spouse and children.

The analysis of the accommodation preferences of the participants shows that 46 individuals (21.7%) preferred staying with relatives, 35 individuals (16.5%) preferred staying in hotels, 35 individuals (16.5%) preferred staying in camping areas, 27 individuals (12.7%) preferred staying with friends, 19 individuals (9.0%) preferred staying in summer houses, 5 individuals (2.4%) preferred staying in guesthouses, 2 individuals (0.9%) preferred staying in timeshares, and 43 individuals (20.3%) preferred staying in the Kumköy pavilions in Aksu (see Figure 7). It is noteworthy to note that the participants chose primarily to stay with relatives and secondly opted

Table 1

Demographic Characteristics of the Local Population Participating in the Study

Gender	Frequency	%	Age	Frequency	%	Marital status	Frequency	%
Men	228	59,4	18-23	68	17,7	Married	251	65,4
Women	156	40,26	24-29	40	10,74	Single	124	32,3
Job	Frequency	%	30-35	51	13,3	Divorced	9	2,3
Farmer	74	19,3	36-41	54	14,1	Income	Frequency	%
Tradesman	56	14,6	42-46	42	10,9	Havent income	87	22,7
Officer	23	6,0	47-52	37	9,6	3.500-5.000	37	9,6
Housewife	30	7,8	53-58	34	8,9	5.001-7.500	79	20,6
Retired	60	16,7	59-64	27	7,0	7.501-10.000	53	13,8
Employee	36	9,4	65+	31	8,1	10.001-12.000	40	10,4
Student	57	14,8	Duration of residence	Frequency	%	12.001-15.000	36	9,4
Other	44	11,5	1-10	17	4,4	15.001+	52	13,5
Number of children	Frequency	%	11-20	66	17,2	Education	Frequency	%
No children	157	40,9	21-30	61	15,9	Primary	134	35,7
1	67	17,4	31-40	61	15,9	Secondary	140	36,5
2	78	20,3	41-50	75	19,5	High school	61	15,9
3	54	14,1	51-60	39	10,2	Associate's degrees	39	10,2
4	28	7,3	61+	65	16,9	Bachelor's degrees	7	1,8
Total number of participants in the research: 384								

for the Kumköy pavilions. It was observed that individuals living in Aşağıkocayatak, Yukarıkocayatak, Kayaburnu, and Çakkallık neighborhoods specifically preferred the Kumköy pavilions.

When it comes to the participants' priorities in vacation, it is observed that 42 individuals (19.8%) prioritize natural beauty of the location, 81 individuals (38.2%) prioritize affordability, 31 individuals (14.6%) prioritize quality of service, and 55 individuals (25.9%) prioritize proximity in terms of distance (see Figure 8).

When the data regarding participants' opinions on being able to have a vacation at the same level as foreign tourists are examined, it seen observed that 174 individuals (82.1%) believe they cannot have a vacation at the same level, while 38 individuals (17.9%) believe they can have a vacation at the same level (see Figure 9a). It is evident that the majority of individuals expressed their inability to have a vaca-

tion at the same level as foreign tourist. When the support received from various institutions and organizations for going on vacation is examined, it is seen that 14 individuals (3.6%) received support, while 370 individuals (96.4%) did not receive support. It is also noted that the majority of individuals who received support did not specify which program they benefited from. When the participants' perceptions of the adequacy of institutions and organizations supporting social tourism are analyzed, it is observed that 48 individuals (12.5%) found them sufficient, while 336 individuals (87.5%) did not find them sufficient (see Figure 9b).

When the participants' opinions regarding which group institutions and organizations should support for the purpose of enabling the local community to go on vacation are analyzed, the following results were obtained: 90 individuals (23.4%) expressed the need to support young people, 122 individuals (31.8%) ex-

Table 2

Reasons Why the Local Population Was Unable to Go on Vacations in 2022 and Earlier

	Absolutely I agree	I agree	I'm undecided	I do not agree	Absolutely I do not agree
Not being happy in social situations	19	20	18	18	97
Not having enough money	80	20	7	21	44
No vacation habits	47	23	20	29	53
Inappropriate program times	42	31	15	23	61
Health problems	24	21	-	35	92
Lack of facilities close to home	48	27	25	17	55
Transportation takes time	54	24	16	31	47
Intensive work/study time	55	23	13	26	55
The car lack of	34	20	5	29	84
Having no one to attend together	16	11	14	20	111
Having to make time for family	31	26	13	20	82
Not feeling safe	19	16	10	19	108
Giving a feeling of tiredness	23	15	9	10	115
Overcrowded facilities	17	13	14	23	105
Not liking the services offered	18	21	18	20	95
Not Knowing Destinations	33	16	22	32	69
Not Knowing What To Do	23	33	24	28	64
My friends/environment do not like to participate in such activities	24	15	39	24	70
Not wanting to disrupt the routine schedule	34	17	18	36	67
Hygiene conditions	27	23	40	25	57
Dominating the idea of not having a holiday at the same level as foreign tourists	90	23	22	6	31
Accommodation opportunity	68	20	19	18	47

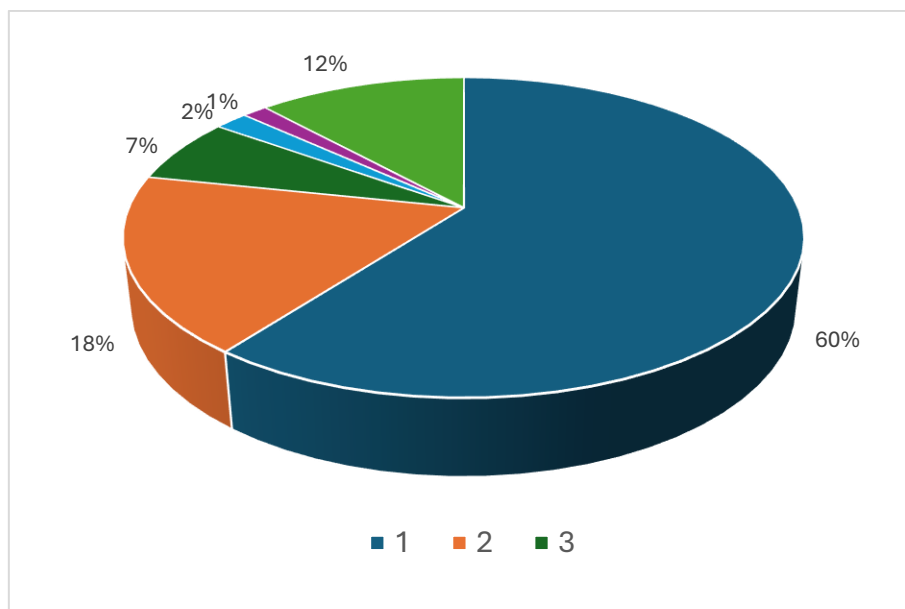


Fig. 4. Opportunities for the Local Population to Take Vacations per Year

pressed the need to support individuals without financial means, 26 individuals (6.8%) expressed the need to support disabled individuals, 31 individuals (8.1%) expressed the need to support the destitute, 25 individuals (6.5%) expressed the need to support individuals aged 65 and above, 27 individuals (7.0%) expressed the need to support children, 23 individuals

(6%) expressed the need to support the active (working) population, 4 individuals (1%) expressed the need to support divorced individuals with poor financial means, 5 individuals (1.3%) expressed the need to support divorced individuals with children, and 27 individuals expressed the need to support others (everyone, individuals who have not had the opportunity

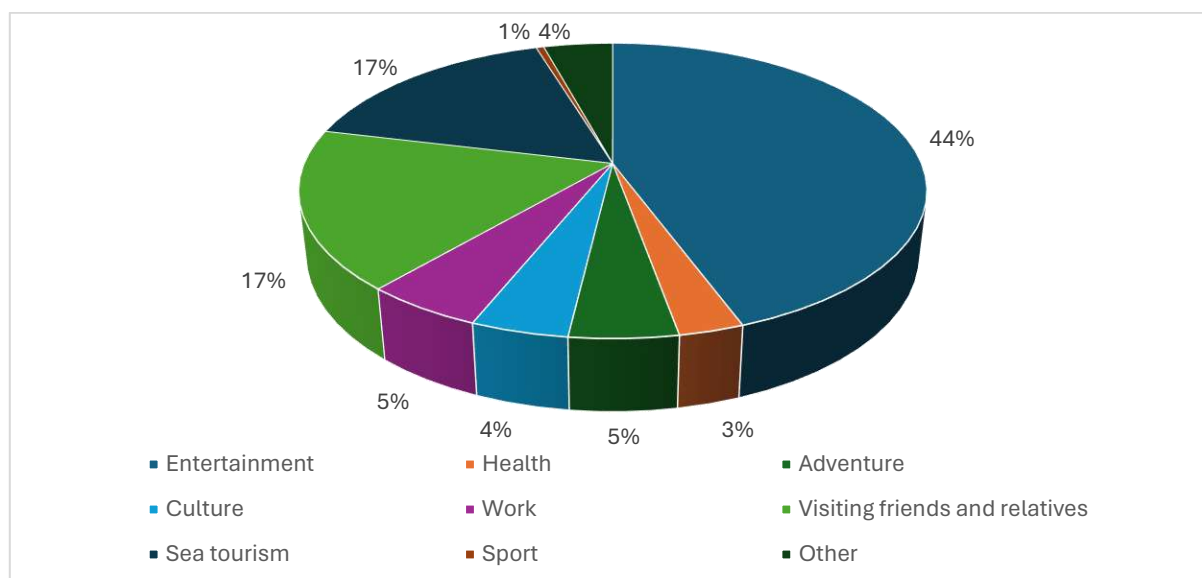


Fig. 5. Graphic Reasons Why the Local Population Takes Vacations

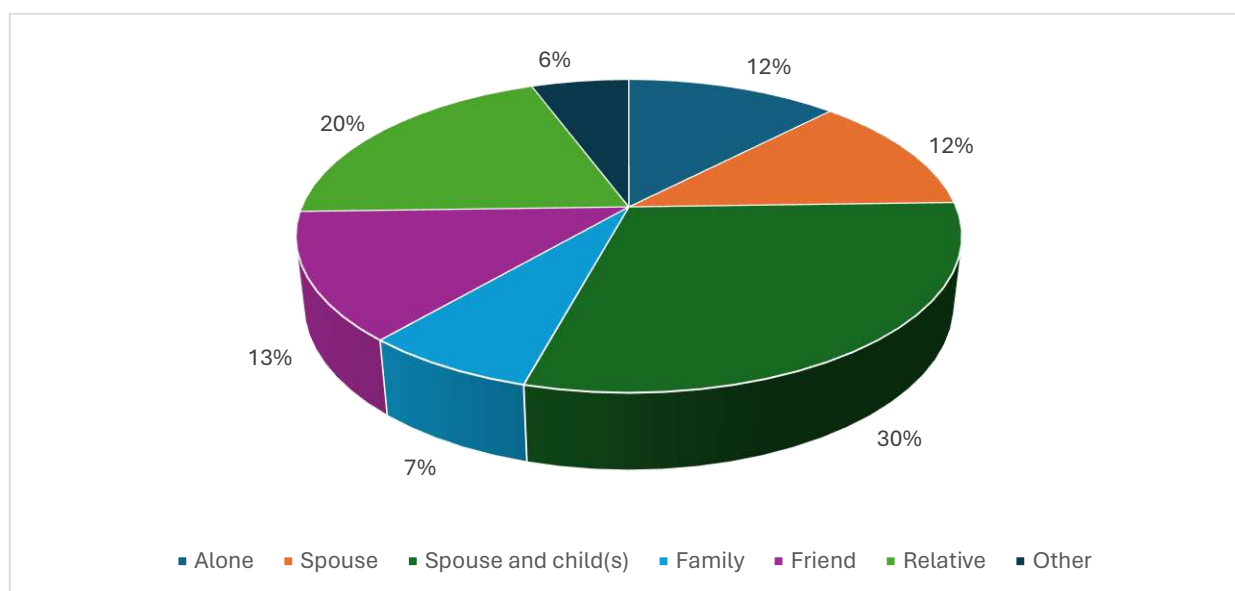


Fig. 6. Individuals with Whom the Local Population Spends Their Vacations

to vacation before, individuals who have had a regular job within the past year, newly married individuals who have not had the opportunity to vacation before, etc.) (see Figure 10). Individuals have expressed that support should primarily be given to those with limited financial means, followed by young people. However, it is suggested individuals who are divorced and have children should be supported the least.

In examining the opinions of individuals regarding which institutions and organizations should implement support and incentive policies to increase the participation rate in social tourism activities, it is observed that 197 individuals (51.3%) believe that the Ministry of Culture and Tourism should implement these policies. Additionally, 92 individuals (24%) think that municipalities should be responsible for implementation, while 27 individuals (7%) believe it

should be the duty of village heads. The opinion that the Ministry of Environment and Urbanization should be responsible for implementation is shared by 16 individuals (4.2%). Only 2 individuals (0.5%) think that Civil Society Organizations should implement these policies, while 17 individuals (4.4%) believe it should be the responsibility of the Ministry of Labor and Social Security. Furthermore, 13 individuals (3.4%) consider that the Turkish Travel Agencies Association should be in charge of implementation. The remaining 20 individuals (8.1%) expressed the view that other institutions and organizations (such as the Ministry of Youth and Sports, the government, all organizations, district governorships, etc.) should be responsible for implementation (see Figure 11). While it is observed that individuals primarily express that the Ministry of Culture and Tourism should be responsible for implementation, it is noteworthy

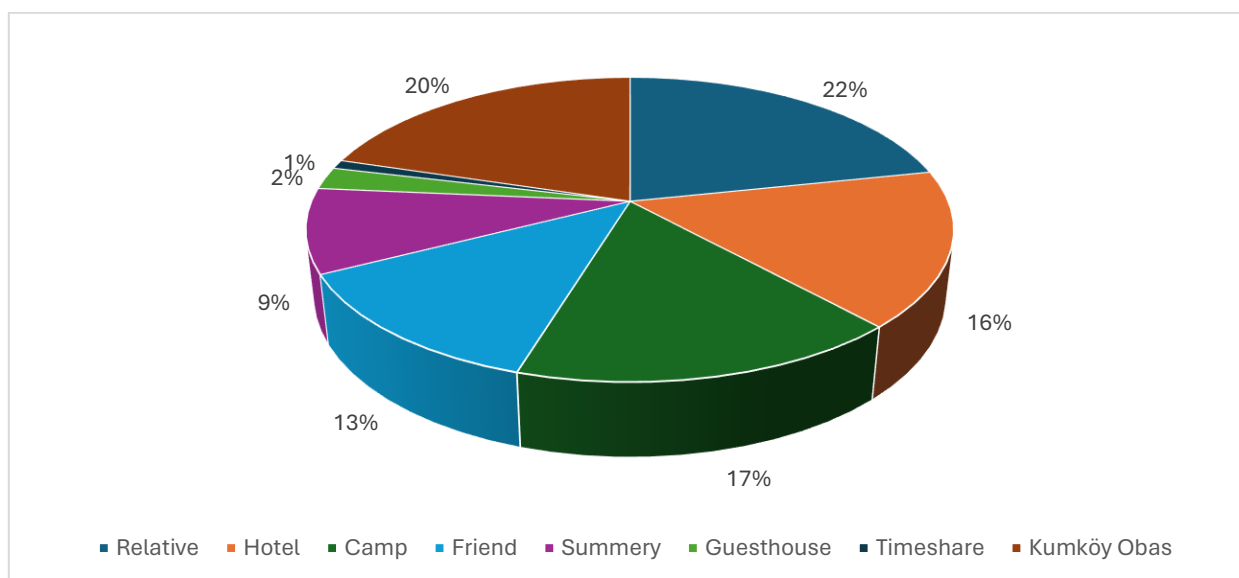


Fig. 7. Preferred Destinations for the Local Population's Vacations

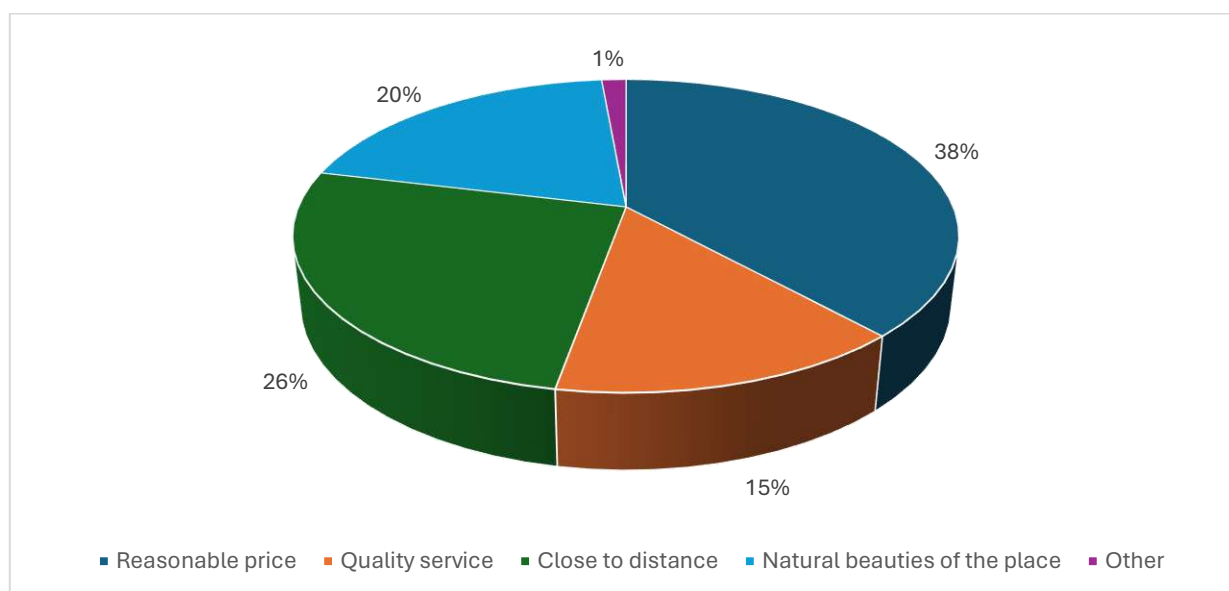


Fig. 8. Factors Influencing the Vacation Preferences of the Local Population

that they consider Civil Society Organizations to be the least involved. In contrast, in Europe, it is believed that social tourism participation rates can be increased through the efforts of Civil Society Organizations. Therefore, the views of the local community participants in the study, suggesting that Civil Society Organizations should have the least involvement, are intriguing.

In analyzing the opinions of the participants regarding the anticipated implementations to increase participation rates in social tourism activities, we observed that 70 individuals (18.2%) expressed the need for providing accommodation opportunities. 72 individuals (18.8%) believed that transportation expenses should be covered, while 120 individuals (31.3%) suggest providing cash support. Additionally, 45 individuals (11.7%) stated that specific villages or locations should be allocated for vacations,

with expenses covered by the government. 33 individuals (8.6%) propose the establishment of holiday participation centers, and 29 individuals (7.6%) believe that hotels should offer free holiday opportunities to disadvantaged individuals, ranging from 5% to 10% of their capacity. Furthermore, 15 individuals (3.9%) provided other responses, such as the idea of a holiday card, where a certain amount is deducted from individuals' salaries throughout the year under the title of a holiday support package, with financial support from the government at the end of the year. Other suggestions include a holiday tax, companies offering all-inclusive holiday opportunities to their employees on weekends, and more (see Figure 12).

The participants' opinions regarding their likelihood of applying if the government or social institutions in our country provide support for holiday purposes, it is observed that 311 individuals (81%) wo-

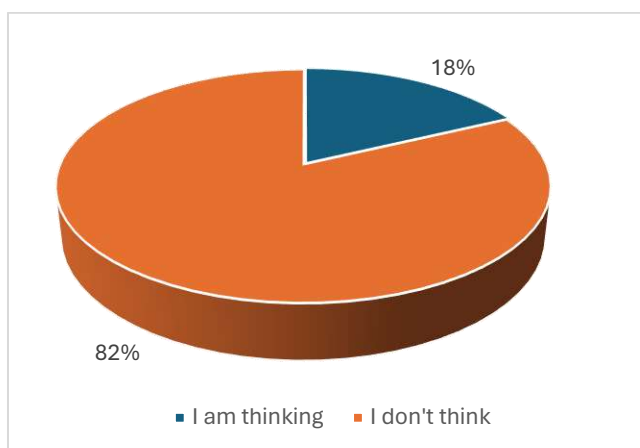


Fig. 9a. Opinions of the Local Population Regarding Their Ability to Take Vacations on Par with Foreign Tourists

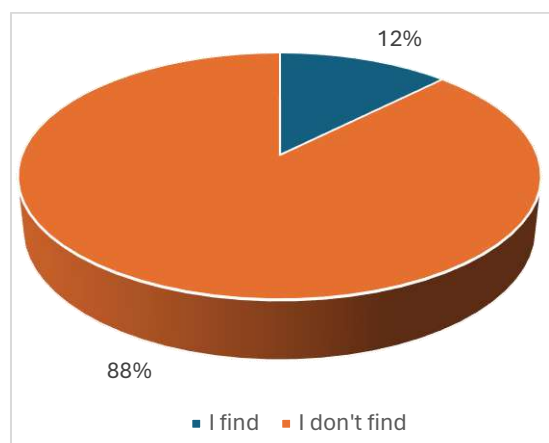


Fig. 9b. Local Population's Perception of Sufficient Institutions and Organizations Supporting Social Tourism

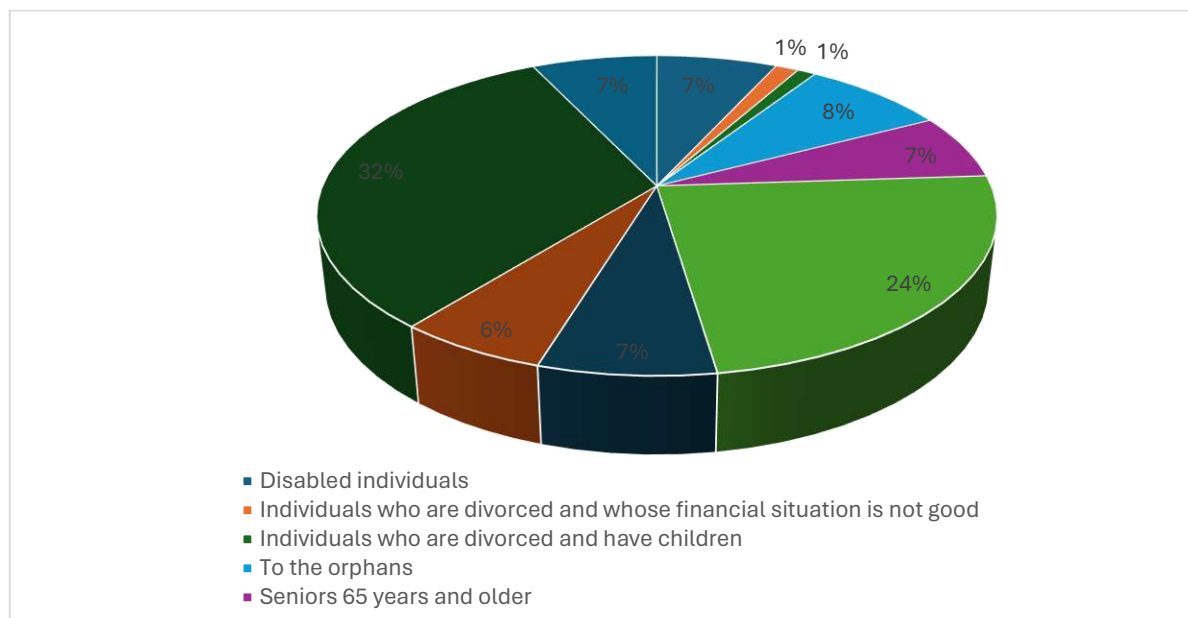


Fig. 10. Opinions of the Local Population Participating in the Study Regarding the Target Audience for Support from Institutions and Organizations for Vacation Opportunities

uld apply, while 73 individuals (19%) would not apply.

When the factors influencing the decision of local residents if the government or social institutions should provide support for holiday purposes is examined, it is observed that 4 individuals (5.5%) cited the factor of feeling ashamed, 1 individual (1.4%) mentioned not having someone to take care of their work in their absence, 25 individuals (34.2%) attributed it to their good financial means, 11 individuals (15.1%) expressed concern about the reactions of people when it becomes known that they received support, 7 individuals (9.6%) expressed fear of not being able to return to work or find a new job after taking a certain period of leave for a vacations, 11 individuals (15.1%) attributed it to not having a habit of going on vacations, there were also 5 individuals (6.8%) who mentioned other factors, such as concerns about po-

tential repayment requests in the future if they received support, prioritizing others with greater need (e.g., having two disabled children but believing that those in greater need should receive the opportunity), and expressing that they did not apply to allow young people to have the chance to go on vacation (see Figure 13).

Conclusion and Recommendations. Antalya province, which is among the most preferred destinations in Turkey by foreign tourists, hosted 13,508,628 tourists in 2022 [18]. According to a report by the World Tourism Organization, Antalya province has generated higher tourism revenue compared to the 39 countries classified under the European categorization [6]. However, within our research scope, it has been observed that 44.8% of the local population residing in both urban and rural areas of Serik district

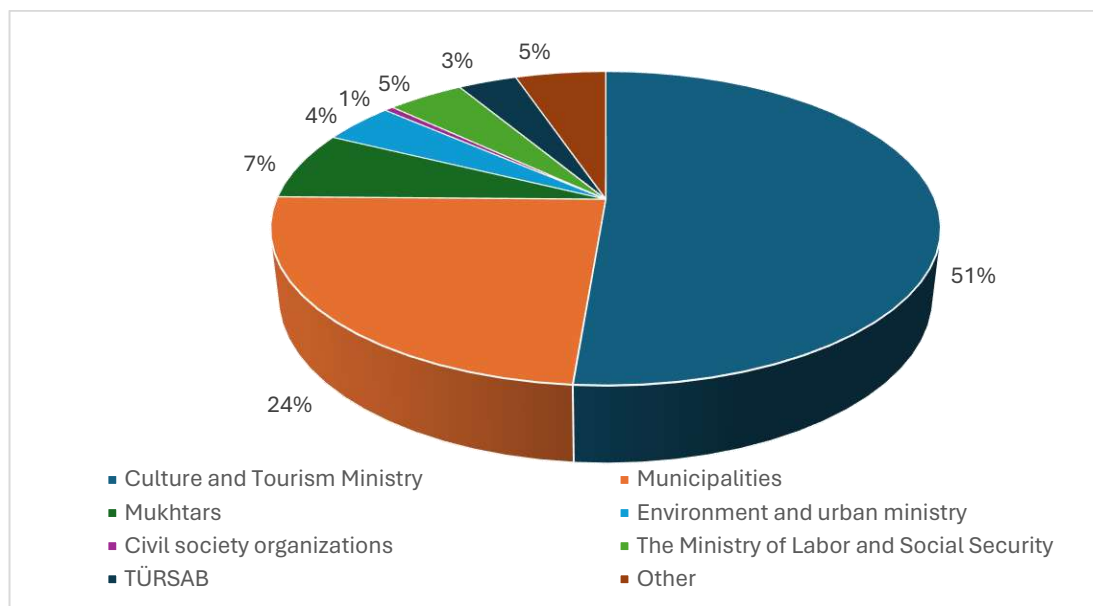


Fig. 11. Institutions that the Local Population Wants to Implement Support and Incentive Policies

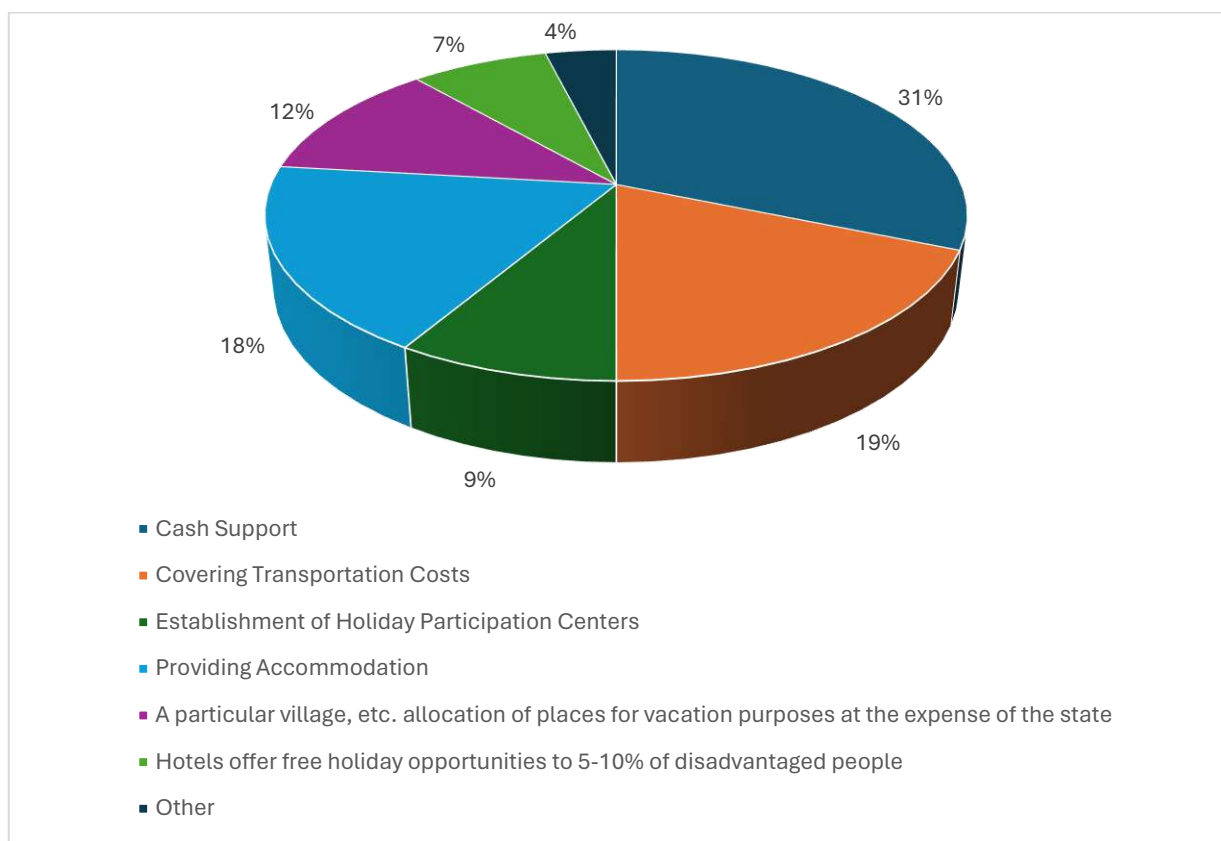


Fig. 12. Expected Practices to Increase the Participation Rate of the Local Population in Social Tourism Activities

did not have the opportunity to go on vacation in 2022 or in the previous years. Participants living in rural areas like Tekke, Yanköy, Hasdümen, and Dorumlar have limited vacation opportunities, whereas those in Orta, Çakallık, Yukarikocayatak, and Aşağıkocayatak neighborhoods have more chances for vacations. In this context, it is evident that the most significant factor influencing the participants' inability to go on vacation is financial insufficiency.

Therefore, the necessity of public and civil institutions and organizations supporting the local population with various holiday programs arises. In addition, it highlights the importance of supporting social tourism practices, as the most significant factor hindering participants who had the opportunity to go on vacation in 2022 and before from traveling today is also related to financial constraints. The existence of the social tourism facility established by TURBAN

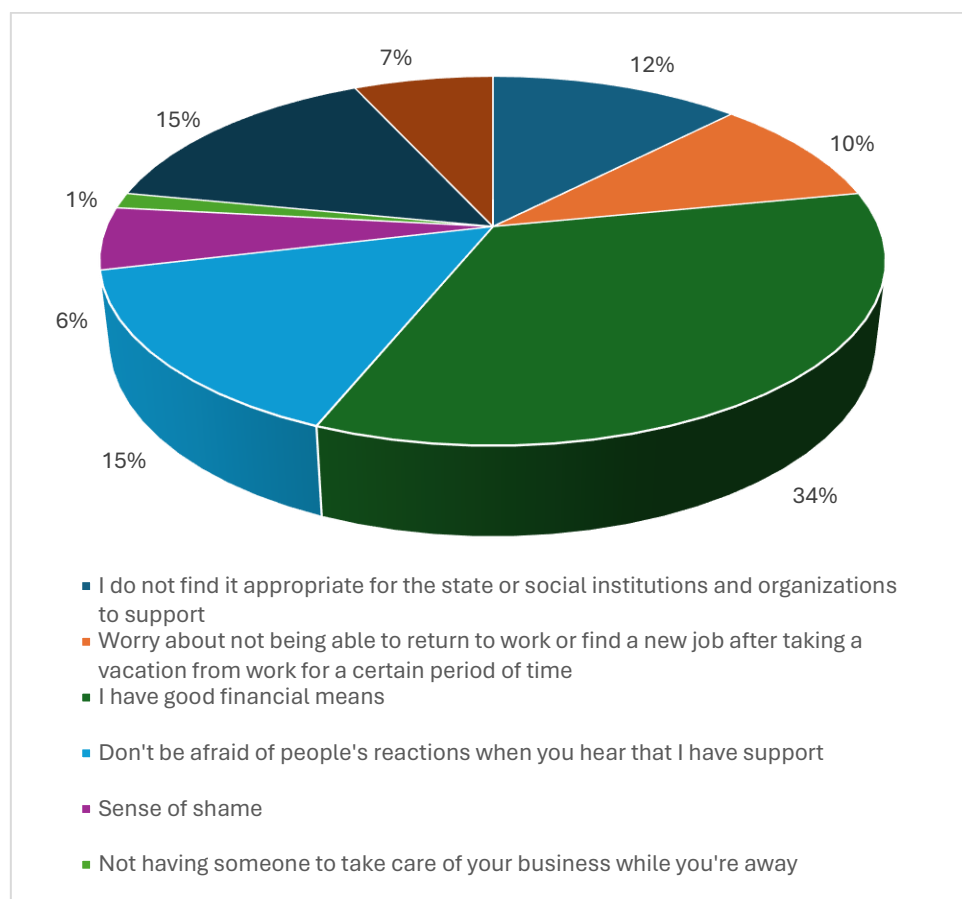


Fig. 13. Factors Influencing the Local Population's Decision Not to Apply for Support from the Government or Social Institutions for Vacation Purposes in Our Country

in Belek neighborhood of Serik district is of utmost importance; however, efforts should be made to increase their number [36]. In this way, the cost of accommodation, which is one of the factors causing concern among the participants, can be reduced, enabling the local population to have the opportunity to go on vacation. Because it has been observed that the participants generally allocate a budget ranging from 3001 to 5000 TL for a one-week vacation. Additionally, it's noteworthy that 8% of participants expressed an inability to allocate a vacation budget, which is significant for Serik district. Therefore, non-profit accommodation facilities, including various options such as social tourism centers and social tourism villages commonly implemented in Europe, can be built and made available to the local population. It has been observed that free accommodation activities play a crucial role in participants' engagement in tourism activities and their accommodation preferences. Consequently, individuals have predominantly opted for staying with relatives, followed by the preference for five-star hotels along the coastline in the Kumköy villages. It has been observed that individuals who engage in accommodation activities in Kumköy villages have a higher chance of visiting the Serik tourism region. In this context, in order to enable more indi-

viduals to participate in tourism activities, if support is provided by the government or social institutions and organizations for vacation opportunities in the research area, 81% of the participants would apply for such support. When the reasons for the 19% who would not apply were examined, it was found that the primary reasons are having good financial means, followed by the lack of a habit of going on vacation, and the fear of receiving negative reactions from people upon hearing about receiving support. Therefore, it can be stated that the lifestyle of the local community and environmental influences have a significant impact on individuals' preferences. In this context, it is important to inform the local population in order to enable their active participation in tourism planning and maximum involvement in social tourism activities. It should be remembered that the obstacles individuals face throughout their lives, or may face in the future, are not solely physical barriers but also hinder their ability to exercise fundamental rights. Therefore, efforts should be made at both local and national levels to promote equality, peace, tranquility, and, most importantly, to restore hope for individuals who have lost hope. Social tourism initiatives exemplify this effort.

References

1. Aghdam E.S., Kheirollahi A. and Niemets L.M. (2020). Perspectives of the tourism development in terms of water crisis (case study of Iran). *Visnyk of V.N. Karazin Kharkiv National University series «Geology. Geography. Ecology»*, (53). DOI: <https://doi.org/10.26565/2410-7360-2020-53-16>
2. Ak F. (2018). Natural and Cultural Tourism Resources of Serik District. Master's Thesis, Akdeniz University Institute of Social Sciences, Antalya.
3. Akoğlu T. (1971). *Tourism in the World and in Our Country*. Istanbul, 124.
4. Belek Tourism Investors Joint Venture URL: <https://www.betuyab.com.tr/en>
5. Çakir G. (2023). Attitudes of the Local Community towards Social Tourism in Serik (Antalya) District. Unpublished Master's Thesis, Akdeniz University Institute of Social Sciences, Antalya.
6. CNN TURK. URL: <https://www.cnntrk.com/yerel-haberler/antalya/serik/belek-bolgesi-2022de-1-milyon-757-bin-35-turist-agirladi-1883995>
7. Delen N. N., Sari C., (2022). Ecotourism Activities in Paris (France) and Ecotourism and Attitudes of Local People towards Ecotourism. In book: *Sosyal & Beşeri Bilimlerde Araştırma ve Değerlendirmeler – I*. Publisher: Yaşar Hiz. 153-188. URL: https://www.researchgate.net/publication/369371185_Ecotourism_Activities_in_Paris_France_and_Ecotourism_and_Attitudes_of_Local_People_towards_Ecotourism?enrichId=rgreq-8f455afd4468ad48be14bd2f1712a250-XXX&enrichSource=Y292ZXJOYWdlOzM2OTM3MTE4NTtBUzoxMTOzMTI4MTEyODE1MjQ2MUAXNjc5MzE0MDc0OTU4&el=1_x_2&_esc=publicationCoverPdf
8. Doxey, G. V. (1975). A causation theory of visitor-resident irritants: Methodology and research inferences. In *Travel and tourism research associations sixth annual conference proceedings* (3), 195-198.
9. Duymaz M., Temizel G. (2023). Social Tourism in the World and Turkey. *International Journal on Engineering Science and Technology* 4(3), 220-231. <https://doi.org/10.46328/ijonest.145>
10. Egorov D., Zinchenko I., Telebienieva I. (2018). Tourist Functions of Large Cities (Case Study: Kharkiv City, Ukraine). *The Journal of Social Sciences Research* ISSN(e): 2411-9458, ISSN(p): 2413-6670 Special Issue. 1., 165-170. DOI: <https://doi.org/10.32861/jssr.spi1.165.170>
11. Gökçe E.U., Toktay Y., & Arpat B. (2022). *Basic Guidebooks on Research Methods: An Introduction for Researchers*. Ekin Publishing, Ankara.
12. Hadimli H., Sari C., Yüksel M. (2022). Evaluation of Siirt local eating and drinking culture in terms of the potential for alternative tourism. *Euroasia Journal of Social Sciences & Humanities*, 9 (25), 112-133. <https://doi.org/10.38064/eurssh.359>
13. Hunziker W. (1951). *Social Tourism: Its Nature and Problems*. Geneva: International Tourists Alliance Scientific Commission, 110.
14. Jablonska J., Jaremko M., Timčák Gejza M. (2016). Social Tourism, Its Clients and Perspectives *Mediterranean Journal of Social Sciences* 7(3 S1), 42-52. DOI: <https://doi.org/10.5901/mjss.2016.v7n3s1p42>
15. Kar M., Zorkirışçi E., & Yildirim M. (2004). An Empirical Evaluation of the Contribution of Tourism to the Economy. *Akdeniz Journal of Economics and Business Administration*, (8), 87-112. URL: <https://dergipark.org.tr/en/download/article-file/1123232>
16. Kizilirmak İ., & Mugan Ertuğral S. (2012). The Role of Local Governments and Practices in the Development of Social Tourism. *Journal of Manas Social Research*, 1(2), 33-53.
17. Kosmachov, V., Kosmachova, M. (2021). Aesthetic-Remarkable Localities of Kharkiv Regionals Geotourism Objects. *Visnyk of V.N. Karazin Kharkiv National University series «Geology. Geography. Ecology»*, (54). DOI: <https://doi.org/10.26565/2410-7360-2021-54-05>
18. Manavgat Chamber of Commerce and Industry MATSO. URL: <https://www.matso.org.tr/haberler/manavgatin-turizm-geliri-28-ulkeden-fazla.html>
19. Manila Declaration on World Tourism. URL: <http://www.univeur.org/CMS/UserFiles/65.%20Manila.PDF>
20. McCabe S., i Qiao G. (2020). A review of research into social tourism: Launching the Annals of Tourism Research Curated Collection on Social Tourism. *Annals of Tourism Research* (Vol. 85). DOI: <https://doi.org/10.1016/j.annals.2020.103103>
21. McKercher B. (1993). Some Fundamental Truths about Tourism: Understanding Tourism's Social and Environmental Impacts. *Journal of Sustainable Tourism*, 1(1), 6-16. DOI: <https://doi.org/10.1080/09669589309450697>
22. Ministry of Culture and Tourism (2012). *Cultural and Tourism Data in Turkey 2002-2011*. Ankara.
23. Minnaert L. (2020). Stakeholder stories: Exploring social tourism networks. *Annals of Tourism Research* (Vol. 83). DOI: <https://doi.org/10.1016/j.annals.2020.102979>
24. Montreal Declaration (1996). Towards a humanist and social vision of tourism. URL: <https://isto.international/wp-content/uploads/2020/02/Declaration-Montreal-EN.pdf>
25. Niemets L., Kandyba Yu., Kobylın P., Kostrikov S., Dobrovolskaya N., Telebienieva Ie. (2021). Integral Assessment of Ethnic Tourism in Ukraine: Resource Provision and Regional Features. *Proceedings of the 37th International Business Information Management Association Conference (IBIMA)* (Cordoba, Spain). 2077-2083. URL: <https://u.pcloud.link/publink/show?code=kZnoamXZkmWu5WL4oKu11pUI7owucy5MxBfK#folder=9238065447&tpl=publicfoldergrid>
26. Niemets L., Sehida K., Krainiukov O., Kucheriava H., Pohrebyskyi T. (2019). Features of pilgrimage tourism in Ukraine (a case study of Uman). *Proceedings of the 34nd International Business Information Management Association*

- Conference (IBIMA) (Madrid, Spain). 509-515. URL: <https://ibima.org/accepted-paper/features-of-pilgrimage-tourism-in-ukraine-a-case-study-of-uman/>
27. Niemets L., Telebienieva I., Skryl I., & Pohrebskyi T. (2021). Peculiarities of local lore and tourist activity with pupil and student youth in Kharkiv region. *Human Geography Journal*, 30, 41-49. DOI: <https://doi.org/10.26565/2076-1333-2021-30-04>
 28. Niemets L., Telebienieva Ie., Scryl I., Kucheriava H., Kornus A., Kliuchko L. (2021). Current State of Child and Youth Tourism Development in Ukraine (Case Study of Kharkiv Region). *Proceedings of the 37th International Business Information Management Association Conference (IBIMA)* (Cordoba, Spain). 2083-2090. URL: <https://u.pcloud.link/publink/show?code=kZnoamXZkmWu5WL4oKu1IpUI7owucy5MxBfk#folder=9238065447&tpl=publicfoldergrid>
 29. Niemets L., Telebienieva Ie., Pohrebskyi T., Scryl I., Kucheriava H., Vasylevska Y. (2021). Peculiarities Of The Tourism Industry Development Of The Mediterranean And Aegean Coasts Of Turkey. *Proceedings of the 38th International Business Information Management Association Conference (IBIMA)* (Seville, Spain). 5941-5949. URL: <https://ibima.org/accepted-paper/peculiarities-of-the-tourism-industry-development-of-the-mediterranean-and-aegean-coasts-of-turkey/>
 30. Niemets, L., Sehida, K., Lohvinova, M., Kraynukov, O., Kliuchko, L. (2018) Rural Tourism in Ukraine: Peculiarities and Trends of Development. *Proceedings of the 32nd International Business Information Management Association Conference (IBIMA)* (Seville, Spain). 290-301. URL: <https://ibima.org/accepted-paper/rural-tourism-in-ukraine-peculiarities-and-trends-of-development/>
 31. Official Gazette, Law No. 5747 Metropolitan Municipality Law.
 32. Okumus F., Denizci-Guillet B., Tuna M., & Dogan S. (Eds.) (2023). *Social Tourism in National Policy Documents in Turkey*. (Vol. 3), 22. University of South Florida (USF) M3 Publishing <https://digitalcommons.usf.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=1286&context=m3publishing>
 33. Özdemir M., & Kervankiran I. (2011). Determining the Approaches of the Local Community Regarding Tourism and Its Effects: The Case of Afyonkarahisar. *Marmara Geographical Journal*, (24), 1-25.
 34. Rahmanov F., Letunovska N., Lyulyov O. (2020). Marketing of social tourism. *55th International Scientific Conference on Economic and Social Development*, 147-160. https://essuir.sumdu.edu.ua/bitstream-download/123456789/80939/1/Rahmanov_social_tourism_marketing.pdf;jsessionid=EDD143AEBDBFB510C37E3BC6D0814061
 35. Sari C. (2007). *Alternative Tourism Resources and Planning in Antalya*. PhD Thesis. Ankara University, Institute of Social Sciences, Ankara.
 36. Sari C., Çakir G., & Doğan B. (2022). Is Social Tourism Forgotten? Is the Sole Purpose of Tourism to Earn Foreign Currency? *Socrates Journal of Interdisciplinary Social Studies*, 8(24), 20-37.
 37. Sonuç N. (2016). *Social Tourism within the Scope of Sustainable Tourism - The Example of Izmir*. Doctoral Dissertation. Dokuz Eylül University, Institute of Social Sciences, Izmir.
 38. Sonuç N., Oral S. (2017). A sustainable approach to social tourism development: The case of İzmir city. *Journal of Tourism Theory and Research*, 3(1), 25-42. DOI: <https://doi.org/10.24288/jttr.279177>
 39. Turkish Statistical Institute. URL: <https://www.tuik.gov.tr/>
 40. Türkseven İ. (2022). *A Proposed Demand-Oriented Incentive Model for Developing Social Tourism*. Graduate School of Applied Sciences, Sakarya University, Sakarya.
 41. Usta Ö. (1982). *Social Tourism*. İzmir: Yaşar Education and Culture Foundation Publications, No: 12.
 42. Usta Ö. (2014). *Tourism: General and Structural Approach*. (4th ed.). Ankara: Detay Publishing.
 43. Yılmaz İ., Yeksan Ö., & Toprak L.S. (2019). Perceptions of the Local Community Regarding the Impacts of Tourism: Content Analysis of Studies Conducted in the Eastern and Southeastern Anatolia Regions. *Tourism Research, Paradigma Akademi*, Istanbul.

Authors Contribution: All authors have contributed equally to this work.

Особливості залучення місцевої громади у розвиток соціального туризму (кейс району Серік, Анталія, Туреччина)

*Джемалі Сарі*¹

д. геогр. н., професор кафедри географії,
¹ Університет Акденіз, Анталія, Туреччина,

*Катерина Сегіда*²

д. геогр. н., професор, кафедра соціально-економічної географії
і регіонознавства імені Костянтина Немця,

² Харківський національний університет імені В. Н. Каразіна, Харків, Україна,

*Гамзе Чакір*¹

магістр географії, асистент кафедри географії,

*Євгенія Телебєнєва*²

к. геогр. н., доцент, кафедра соціально-економічної географії
і регіонознавства імені Костянтина Немця

Туристична діяльність показала перехід від привілейованих осіб з високою купівельною спроможністю до осіб з нижчим рівнем доходу, туристична діяльність перестала сприйматися як розкіш і почала розглядатися як соціальна потреба, що призвело до збільшення кількості осіб, які беруть участь у туристичній діяльності, збільшення їхніх доходів. Поряд з високим економічним потенціалом, туризм має важливе соціальне значення, а саме забезпечує відновлення життєвих сил людини, витрачених у процесі праці, сприяє духовному й інтелектуальному розвитку особистості, тим самим підвищуючи якість трудових ресурсів. Орієнтація на розвиток туризму з огляду на засади стійкого розвитку, із розумінням необхідності розвитку соціального туризму та сприяння підвищення рівня та якості життя населення, забезпечення доступності для усіх верств населення не втрачає своєї актуальності та необхідності впровадження науково-обґрунтованих ініціатив та заходів, що мають базуватися на конкретних результатах досліджень, у першу чергу – географічних. Для розуміння можливостей та перешкод розвитку соціального туризму важливими лишаються питання: Яке ставлення місцевого населення до інтенсивного розвитку туризму у регіоні проживання? Якою є залученість місцевого населення до туристичної діяльності? З якими проблемами зустрічається місцеве населення при організації дозвілля? Які перешкоди, виклики та можливості щодо організації соціального туризму? Метою статті є спроба визначення особливостей участі місцевої громади та визначення чинників, що впливають на участь місцевої громади в туристичній діяльності в районі Серік, одному з значущих туристичних місць у провінції Анталія, її залучення до соціального туризму з огляду на необхідність стійкої та доступної туристичної діяльності. У цьому контексті було застосовано якісний та кількісний метод дослідження та проведено особисте опитування методом випадкової вибірки в період з грудня 2022 року по квітень 2023 року, охопивши загалом 466 учасників. З них 33 опитування було використано для пілотного тестування, а через неповні дані 384 опитування було введено в програмний пакет SPSS для аналізу. Згідно з висновками, було виявлено, що 44,8% місцевої громади, яка проживає в міській та сільській місцевостях району Серік, не мали можливості поїхати у відпустку у 2022 році або раніше. Тому вважається необхідним максимально інтегрувати діяльність соціального туризму в планування туризму для місцевої громади. Встановлено, що найбільш значущим фактором, який впливає на нездатність учасників поїхати у відпустку, є матеріальні складнощі, відповідно, існує необхідність у підтримці громадськими та громадськими установами та організаціями місцевого населення програмами та заходами відповідного спрямування.

Ключові слова: географія туризму, соціальний туризм, місцева громада, стійкість, доступність, Серік, Анталія, Туреччина.

Внесок авторів: всі автори зробили рівний внесок у цю роботу

Надійшла 27 червня 2023 р.
Прийнята 16 серпня 2023 р.

Сучасне ландшафтознавство перед викликами Постмодерну

Юліан Тютюнник

д. геогр. н., професор, в.о. завідувача лабораторією біоіндикації
Національного ботанічного саду імені М.М. Гришка НАН України,
вул. Тимирязівська, 1, Київ, 01014, Україна;

e-mail: yulian.tyutyunnik@gmail.com;  <http://orsid.org/0000-0002-1621-6362>

Ландшафтознавство сьогодення перебуває у стані переходу до нового історичного етапу – епохи Постмодерну. Цей перехід не є «науковою революцією» в розумінні Т. Куна, а спряжений зі змінами більш глибокими, що торкаються самих основ раціонального світосприймання, наукового світопояснення і цілепокладання у сфері наукової діяльності – змінами, котрі мають екзистенціальний і метафізичний характер, пов'язаними з трансформаціями самого історичного процесу у загальнопланетарному масштабі. Вельми актуалізуються напрямки з вивчення таких ландшафтних об'єктів і феноменів, які науковій думці Нового часу, епосі Модерну були методично, епістемологічно, екзистенціально недоступні і ландшафтознавством ХХ ст. здебільшого ігнорувалися (амбівалентні культурні ландшафти, соціально-дегустовані ландшафти, антиландшафти, ландшафтоїди та ін.). Глибинні зміни в методології ландшафтознавства, яке вступило в епоху Постмодерну пов'язані також із входженням в науковий дискурс парадоксу, протиріччя, абсурду – як об'єктивної, невід'ємної складової самого ландшафту, так і органічних операторів наукового мислення. Одним з наріжних і вже ясно помітних емпіричних викликів сучасному ландшафтознавству є формування нової – віртуальної – ландшафтної реальності, що створюється штучним інтелектом. У відношенні філософських та методологічних підвалин ландшафтознавство сьогодення стрімко рухається до асиміляції метафізичних і дискурсивних систем, непритаманних новоєвропейському мисленню, але на протязі віків характерних для світопояснювальних системи інших культур людства. Наприклад величезний ландшафтознавчий потенціал має поняття «Марення» корінної австралійської цивілізації аборигенів. Потрібно також позбутися новоєвропейської зверхності по відношенню до способів наукового і квазинаукового світопояснення європейськими дискурсами від античності до 16-го ст. і надати їм рівні методичні й методологічні права у науці Постмодерну, в т.ч. ландшафтознавчій. В цілому, майбутні зрушення матимуть фундаментальний метафізичний характер, що має примусити людину до кардинального перегляду свого місця і власної ролі в ландшафтній обolonці та в історії.

Ключові слова: ландшафтознавство, Постмодерн, Модерн, складність, екзистенціалізм, метафізика, мультикультуралізм, мультиісторизм.

Як цитувати: Тютюнник Юліан. Сучасне ландшафтознавство перед викликами Постмодерну / Юліан Тютюнник // Вісник Харківського національного університету імені В. Н. Каразіна, серія «Геологія. Географія. Екологія», 2023. – Вип. 59. – С. 237-248. <https://doi.org/10.26565/2410-7360-2023-59-17>

In cites: Tyutyunnik Yulian (2023). Modern landscape science before the challenges of Postmodernism. Visnyk of V. N. Karazin Kharkiv National University, series "Geology. Geography. Ecology", (59), 237-248. <https://doi.org/10.26565/2410-7360-2023-59-17> [in Ukrainian]

Зазвичай, коли розпочинають мову про ті чи інші новації в науці, особливо з епітетом «кардинальні», згадують Томаса Куна з його теорією наукових революцій і змін парадигм. І це вірно. Але до певної межі. Більш розлогі у часі економічно-формаційні та культурно-історичні періоди, в котрі включені науково-філософські, методологічні, методичні інтенції, в контекст «наукових революцій» Куна вміщуються вже тільки відносно і умовно. При зміні довгих історичних етапів розвитку філософії, науки і техніки, мову краще вести вже не про «наукові революції», а про докорінні трансформації дискурсу, екзистенціальних і формаційних умов інтелектуальної активності, світоглядних підвалин наукового мислення як такого. Обмежуючись Європою, історики науки виділяють три великих історичних етапи культурно-наукового поступу: наука Античності, наука Середньовіччя і наука Нового часу (в якій можна розрізняти «підетапи»: наука епохи Просвітництва і наука часу Модерну). До цього ряду іноді додають протонауку (до Античності) і науку стану Постмодерну, яка формується зараз. Звичайно, ланд-

шафтознавства це теж стосується.

Деякі спроби «нового» ландшафтознавства. В Україні в 1990-ті рр. дехто з вітчизняних ландшафтознавців, враховуючи і автора цієї статті, намагався обґрунтувати так зване *постнекласичне ландшафтознавство* (в контексті популярного на той час поняття постнекласичної науки). І хоча про постнекласичний напрямок у ландшафтознавстві в 2000-х рр. було сказано навіть в одному з підручника [3], успішним проект «постнекласичне ландшафтознавство» вважати не можна: насамперед, через компілятивність методології і емпіричну та онтологічну слабкість обґрунтування власних об'єктів дослідження. Пізніше, в 2010-х роках, в російськомовній географії була запропонована концепція так званого *неоландшафтознавства* [24]. Вона була зорієнтована, насамперед, на поглиблення і розширення в ландшафтознавстві формальних і формалізованих методів («точних», «кількісних», «системних», «інформаційних», «геоматичних» тощо). Вважається, що формалізація ландшафтознавства відкриває в ньому якісь «небачені» раніше якості, котрі

мають вивести науку на новий щабель руху у майбутнє (на цьому наполягають такі сучасні фізико-географи, як І.С. Круглов [9], В.В. Сисуєв [17], О.К. Черкашин [25] та ін.). Між іншим формалізаційна «новизна» призводить до того, що старий добрий «ландшафт» зникає з термінології, і замінюються різноманітними словосполученнями з провідною лексемою «система» (найпопулярнішими є «гео-», «еко-» і «геоекосистема», але дериватів тут безліч). На протилежному боці – ландшафтознавці-гуманітарії. В їхніх розробках принципово не формалізуємі методи герменевтики, феноменології та екзистенціалізму «підводять» ландшафтознавство до стану такої собі «постгеографії» [7], про яку взагалі важко сказати, що це таке...

Вимога до ландшафтознавства «стану постмодерну». З нашої точки зору, якщо ландшафтознавство хоче претендувати на статус «стану постмодерну» (Ж.-Ф. Ліотар [31]), то воно має не «поглиблювати» об'єкт, предмет, метод, сформовані в рамках науки Модерну (класичне ландшафтознавство, як наука, постало саме з настанням епохи Модерну), а накинути оком на такі ландшафтні об'єкти і феномени, які в контексті Модерну виносилися за межі географічного осмислення, або банально ще не постали, не сформувалися, не сформулювалися. Такий підхід і є тим, що у заголовок статті винесено, можливо дещо епатанним, але, як на мене, доволі точним поняттям «виклику». Перед ландшафтознавством часу постмодерну з кожним роком все рельєфніше і рельєфніше постають «чудернацькі» об'єкти, котрі вимагають не менш «чудернацьких» методик вивчення, і кінець кінцем саме поняття «вивчення» потребує епістемологічного переосмислення. Спробуємо в статті окреслити такого роду об'єкти і дещо сказати про переосмислення методу. Звичайно ні на яку «повноту викладення питання» ми не претендуємо, стаття – так би мовити, шкід певних точок проростання ландшафтної географії у стану постмодерну. А як воно буде далі – покаже час.

Для спрощення викладу відштовхнемося від гарно всім знайомої категорії *культурного ландшафту*, і поглянемо, яких трансформацій культурний ландшафт зазнає у стані постмодерну через переакцентуацію і переінтерпретацію поняття самої *культури*.

Зауваження щодо культурології. Зазвичай

географи, оперуючи категорією культурного ландшафту, явно чи не явно користуються лише одним «різновидом» поняття культури, згідно якому остання є властивим тільки людині, видом діяльності і активності, котрий спричиняє прогресивне, з покоління в покоління нагромаджене *примноження інформації* за допомогою штучних кодів, знаків і символів *н е б і о л о г і ч н о ї п р и р о д и*. Але в культурології присутні й інші, ближчі до психоаналітичних, трактування культури, згідно яким остання є своєрідним етичним і моральним – на рівні кантівського *к а т е г о р и ч н о г о і м п е р а т и в у* (багато в чому ірраціонального) – механізмом запобігання та стримування підсвідомих форм деструктивної поведінки людини як біологічного виду, зокрема слугує для нівелювання проявів *зоологічного індивідуалізму*, що є вкрай руйнівними для соціальності, соціуму, історії як таких. Нижче ми будемо спиратися на обидва трактування культури, але без чіткої розстановки акцентів (що лише ускладнило б і без того не простий виклад предмету).

Екзистенціально-класова амбівалентність культурного ландшафту. Самим простим парадоксом культурного ландшафту, який за рамки логіки Модерну не виходить, але тим не менш неохоче в цих рамках географами розглядається, «виписуючись» здебільшого в контекст радикальної географії, є *екзистенціальна-класова амбівалентність культури* як такої, а значить і культурного ландшафту як її продукту: можна говорити про *амбівалентний культурний ландшафт*¹. Тут можна було би послатися на інтерпретації класичного марксизму, котрі були такими розповсюдженими в ХХ ст. і склали левову частину теорій *радикальної географії*, якби не одне «але». Культура марксизму так і не створила культурний ландшафт, який би відповідав його теоріям і був би позбавлений тієї самої екзистенціально-класової амбівалентності, проти якої марксизм так завзято виступав. «Соціалістична культура» наробила лиха у ландшафтній сфері не менше, аніж «капіталістична», створила або амбівалентні культурні ландшафти, або дуже своєрідні *ландшафти соціальних утопій*, котрі після краху марксизму швидко трансформувалися в особливий різновид *руїни ландшафтів* – *ретро-футуристичні* [8, 21, 30]. Марксизм не запропонував вирішення

¹ Не занурюючись у довгі теоретичні пояснення, частково викладені в [18], на конкретному прикладі роз'яснемо, що саме ми маємо на увазі під словосполученням «амбівалентний культурний ландшафт», притримуючись непопулярного сьогодні, але нікуди не зниклого радикально-географічного класового підходу. Ландшафт садово-паркової перлини України – уманської «Софіївки» несе в собі два інформаційних – за Ю.О. Веденіним – шари. Перший очевидний і той, який робить «Софіївку» ландшафтно-архітектурним шедевром: вона – зразок мистецтва паркобудівництва, створений генієм Людвіга Метцеля за гроші С.-Щ. Потоцького. Другий – «зворотний

бік місяця», який в інформаційному шарі ландшафту «Софіївка» присутній також. В ньому присутні два моменти: а) пересиченість і збоченість побутування правлячих класів – шляхти, що відбилось в трагічному коханні й сімейному житті Станіслава Потоцького (історичні факти щодо цього легко знайти в численних публікаціях, в т.ч. і в Мережі); б) каторжна і смертельно небезпечна праця кріпаків Потоцького, які на будівництві «Софіївки» гинули сотнями (це теж відомі історичні факти). Тож «Софіївка» – пам'ятка, з одного боку, садово-паркового мистецтва; з іншого, – збоченого гедонізму правлячих класів і трагічній долі підневільного закріпаченого люду.

проблеми екзистенціально-класової амбівалентності культурного ландшафту, а лише переакцентував і замаскував її. Та й не міг він цього зробити, оскільки його філософія і практика за рамки проекту «Модерн» не виходили. А значить феномен екзистенціально-класової амбівалентності культурного ландшафту передається у спадок ландшафтознавству епохи Постмодерну.

Соціально-девастровані ландшафти. Це – осельні ландшафти, які призначені не стільки для існування людини, скільки для більш або менш швидкого її вмирання; не для насолоди життям, а для страждання; не для любові, а для ненависті. В свій час вони теж були в центрі уваги радикальних інтенцій ландшафтної географії. Але час марксизму пройшов, а радикалізм сьогоденної географії змінився на маніакально-грантовий прагматизм. Соціально-девастровані ландшафти представлені сельбищними ландшафтами маргінальних і безталанних прошарків класового суспільства: бідонвілі; фавели; трущоби; смітники, заселені безхатьками²; мікрорайони-нетрі злочинців, повій, наркоманів; села алкоголіків, одним словом, місця, де концентрується людське горе, нещастя, злидні, зло, хвороби і смерть. Це – ландшафтні втілення основної тези екзистенціалізму «життя заради смерті», причому в буквальному сенсі. Це – ландшафтні втілення абсурду, теж ключової категорії екзистенціалізму. Примножується географічний абсурд ландшафтів-гніздилищ людського горя ще й тим, що вони сьогодні набули популярності в індустрії туризму і туристичних шоу («пошуки пригод») [10]. Це вже відвертий цинізм. Спостерігати, смакуючи і прагнучи пригод, осельні місця горя, страждання, злочину – верх *ірраціональності* і *збоченості*. Ландшафтознавці від соціально-девастрованих ландшафтів прагнуть триматися подалі, оскільки вони є небезпечними об'єкти дослідження і в прямому і в переносному сенсі. Соціально-девастровані ландшафти вимагають таких методик дослідження, які можуть каменю на камені не залишити від струнко-красивих теоретичних конструкцій культур-ландшафтознавства, чи там такої собі конструктивної географії...

Лагерний ландшафт, продукування смерті та аберація простору. Соціально-девастровані ландшафти є *мортальними*, але не *авітальними*, вони призначені для буття до смерті, але вони не продукують смерть як таку. Наступний різновид антропогенного ландшафту призначений саме для продукування смерті – *лагерні ландшафти*. Термін ввів культуролог Ю.П. Гусев [4], позначивши ним сельбищний авітальний ландшафт

Освенциму. Нема потреби повторювати, що це за місце. Але Гусевим помічені незвичайні властивості лагерного ландшафту, абсолютно непритаманні будь-яким ландшафтам інших типів і різновидів, що виникли в лоні чи то культури чи то її цілковитого відкидання³. Першою такою властивістю є те, що сельбищний ландшафт Освенциму, запрограмований на продукування смерті, мав ознаки ландшафтно-архітектурної впорядкованості і доглянутості. Це може здаватися цілковитим абсурдом, але в естетизації ландшафту Освенциму була своя диявольська логіка, оскільки германський нацизм-гітлеризм позиціонував сам себе як своєрідну естетизацію політики, як «націонал-естетизм» [11, с. 140]. Традиція зловісної витонченої естетизації фізичного насильства впритул до вбивства – це «надбання» новоевропейської модернової філософії. Її коріння можна бачити в «художніх концепціях» Донасьєна Альфонса Франсуа («маркіз де Сад»), Томаса де Квінсі («вбивство як різновид мистецтва»), та інших подібних «естетів». «Затишність» сельбищного ландшафту Освенциму вимушує його мешканців шукати в ньому прихисток, ментально переміщуючи, як показує Гусев [4, с. 183], місце пекла з землі на небо: цілковита екзистенціальна і топологічна аберація – інверсія простору!

Освенцим та інші нацистські табори смерті, як ландшафтне явище, не самотні. Культурологи і філософи вбачають авітальність і монструозну аберацію простору також в лагерних ландшафтах ГУЛАГ'у [4; 13]. Сюди можна додати і різновиди авітальних ландшафтів, які, можливо, й не мають зовнішніх рис концентраційних таборів, наприклад, ландшафту вигаданого Андрієм Платоновим міста Чевенгур, або зовсім не вигадані сельбищні ландшафти сільськогосподарських комун «червоних кхмерів». За моделлю лагерного ландшафту може створюватися просторова організація цілих країн: Північна Корея сьогодні – типовий приклад. Оскільки авітальні сельбищні ландшафти, позбавлені однієї з найголовніших властивостей ландшафту – бути колискою життєдайності, їх цілком правомірно трактувати як своєрідні ландшафтні осередки, місця концентрації абсурду, а ця «штука» в конструктивні парадигми новоевропейського мислення не вкладається ніяк. Навпаки Просвітництво тому і просвітництво, що оголосило абсурду нещадний бій. Звичайно, це непогано і такою має бути фундаментальна вимога до наукового мислення. Але ж в практичному сенсі кінцевого історичного результату ідеали Ренесансу і Просвітництва не досягли: гуманізм і раціоналізм, побудовані на науковому

² І не лише. Дослідники Арктики показали, що у якості територій, котрі використовуються для селітби, смітники «освоює» ціла етнічна група – корінний народ російської півночі – ненці [16].

³ Останній момент впливає з відомого твердження-запитання Теодора Адорно, зробленого ним в роботі «Негативна діалектика»: а чи взагалі можлива після Освенциму культура як така? [27].

знанні і на вихованні а ні на протязі Нового часу, а ні у стані Постмодерну, в який ми вступили, базисом для розвитку цивілізації так і не стали, максимум – конкурентоспроможною силою історичного поступу. Більш того, у зв'язку з отриманням людиною в руки вкрай руйнівних для оточуючого середовища і для неї самої технологій у різних областях суспільної діяльності, абсурд історії в часи пізнього Модерну набув надзвичайно небезпечних форм.

Антиландшафт, провали простору. Поняття *антиландшафту* застосовано В.Л. Каганським по відношенню до урболандшафту російського міста Арзамас-16, сьогодні – Саров [8]. Тут теж продукується смерть, причому в масштабах непорівнянних навіть з лагерним ландшафтом Освенциму. Тут вироблялися (виробляються і сьогодні?) атомні бомби. Культура тут підмінена культом – культом атомної бомби, що є *культулою* як такого. Але завдяки саме цьому культові населення зачиненого «атомного» міста парадоксальним чином побутує чи не в ідеальному урбанізованому середовищі. Ступінь економічної, соціальної⁴, архітектурно-містобудівної, і навіть урбоекоекологічної «ідеальності» урбанізованого антиландшафту Арзамасу-16 незрівнянна з тими кволими натяками на ландшафтно-архітектурні і дизайнерські прикраси які німці використовували в опорядженні сельбищного ландшафту Аушвіцу. Екзистенціальний розрив між формою і сутністю антиландшафту атомного міста колосальний, можливо, найвищий у ландшафтній оболонці (оскільки подібні міста існують для того, щоби виробляти засоби знищення в с і є ї л а н д ш а ф т н о ї о б л о н к и). Каганський вказує, що урболандшафт Арзамасу-16 – це “ландшафтна аномалія”, в якій “не діє основний закон ландшафту – позиційний принцип, згідно якому розмір, сенс, зв'язки, функції місця узгоджені з його положенням у просторі” [8, с. 218]; цей урболандшафт – “в повному і точному сенсі утопія, що означає нідєня, безмісцевість, місце, якого немає як місця і де немає місця-простору” [8, с. 219]. Як бачимо, це вже нова якість трансформації місця навіть у порівнянні з інверсіями його «верху» і «низу» в лагерному ландшафті. Науково-технічна культура в антиландшафті, незважаючи на його зовнішній лоск, перетворюється на свою протилежність, науково-технічний прогрес спрямовується на видобуток найпотужніших способів знищення і культури, як такої, і ландшафту – і інтегрованого в культуру, і неінтегрованого в неї. Звичайно це стосується, не лише Сарова, а всіх «ідеальних» закритих міст, де виготовляється зброя масового

знищення, я сказав би – *ландшафтоциду*.

Ландшафтоїд. Якщо культуру у її диявольській трансформації в свою протилежність не обмежувати науково-технічною складовою, то від антиландшафту неважко перейти до об'єкту, який нами був названий *ландшафтоїдом* [18]. Він на «красивий» антиландшафт зовсім не схожий, але з антиландшафтом його об'єднує г л и б и н а д е г р а д а ц і ї к у л ь т у р и, котра обумовлює виникнення і морального лагерного, і авітального антиландшафту, і ландшафтоїда, схожого на ракову пухлину. Якщо висловлюватися дуже коротко і спиратися на гарно відомий всім приклад, то ландшафтоїд це смітник (в систематичі антропогенного ландшафтознавства – *паразитичний ландшафт*), виникнення якого обумовлене не тимчасовою недовершеністю технології утилізації, використання, знешкодження продуктів людської життєдіяльності, а ментальними факторами – лінню, хамством, нахабством, недбальством, самозакоханістю, споживацькими рефлексамі, та просто банальними хуліганськими спонуканнями. З науково-технічної точки зору ці людські якості до культури відношення не мають, але з економічної, психологічної і соціальної – ще й як мають! Тим більше, що в сучасному світі вони плекаються і культивуються засобами *психонетики* – нейролінгвістичного програмування, комерційної реклами, ідеологічної пропаганди, деякими формами сучасного мистецтва та релігійної обрядовості, які помножуються на технічну потужність електронних засобів комунікації, тиражування і репрезентації. В м'якому варіанті психонетичну «суміш» іменують *масовою культурою* або поп-культурою. В кінцевому ж підсумку вона генерує безкультур'я. Але не просте, а технологічне, оскільки саме безкультур'я виконує функції *політичної технології* щодо структурування суспільства масового споживання і підтримування його у квазистабільному стані. Незалежно від політичної «орієнтації» сучасного суспільства (лібералізм, неолібералізм, тоталітаризм, авторитаризм, теократія тощо), безкультур'я як політтехнологія виступає потужним фактором нефізичного, позаекономічного примусу до потогінної праці та гіпертрофованого споживання, до ірраціонального мислення і тупої покори властям, нехтування правами людської особистості і живої природи, врешті-решт до того, що в філософії екзистенціалізму звуть *існуванням-заради-смерті*. Через механіку інверсій і перверзій людських якостей, на котрі в свій час так романтично сподівався голова Римського клубу Ауреліо Печчеї, технологічне безкультур'я впливає на ландшафт

⁴ В.Л. Каганський вказує, що під час «розквіту» ядерних досліджень і виробництв в Арзамасі-16 працювало близько

половини всі академіків і членкорів СРСР зі спеціальності «фізика» [8].

прямо й безпосередньо. Своєю дією воно нагадує проростання онкологічних метастаз в живий організм. Непомітне, малопомітне на перших стадіях, воно поступово або стрімко розростається і обумовлює покриття планети пухлинами ландшафтоїдів. Якщо аналогію з онкологією продовжувати, то це можна назвати *ландшафтним канцерогенезом* [18].

Підводячи проміжну риску під паноптікумом ландшафтних викликів епохи Постмодерну, бачимо, що всі вони носять деструктивний характер. Виникає просте запитання: а що, епоха Постмодерну нічого ландшафтно гарного в собі не несе? Питання не просте. Для відповіді спочатку розіб'ємо його на два: а) чому те, що Модерн залишає Постмодернові («виклики»), складається лише з ландшафтних негативів? б) чи породжує пізній Модерн і ранній Постмодерн щось таке, що трималося б позитиву, вселяло надію і дарувало б перспективу не скотитися ландшафтній оболонці в прірву з'ясування відношень самовпевненими мавпами з ядерними бомбами і гаджетами у лапах?

Чому ми увійшли в епоху Постмодерну з ландшафтним негативом? – Тому, що ландшафтний позитив залишається в епосі Модерну, він увесь нею асимільований, продукований і водночас привласнений. В центрі – концепт культурного ландшафту, а культура мислиться як прогресивний поступ – історії, суспільства, моралі, просвіти, науки і техніки. Останні призвані дарувати людині вільний час, розкріпачуючи її від важкої, надмірної, небезпечної і нецікавої праці, створювати комфортні умови побутування, забезпечувати безпеку життєдіяльності. Якщо на шляху позитивного історичного поступу встають ті чи інші труднощі, в т.ч. ландшафтного/екологічного штибу, то це труднощі тимчасові, вони будуть подолані по мірі розвитку науки, техніки, отримання нових знань, виховання гомо сапієнсу і зростання його побутової моральності. Все це зветься прогресом і дискурсом Нового часу подається як Велике Оповідання або *гранднаратив*. Саме цей гранднаратив і поглинає ландшафтні досягнення людства Нового часу, котрі, безумовно, існують. А от історичні і ландшафтні «проколи» та «приколи» гомо сапієнса виносяться за дужки Великого Оповідання, або в кращому випадку переводяться в розряд «тимчасових труднощів». Вони розглядаються наукою Нового часу лише як стани і об'єкти подолання, насамперед, самою ж таки наукою. Якщо поставити просте, але

сакраментальне питання «а якщо тимчасові труднощі не будуть подолані, що тоді?», то відповіді на нього дискурс Нового часу просто не має; він не знає, що робити з такою постановкою питання і тому в принципі її не розглядає⁵. Виникає ситуація, коли весь прогресистський з ландшафтним включно позитив залишається у «стані Модерну», а весь негатив перекочує у «стан Постмодерну»: Модерн або просто не знає, що з тим негативом робити, або пропонує незадовільні рішення. Щодо останніх, то, завидну впертість демонструють прихильники екологічної ідеології *збалансованого розвитку*. Замість того, щоби переосмислити сутність поняття «розвиток» вони вишукують додаткові аргументи для його «сталості» в модерновому сенсі, сподіваючись на те, що «винахідницький геній людства в сполученні з правильною ціновою політикою в пору дефіциту придумає як вирішити проблему нестачі ресурсів» [22, с. 97].

Не слід думати, що стан справ передування екологічній і соціальній катастрофі середньострокового – 1 – 2 покоління – майбутнього є якоюсь незбагненною новиною, яка застала людство зненацька. Якщо взяти до прикладу філософію і мистецтво, то культурологами вже давно показано, що думкарі і митці, які належали до течії ман'єризму, раціонально-гуманістичні ідеали Ренесансу (а з них виросла ментальність Нового часу) поставили під сумнів ще в середині XVI ст. В XVIII ст. в культурі рококо критичні рефлексії щодо гуманізму і раціональності людини поглибилися. В філософії романтиків і трансценденталістів першої пол. XIX ст. вони досягли своєрідної кульмінації – тези про *світову скорботу*. Але водночас в глибинах тієї ж романтичної філософії народився сучасний *інвайронменталізм*. В середині XIX ст. на зорі епохи Модерну десь раптово, а десь очікувано зацвіли «квіти зла» (Ш. Бодлер). А ближче до кінця Модерну, в другій пол. XX ст. щодо гуманізму та раціоналізму з усією невблаганністю постало вище згадане сакраментальне запитання Теодора Адорно щодо культури в «світлі» печей Освенциму. Наразі давно людством знані ментальні, соціальні, філософські, історичні, методичні та ін. «підводні камені» світосприймання-світоспояснення Нового часу набули ще й зловісного екологічного забарвлення: «екологічний фактор» руху історії досяг статусу чинника *всесвітньо-історичного значення*, і до моментів традиційної есхатології людства приплюсував катастрофічні очікування в галузі викидів парникових газів, змін клімату, насичення оточуючого середовища

⁵ Звідси не важко зробити висновок, що докорінне руйнування Великого Оповідання, а це одна з головних функцій Постмодерну, є не злостивим підступом постмодерністів-деконструкторів. Останні лише проговорюють простий факт: будь-яке Велике

Оповідання є неповноцінним, незавершеним, ущербним і в решті-решт запрограмованим на саморуйнування. «Люті» постмодерністи тільки каталізують історичні й природні процеси саморуйнування «великих оповідок».

трансурановими елементами, дефіциту прісної води, дегуміфікації ґрунту, зникнення вільних місць і територій для розселення і побутування людини та інших ландшафтно-екологічно-ресурсних «принад» босхівського «Саду радощів земних».

На другу частину поставленого вище запитання ми відповідаємо ствердно: так, ландшафтний позитив в епосі Постмодерну існує. Хоча він поки що у зародку, сам факт виникнення його точок росту вселяє надію. Водночас він є і своєрідним викликом: ці паростки не повинні бути заглушеними історичним бур'яном прогресизму, «гіпермодерну» (з'явилося вже й таке поняття [22, с. 264]), «третього модерну» і «нового Нового часу», про які географи типу В.О. Шупера з ІГ-РАН'у волають з високих трибун, на забуваючи попутно згадувати імперські наративи *печерного кацанства* [6, с. 125-126]. Паростки ландшафтного постмодерністського позитиву необхідно плекати, зрощувати докорінно по новому. А методів цього наразі немає, картезіансько-новевропейські, раціоналістично-просвітницькі, функціонально-модерністські тощо не підходять: історично вони вичерпались, зробили вже все, на що були спроможні. Тож наука прийдешньої історичної епохи мусить народжувати щось принципово нове. Що саме – тут поки що господарюють більш або менш сміливі здогадки; туманні або, навпаки, осліплюючі припущення; замислювати чи гранично спрощені уявні експерименти [2, 12, 15]. Втім і це корисно: адже саме з них у науці все нове й починається. На дещо вкажемо.

Ландшафтні звірята часів III. Ландшафтознавці («геоекологи») сучасної генерації приділяють велику увагу впровадженню в науку інформаційних технологій і навіть пов'язують подальший розвиток науки про ландшафти з так званою *геоматикою*. Втім «впровадження» і «поглиблення» – це відгомін методології Нового часу. Не відкидаючи їх, звичайно, мову слід було би вести про дещо інше.

Віртуальна реальність – одна з характеристичних рис, ознак, властивостей стану Постмодерну. На порядку денному – *штучний інтелект* (III). Сьогодні важко сказати, наскільки цей задум людини буде безпечним або небезпечним, але будемо сподіватися на краще. Очевидно III викличе до життя якісь принципово нові ландшафтні феномени і явища, пов'язані, насамперед, з *ландшафтними образами*. Образ – надзвичайно важлива характеристика і властивість ландшафту, ще Йозеф Шмітхюзен використовував категорію образу у визначенні ландшафту. Юрій Веденін «інформаційному шару» культурного ландшафту надав статус окремого геокомпонента, а подальші

грища з ландшафтними образами викликали до життя особливу *імажинальну географію*. Та поки що поняття образу «допускається» до конститування ландшафту переважно у гуманітарній географії. Геоматика ж прагне перенести такий підхід і в «точні» сфери сучасного ландшафтознавства, надаючи географічному образу строгі кібернетичні, інформаційні, математичні трактування. То ж вже сьогодні можемо говорити про особливу *віртуальну складову ландшафту*, як нову якість «інформаційного шару» Веденіна. У віртуальному ландшафті гуманітарно-географічні і фізико-математичні трактування його образу злитовуються в новий феномен, який набуває екзистенціального і метафізичного значення. Керування таким феноменом штучним інтелектом може становити для людини реальну небезпеку, ця проблема наразі інтенсивно обговорюється, але правдоподібні картини можливого керівництва людиною штучним інтелектом поки що успішніше відтворюються лише митцями з кінематографічного кібер-панку. Втім деякі явища вже свідчать про те, що *нова ландшафтна реальність* є не лише мистецьким способом жахати пересічних громадян монструозним кібер-середовищем майбутнього. Про існування віртуального ландшафту вже сьогодні свідчать, наприклад, грища з так званими покемонами: фізичний ландшафт заселяється віртуальними істотами – покемонами, і реальні людини по-справжньому ловлять віртуальних «звірят» в реальному ландшафті. Це – нехай і невеликий (поки що), але цілком вже відчутний крок до кібер-ландшафту як нової реальності.

Ландшафтна природа суб'єктивності. Мартин Хайдеггер в роботі із симптоматичною назвою «Європейський нігілізм», піддаючи безжальному розчленуванню онтологічні схеми, котрі були іманентними новоєвропейській історії, писав таке: «Людині епохи ідеологій нічого більше робити на землі, окрім як впорядковувати й увіковічувати своє абсолютне над нею владарювання – або поставити під питання свою власну метафізичну сутність (розбивка моя – Ю.Т.)» [23, с. 313]. Ця теза, або, якщо хочете, неявна вимогою Хайдеггера передбачає кардинальну зміну традиційної й основоположної для новоєвропейської науки суб'єкт-об'єктної дистинкції, зокрема такої звичайної для науки диспозиції як «об'єкт дослідження – суб'єкт дослідження». Суб'єкт і об'єкт мають зливатися, але в щоб вони мають зливатися? Для науки, яка не позбавлена тенет новоєвропейського дискурсу, це запитання залишається без відповіді. Але наразі новоєвропейський дискурс долається семимильними кроками. І тут звертає на себе нашу ландшафтознавчу увагу таке новітнє поняття як *складність* (В.І. Аршинов, М.

Кастельс, Б. Латур, Э. Морен, та ін.). Сучасне ландшафтознавство вже гарно знайоме з н а д - с к л а д н и м и системами і навчилося непогано з ними поратися. Але цього вже недостатньо. Поняття складності «всмоктує» в себе всі понятійні й методичні складності системології надскладних систем, але складністість від надскладності суттєво і відрізняється. В цій статті ми не маємо можливості розповісти про це детально (питання непросте), але на одну з найважливіших рис, що відмежовує складністість від надскладності, вкажемо. Це – феномен *спостерігача другого роду*: такого спостерігача, який є і суб'єктом і об'єктом спостереження водночас, або, якщо вдатися до спрощення, є тим способом, за допомогою якого об'єкт спостереження спостерігає самого себе [1, 2015-2016]. Це – саме те, що для постмодерністського ландшафтознавства потрібно. Якщо людина є повно- і рівноцінним компонентом ландшафту, а не чинником чи об'єктом, котрий взаємодіє з ландшафтом ззовні (а з цим сьогодні погоджується вже чимала кількість географів), то вона просто «проситься» на роль спостерігача другого роду. Людина – це той спосіб, за допомогою якого ландшафт рефлектує, спостерігає, досліджує, вивчає, навіть малює і оспівує самого себе. Звідси випливає один простий факт: суб'єктивність як така, тобто будь-яке *Я*, є ландшафтною за своєю природою, за своєю сутністю і своїми функціями. Грубо кажучи, *Я* – це ландшафт; а ландшафт – це *Я*. Поети це вже зрозуміли: «Un paysage no es lo que vemos – sino lo que somos» – «Ландшафт – не те, що ми бачимо, а те, чим ми є». Цю сентенцію Фернандо Пессоа, яка стала крилатим виразом, сьогодні вже можна зустріти в іспаномовній ландшафтно-географічній літературі [29, 32]. В філософії ця теза теж знайшла адекватне і переконливе обґрунтування [20]. А якщо говорити за практичний бік справи, то наразі в так званих *екології права* та *юридичній антропології* активно розгорнувся рух щодо надання елементам ландшафту і ландшафту в цілому статусу суб'єкта права. Наприклад в Німеччині нещодавно юридично заборонили розглядати домашніх тварин як об'єкти приватної власності, а в цілому ряді країн Іberoамерики права ландшафту («природи») прописані в статтях конституцій. На перший погляд, тут нічого нового немає: в анімалізмі і тотемізмі «відсталих» народів, та і в побутових звичках народів «розвинених», ми стикаємося з тим же самим. Але суттєва відміна полягає в тому, що надання сучасною західною юридичною антропологією ландшафту і його елементам статусу суб'єкта права, спирається не на релігійні

вірування, етику чи емоції (любов до тварин тощо), а на цілком раціональну юридичну аргументацію. При цьому, як не парадоксально, раціоналістичні підвалини новоєвропейського права або відкидаються взагалі або сильно редукуються [28].

Марення ландшафтознавчим мультикультуралізмом. Існуючи споконвічно в онтологічних режимах незахідних, а на певних етапах і західних, культур, сентенція «un paisaje no es lo que vemos – sino lo que somos», породжує безліч «екзотичних» категорій, поглядів, положень, установок, не просто невластивих новоєвропейському світосприйманню, а таких, що в його методологічних координатах просто не можуть бути сформульованими. Якщо говорити саме за ландшафт, то особисто мені серед таких бачень водночас і оточуючої і внутрішньої, і людської і нелюдської реальності найбільше імпонує категорія *Марення*, яка побутує в «дикунській» культурі а в с т р а - л і й с ь к и х а б о р и г е н і в . «Марення» тут – термін відносний. В російському перекладі книги французького антрополога Філіпа Десколи «По той бік природи і культури» ця категорія озвучується як «Гр'єза» [5]. У французькому оригіналі вона звучить як «Rêve», що можна перекладати також і як «сон», «мрія», «видіння», «бред» (рос.) тощо. «Марення» – дуже складна і абсолютно незвична для європейця категорія, котру в площині його дискурсу адекватно висловити і пояснити дуже важко якщо не неможливо. За Десколою вона має такі властивості і ознаки. 1. Марення міцно прив'язане до певного *місця*, тобто сутнісно топічне. Але водночас Марення здатне до «подорожей» і розпорошення у просторі, «за потреби» – із всім космосом включно. 2. Земні місця тієї території, де мешкають племена того чи іншого тотему, – місця, в яких «спостерігається» найвища «концентрація» і «побутування» Марення, є місцями *сакральними*. 3. В місцях концентрованого побутування Марення «створюються» класи, що складаються угрупованнями людських, живих і неживих об'єктів⁶. Кожен такий клас є *тотемом*. Кожен тотем має своє *ім'я*. 4. Тотем зв'язує «свої» об'єкти в цілісність, в середині якої мають панувати гармонійні відносини, не виключаючи і людину навіть в такій сфері діяльності як полювання: якщо людина-тотем-А вбиває тварину-тотему-А щоби її з'їсти, вона не завдає тварині шкоди, а лише поглинає споріднену тотемну сутність. 5. Людина і об'єкт її тотему не вступають а ні в суб'єкт-об'єктні, а ні в суб'єкт-суб'єктні відносини, суб'єктом є сам тотем, а людські і нелюдські об'єкти є просто його дериватами і похідни-

⁶ Ця властивість Марення дуже сильно нагадує одну з найфундаментальніших аксіом сучасної математики – *аксіому вибору*.

ми. 6. Тотемні класи містять в собі різноманітні групи *душ-дітей*⁷, і саме вони, входячи і виходячи в об'єкт при його народженні і смерті, надають об'єктові властивостей суб'єкту (що для людей особливо важливо, оскільки кожна людина, навіть у межах тотемної спільноти, має відчувати себе індивідуумом). Яку тут можна було би провести європейську аналогію, – я не знаю. Про категорію Марення можна говорити ще багато чого, наприклад, що вона є “уособленням встановленої у просторі вічності” [5, с. 194], що її діалектику “важко назвати матеріалістичною або ідеалістичною” [5, с. 381], що це “натовп суб'єктів, занурених у речі” [5, с. 382] і т. ін.; але читачу-географу вже мабуть стало зрозумілим, що категорія Марення підозріло на щось гарно йому знайоме схожа. І це «щось» – Ландшафт; особливо якщо згадати про ті занурення в *екзегетику* і *герменевтику*, з котрих ландшафт, як категорія культури, постав і стихія яких в давню давнину поглинала його цілком і повністю [19]. Та і сьогодні продовжує робити «ландшафт» категорією «утаємниченою й загадковою» [32].

Ландшафтознавчий мультикультуралізм полягає в тому, щоби поняття, подібні Маренню, запозичити з «відсталих» і «дикунських» онтологій і повноцінно ввести їх в категоріально-методологічний апарат ландшафтознавства постмодерністського гатунку. Для цього потрібно позбавитися сциентистського марнославства, цивілізаторської зухвалості і модерної зверхності, котрі вже тріщать по усіх швах, але ще тримаються на тілі сучасної науки. Це не так вже й складно в дискурсивному і парадигмальному відношенні, але вкрай важко в ментальному, організаційному і побутовому плані.

Ландшафтний мультиісторизм. Кардинальні відміни в предметі і методах дослідницької практики у різні історичні епохи (Протонаука, Античність, Середньовіччя, Новий час, Постмодерн) не означає повної відсутності у їх наступності. Які б суттєві відміни в точках зору на один і той же предмет дослідження між однією і тією ж самою наукою, але в різні історичні епохи, не мали місце, їх та чи інша концептуальна спадковість місце, безумовно, таки має. Ландшафтні інтенції зародилися ще у досократиків, зокрема у Емпедокла. Саме поняття ландшафту виникло у «розпал» Середньовіччя (830 р.). Під час Ренесансу в 1490-1520-х рр. воно набуло мистецьких інтерпретацій. В 1790-х – 1800-х зародилися, в

1880-х – 1900-х роках оформилися, а в середині ХХ ст. розквітли і утвердились наукові – сциентистські парадигми ландшафту. Наприкінці ХХ – початку ХХІ ст. категорія ландшафту почала предметно і понятійно «розповзатися» в найрізноманітніших онтологічних і практичних напрямках (згідно Полу Фейсрабенду такий процес в сфері методології зветься *проліферацією*), часто-густо викликаючи невдоволення, а то й обурення географічної спільноти класичного сциентистського виховання. Звичайно ландшафт Емпедокла Акраганського, Храбана Магнеція Мавра, Альбрехта Дюрера, Ото Шлютера, Ернста Неефа, Ніколоза Беручашвілі і в решті-решт Леонарда Сасскінда⁸ – це не один і той же самий ландшафт. Але водночас – один і той же. Таку логіку важко зрозуміти, але саме вона складатиме дискурсивну основу тієї науково-філософської спадковості, яку ми по аналогії з мультикультуралізмом, звемо *мультиісторизмом*. В історії науки немає якогось єдиного правильного поняття ландшафту – воно є лише у Великому Оповіданні Нового часу. В історичній же реальності всі іплинні-спливаючі і кондовостатусні трактування поняття «ландшафт» є вірними, кожне з них може бути застосованим так чи інакше у тій чи іншій онтологічній та/або екзистенціальній ситуації.

В свій час наука Нового часу різко відмежувалася від науки Середньовіччя, навіть оголосила деякі її галузі лженауками. Але ж Йоган Кеплер відкрив закони небесної механіки завдяки ще і тому, що не цурався астрології. А середньовічні пошуковувачі філософського каменю, хоча в своїх алхімічних лабораторіях і не віднайшли омріяної субстанції, та відкрили силу силенну хімічних реакцій, речовин, елементів, створили техніку лабораторного хімічного дослідження: заклали основи новоєвропейської хімії та металургії. Так «містична» середньовічна наука увійшла у «правильну» науку Рене Декарта. І коли наприкінці ХХ ст. далеко непересічні географи-ландшафтознавці Г.І. Швєбс та О.К. Черкашин в пошуках сутності ландшафту звертаються до напівмістичних «методик» *еніогеографії* (перший [26]) і *піфагорійської нумерології* (другий [25]), іронізувати з цього приводу не варто. Все серйозніше і не відомо ще, чим подібні «одкровення» від Святого Духа обернуться для науки про ландшафт епохи Постмодерну.

Метафізика ландшафту (замість «Висновків»). Повертаючись до ідей Куна, зазначимо, що

⁷ Категорія *душі-діти* ніяких відповідників і аналогій у європейському мисленні не має, тому пояснити і описати її в звичних для нас поняттях і дискурсах практично неможливо.

⁸ Х.М. Мавр, 780 – 856 рр. – видатний теолог, письменник, педагог, енциклопедист епохи Каролінгського відродження, абат Фульдського монастиря (Германія) в ті часи, коли в його скрипторіях

вченими монахами було сконструйовано давньоверхньонімецьке слово *lantscaf*, в сучасній німецькій мові – *Landschaft*. А. Дюрер першим в 1521 році вжив германське слово «ландшафт» в сенсі живописного пейзажу. Л. Сасскінд – відомий сучасний американський дослідник, який поняття «ландшафт» ввів у математичну фізику, поняття «космічний ландшафт» – в космологію.

незважаючи на зовнішню схожість між «стрибком» в науковій революції і переходом науки Нового часу до науки Постмодерну, між цими, так би мовити, актами існують і якісні відміни – в сенсі і масштабу «акта», і епістемології, і методики, і соціології науки, і в решті-решт онтології. Наукові революції за Т. Куном виникають діалектично, грубо кажучи як перехід накопиченої кількості в нову якість. Перехід же науки Модерну в науку Постмодерну має швидше метафізичний характер. Цікаво, що по відношенню саме до поняття «ландшафт» можна вказати на роботи 1990-х років, в яких воно і поняття метафізики тісно пов'язуються. З точки зору історії науки, зараз ще рано говорити, але можливо саме ці роботи в майбутньому будуть розцінюватися у контексті переходу ландшафтознавства епохи «Модерн» в ландшафтознавство епохи «Постмодерн» як знакові (принаймні у східноєвропейському «секторі» ландшафтознавства кінця XX ст.). Я говорю про «Метафізику ландшафту» філософа В.О. Подороги, перше видання якої вийшло в 1993 році (друге – в 2013 р.), і про монографію географа О.К. Черкашина «Полісистемний аналіз і синтез: Додаток до географії», виданої у 1997 році. Подорога говорить про *метафізику ландшафту* в епістемологічному та історико-філософському контексті. Такий контекст щодо поняття «ландшафт» вже сам по собі нетривіальний, але ще більш важливим є те, що «ландшафт» розуміється як поняття метафізичне і про це говориться вголос, переконливо, аргументовано. Тобто метафізична думка через «гуманітаристику» входить в ландшафтознавство ХХІ ст. і закріплюється в ньому як якісно новий спосіб ландшафтної рефлексії. Черкашин робить дещо схоже, але з протилежного боку – з боку «точних» наук, математики, кібернетики («системології»), фізики, інформатики («геоматики»). Ввести «ландшафт» в якийсь принципово новий формалізований контекст складніше, оскільки майже всі такі контексти вже «розібрані» ландшафтознавством епохи Модерну і наразі успішно в ньому побутовують. Більш того, як зазначалося вище, сьогодні «поглиблення» геоматично-фізико-математичних інтенцій в ландшафтознавстві, багатьма вважається шляхом до його переходу в нову якість («неоландшафтознавство», «трансдисциплінарна геоecологія» і т. ін.). Ця фізико-математична якість ландшафтознавства ХХІ ст. залишалася би в полі новоевропейського мислення, якби не одне «але», яке, скоріше за все, «необачно» і «мимохить» Черкашин вводить в схему свого «полісистемного синтезу». А саме: він фізико-математичний дискурс щодо ландшафту (геосистеми) сполучає з протиріччями та парадоксами як продуктивними і конструктивними операторами. Дослідник веде розмову про особ-

ливі форми діалектики – «триалектику» і «полілектику», які будуються з урахуванням протиріччя і парадоксу, а самі суперечливості вважає іманентними геосистемі [25, сс. 37, 44, 444]. Неважко бачити, що вище перераховані феномени ландшафтного негативу, успадкованого Постмодерном від Модерну, є наочними, реальними та об'єктивно існуючими втіленнями триалектики і полілектики: за логікою ландшафту їх не повинно б було бути, але вони не просто є, а претендують на всю ландшафтну сферу (від чого стає відверто моторошно). Та як би там не було, а логіко-математичні експерименти Черкашина у сфері епістемології вкладаються в дискурс саме постмодерністської науки. Тільки не за допомогою абсурдистських інтенцій філософського екзистенціалізму, що мають право на існування, але з протилежного боку, а завдяки парадоксам самої т о ч н о с т і н а у к и яка набуває своєї довершеності у «мат методах». Ці парадокси і протиріччя для математиків ХХ ст. не були і не є секретом, та призначені вони швидше для них же самих, а не для не-математика – користувача могутнім і непохитним апаратом математики: Боже збав збивати його з пантелику негараздами в базисних наративах самої математики! Але куди подітися? – Достатньо виявити зовсім небагато прискіпливості, трішки цікавості, – і навіть перед не-математиком, в т.ч. ландшафтознавцем, у повний зріст постануть фундаментальні математичні негаразди – в логічних парадоксах Б. Рассела, в аксіомі виборі Е. Цермело, в теоремі К. Гьоделя, в інтуїціонізмі Л. Брауера, в платонізмі Р. Пенроуза, універсалізмі О. Гротендіка, феноменології П. Вopenки та ін. Онтико-епістемологічне багатство математичного парадоксу й протиріччя не лише прекрасно вписується в складні і стійкі бачення ландшафту, а й міцно закріплюється в математичному дискурсі сьогодення, оформлюючись кінець-кінцем в досить струнке, хоча й зовсім незвичне (неаристотелівське і некартезіанське) логіко-математичне вчення *діалектеїзму*. Це вчення – про строге, аж ніяк не екзистенціальне, мислення, в якому побутовує “закон збереження протиріччя” [14, с. 345], а “знак абсурду має цілковито розумний сенс” [14, с. 411], і взагалі “існують певні суперечливі твердження <...> про межі, які є істинними. <...> В реальності має бути щось таке, що робить їх такими <...>. Коли я кажу, що реальність суперечлива, я маю на увазі, що вона є такою, що робить суперечливі твердження істинними” [14, с. 442]. До слів процитованого автора – Грема Пріста нам залишається додати лише те, що свідомий вступ науки про ландшафт двадцять першого століття в методологічне поле парадоксу, абсурду і протиріччя – вступ, обумовлений і предметно-емпіричними «вимогами» об'єктивної реальності і гно-

сеологічним станом сучасної, а тим паче прийде-
шньої, наукової думки, – засвідчує: ландшафто-

знавство вже прийняло виклики нової епохи. А як
справи будуть розвиватися далі – покаже час.

Список використаної літератури

1. Аришинов В.И., Свирский Я.И. Сложностный мир и его наблюдатель // *Философия науки и техники*. 2015. Т. 20, № 2. С. 70-84 (I часть); 2016. Т. 21, № 1. С. 78-91 (II часть).
2. Владенова И.В. Формирование NBIC-конвергентной парадигмы // *Будущее фундаментальной науки: Концептуальные, философские и социальные аспекты проблемы*: Сб. М.: Изд-во КРАСАНД, 2011. С. 99-108.
3. Гродзинський М.Д., Савицька О.В. Ландшафтознавство. К.: Видавничо-поліграфічний центр “Київський університет”, 2008. 318 с.
4. Гусев Ю.П. “Культурный ландшафт” XX века: “Без судьбы” Имре Кертеса // *Ландшафты культуры. Славянский мир*. М.: Прогресс-традиция, 2007. С. 176-188.
5. Дескола Ф. По ту сторону природы и культуры / пер. с фр. М.: Изд-во «Новое литературное обозрение», 2012. 584 с.
6. Дроздов А.В., Каганский В.Л., Колбовский Е.Ю., Трейвиш А.И., Шупер В.А. Лейтмотивы географических исследований: каковы они и нужны ли нам? // *Изв. РАН*. 2017. №3. С. 118-128.
7. Замятин Д. Постгеография. Капитал(изм) географических образов. М.: Изд-во «Гуманитарная академия», 2014. 592 с.
8. Каганский В.Л. Культурный ландшафт и советское обитаемое пространство: Сб. М.: Изд-во «Новое литературное обозрение», 2001. 572 с.
9. Круглов І. Трансдисциплінарна геоекологія. Л.: Вид-во ЛНУ імені Івана Франка, 2020. 292 с.
10. Лавренова О.А. «Изнанка города»: маргинальные ландшафты и современная визуальная культура // *Наука телевидения*. 2021. № 17.2 С. 88-117.
11. Лаку-Лабарт Ф. *Musica ficta* (фигуры Вагнера) / пер. с фр. СПб: Изд-ва «Аксиома», «Азбука», 1999. 224 с.
12. Лисеев И.К. Экологическая перспектива: радикальный поворот // *Культурно-историческое измерение современной науки*: Сб. М.; СПб.; Белгород: Центр гуманитарных инициатив, 2022. С. 117-117.
13. Подорога В.А. Метафизика ландшафта. Коммуникативные стратегии в философской культуре XIX–XX вв.; 2-е изд., перераб. и доп. М.: РООИ «Реабилитация», 2013. 552 с.
14. Прист Г. За пределами мысли / пер. с англ. М.: Изд-во «Канон+» РООИ «Реабилитация», 2022. 456 с.
15. Севальников А.Ю. Понятие реальности и новая фундаментальная наука // *Будущее фундаментальной науки: Концептуальные, философские и социальные аспекты проблемы*: Сб. М.: Изд-во КРАСАНД, 2011. С. 234-247.
16. Смирнов Н.А. Композиция геокультур Арктики: новые основания геокультурного анализа / *Геокультуры Арктики: методология анализа и прикладные исследования*: Сб. М.: Изд-во «Канон+» РООИ «Реабилитация», 2018. С. 38-80.
17. Сысуй В.В. Введение в физико-математическую теорию геосистем. М.: Изд-во URSS, 2019. 600 с.
18. Тютюнник Ю.Г. Ландшафт и ландшафтность. К.: Институт эволюционной экологии НАН Украины, 2019. 124 с.
19. Тютюнник Ю.Г. Ландшафт: етимологія, герменевтика, екзегетика // *Totallogy-XXI. Постнекласичні дослідження*. К.: ЦГО НАН України, 2003. Вип. 10. С.54-71.
20. Тютюнник Ю.Г. О ландшафтной природе субъективности // *Вопросы философии*. 2020. № 3. С. 194-203.
21. Тютюнник Ю. Руины и ландшафт // *Проблемы на географията*. 2022. № 3-4. С. 45-67.
22. Фюкс Р. Зелёная революция: Экономический рост без ущерба для экологии / пер. с нем. 2-е изд. М.: Изд-во «Альпина нонфикшн», 2020. 330 с.
23. Хайдеггер М. Европейский нигилизм: пер с нем. // *Проблемы человека в западной философии*: Сб., переводы. М.: Прогресс, 1988. С. 261-313.
24. Хорошев А.В. К дискуссии о неоландшафтоведении: детерминированность, полимасштабность, полиструктурность // *Изв. РГО*. 2014. Т. 146, вып. 4. С. 58-69.
25. Черкашин А.К. Полисистемный анализ и синтез: Приложение в географии. Новосибирск: Наука, 1997. 502 с.
26. Швобс Г.И. Введение в эниогеографию. Книга 1. Эниоземлеведение. Одесса: Изд-во Одесского ун-та, 2000. 256с.
27. Adorno Th.W. *Negative Dialektik*. Berlin: Suhrkamp Verlag, 1999. 408 p.
28. Capra F, Mattei U. *The Ecology of Law: Toward a Legal System in Tune with Nature and Community Hardcover*. 1st edition. Oakland: Berrett-Koehler Publishers, 2015. 240 p.
29. Delgado D.H. Preguntas cortas... respuestas en context // *Boletín OPCA (Observatorio del Patrimonio Cultural y Arqueológico)*, 2018. # 4. P. 18-28.
30. Dillon B. 2011. *Ruin Lust*. Cambridge: MIT Press, 2011. 240 p.
31. Lyotard J.-F. *La condition postmoderne : rapport sur le savoir*. Paris: Éditions de Minuit, 1979. 128 p.
31. Maiz T. *El Pais Vasco como paisaje industrial* // *Fabrikart*, 2002. # 2. P. 170-185.

Modern landscape science before the challenges of Postmodernism

Yulian Tyutyunnik

DSc (Geography), Professor, Acting Head of the Bioindication Laboratory
of National Botanical Garden named M.M. Hryshko of the NAS of Ukraine,
1 Tymiryaziws'ka St., Kyiv, 01014, Ukraine

ABSTRACT

Purpose of the article: to determine the distinctive features of the subject of research, methodology and method of landscape studies in the state of transition from late Modern to early Postmodern (late 20th – early 21st century).

Research methodology: historical and cultural analysis with the involvement of hermeneutics, philosophical comparative studies.

Results. The research objects specific to postmodern landscape science are characterized: ambivalent, socially devastated, camp landscapes, anti-landscapes, landscapeoids. It is pointed out the complexity nature of the research subject of modern and future landscape science, in particular, such research phenomena as the landscape nature of subjectivity; the immanence of contradiction, paradox and absurdity in a complexity geosystem; and also on virtual landscape reality as a product of artificial intelligence. New philosophical and methodological approaches – multiculturalism and multihistoricism – are proposed.

Scientific novelty: for the first time in the Ukrainian-language scientific geographical and philosophical literature, an attempt has been made to analyze the current and potential features of landscape science in the Postmodern era.

Today, landscape science is in a state of transition to a new historical stage – the Postmodern era. This transition is not a “scientific revolution” in the sense of T. Kuhn, but is coupled with more profound changes that touch the very foundations of rational world perception, scientific world explanation and goal setting in the field of scientific activity – changes that have an existential and metaphysical nature, changes that associated with the transformations of the historical process on a global scale. Areas of study of landscape objects and phenomena, which were methodologically, epistemologically, and existentially inaccessible to the scientific thought of the New Age, the Modern Era, and landscape studies of the 20th century are becoming very popular. were mostly ignored. Actual and future transformations in the methodology of landscape science are also related to the introduction of paradox, contradiction, and absurdity into the scientific discourse. One of the cornerstone and already clearly visible empirical challenges to modern landscape science is the formation of virtual landscape reality. Postmodern landscape science is characterized by a movement towards the assimilation of metaphysical and discursive systems of non-European cultures of mankind (for example, the category of “Delusions” of the indigenous Australian aboriginal civilization). It should also get rid of the new European supremacy in relation to the methods of scientific and quasi-scientific world explanation by European discourses from antiquity to the 16th century. Examples here can be turning to Pythagorean numerology (O.K. Cherkashin) or the so-called eniogeography (G.I. Shvebs) when studying the landscape. As a result, profound future shifts in the landscape scientific discourse will not be dialectical, but fundamental metaphysical in nature. Perhaps this will force a person to radically reconsider his place and his own role in the landscape envelope and in history.

Practical significance. A number of unusual, to some extent unusual, methodological approaches to the further development of landscape science in the 21st century have been proposed, with the fact that the very concept of development must be fundamentally rethought in all respects, primarily existential and ecological.

Keywords: landscape studies, Postmodern, Modern, complexity, paradox, multiculturalism, multihistoricism, metaphysics.

References

1. Arshinov, V.I., Svirsky, Ya.I. (2015-2016). *The complexity world and its observer. Philosophy of science and technology*. 20, 2, 70-84 (part I); 21, 1, 78-91 (part II)
2. Vladlenova, I.V. (2011). *Formation of the NBIC-convergent paradigm. The future of fundamental science: Conceptual, philosophical and social aspects of the problem*. M.: Publishing house KRASAND. 99-108.
3. Grodzinsky, M.D., Savitska, O.V. (2008). *Landscape science*. Kyiv: Publishing and Printing Center “Kiev University”, 318 [in Ukrainian]
4. Gusev, Yu.P. (2007). “Cultural landscape” of the twentieth century: “Without fate” by Imre Kertesz. *Landscapes of culture. Slavic world*. M.: Ed. “Progress-tradition”, 176-188.
5. Descola, Ph. (2012). *Beyond nature and culture: trans. from fr*. M.: Publishing house “New Literary Review”, 584.
6. Drozdov, A.V., Kagansky, V.L., Kolbovsky, E.Yu., Treivish, A.I., Shuper, V.A. (2017). *Leitmotifs of geographical research: what are they and do we need them? News of the RAS*. 3, 118-128.
7. Zamyatin, D. (2014). *Postgeography. Capital(ism) of geographical images*. M.: Publishing house “Humanitarian Academy”, 592.
8. Kagansky, V.L. (2001). *Cultural landscape and Soviet inhabited space*. M.: Publishing house “New Literary Review”, 572.
9. Kruglov, I. (2020). *Transdisciplinary geoecology*. Lviv: Lviv National University Publishing House, 292. [in Ukrainian]
10. Lavrenova, O.A. (2021). “The outside of the city”: marginal landscapes and contemporary visual culture. *Science of television*. 17-2, 88-117.

11. Lacoue-Labarthe, Ph. (1999). *Musica ficta (Wagner's figures): trans. with fr: SPb: "Axiom" Publishing House, Ed. "Azбука"*. 224.
12. Lyseev, I.K. (2022). *Ecological perspective: a radical turn. Cultural and historical dimension of modern science. M., SPb., B.: Ed "Center for Humanitarian Initiatives"*, 117-117.
13. Podoroga, V.A. (2013). *Metaphysics of landscape. Communicative strategies in the philosophical culture of the 19th–20th centuries; 2nd ed., revised. and additional. M.: Ed. ROOI "Rehabilitation"*. 552.
14. Priest, G. (2022). *Beyond the Limits Thoughts: trans. with English. M.: Ed. "Kanon+"; Publishing House ROOI "Rehabilitation"*, 456.
15. Sevalnikov, A.Yu. (2011). *Concept of reality and new fundamental science. The future of fundamental science: Conceptual, philosophical and social aspects of the problem. M.: KRASAND Publishing House. 234-247*
16. Smirnov, N.A. (2018). *Composition of geocultures of the Arctic: new foundations of geocultural analysis. Geocultures of the Arctic: methodology of analysis and applied research. M.: Publishing house "Canon+"; Ed. ROOI "Rehabilitation"*, 38-80.
17. Sysuev, V.V. (2019). *Introduction to the physical and mathematical theory of geosystems. M.: URSS Publishing House. 600.*
18. Tyutyunnik, Yu.G. (2019). *Landscape and landscapity. Kyiv: Institute of Evolutionary Ecology of the National Academy of Sciences of Ukraine, 124.*
19. Tyutyunnik Yu.G. (2003). *Landscape: etymology, hermeneutics, exegetics. Totallogy-XXI: Post-no-classical studies. Kyiv: Center for Humanitarian Education of the National Academy of Sciences of Ukraine, 10, 54-71.*
20. Tyutyunnik, Yu.G. (2020). *On the landscape nature of subjectivity. Questions of philosophy. 3, 194-203.*
21. Tyutyunnik, Yu. (2022). *Ruins and landscape. Problems of geography. 3-4, 45-67.*
22. Fucks, R. (2020). *Green revolution: Economic growth without damage to the environment: trans. from German. 2nd ed. M.: "Alpina Nonfiction" Publishing House, 330.*
23. Heidegger, M. (1988). *European nihilism: translated from German. Problems of man in Western philosophy: translations. M.: Ed. Progress, 261-313.*
24. Khoroshev, A.V. (2014). *On the discussion about neolandscapes: determinism, multi-scale, polystructural. Izvestia of the R. Geographical Society. 146, 4, 58-69.*
25. Cherkashin, A.K. (1997). *Polysystem analysis and synthesis: Application in geography. N.: Ed. "Nauka". 502.*
26. Shwebs, G.I. (2000). *Introduction to eniogeography. Book 1. Eniogeology. Odessa: Odessa University Publishing House. 256.*
27. Adorno Th.W. (1999). *Negative Dialektik. Berlin: Suhrkamp Verlag, 408.*
28. Capra F., Mattei U. (2015). *The Ecology of Law: Toward a Legal System in Tune with Nature and Community Hardcover. 1st edition. Oakland: Berrett-Koehler Publishers, 240.*
29. Delgado D.H. (2018). *Preguntas cortas... respuestas en context. Boletín OPCA (Observatorio del Patrimonio Cultural y Arqueológico). 4, 18-28.*
30. Dillon B. (2011). *Ruin Lust. Cambridge: MIT Press, 240.*
31. Lyotard J.-F. (1979). *La condition postmoderne: rapport sur le savoir. Paris: Éditions de Minuit, 128.*
32. Maiz T. (2002). *El Pais Vasco como paisaje industrial. Fabrikart. 2, 170-185.*

Received 25 September 2023

Accepted 26 October 2023

Просторово-часові тенденції льодового режиму водосховищ Дніпровського каскаду

Борис Христюк¹

к. геогр. н., ст. дослідник, зав. лабораторії гідрологічних розрахунків,

¹ Український гідрометеорологічний інститут ДСНС України і НАН України,

пр. Науки, 37, м. Київ, 03028, Україна,

e-mail: khryst@uhmi.org.ua,  <https://orcid.org/0000-0003-4290-3745>;

Людмила Горбачова¹

д. геогр. н., професор, зав. відділу гідрологічних досліджень,

e-mail: gorbachova@uhmi.org.ua,  <https://orcid.org/0000-0003-1033-9385>

Відомості про формування, руйнування та тенденції льодового режиму річок і водосховищ особливо важливі для гідроенергетики, судноплавства, рибного господарства тощо. Дослідження сучасних тенденцій льодового режиму водних об'єктів та вивчення його просторово-часових коливань є актуальним завданням, особливо в умовах мінливого клімату. У даній роботі на основі комплексного підходу з використанням статистичних і графічних методів досліджено тенденції та довгострокові циклічні коливання рядів спостережень за основними фазами льодового режиму водосховищ Дніпровського каскаду. У дослідженні використано метод Пірсона, статистичний непараметричний критерій Манна-Кенделла, сумарна крива, інтегральна крива відхилень та суміщені хронологічні графіки. Дослідження виконано за даними спостережень 35 гідрологічних постів, які розташовано на 6 водосховищах Дніпровського каскаду. Створено базу даних, яка містить відомості щодо дат появи льодових явищ, встановлення і руйнування льодоставу та очищення від льоду на кожному гідрологічному посту по 2020 рік включно. За статистичним тестом Манна-Кендалла отримано суперечливі результати щодо стаціонарності рядів спостережень льодового режиму водосховищ Дніпровського каскаду. Разом з цим, за графічним аналізом такі ряди виявилися квазіоднорідними і квазістаціонарними, оскільки вони мають незавершені фази підвищення і зниження довготривалих циклічних коливань. У свою чергу, для циклічних коливань характерна синхронність і синфазність, що вказує на однакові часові і просторові тенденції льодового режиму шести водосховищ. Дати настання основних фаз льодового режиму водосховищ Дніпровського каскаду вирізняються значною мінливістю. За період спостережень поява льодових явищ на водосховищах стала відбуватися пізніше у діапазоні від 2 до 21 дня, встановлення льодоставу – від 1 до 18 днів. Руйнування льодоставу і очищення від льоду, навпаки, стали відбуватися раніше у діапазоні від 9 до 21 дня і від 8 до 17 днів, відповідно.

Ключові слова: льодовий режим, Дніпровські водосховища, однорідність, стаціонарність, циклічні коливання, тенденції, графічні і статистичні методи.

Як цитувати: Христюк Борис. Просторово-часові тенденції льодового режиму водосховищ Дніпровського каскаду / Борис Христюк, Людмила Горбачова // Вісник Харківського національного університету імені В. Н. Каразіна, серія «Геологія. Географія. Екологія», 2023. – Вип. 59. – С. 249-259. <https://doi.org/10.26565/2410-7360-2023-59-18>.

In cites: Khrystiuk Borys, Gorbachova Liudmyla (2023). Spatial-temporal tendencies of the ice regime of the Dnipro Cascade reservoirs. Visnyk of V. N. Karazin Kharkiv National University, series "Geology. Geography. Ecology", (59), 249-259. <https://doi.org/10.26565/2410-7360-2023-59-18> [in Ukrainian]

Постановка проблеми та аналіз останніх досліджень і публікацій. У світі перші дослідження льодових явищ на водних об'єктах обумовлювалися, перш за все, економічною та суспільною безпекою [1, 2]. У подальшому розпочалися дослідження з огляду на екологічні аспекти, які можуть виникати під дією льодових явищ [1, 3, 4], а також мінливості і зміни клімату [5-8]. Так, утворення льодових явищ на річках і водосховищах, на яких побудовано гідроелектростанції призводить до економічних втрат внаслідок, наприклад, зменшення кількості води через її замерзання, скидів води, а також залучення додаткових засобів для уникнення пошкоджень обладнання тощо [1-3]. Повені, які виникають від заторів і загорів на річках наносять значні матеріальні збитки, а іноді призводять і до загибелі людей [9, 10]. Комерційне або рекреаційне судноплавство також потерпає від льодових явищ на

річках, озерах та водосховищах, оскільки можливе пошкодження як самих суден, так і навігаційних систем, шлюзів, мостів [11]. Видобуток і транспортування корисних копалин надає поштовх у розвитку досліджень льодових явищ з огляду соціально-економічних і екологічних наслідків [2, 9]. Льодові явища на річках впливають на їхнє фізичне середовище і екологічний стан, змінюючи гідравлічні умови, які, у свою чергу, контролюють перенесення потоку, перемішування забруднюючих речовин, і перенесення наносів [1, 3, 4]. Окрім цього, льодовий покрив знижує швидкість аерації, тим самим знижуючи рівень розчиненого кисню під льодом та проникнення світла, що обумовлює низьку швидкість фотосинтезу [2, 3, 12]. Мінливість клімату змінює гідрокліматичні умови річок і, відповідно, їхній водний та льодовий режими. Внаслідок потепління клімату льодовий покрив на водних об'єк-

тах стає нестійким або взагалі може не утворюватися. Разом з цим, товщина льодового покриву зменшується. Змінюються також і строки настання і очищення від льодових явищ. Такі зміни льодових явищ впливають на роботу інфраструктури, наприклад, гребель, мостів і водозаборів, частоту і силу повеней від заторів/зajorів, здоров'я водних екосистем тощо [5-8, 13]. Отже, дослідження умов формування, тенденцій, кількісних характеристик льодового режиму водних об'єктів має важливе теоретичне і практичне значення.

В Україні дослідженням льодового режиму водних об'єктів не приділяється належної уваги. Перше найбільш повне ґрунтовне узагальнення матеріалів спостережень за характеристиками льодового режиму річок України було виконано у 60-70-х роках ХХ століття. У подальшому такі дослідження виконувались для окремих річкових басейнів та за різні періоди спостережень [14-22].

Виділення невирішених раніше частин загальної проблеми. Оцінювання тенденцій, змін і коливань в часових рядах спостереження здійснюється різними методами [27]. Вибір таких методів є відповідальним завданням, оскільки такий вибір безпосередньо впливає на достовірність отриманих результатів дослідження. Для отримання більш надійних результатів рекомендується застосовувати комплексний підхід, що базується на використанні різних тестів і методів [23-25].

Досліджень, які присвячено оцінюванню характеристик льодового режиму саме каскаду Дніпровський водосховищ майже немає, окрім робіт Сусідка М.М. та ін., Вишневецького В.І. [16, 26]. Зазначимо, що сьогодні тривалість рядів спостережень за льодовим режимом на водосховищах Дніпровського каскаду значно збільшилася (більші ніж на 10 років) у порівнянні з тривалістю рядів, які використано у роботах [16, 26].

Мета цієї публікації – оцінювання просторово-часових тенденцій рядів спостережень за льодовим режимом водосховищ Дніпровського каскаду на основі комплексного підходу за статистичними та графічними методами. Відповідно до поставленої мети в роботі вирішувались наступні завдання:

- дослідити стаціонарність рядів спостережень льодового режиму за непараметричним статистичним критерієм Манна-Кендалла;
- виконати просторовий аналіз тенденцій льодового режиму за суміщеними графіками;
- дослідити часову однорідність рядів спостережень льодового режиму за сумарної кривою;
- проаналізувати циклічні коливання (фази підвищення і зменшення, синхронність, синфазність) та стаціонарність рядів спостережень льодового режиму за інтегральною кривою відхилень;

- визначити мінливість строків настання основних фаз льодового режиму водосховищ за період спостережень.

Такий комплексний підхід для дослідження тенденцій льодового режиму водосховищ Дніпровського каскаду буде застосовано вперше, оскільки раніше у роботі [16] було розраховано тільки лінійні тренди без визначення їхньої статистичної значущості, а у роботі [26] зміни характеристик льодового режиму водосховищ з часом не розглядалися взагалі.

Вихідні дані та методи дослідження. Каскад Дніпровських водосховищ складається із 6 водосховищ, які було побудовано на р. Дніпро впродовж ХХ століття. Отже, до каскаду входять Київське, Канівське, Кременчуцьке, Кам'янське, Дніпровське та Каховське водосховища (рис. 1).

Спостереження за льодовим режимом на водосховищах Дніпровського каскаду виконуються на 38 гідрологічних постах, які розташовано на берегах водосховищ (табл. 1). Найбільшу кількість постів спостережень мають Кременчуцьке і Каховське водосховища, тобто 7 і 8 постів відповідно. Найменшу кількість постів має Кам'янське водосховище, тобто – 5. Інші водосховища мають по 6 постів спостережень.

У роботі створено електронну базу даних, що містить відомості для 35 гідрологічних постів за зимовий сезон (жовтень-квітень) за наступними характеристиками:

- дата появи льодових явищ (ДПЯ);
- дата встановлення льодоставу (ДВЛ);
- дата руйнування льодоставу (ДРЛ);
- дата очищення від льоду (ДОЛ).

Початок спостережень на кожному гідрологічному посту відбувався у різні роки, але відомості до бази даних занесено по 2020 рік включно. Інформація до бази даних занесено з матеріалів спостережень за гідрологічним режимом озер та водосховищ басейну р. Дніпро, що містяться у різних опублікованих довідкових матеріалах, підготовлених Центральною геофізичною обсерваторією ім. Бориса Срезневського (м. Київ). Три гідрологічних поста, а саме вдсх Канівське – м. Вишгород, вдсх Кам'янське – м. Світловодськ і вдсх Дніпровське – м. Кам'янське мають значний антропогенний вплив, тому дані спостережень цих постів у дослідженні не розглядалися. Середня тривалість рядів спостережень становить 55 років. Переважна більшість рядів має тривалість понад 50 років. Найдовший ряд має тривалість спостереження 74 роки (вдсх Дніпровське – м. Дніпро), а найкоротший – 43 роки (вдсх Дніпровське – смт Сухачівка).

За дату появи льодових явищ та встановлення льодоставу на водосховищах приймалась дата їхньої першої появи у поточному зимовому

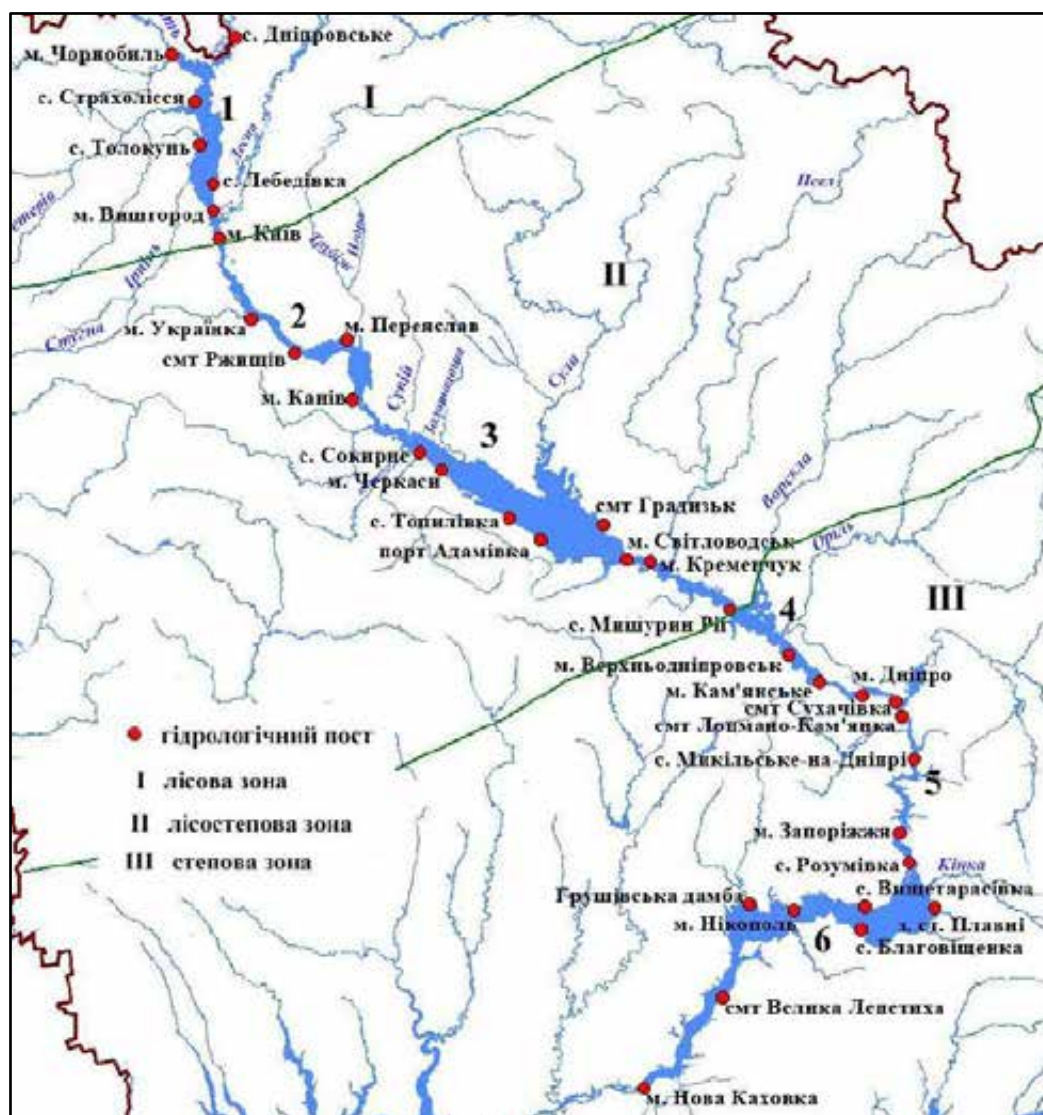


Рис. 1. Схема водосховищ Дніпровського каскаду та розташування гідрологічних постів на них (нумерація водосховищ відповідає таблиці 1) /

Fig. 1. Scheme of the Dnipro Cascade reservoirs and location of the water gauges on them (numbering of reservoirs corresponds to table 1)

Таблиця 1 / Table 1

Перелік гідрологічних постів на водосховищах Дніпровського каскаду /

List of water gauges at the Dnipro Cascade reservoirs

№	Назва водо- сховища	Рік напов- нення	Кількість постів	Назви постів
1	Київське	1966	6	с. Дніпровське, м. Чорнобиль, с. Страхолісія, с. Толокунь, с. Лебедівка, м. Вишгород
2	Канівське	1976	6	м. Вишгород, м. Київ, м. Українка, смт Ржищів, м. Переяслав, м. Канів
3	Кременчуцьке	1961	7	м. Канів, с. Сокирне, с. Топилівка, порт Адамівка, смт Градизьк, м. Світловодськ, м. Черкаси
4	Кам'янське	1964	5	м. Світловодськ, м. Кременчук, с. Мишури Ріг, м. Кам'янське, м. Верхньодніпровськ
5	Дніпровське	(1932) 1948	6	м. Кам'янське, м. Запоріжжя, м. Дніпро, смт Лоцмано-Кам'янка, с. Микільське на Дніпрі, смт Сухачівка
6	Каховське	1958	8	с. Розумівка, з.ст. Плавні, Грушівська дамба, м. Нікополь, смт Велика Лепетиха, м. Нова Каховка, с. Благовіщенка, с. Вищетарасівка

сезоні. За дату руйнування льодоставу приймалась дата початку його руйнування, тобто його танення, а за дату очищення від льоду – дата після останнього дня з льодовими явищами або льодоставом, тобто дата першого дня «чистої води».

Для оцінювання тенденцій рядів спостережень за льодовим режимом водосховищ Дніпровського каскаду застосовано комплексний підхід, який полягає у використанні статистичних та графічних методів. Враховуючи особливості гідрологічних рядів спостережень (ненормальний розподіл, залежність у часі, циклічні коливання) у статистичному підході використовували метод Пірсона і непараметричний критерій Манна-Кендалла [23, 27]. Встановлення рівняння тренду в часовому ряді та коефіцієнт кореляції між змінними визначали за методом Пірсона. Оцінювання статистичної значущості тренду проводили за допомогою непараметричного критерію Манна-Кендалла [28, 29]. Розрахунки проводились за допомогою програмного забезпечення RStudio (версія 1.4.1717) [30]. Отже, якщо статистичні характеристики (середнє значення, дисперсія) часового ряду не змінюються з часом, то такий ряд є стаціонарним, тобто у часовому ряді спостережень тренд відсутній.

У роботі Кундцевича З., Робсона А. [27] показано, що результати аналізу за статистичними тестами необхідно підтверджувати аналізом за графічними методами та історичними даними. Графічні методи надають можливість виконувати аналіз тенденції гідрометеорологічних даних з часом, визначати їхні зміни, циклічні коливання різної тривалості та їхні характеристики (фази підвищення і зменшення, їхню тривалість, синхронність, синфазність). У роботі використано підхід, який розроблено Горбачовою Л.О. [31, 32] на основі застосування наступних графічних методів, а саме сумарної кривої, інтегральної кривої відхилень, суміщених графіків. Графічні методи широко застосовуються і для аналізу тенденцій льодових явищ [17-21]. Комплексне застосування статистичних і графічних методів надає можливість отримувати більш достовірні результати [18, 23-25, 27, 31].

При побудові графіків строків настання фаз льодового режиму за початкові значення для їхнього числового представлення приймалися самі ранні дати [18]. Сумарна крива, яка є графіком накопичувальних величин характеристики льодового режиму, за незмінних умов її формування наближається до вигляду прямої лінії, нахил якої щодо осі абсцис є постійним з часом коефіцієнтом. Відхилення характеристики від прямої лінії є індикатором змін в умовах її формування. За інтегральною кривою відхилень аналізують коротко- та довготривалі циклічні коливання харак-

теристик льодового режиму, а також їхню тривалість, синхронність, синфазність і стаціонарність. Ряд вважається стаціонарним у випадку сталості його середнього значення з часом, що досягається наявністю хоча б одного повного замкнутого циклу (фази підвищення і фази зменшення) довготривалих циклічних коливань. Суміщені графіки дозволяють виконувати просторовий аналіз, а саме визначати синхронні та синфазні або навпаки довготривалі циклічні коливання характеристик льодового режиму на різних постах спостережень. У свою чергу, синхронні коливання вказують на однорідні кліматичні умови формування характеристик льодового режиму [31, 32].

Результати дослідження. Аналіз результатів перевірки рядів спостережень льодового режиму водосховищах Дніпровського каскаду на стаціонарність за критерієм Манна-Кендалла показав, що більшість рядів дат появи льодових явищ і встановлення льодоставу є стаціонарними, тоді як більшість рядів дат руйнування льодоставу і очищення від льоду виявилися нестационарними. Так, з 35 рядів нестационарними виявилися тільки 8 для дат появи льодових явищ (ДПЯ) і 1 – для дат встановлення льодоставу (ДВЛ), 21 – для дат руйнування льодоставу (ДРЛ) і 23 – для дат очищення від льоду (ДОЛ) (табл. 2). Для більш чіткого розуміння та підтвердження результатів за статистичним тестом Манна-Кендалла надалі у дослідженні було побудовано для всіх 35 гідрологічних постів графіки сумарних кривих, інтегральних кривих відхилень та суміщенні хронологічні графіки характеристик льодового режиму водосховищ Дніпровського каскаду.

Для всіх фаз льодового режиму і для кожного водосховища Дніпровського каскаду спостерігаються синхронні і синфазні коливання, що свідчить про однорідність умов їхнього формування.

Синхронні і синфазні коливання характеристик льодового режиму надали змогу осереднити їхні показники для кожного водосховища (рис. 2). Побудовані осереднені сумарні криві характеристик льодового режиму показують відсутність односторонніх стійких тенденцій у рядах спостережень. Форма сумарних кривих показує, що ряди спостережень мають точку перегину, після якої вони змінюють тенденцію (рис. 2 по центру). Разом з цим, вигляд сумарних кривих вказує на те, що зміна тенденцій має коливальний характер, який пов'язано з різними фазами довготривалих циклічних коливань льодового режиму водосховищ Дніпровського каскаду. Так, згідно осереднених інтегральних кривих відхилень для дат появи льодових явищ і встановлення льодоставу фаза зниження розпочалася у 1982 році і тривала до 1999 року, тобто поява льодових явищ і встановлення льодоставу відбувається у більш пізні дати

Таблиця 2 / Table 2

Результати перевірки рядів спостережень за льодовим режимом на водосховищах
Дніпровського каскаду на стаціонарність за тестом Манна-Кенделла /
The checking results of the ice regime observation series for stationarity according to the Mann-Kendell test
at the Dnipro Cascade reservoirs

№	Назва гідрологічного поста	Статистична значущість тренду на рівні 5%			
		ДПЯ	ДВЛ	ДРЛ	ДОЛ
1	вдсх Київське – с. Дніпровське	ні	ні	так	ні
2	вдсх Київське – м. Чорнобиль	ні	ні	так	так
3	вдсх Київське – с. Зелений Мис	ні	так	так	так
4	вдсх Київське – с. Толокунь	ні	ні	так	так
5	вдсх Київське – с. Лебедівка	так	ні	так	так
6	вдсх Київське – м. Вишгород	ні	ні	так	так
7	вдсх Канівське – м. Київ	так	ні	ні	ні
8	вдсх Канівське – м. Українка	ні	ні	ні	так
9	вдсх Канівське – смт Ржищев	так	ні	ні	ні
10	вдсх Канівське – м. Переяслав	так	ні	ні	ні
11	вдсх Канівське – м. Канів	так	ні	ні	ні
12	вдсх Кременчуцьке – м. Канів	так	ні	так	ні
13	вдсх Кременчуцьке – с. Сокирне	ні	ні	так	так
14	вдсх Кременчуцьке – м. Черкаси	ні	ні	так	так
15	вдсх Кременчуцьке – с. Топилівка	ні	ні	так	так
16	вдсх Кременчуцьке – порт Адамівка	так	ні	так	так
17	вдсх Кременчуцьке – смт Градизьк	ні	ні	ні	ні
18	вдсх Кременчуцьке – м. Світловодськ	ні	ні	так	так
19	вдсх Кам'янське – м. Кам'янське	ні	ні	так	так
20	вдсх Кам'янське – с. Мішурин Ріг	ні	ні	ні	ні
21	вдсх Кам'янське – м. Верхньодніпровськ	ні	ні	так	так
22	вдсх Кам'янське – м. Кременчук	ні	ні	ні	ні
23	вдсх Дніпровське – смт Сухачівка	ні	ні	ні	ні
24	вдсх Дніпровське – м. Дніпро	ні	ні	так	так
25	вдсх Дніпровське – смт Лоцмано-Кам'янка	ні	ні	ні	так
26	вдсх Дніпровське – с. Микільське-на-Дніпрі	ні	ні	так	так
27	вдсх Дніпровське – м. Запоріжжя	ні	ні	так	так
28	вдсх Каховське – с. Розумівка	ні	ні	ні	ні
29	вдсх Каховське – с. Вищетарасівка	ні	ні	ні	ні
30	вдсх Каховське – з. ст. Плавні	ні	ні	ні	так
31	вдсх Каховське – с. Благовіщенка	ні	ні	так	так
32	вдсх Каховське – м. Нікополь	ні	ні	так	так
33	вдсх Каховське – Грушівська дамба	так	ні	так	так
34	вдсх Каховське – смт Велика Лепетиха	ні	ні	ні	так
35	вдсх Каховське – м. Нова Каховка	ні	ні	так	так

(рис. 2 зліва). Для дат руйнування льодоставу і очищення від льоду з початку спостережень тривала фаза підвищення, яка змінилася у 1988 році на фазу зниження, тобто скресання льодоставу і очищення від льодових явищ відбувається у більш ранні дати.

За інтегральними кривими відхилень дат руйнування льодоставу і очищення від льоду не можна чітко визначити початок фази підвищення, оскільки спостереження розпочалися тоді, коли ця фаза вже тривала. Окрім цього, для цих характеристик також не можна визначити і закінчення фази зниження, яка триває дотепер. Для дат появи

льодових явищ і встановлення льодоставу неможливо визначити тільки закінчення фази підвищення, яка також триває дотепер. Отже, такі ряди спостережень не є репрезентативними для сталого визначення їхнього середнього багаторічного значення, а саме норми. У роботах [18, 33] доведено, що зміна середнього значення рядів спостережень залежить від наявності або відсутності репрезентативного періоду, тобто фази підвищення і фази зниження. Разом з цим, ряди спостережень характеристик льодового режиму водосховищ все ж таки мають фази зниження і підвищення, хоча деякі з них і є незавершеними.

Отже, такі ряди спостережень можна віднести до квазістаціонарних, а за сумарними кривими – до квазіоднорідних. Саме для таких рядів особливо важливо періодично повторювати дослідження.

Суміщені хронологічні графіки, так саме, як і графіки різницевої кривих відхилень вказують на синхронні коливання строків настання основних фаз льодового режиму шести водосховищ Дніпровського каскаду (рис. 2 справа). Разом з

цим, кожне водосховище Дніпровського каскаду вирізняється мінливістю у строках настання основних фаз льодового режиму за період спостережень (табл. 3). Отже, найбільшою мінливістю характеризуються дати появи льодових явищ і встановлення льодоставу, що обумовлюється тривалістю спостережень, а також наявністю і довжиною окремих повних циклів довготривалих коливань та їхніх фаз (підвищення та зниження) (рис. 2 зліва).

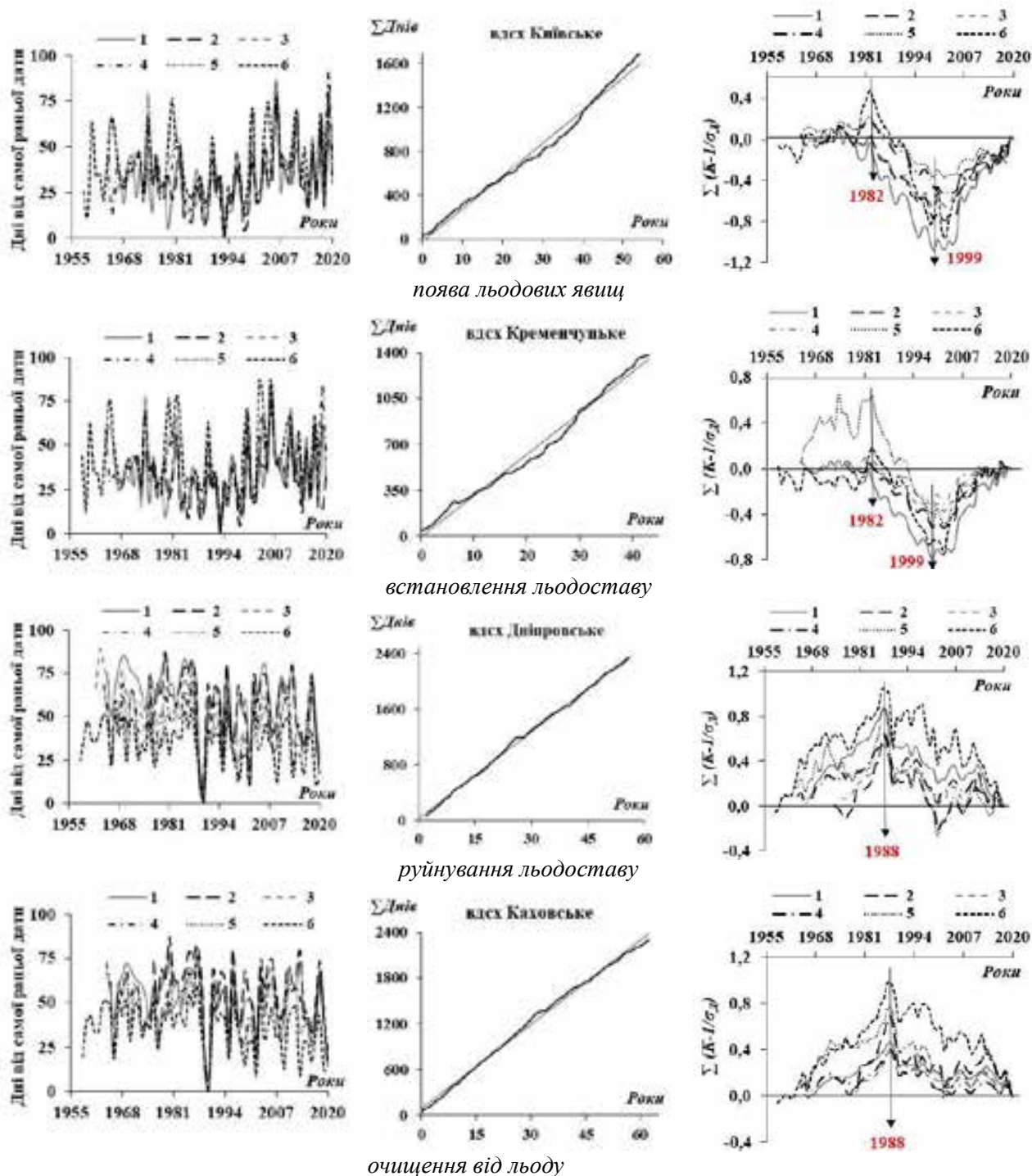


Рис. 2. Осереднені для кожного водосховища Дніпровського каскаду суміщені хронологічні графіки (зліва), сумарні криві (по центру) та інтегральні криві відхилень (справа) (нумерація водосховищ відповідає табл. 1) /

Fig. 2. Averaged for each reservoir of the Dnipro Cascade the combined chronological graphs (left), mass curves (center) and residual mass curves (right) (numbering of reservoirs corresponds to Table 1)

Таблиця 3 / Table 3

Мінливість дат настання основних фаз льодового режиму водосховищ Дніпровського каскаду /
Changeability of the appearance dates of the main phases of the ice regime of the Dnipro Cascade reservoirs

Назва водосховища	Рівняння*	R	Мінливість, дні/роки
<i>дати появи льодових явищ</i>			
Київське	$y = 0,24x - 450,4$	0,26	13 днів/54 роки
Канівське	$y = 0,48x - 927,7$	0,37	21 день/44 роки
Кременчуцьке	$y = 0,44x - 853,0$	0,36	19 днів /44 роки
Кам'янське	$y = 0,17x - 298,3$	0,18	9 днів /56 років
Дніпровське	$y = 0,04x - 41,7$	0,04	2 дні /56 років
Каховське	$y = 0,19x - 338,5$	0,19	12 днів /62 роки
<i>дати встановлення льодоставу</i>			
Київське	$y = 0,26x - 489,2$	0,26	14 днів/54 роки
Канівське	$y = 0,28x - 523,8$	0,23	12 днів /44 роки
Кременчуцьке	$y = 0,41x - 783,1$	0,30	18 днів /44 роки
Кам'янське	$y = 0,12x - 204,8$	0,12	7 днів /56 років
Дніпровське	$y = 0,01x + 6,11$	0,01	1 день /56 років
Каховське	$y = 0,13x - 217,9$	0,12	8 днів /62 роки
<i>дати руйнування льодоставу</i>			
Київське	$y = -0,39x + 849,5$	-0,36	- 21 день/54 роки
Канівське	$y = -0,21x + 476,0$	-0,18	- 9 днів /44 роки
Кременчуцьке	$y = -0,26x + 573,4$	-0,20	- 12 днів /44 роки
Кам'янське	$y = -0,22x + 477,6$	-0,23	- 12 днів /56 років
Дніпровське	$y = -0,16x + 371,7$	-0,18	- 9 днів /56 років
Каховське	$y = -0,20x + 442,7$	-0,30	- 13 днів /62 роки
<i>дати очищення від льоду</i>			
Київське	$y = -0,31x + 679,3$	-0,33	- 17 днів /54 роки
Канівське	$y = -0,38x + 823,0$	-0,26	- 17 днів /44 роки
Кременчуцьке	$y = -0,34x + 722,8$	-0,25	- 15 днів /44 роки
Кам'янське	$y = -0,15x + 348,1$	-0,16	- 8 днів /56 років
Дніпровське	$y = -0,20x + 449,3$	-0,20	- 11 днів /56 років
Каховське	$y = -0,25x + 528,9$	-0,33	- 15 днів /62 роки

Примітка: * – усереднено для водосховища; R – коефіцієнт кореляції за методом Пірсона

Так, у таких рядах наявність частини кінцевої фази суміжного циклу довготривалих коливань на початку спостережень та її тривалість, тобто до 1982 року і обумовлює суттєві розбіжності у днях у табл. 3 за аналізом на основі рівняння тренду та оцінювання статистичної значущості його коефіцієнта кореляції за тестом Манна-Кендалла (табл. 2). Ряди спостережень за датами руйнування льодоставу і очищення від льоду мають тільки незавершені фази підвищення і зниження, що й обумовлює схожість їхніх результатів мінливості днів у табл. 3, а також їхню статистичну значимість трендів у табл. 2. Зрозуміло, що фази підвищення і зниження мають суттєві розбіжності у середніх значеннях і завжди при їхньому порівнянні за будь-якими статистичними тестами класифікуються як нестационарні. Деякі відмінності у результатах у табл. 2 для дат руйнування льодоставу і очищення від льоду пояснюються різницею у тривалості рядів спостережень (водосховища побудовані у різні проміжки часу) і, відпо-

відно, охоплюють різні частини фаз довготривалих коливань. Отже, статистично значущі тренди рядів спостережень характеристик льодового режиму водосховищ, які наведено у табл. 2, носять тимчасовий характер, оскільки вони залежать від довготривалих циклічних коливань, а також тривалості спостережень, які можуть охоплювати цикли, різні фази або частини таких коливань. Такі висновки співпадають з результатами роботи [34], які отримано для головних річок світу.

Висновки. У дослідженні представлено результати оцінювання тенденцій льодового режиму водосховищ Дніпровського каскаду, які дозволяють зробити наступні висновки:

- За статистичним тестом Манна-Кендалла отримано суперечливі результати щодо стаціонарності рядів спостережень льодового режиму водосховищ.

- Графічний аналіз на основі застосування сумарної кривої, різницевої кривої відхилень і сумішених хронологічних графіків показав, що

ряди спостережень за льодовим режимом мають синхронні і синфазні коливання, отже, мають однакові часові і просторові тенденції.

- Ряди спостережень дат появи льодових явищ і встановлення льодоставу з 1982 року мають фазу зниження довготривалих циклічних коливань, яка змінюється на фазу підвищення у 1999 році і, яка триває дотепер. У рядах спостережень дат руйнування льодоставу і очищенні від льоду фаза підвищення тривала від початку спостережень до 1988 року, після якого розпочалася фаза зниження, яка також триває дотепер. Отже, усі ряди спостережень є не репрезентативними для визначення їхнього середнього значення, оскільки мають незавершені цикли довготривалих коливань. Такі ряди є квазістаціонарними і квазіоднорідними;

- Дати настання основних фаз льодового режиму водосховищ Дніпровського каскаду вирізняються мінливістю. Так, за період спостережень поява льодових явищ на водосховищах стала відбуватися пізніше у діапазоні від 2 до 21 дня, встановлення льодоставу – від 1 до 18 днів. Руйнування льодоставу і очищення від льоду, навпаки, стали відбуватися раніше у діапазоні від 9

до 21 дня і від 8 до 17 днів, відповідно. Разом з цим, такі тенденції не є стійкими у часі, оскільки статистична значущість трендів є тимчасовою і у майбутньому буде визначатися довготривалими циклічними коливаннями характеристик льодового режиму водосховищ Дніпровського каскаду.

- Отримані результати дослідження дозволяють використовувати ряди спостережень за льодовим режимом водосховищ Дніпровського каскаду для подальших досліджень, а саме будь якої статистичної обробки (визначення ймовірнісних характеристик, пошуку прогностичних залежностей, узагальнень, тощо).

Дане дослідження виконано згідно держбюджетних тем Українського гідрометеорологічного інституту ДСНС України та НАН України, а саме № 5/21 "Розроблення системи довгострокового прогнозування строків настання фаз льодового режиму на водосховищах басейну р. Дніпро" (№ державної реєстрації 0121U108580) та № 1/22 «Розроблення системи довгострокового прогнозування строків руйнування льодоставу та очищення від льоду на водосховищах Дніпровського каскаду» (№ державної реєстрації 0122U002426).

Список використаної літератури

1. Beltaos S. Hydrotechnical advances in Canadian river ice science and engineering during the past 35 years [Text] / S. Beltaos, B. Burrell // *Canadian Journal of Civil Engineering*. – 2015. – Vol. 42(9). – 583-591. DOI: <https://doi.org/10.1139/cjce-2014-0540>
2. Stickler M. Factors controlling anchor ice formation in two Norwegian rivers [Text] / M. Stickler, K. Alfredsen // CGU HS Committee on River Ice Processes and the Environment, 13th Workshop on the Hydraulics of Ice Covered Rivers, Hanover, NH, September 15-16, 2005.
3. Prowse T.D. Climatic control of river-ice hydrology: a review [Text] / T.D. Prowse, S. Beltaos // *Hydrological Processes*. – 2002. – Vol. 16(4). – P. 805-822. DOI: <https://doi.org/10.1002/hyp.369>
4. Stonevicius E. Ice regime dynamics in the Nemunas River, Lithuania [Text] / E. Stonevicius, G. Stankunavicius, K. Kilkus // *Climate Research*. – 2008. – Vol. 36. – P. 17-28. DOI: <https://doi.org/10.3354/cr00707>
5. Solarski M. Ice Regime of the Kozłowa Góra Reservoir (Southern Poland) as an Indicator of Changes of the Thermal Conditions of Ambient Air [Text] / M. Solarski, M. Rzętała // *Water*. – 2020. – Vol. 12. – 2435. DOI: <https://doi.org/10.3390/w12092435>
6. Klavins M. Long-term changes in ice and discharge regime of rivers in the Baltic region in relation to climatic variability [Text] / M. Klavins, A. Briede, V. Rodinov // *Climatic Change*. – 2009. – Vol. 95. – P. 485-498. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10584-009-9567-5>
7. Efremova T.V. Ice Phenomena Terms on the Water Bodies of Northwestern Russia [Text] / T.V. Efremova, N.I. Pal'shin // *R. Meteorology and Hydrology*. – 2011. – Vol. 36(8). – P. 559-565.
8. Magnuson J.J. Historical trends in lake and river ice cover in the northern hemisphere [Text] / J.J. Magnuson, D. Robertson, B. Benson et al. // *Science*. – 2000. – Vol. 289. – P. 1743-1746. DOI: <https://doi.org/10.1126/science.289.5485.1743>
9. Das A. Sustainable ice-jam flood Management for Socio-Economic and Socio-Ecological Systems [Text] / A. Das, M. Reed, K.-E. Lindenschmidt // *Water*. – 2018. – Vol. 10(2). – 135. DOI: <https://doi.org/10.3390/w10020135>
10. Rokaya P. Trends in the timing and magnitude of ice-jam floods in Canada [Text] / P. Rokaya, S. Budhathoki, K.-E. Lindenschmidt // *Science Report*. – 2018. – Vol. 8. – P. 583. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41598-018-24057-z>
11. Marszelewski W., Pawłowski B. Long-Term Changes in the Course of Ice Phenomena on the Oder River along the Polish-German Border [Text] / W. Marszelewski, B. Pawłowski // *Water Resources Management*. – 2019. – Vol. 33. – P. 5107-5120. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11269-019-02417-2>
12. Beltaos S. River ice jams [Text] / S. Beltaos – *Water Resources Publications: Highlands Ranch, Colorado*, 1995. – 390 p.
13. Yang X. The past and future of global river ice [Text] / X. Yang, T.M. Pavelsky, G.H. Allen // *Nature*. – 2020. – Vol. 577. – P. 69-73. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41586-019-1848-1>

14. Вишневський В.І. Вплив кліматичних змін і господарської діяльності на термічний і льодовий режими річок [Текст] / В.І. Вишневський // Наук. праці УкрНДГМІ. – 2002. – Вип. 250. – С. 121-137.
15. Щербак А.В. Льодовий режим річок України (льодоутворення та його характеристики) [Текст] / А.В. Щербак, М.В. Зеленська, Ю.М. Гайдай // Наук. праці УкрНДГМІ. – 2007. – Вип. 256. – С. 214-222.
16. Вишневський В.І. Льодовий режим Дніпровських водосховищ [Текст] / В.І. Вишневський, А.М. Заводцова // Праці Центральної геофізичної обсерваторії. – 2009. – Вип. 5(19). – С. 46-54.
17. Струтинська В.М. Термічний та льодовий режими річок басейн у Дніпра з другої половини XX століття [Текст] / В.М. Струтинська, В.В. Гребінь. – К.: Ніка-Центр, 2010. – 196 с.
18. Gorbachova L. The dynamics and probabilistic characteristics of the ice phenomena of the Danube River and its Kiliysky channel [Text] / L. Gorbachova, B. Khrystyuk // Conference proceeding «Water resource and wetlands», 14-16 September, Tulcea, Romania. – 2012. – P. 319-324. Available at: <http://www.limnology.ro/water2012/Proceedings/048.pdf>
19. Горбачова Л.О. Багаторічна динаміка льодових явищ в басейні річки Південний Буг [Текст] / Л.О. Горбачова // Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія. – 2013. – Т. 3 (30). – С. 21-27.
20. Rachmatullina E. Homogeneity analysis of winter regime characteristics for the Southern Bug River basin [Text] / E. Rachmatullina, V. Grebin // Energetika. – 2014. – Vol. 60 (3). – P. 184-196. DOI: <https://doi.org/10.6001/energetika.v60i3.2991>
21. Афтенюк О.О. Дати настання основних фаз льодового режиму річок в басейні Прип'яті (у межах України) [Текст] / О.О. Афтенюк // Матеріали IV-го Всеукраїнського пленеру з питань природничих наук, 19 червня 2020 р. Одеса, 2020. – С. 10-12.
22. Khrystiuk, B.F. Application of the Natl Index for Long-Term Forecasting of Freeze-Up Appearance Date at the Kyiv Reservoir [Text] / B.F. Khrystiuk, L.O. Gorbachova // Proceedings of the XVI International Scientific Conference «Monitoring of Geological Processes and Ecological Condition of the Environment», Kyiv, Ukraine, November 15-18, 2022. European Association of Geoscientists & Engineers (EAGE), 2022. – Vol. 2022. – P. 1-5. DOI: <https://doi.org/10.3997/2214-4609.2022580071>
23. Guide to Hydrological Practices. Management of Water Resources and Application of Hydrological Practices [Text]. – Sixth edition. – World Meteorological Organization, Geneva, Switzerland, 2009. – WMO-No. 168. – 324 p.
24. Gorbachova L. Estimation of tendencies, homogeneity and stationarity of air temperature at the Ukrainian Antarctic Akademik Vernadsky station during 1951-2020 [Text] / L. Gorbachova, B. Khrystiuk, V. Shpyg, D. Pishniak // Geofizicheskii Zhurnal. – 2022. – Vol. 44 (4). – P. 111-122. DOI: <https://doi.org/10.24028/gj.v44i4.264848>
25. Hussain I. Outlier Detection using Graphical and Nongraphical Functional Methods in Hydrology [Text] / I. Hussain // International Journal of Advanced Computer Science and Applications. – 2019. – Vol. 10 (12). DOI: <https://doi.org/10.14569/IJACSA.2019.0101259>
26. Сусідко М.М. Льодовий режим рівнинних річок і водосховищ України. Система короткотермінового прогнозування його характеристик [Текст] / М.М. Сусідко, А.В. Щербак, М.В. Зеленська, В.І. Данильчук // Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія. – 2007. – Т. 13. – С. 62-84.
27. Kundzewicz Z.W. Change detection in hydrological records – a review of the methodology [Text] / Z.W. Kundzewicz, A.J. Robson // Hydrological Sciences Journal. – 2004. – Vol. 49 (1). – P. 7-19. DOI: <https://doi.org/10.1623/hysj.49.1.7.53993>
28. Mann H.B. Nonparametric tests against trend [Text] / H.B. Mann // Econometrica. – 1945. – Vol. 13 (3). – P. 245-259. DOI: <https://doi.org/10.2307/1907187>
29. Kendall M.G. Rank Correlation Methods [Text] / M.G. Kendall. – 4th edition. – Charles Griffin, London, 1975. – 202 p.
30. R Core Team. A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria, 2017. Available online <https://www.r-project.org> (data access 14.04.2023)
31. Горбачова Л.О. Методичні підходи щодо оцінки однорідності та стаціонарності гідрологічних рядів спостережень [Текст] / Л.О. Горбачова // Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія. – 2014. – Т. 1 (32). – С. 22-31.
32. Gorbachova L. Homogeneity and stationarity analysis of the snow-rain floods in the Danube basin within Ukraine [Text] / L. Gorbachova, T. Zabolotnia, B. Khrystyuk // Acta Hydrologica Slovaca. – 2018. – Vol. 19(1). – P. 35-41.
33. Gorbachova L. The intra-annual streamflow distribution of Ukrainian rivers in different phases of long-term cyclical fluctuations [Text] / L. Gorbachova // Energetika. – 2015. – Т. 61(2). – P. 71-80. DOI: <https://doi.org/10.6001/energetika.v61i2.3134>
34. Pekarova P. Spatial and temporal runoff oscillation analysis of the main rivers of the world during the 19th-20th centuries [Text] / P. Pekarova, P. Miklánek, J. Pekár // Journal of Hydrology. – 2003. – Vol. 274. P. 62-79. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0022-1694\(02\)00397-9](https://doi.org/10.1016/S0022-1694(02)00397-9)

Внесок авторів: всі автори зробили рівний внесок у цю роботу.

Spatial-temporal tendencies of the ice regime of the Dnipro Cascade reservoirs

Borys Khrystiuk¹

PhD (Geography), Senior Researcher,

Head of the Laboratory of hydrological calculations,

¹ Ukrainian Hydrometeorological Institute of the State Emergency Service of Ukraine

and the National Academy of Sciences of Ukraine,

37 Prospekt Nauky, Kyiv, 03028, Ukraine;

Liudmyla Gorbachova¹

DSc (Geography), Professor, Head of the Department of hydrological research

Formulation of the problem. Knowledge about the formation, destruction and trends of the ice regime of rivers and reservoirs is very important for hydropower, shipping, fisheries, etc. There are almost no studies that evaluated the trends, homogeneity and stationarity of the ice regime of the Dnipro Cascade reservoirs. At the same time, such research is relevant especially in the conditions of a changing climate.

The objective of this paper is evaluation of spatio-temporal trends of a observation series for the ice regime of the Dnipro Cascade reservoirs based on a complex approach using statistical and graphical methods.

Methods. The research used statistical methods, namely the Pearson method for establishing of the trend equation in the time series and the correlation coefficient between variables, and the Mann-Kendall statistical non-parametric test for assessing the statistical significance of the trend. Among the graphic methods, the mass curve and residual mass curve were used to assess the homogeneity and stationarity of observation series, respectively, as well as combined chronological graphs for spatial analysis, determination of synchronous and in-phase (or on the contrary) long-term cyclic fluctuations of the ice regime characteristics at various water gauges. The research was carried out based on the observation data for dates of ice appearance, ice freeze-up, ice break-up (i.e., melt onset), ice disappearance for 35 water gauges.

Results. According to the Mann-Kendall statistical test, contradictory results were obtained regarding the stationarity of the observation series of the ice regime of the Dnipro Cascade reservoirs. At the same time, according to graphic analysis, such series turned out to be quasi-homogeneous and quasi-stationary, since they have unfinished phases of increase and decrease of long-term cyclical fluctuations. In turn, the cyclic fluctuations are characterized by synchronous and in-phase, which indicates the same temporal and spatial tendencies of the ice regime of six reservoirs. The dates of the appearance of main phases of the ice regime of the Dnipro Cascade reservoirs are characterized by significant variability.

Scientific novelty and practical significance. For the first time, modern knowledge about the ice regime characteristics of the Dnipro Cascade reservoirs were obtained based on the simultaneous application of statistical and graphical methods. In addition, the research results can be used for further research, namely any statistical processing (determination of probabilistic characteristics, search for prognostic dependencies, generalizations, etc.).

Keywords: ice regime, Dnipro reservoirs, homogeneity, stationarity, cyclic fluctuations, tendencies, graphical and statistical methods.

References

1. Beltaos S., Burrell B. (2015). Hydrotechnical advances in Canadian river ice science and engineering during the past 35 years. *Canadian Journal of Civil Engineering*, 42(9), 583-591. DOI: <https://doi.org/10.1139/cjce-2014-0540>
2. Stickler M., Alfredsen K. (2005). Factors controlling anchor ice formation in two Norwegian rivers. *CGU HS Committee on River Ice Processes and the Environment, 13th Workshop on the Hydraulics of Ice Covered Rivers, Hanover, NH, September 15-16, 2005*.
3. Prowse T.D., Beltaos S. (2002). Climatic control of river-ice hydrology: a review. *Hydrological Processes*, 16(4), 805-822. DOI: <https://doi.org/10.1002/hyp.369>
4. Stonevicius E., Stankunavicius G., Kilkus K. (2008). Ice regime dynamics in the Nemunas River, Lithuania. *Climate Research*, 36, 17-28. DOI: <https://doi.org/10.3354/cr00707>
5. Solarski M., Rzętala M. (2020). Ice Regime of the Kozłowa Góra Reservoir (Southern Poland) as an Indicator of Changes of the Thermal Conditions of Ambient Air. *Water*, 12, 2435. DOI: <https://doi.org/10.3390/w12092435>
6. Klavins M., Briede A., Rodinov V. (2009). Long-term changes in ice and discharge regime of rivers in the Baltic region in relation to climatic variability. *Climatic Change*, 95, 485-498. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10584-009-9567-5>
7. Efremova T.V., Pal'shin N.I. (2011). Ice Phenomena Terms on the Water Bodies of Northwestern Russia. *R. Meteorology and Hydrology*, 36(8), 559-565.
8. Magnuson J.J., Robertson D., Benson B., Wynne R., Livingstone D., Arai T., Assel R., Barry R., Card V., Kuusisto E., Granin N., Prowse T., Steward K., Vuglinski V. (2000). Historical trends in lake and river ice cover in the northern hemisphere. *Science*, 289, 1743-1746. DOI: <https://doi.org/10.1126/science.289.5485.1743>
9. Das A., Reed M., Lindenschmidt K.-E. (2018). Sustainable ice-jam flood Management for Socio-Economic and Socio-Ecological Systems. *Water*, 10(2), 135. DOI: <https://doi.org/10.3390/w10020135>
10. Rokaya P., Budhathoki S., Lindenschmidt K.-E. (2018). Trends in the timing and magnitude of ice-jam floods in Canada. *Science Report*, 8, 583. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41598-018-24057-z>

11. Marszelewski W., Pawłowski B. (2019). Long-Term Changes in the Course of Ice Phenomena on the Oder River along the Polish-German Border. *Water Resources Management*, 33, 5107-5120. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11269-019-02417-2>
12. Beltaos S. (ed.) (1995). *River ice jams*. Water Resources Publications, Highlands Ranch, Colorado.
13. Yang X., Pavelsky T.M., Allen G.H. (2020). The past and future of global river ice. *Nature*, 577, 69-73. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41586-019-1848-1>
14. Vishnevsky V.I. (2002). The influence of climatic changes and economic activity on the thermal and ice regimes of rivers. *Proceedings of the Ukrainian Hydrometeorological Institute*, 250, 121-137. [in Ukrainian].
15. Scherbak A.V., Zelenska M.V., Haidai Yu.M. (2007). The ice regime of Ukraine rivers (freeze-up formation and its characteristics). *Proceedings of the Ukrainian Hydrometeorological Institute*, 256, 214-222. [in Ukrainian].
16. Vishnevsky V.I., Zavodtsova A.M. (2009). The ice regime of the Dnipro reservoirs. *Proceedings of the Central Geophysical Observatory*, 5(19), 46-54. [in Ukrainian].
17. Strutynska V.M., Grebin V.V. (2010). *Thermal and ice regimes of the rivers of the Dnipro basin since the second half of the 20th century*, Kyiv, Nika-Center, 196. [in Ukrainian]
18. Gorbachova L., Khrystyuk B. (2012). The dynamics and probabilistic characteristics of the ice phenomena of the Danube River and its Kiliysky channel. *Conference proceeding «Water resource and wetlands»*, 14-16 September, Tulcea, Romania, 319-324. Available at: <http://www.limnology.ro/water2012/Proceedings/048.pdf>
19. Gorbachova L. (2013). Long-term dynamics of ice phenomena in the basin of the Southern Bug River. *Hydrology, Hydrochemistry and Hydroecology*, 3 (30), 21-27. [in Ukrainian]
20. Rachmatullina E., Grebin V. (2014). Homogeneity analysis of winter regime characteristics for the Southern Bug River basin. *Energetika*, 60 (3), 184-196. DOI: <https://doi.org/10.6001/energetika.v60i3.2991>
21. Afteniuk O.O. (2020). Dates of appearance of the main phases of the ice regime of rivers in the Pripjat basin (within Ukraine). *Proceeding IV All-Ukrainian Plein Air on Natural Sciences*, 19 June 2020, Odesa, Ukraine. OSENU, 10-12. [in Ukrainian]
22. Khrystiuk B.F., Gorbachova L.O. (2022). Application of the Natl Index for Long-Term Forecasting of Freeze-Up Appearance Date at the Kyiv Reservoir. *Proceedings of the XVI International Scientific Conference «Monitoring of Geological Processes and Ecological Condition of the Environment»*. Kyiv, Ukraine, November 15-18, 2022. European Association of Geoscientists & Engineers (EAGE), 2022, 1-5. DOI: <https://doi.org/10.3997/2214-4609.2022580071>
23. WMO (2009). *Guide to Hydrological Practices. Management of Water Resources and Application of Hydrological Practices*, 6th edition. Geneva, Switzerland. WMO-No. 168.
24. Gorbachova L., Khrystiuk B., Shpyg V., Pishniak D. (2022). Estimation of tendencies, homogeneity and stationarity of air temperature at the Ukrainian Antarctic Akademik Vernadsky station during 1951-2020. *Geofizicheskiy Zhurnal*, 44(4), 111-122. DOI: <https://doi.org/10.24028/gj.v44i4.264848>
25. Hussain I. (2019). Outlier Detection using Graphical and Nongraphical Functional Methods in Hydrology. *International Journal of Advanced Computer Science and Applications*, 10 (12). DOI: <https://doi.org/10.14569/IJACSA.2019.0101259>
26. Susidko M.M., Scherbak A.V., Zelenska M.V., Danylchuk V.I. (2007). Ice regime of plain rivers and reservoirs of Ukraine. A system of short-term forecasting of its characteristics. *Hydrology, hydrochemistry and hydroecology*. 13, 62-84. [in Ukrainian]
27. Kundzewicz Z.W., Robson A.J. (2004). Change detection in hydrological records – a review of the methodology. *Hydrological Sciences Journal*, 49 (1), 7-19. DOI: <https://doi.org/10.1623/hysj.49.1.7.53993>
28. Mann H.B. (1945). Nonparametric tests against trend. *Econometrica*, 13 (3), 245-259. DOI: <https://doi.org/10.2307/1907187>
29. Kendall M.G. (1975). *Rank Correlation Methods*, 4th edition. Charles Griffin, London.
30. R Core Team (2017). *A language and environment for statistical computing*. R Foundation for Statistical Computing. Vienna, Austria. Available at: <https://www.r-project.org>
31. Gorbachova L. (2014). Methodical approaches the assessment of the homogeneity and stationarity of hydrological observation series. *Hydrology, Hydrochemistry and Hydroecology*, 5 (32), 22-31. [in Ukrainian]
32. Gorbachova L., Zabolotnia T., Khrystyuk B. (2018). Homogeneity and stationarity analysis of the snow-rain floods in the Danube basin within Ukraine. *Acta Hydrologica Slovaca*, 19(1), 35-41.
33. Gorbachova L. (2015). The intra-annual streamflow distribution of Ukrainian rivers in different phases of long-term cyclical fluctuations. *Energetika*, 61(2), 71-80. DOI: <https://doi.org/10.6001/energetika.v61i2.31343>
34. Pekarova P., Miklánek P., Pekár J. (2003). Spatial and temporal runoff oscillation analysis of the main rivers of the world during the 19th-20th centuries. *Journal of Hydrology*, 274, 62-79. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0022-1694\(02\)00397-9](https://doi.org/10.1016/S0022-1694(02)00397-9)

Authors Contribution: All authors have contributed equally to this work

Received 2 May 2023
Accepted 6 June 2023

Contrasting innovation dynamics of professional-technological knowledge intensive business services in metropolitan areas

*Mehmet Tahsin Şahin*¹

PhD (Geography), Assistant Professor of the Department of Geography,

¹ Akdeniz University, Antalya, Turkey,

e-mail: tahsinsahin@akdeniz.edu.tr,  <https://orcid.org/0000-0003-1012-6814>;

*Liudmyla Niemets*²

DSc (Geography), Professor, Head of the Kostyantyn Niemets Department of Human Geography and Regional Studies,

² V. N. Karazin Kharkiv National University, Kharkiv, Ukraine,

e-mail: ludmila.niemets@karazin.ua,  <https://orcid.org/0000-0001-9943-384X>;

*Mutlu Yılmaz*³

DSc (Geography), Professor of the Department of Geography,

³ Ankara University, Ankara, Turkey,

e-mail: yilmazm@ankara.edu.tr,  <https://orcid.org/0000-0001-8914-1165>;

*Liudmyla Kliuchko*²

PhD (Geography), Associate Professor, Kostyantyn Niemets Department of Human Geography and Regional Studies,

e-mail: ludmila.klychko@karazin.ua,  <https://orcid.org/0000-0001-6937-3364>;

*Çiğdem Varol*⁴

DSc (Geography), Professor of the Department of Urban and Regional Planning,

⁴ Gazi University, Ankara, Turkey,

e-mail: cvarol@gazi.edu.tr,  <https://orcid.org/0000-0002-2432-5745>

ABSTRACT

Formulation of the problem. The study examines knowledge-intensive business services (KIBS) firms' capability to access, process, and transform information into innovation. KIBS are defined as facilitators, carriers of knowledge, and sources of innovation for other sectors. KIBS play an important role in the production, use, and transfer of knowledge to the manufacturing sector. KIBS activities do not demonstrate a uniform structure within themselves, so a dual classification as professional services (P-KIBS) and technological services (T-KIBS) based on functioning and input has been developed. KIBS activities are concentrated in large cities. Major cities or capitals have well-developed infrastructure, public administration centers, advanced social activities, and numerous research institutes and universities. All of them attract a highly skilled population. Regarding metropolitan city economic growth, KIBS stand out because of their high added value, high income, high innovation returns, and high financial capacity, and they contribute to development.

The purpose. The present study aims to reveal the innovative capacities and dynamics of P-KIBS and T-KIBS firms operating in the metropolitan area of Ankara, Turkey's capital city. To reach this aim, Turkey's capital city Ankara is analyzed by using the results of a questionnaire applied to 410 small and medium-sized (SMEs) KIBS firms, 146 of which are P-KIBS firms and other 264 are T-KIBS firms.

Methods. In the course of the research and preparation of the article, the authors used several scientific methods, both philosophical and general scientific, as well as specific scientific methods. In particular, the methods of analysis and synthesis, induction and hypothetical-deductive method, mathematical-statistical and spatial analysis, methods of grouping and classification, questionnaires and surveys, etc., were used.

The results. There are notable differences between the P-KIBS and T-KIBS firms, considering their spatial distribution patterns and the dynamics of their innovation processes. The spatial distribution patterns of the KIBS firms were revealed. While T-KIBS activities demonstrate a spatial clustering tendency independent of the CBD, the P-KIBS firms prefer to locate within the CBD or its vicinity. KIBS sectors generally prefer to be situated by high-income residents, new settlements, secure and prestigious areas close to large public institutions such as ministries and general directorates. It was revealed that the T-KIBS firms are most densely located in the CBD and newly developing business districts of Balgat and Söğütözü, and in the Technology Development Zones of Ankara. P-KIBS firms, on the other hand, are more widely spread in the Çankaya and Yenimahalle districts. It was found that advances in information and communication technologies have a varied impact on the location selection preferences of P-KIBS and T-KIBS enterprises. According to the research results, the factors influencing the clustering of P-KIBS companies and T-KIBS firms were identified and determined. There is a significant relationship between the innovative P-KIBS and T-KIBS firms and their collaboration with other institutions. As a result of the study, it has been determined that there is a significant relationship between collaboration, R&D, intrafirm and extrafirm social relationships on the innovation of KIBS firms and also contrasting innovation dynamics related to different classes of KIBS in metropolitan areas.

Keywords: Knowledge intensive business services (KIBS), innovation, collaboration, development, Professional KIBS, Technical KIBS.

In cites: Şahin Mehmet Tahsin, Niemets Liudmyla, Yılmaz Mutlu, Kliuchko Liudmyla, Varol Çiğdem (2023). Contrasting innovation dynamics of professional-technological knowledge intensive business services in metropolitan areas. Visnyk of V. N. Karazin Kharkiv National University, series "Geology. Geography. Ecology", (59), 260-276. <https://doi.org/10.26565/2410-7360-2023-59-19>

1. Introduction

Since the 1960s, the economic structure has changed rapidly with the development of ICTs and it has become a necessity for countries to have a sustainable economy. The competitiveness and sustainable economy of a country or region are directly related to the openness to innovation and adaptation to technological development. Therefore, in recent years, studies on regional economic development have focused on innovation. One of the most important debates in developed economies is how innovation is produced. Among the agents actively involved in the innovation process are the knowledge intensive business services (KIBS), a sub-sectoral branch of the producer services [22, 24, 25, 26, 27, 31, 37, 47, 49, 51, 55].

During the 1980s, the focus of most research put the reason behind the fast-economic growth on KIBS and the integration of KIBS into local and regional economies is believed to be very important [59]. Therefore, there has been growing interest in the study of KIBS since the 1990s [3, 4, 5, 16, 18, 20, 38, 42, 45, 46, 56, 57, 59, 60]. One of the most significant reasons behind this interest is that KIBS sectors have the potential to process initial information and make it usable. Therefore, KIBS sectors are among the most important actors of innovation production.

The KIBS discourse first emerged with a study conducted by Miles et al. (1995). One of the most significant reasons behind the emergence of this concept is the transition to the knowledge era and the use of knowledge as the new raw material in production. Particularly in the early 1900s, the fact that the concept of "knowledge" began to be used more actively and discourses such as "knowledge economy" started to gain an increasing number of supporters reveals the importance of KIBS activities. However, while KIBS, which are regarded as sub-branches of manufacturing sectors within the service industry, cannot be fully defined even today, the sectors covered within its scope have differed based on the time and space. In the most general sense, KIBS are defined as "service sectors in which initial information is collected and converted to knowledge to be used to solve the problems and requests of customers, intermediate input is provided generally to businesses, organizations or public institutions, and the majority of employees is constituted by educated workforce" [52]. KIBS are also defined as facilitators, carriers of knowledge and sources of innovation for other sectors [24]. The sector was described as consisting of firms that specifically provide solutions to problems of other organizations, solutions which require knowledge and experience from external sources [34]. KIBS play an important role in the production, use and transfer of knowledge to the manufacturing sector. In this way, it serves as a bridge between

knowledge and the production [13, 30]. In other words, KIBS functions as an intermediary between producers and users of knowledge [25, 62, 63].

KIBS activities do not demonstrate a uniform structure within themselves. Miles (2008) subjected KIBS to a dual classification based on operation and input. Miles (2008) classifies KIBS into two as professional services (P-KIBS) and technological services (T-KIBS). P-KIBS consists of services such as business and management services, legal activities and accountancy, marketing research, etc. T-KIBS, on the other hand, focuses on information and communication technologies and other technical activities (such as IT-related services, engineering, and R&D consultancy) [32, 31]. On the other hand, the current literature has further diversified this classification. Some researchers have suggested a third category: C-KIBS [33] or CIBS [29] to highlight creativity-based KIBS, where the critical forms of knowledge are those of a cultural or symbolic nature: advertising and design are examples of this group.

The dual classification (P-KIBS and T-KIBS) specified by Miles (2008) is utilized in the present study, based on the nature of the case study. The reason for using this classification as a starting point is because the creation and infrastructure of KIBSs in the conditions in Turkey are conducive to this dual separation [52]. While defining the sub-sectors of KIBS, standard industrial classifications (such as NAICS) is used. These sub-sectors are: the legal services industry, accounting and related service industries, architecture, engineering and related service industries, surveying and mapping service industry, design service industries, management, scientific and technical consultancy service industries, R&D service industries and marketing service industries [43]. According to the study of Şahin et al. (2018), P-KIBS activities involve; motion picture, video and television programming production, sound recording and music publishing activities coded 59 in NACE classification, legal and accounting activities coded 69, activities of head offices, management consultancy activities coded 70, advertising and market research coded 73, and other professional, scientific and technical activities coded 74. T-KIBS activities involve five sub-sectors: telecommunications activities coded 61, computer programming, consultancy and related activities coded 62, information service activities coded 63, architectural and engineering activities, technical testing and analysis coded 71, and scientific research and development activities coded 72.

Information and communication technology (ICT) advancements, as well as the rapid expansion and growth of linked service sectors, have exposed new information demands and sub-sectors in recent years. Furthermore, the demand for expert knowledge has increased as the social, political, and

commercial environment has changed. As a result of the ICT revolution, the concepts of "inevitable transformation" and "spaces of flow" gained prominence, as pointed out by Castells (1996). Although advances in ICT have been dubbed "the end of geography" [41] and "the death of proximity" [8] by certain researchers, economic activities utilizing KIBS have emerged or accumulated in specific areas. Uncertainty regarding where KIBS activities take place within a country, region, or city, redefining dispersal and clustering patterns, and recognizing cluster types and their capacity to foster innovation can all be considered as major flaws in development policies.

The metropolitan cities are viewed as an area that needs to be investigated since they are the areas where KIBS activities are located and agglomerated the most. In the last 30 years, rapid changes in the economic structure have altered the urbanization process and structure of metropolitan areas. Knowledge-intensive production clusters are fundamentally common in metropolitan regions. In his study, Wolfe (2009) argues that multidimensional demand and supply factors maintain innovation and growth, and that clustering produces a need for resources as well as a demand environment and competitiveness for innovative business dynamics. He claims that metropolitan cities are the most suitable framework for this innovative milieu [58].

Many innovative activities and complex structures can be found in metropolitan centers. They are tangible sites of interaction for many corporate and public institutions and actors, as well as venues where face-to-face communication takes place, which hosts many innovation actors and might disclose tacit knowledge. The dispersion of technology as well as the generation and transfer of knowledge take place more easily in these sectors. As a result, businesses can gain access to new services or products more quickly and simply, as well as gain a better understanding of the technology and processes that are used in the innovation process [21].

The majority of KIBS clusters now occur in the urban core [23]. The spatial behavior and innovation dynamics of KIBS in different structures in metropolitan centers are critical for policymakers and practitioners to understand. In terms of metropolitan economic growth, KIBS stand out from other services due to their high added value, high income, high innovation returns, and high financial capacity, all of which contribute to development.

The aim of the present study, conducted at the scale of the metropolitan city of Ankara, Turkey's capital, is to redefine the changing structure of urban economies through KIBS spatial patterns, distribution, density, and innovation, and to serve as a critical foundation for future metropolitan area planning and policies. In this context, the study reveals the con-

trasting innovative capacities and dynamics of two sub-classes of KIBS activities (P-KIBS and T-KIBS) operating in the metropolitan area of Ankara. In line with this purpose, the article first exhibits the spatial distribution of P-KIBS and T-KIBS activities in a regional context and then examines the innovational dynamics of P-KIBS and T-KIBS activities on a micro scale. Within this scope, in the first part, the connection between KIBS activities and innovation will be discussed and afterwards, the data collection methods and the analysis method used in the study will be explained. In the findings section, the spatial distributions of P-KIBS and T-KIBS firms within the Ankara metropolitan area will be analyzed and the contrasting innovative capacities and dynamics will be interpreted. Finally, in the conclusion and discussion section the findings will be discussed.

2. Theoretical background

As much as the way knowledge is produced is important, it is also important why it is produced and by whom. The most important of the agents that play an active role in the knowledge production process is KIBS, a sub-sectoral branch of producer services. KIBS are important elements of innovation systems and key carriers in the communication of knowledge [24, 32, 39]. The increased level of education has popularized the skilled and qualified workforce and universities have begun to support R&D activities, causing KIBS activities to play an important role in processes such as product development, testing and brand development [50].

Recent studies point out the connection between innovation and KIBS [15, 24, 25, 37, 39, 45, 53]. While there is a sufficient number of studies on the innovation forms of KIBS and its differences from the manufacturing industry [9, 12, 15, 19, 53], there are very few studies on the determinants and spatial patterns of innovation by KIBS [16].

Previously, innovation involved the improvement or development of processes or products in the industrial sector, particularly in the manufacturing industry [35]. Afterwards, especially with the development of KIBS, the concept of innovation in the service sector has attracted increasing interest in the last 10 years and became the driving force behind the economic development of metropolitan cities [61]. Within this scope, KIBS activities, which have started to gain an important position in urban economics, are among the primary factors shaping the economy, particularly in metropolitan cities. The faster development and sustainability of metropolitan economies have become directly related to the development capacity of the economic environment and the capacity of KIBS in the area [48, 56].

Although KIBS are important for the development of a region or in micro scale the firm, the biggest problem has been the measurement, conceptual-

lization and characterization of innovation within KIBS [44]. Up to date, there is no consensus in the literature regarding the measurement of innovation within KIBS. Although many previous studies used methods similar to the measurement of industrial innovation to measure service innovation, service innovation and industrial innovation are very different from each other [7]. This is due to the difficulties in data collection and the inability to interpret the data as they remain abstract. In the literature, a number of methods have been attempted to measure innovation in the service sector.

Despite the improvements in the analytical survey for innovation measurements in recent years, the geographical extent in national and regional innovation studies has remained limited [16]. The relationship between innovation and geography is important in terms of determining the innovative capacities of regions, the dynamics of the region in the production of knowledge and the spatial patterns of firms producing innovation [40].

One of the dynamics in the production of innovation is the network relations structure, which is among the most important tools in the production, transfer and development of knowledge. Network relations can develop formally and informally within KIBS activities. The dynamic structure of network relations has a positive effect on the formation of innovation. In this context, it is important to consider the relationship between KIBS activities and collaboration structures.

The establishment of the flow of information between actors play an important role in the production and transfer of knowledge and the development of innovation processes. In the study conducted by Uyarra (2010), the importance of the flow of information and interactive learning in special location conditions was related with the multi-level, multi-actor governance interaction within the dynamics of the regional innovation systems [54]. In addition to the investment conditions and policies in the region, the process of uncovering the tacit knowledge that is embedded in the region during the innovation process should also be regarded as a factor that affects innovation. KIBS activities play a significant role in uncovering this embedded knowledge and establishing a bridge with the firm. In the study of Cooke and Leydesdorff (2006), the contribution of KIBS as the auxiliary of mutual knowledge production with local actors was emphasized regarding the regional innovation systems. It was emphasized that KIBS constituted a significant part of the knowledge infrastructure of the region and that this knowledge infrastructure served as a motivator of innovation and development. Additionally, Asheim and Gertler (2005) mentioned the role played by regional innovation systems in the production and circulation of new knowledge, and

argued that the extent of the relationship between the national institutional framework and regional innovation systems was important in terms of local innovative capacity [2].

In a study conducted by Andersson & Karlsson (2005), using the parameters of employees' modes of departure from home and arrival to work, travel times, means of transportation and connection type, it was emphasized that the market, information and face-to-face communication leading to the innovation of the spatial boundaries in the use of knowledge that are produced in the innovation process of a firm can differ significantly based on proximity and accessibility. As a result, the researchers proposed that accessibility, with its functional notion and embodied form, can take the place of proximity. They also noted that considering business interaction density and market density, temporal proximity is more significant compared to geographic proximity, and that there is a strong correlation between regional innovation system performance and regional accessibility [1].

Similarly, in the studies conducted by Britton and Echeverri (2004) and Carroll and Brennan (1999), it was emphasized that innovation systems reduced spatial limitations related with the distance, that distance was not a weakness anymore particularly in relations that required high levels of interaction [6, 17]. Notwithstanding, Asheim and Gertler (2005) argued that locational preferences had a strong influence on innovation and innovation was directly related to its adoption in areas where it was presented with geographical clusters and the resources, services and expert inputs required for the innovation process were concentrated [2].

When the general output of these studies in the literature is evaluated, the contribution of KIBS activities to the national, regional or urban economy is quite clear. However, the structural transformations in the economy that have taken place in recent years such as the rapid development of ICTs and the resulting new spatial patterns at the urban scale reveal the necessity of micro-analyses in the studies on the subject. Considering context dependent characteristics of the regions, the need of in-depth analyses emerges due to the local atmosphere, network structure, and the production and dissemination of knowledge in areas where this transformation takes place.

3. Case Study and Methodology

According to a report published by the European Cluster Observatory, KIBS activities are concentrated in large cities. Many other studies corroborated this finding, demonstrating that metropolitan regions, particularly capital cities, are hotspots for KIBS [14]. Furthermore, major cities or capitals have well-developed infrastructure, public administration centers, advanced social activities, and numerous research institutes and universities, all of which attract a highly

skilled population [16]. The capital city of Turkey, Ankara was selected as the case study due to the assumption that KIBS activities are mainly concentrated in the metropolitan cities. Additionally, according to the location quotient (LQ) analysis in NUTS-2 level of Turkey, it is revealed that KIBS activities are concentrated the most in Ankara, following Istanbul. Within this framework, Ankara, which is one of the largest metropolitan cities in Turkey, is worth researching due to its economic, social and cultural aspects, as well (Figure 1).

The present study's population consists of 7603 KIBS enterprises registered with the ATO in the Çankaya district. The district of Çankaya was chosen since it houses 69.93 percent of all KIBS companies in the city of Ankara, and specific KIBS sectors are exclusively found in the Çankaya district. The choice of this district will aid in representing the metropoli-

tan city of Ankara and making generalizable inferences for metropolitan regions from the findings acquired at the end of the field study. In this context, a questionnaire was applied to 372 companies out of 7603 located in Çankaya, and out of a total of 10.872 registered to ATO in Ankara, in accordance with a confidence interval of 95%, in order to understand the innovation dynamics of KIBS activities in metropolitan areas and to generalize the results. Because sub-sectors with less than ten samples were identified using proportional stratified sampling, the study was organized by selecting at least 12 samples from each sector to ensure adequate representation and a healthy analysis. Additionally, in the event of inadequate information or errors in the questionnaire applications, two or three additional surveys were sought from each sub-sector, bringing the total number of questionnaires used to 410 (Table 1).

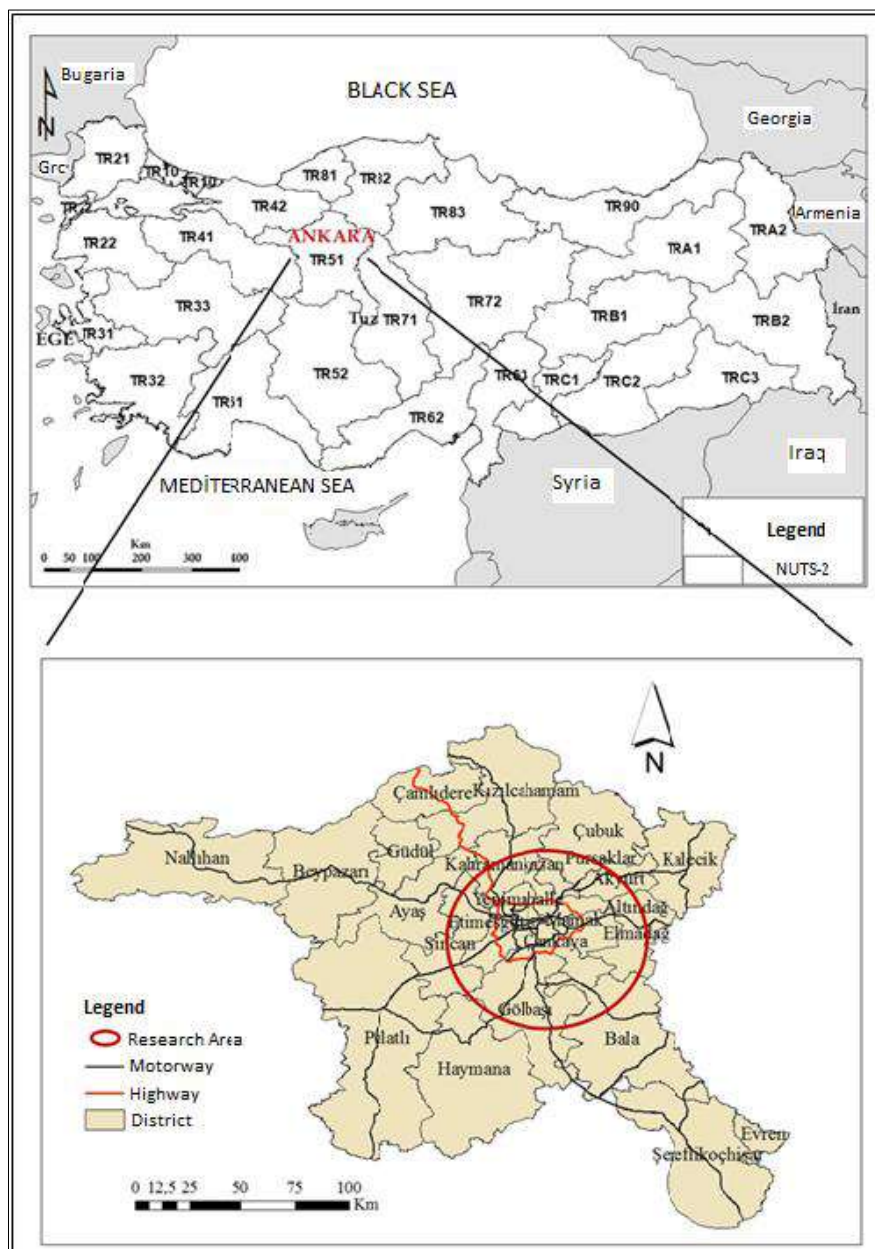


Fig. 1. Map of the Study Field

Certain sectors agglomerate in order to reduce costs, benefit from the atmosphere of knowledge that occurs in a particular area and facilitate the production and dissemination of knowledge. This structure creates a state of clustering of firms in that area. Two main hypotheses were emphasized in the present study. The first hypothesis was developed on the idea that P-KIBS and T-KIBS activities form different gathering dynamics, considering that the same activity branches of KIBS will form a cluster and benefit from positive externalities:

H1: *In the Ankara metropolitan area, the locational preferences of T-KIBS and P-KIBS activities differ in terms of core and periphery.*

Since P-KIBS and T-KIBS firms have different concepts, their ways of collaboration, access to knowledge, production of knowledge and customer relations will also be different. In this context, the second hypothesis was developed as follows:

H2: *The network relations, sources of knowledge, access to knowledge and customer relations of P-KIBS and T-KIBS differ significantly.*

Within the scope of the second hypothesis, six sub-hypotheses were developed to test the relationship between innovation and certain variables of collaboration, social networks, age of the firm, number of employees in KIBS activities.

Sub-H₁: There is a significant relationship between the innovation capacity of P-KIBS and T-KIBS firms and their collaboration activities.

Sub-H₂: There is a significant relationship between the innovation capacity of P-KIBS and T-KIBS firms and their intrafirm social networks.

Sub-H₃: There is a significant relationship between the innovation capacity of P-KIBS and T-KIBS firms and their extra firm social networks in the own-sector.

Sub-H₄: There is a significant relationship between the innovation capacity of P-KIBS and T-KIBS firms and their extra firm social networks in different-sectors.

Sub-H₅: There is a significant relationship between the innovation capacity of P-KIBS and T-KIBS firms and the age of the firms.

Sub-H₆: There is a significant relationship between the innovation capacity of P-KIBS and T-KIBS firms and the number of employees in the firms.

In the first step, the spatial distributions of KIBS activities were analyzed on the scale of the Ankara metropolitan area. The address data of a total of 10.872 two-digit NACE code level KIBS (P-KIBS and T-KIBS) firms with two classes were accessed through Ankara Chamber of Commerce (ATO). In order to examine the spatial clustering of the KIBS firms, spatial distribution maps were generated using Geographic Information Systems (GIS). Each point represented a firm on the map. Based on the firm addresses, it was determined which of the sub-sectors in KIBS activities were clustered in the city center and which in the periphery, and the spatial distribution patterns of the KIBS firms was revealed. The second step was based on measuring the innovation dynamics of the KIBS firms. A survey was applied to a total of 410 firms, 146 of which were P-KIBS firms and 264 were T-KIBS firms. The two classes had a total of five sub-sectors each. For the survey to produce more meaningful results, a sample distribution was made proportionally based on the number of sub-sector firms (*Table 1*).

The data obtained as a result of the survey were subjected to descriptive analysis in the SPSS program over frequency (f) and percentage (%) values. At the end of the descriptive analysis, the differences of the variables between the P-KIBS and T-KIBS classes

Table 1

Distribution of the Sampling Surveys in Ankara by KIBS Sectors

Sector (NACE codes)	KIBS Activities	Number of firms	Sample	Percentage
59 P-KIBS	Motion picture, video and television programmer production, sound recording and music publishing activities	195	13	3.17
69 P-KIBS	Legal and Accounting Activities	231	13	3.17
70 P-KIBS	Activities of head offices; management consultancy activities	1086	53	12.9
73 P-KIBS	Advertising and market research	504	28	6.83
74 P-KIBS	Other professional, scientific and technical activities	647	39	9.51
61 T-KIBS	Telecommunications	172	13	3.17
62 T-KIBS	Computer programming, consultancy and related activities	1323	68	16.59
63 T-KIBS	Information service activities	85	13	3.17
71 T-KIBS	Architectural and engineering activities; technical testing and analysis	3195	158	38.54
72 T-KIBS	Scientific research and development	165	12	2.93
Total		7603	410	100

^a Classification adapted from Şahin et al. (2018)

were evaluated. The scores given to each item by the participants on a Likert-type scale were added up and averaged. At the end of the analysis, the differences between P-KIBS and T-KIBS activities were evaluated for each item.

The Chi-Square Test of Independence (χ^2), one of the non-parametric methods, was used in the analyses. The observed (G_{ij}) and expected frequency (B_{ij}) in the cells containing two variables (first variable j ; second variable observed frequency at i level; G_{ij}) were compared, and it was evaluated whether there was a difference between the observed value

and the expected value through cross-tabulation between the variables prior to the chi-square test of independence, which investigates the relationship between variables.

4. Findings

When the distribution of the KIBS firms in Ankara is examined, it is observed that out of the total 25 districts, 99% of the firms are distributed in the central districts of Çankaya, Yenimahalle, Etimesgut, Altındağ, Keçiören, Gölbaşı, Sincan and Mamak (Table 2). Based on this distribution, the Çankaya District, where approximately 70% of the existing KIBS

Table 2

Distribution of the P-KIBS and T-KIBS Firms in Ankara by Districts

District	P-KIBS		T-KIBS		Total Frequency
	Number of Firms	%	Number of Firms	%	
Çankaya	2663	35.03	4940	64.97	7603
Yenimahalle	431	30.61	977	69.39	1408
Etimesgut	124	27.56	326	72.44	450
Altındağ	182	47.77	199	52.23	381
Keçiören	92	30.87	206	69.13	298
Gölbaşı	36	12.29	257	87.71	293
Sincan	45	27.11	121	72.89	166
Mamak	28	17.07	136	82.93	164
TOTAL	3613	33.23	7259	66.77	10872

Source: ATO, 2017

firms locate, was selected as the study field.

According to the spatial analyses performed, it is observed that the ring road that surrounds the city of Ankara contains almost 99% of the KIBS firms. Inside the Road, KIBS firms are agglomerated in the areas of the central business district (CBD) of the city, Kızılay, the vicinity of the Ministries located in the south extension of the CBD, and the vicinity of the Beysukent-Koru and Balgat-Söğütözü, which are newly developing business districts. It is observed that the other agglomeration zones are the Technopolis's of the major universities in the city and Organized Industrial Zones located in the south and north-west (Figure 2).

From the spatial analyses, it is also observed that the T-KIBS firms constitute 66% of the total number of KIBS firms. Figure 3 shows that the T-KIBS firms are most densely located in the CBD and newly developing business districts of Balgat and Söğütözü, and in the Technology Development Zones of Ankara. P-KIBS firms, on the other hand, are more widely spread in the Çankaya and Yenimahalle districts. According to the 2017 records of ATO, 84% of the P-KIBS firms in Ankara are located in these two districts. P-KIBS firms constitute approximately 30% of the KIBS firms located in the Çankaya district.

The survey was applied to the KIBS firms located within the Çankaya district. The survey was

applied to a total of 410 firms, 146 of which are P-KIBS firms and 264 are T-KIBS firms. In the analyses of the survey, first, the general characteristics of the P-KIBS and T-KIBS firms and then their creation of knowledge and innovation will be analyzed.

The employees in KIBS firms are divided into 5 classes based on their qualifications. Among these 5 classes, the highest share belongs to the engineers with 42.2% in total but it differs due to T-KIBS and P-KIBS firms. While in the T-KIBS firms, the highest share belongs to the engineers with 45.9%, in the P-KIBS firms, the highest share belongs to administrative staff with 37.3% (Table 3). The KIBS employees with a Bachelor's degree hold the highest share with 69.1% while the lowest share belongs to the employees with Master's or Ph.D. degrees with 7.7%. The P-KIBS and T-KIBS firms reflect this general structure. In terms of the firm age, it is observed that there has been an increase in the number of firms established after the year 2000 in general.

The P-KIBS firms aged 1-5 hold a share of 34.2% while this rate is 31.8% in the T-KIBS firms. When the employment structures of the KIBS firms are examined, it is observed that the highest share is held by the firms with 2-9 employees with 67.3%. In the P-KIBS firms, the group that demonstrates the highest accumulation is 2-9 employees with 68.5%, followed by 0-1 employee with 15.8%. In the T-KIBS

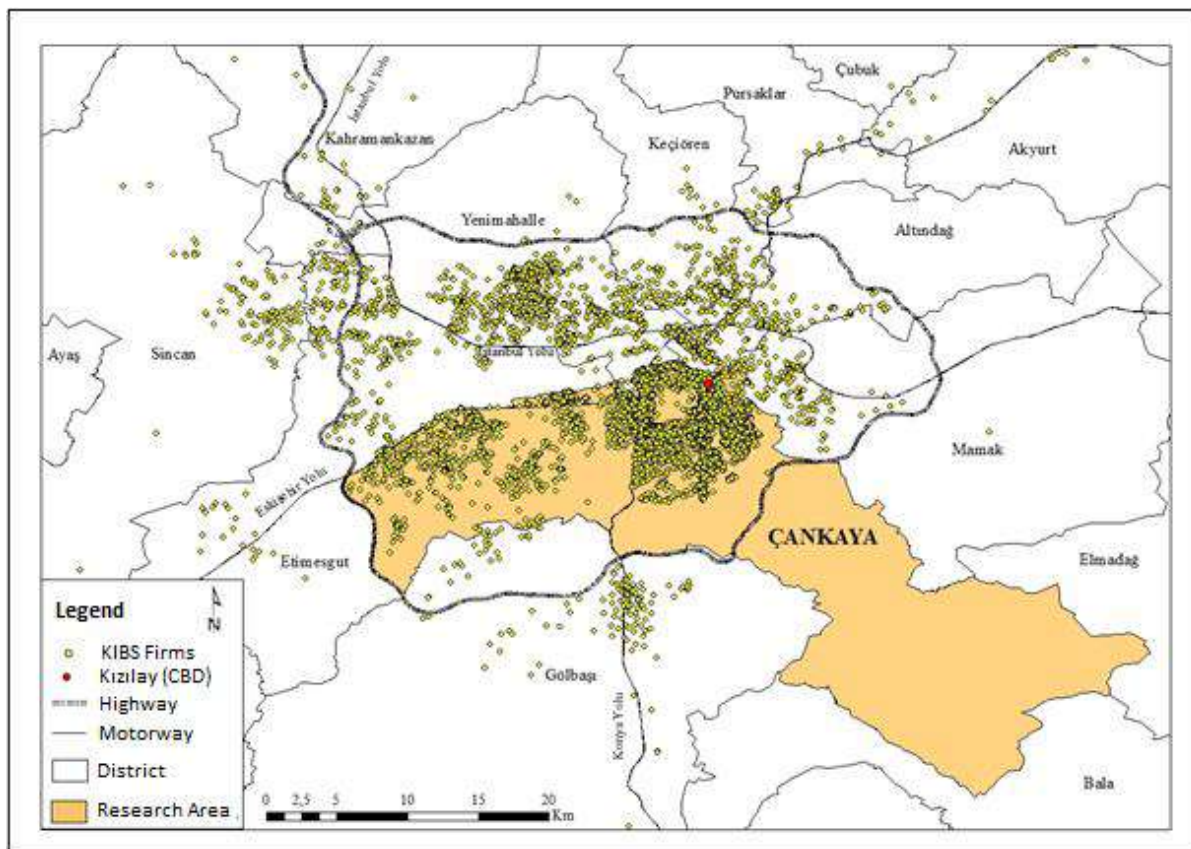


Fig. 2. Distribution of the KIBS Firms in Ankara

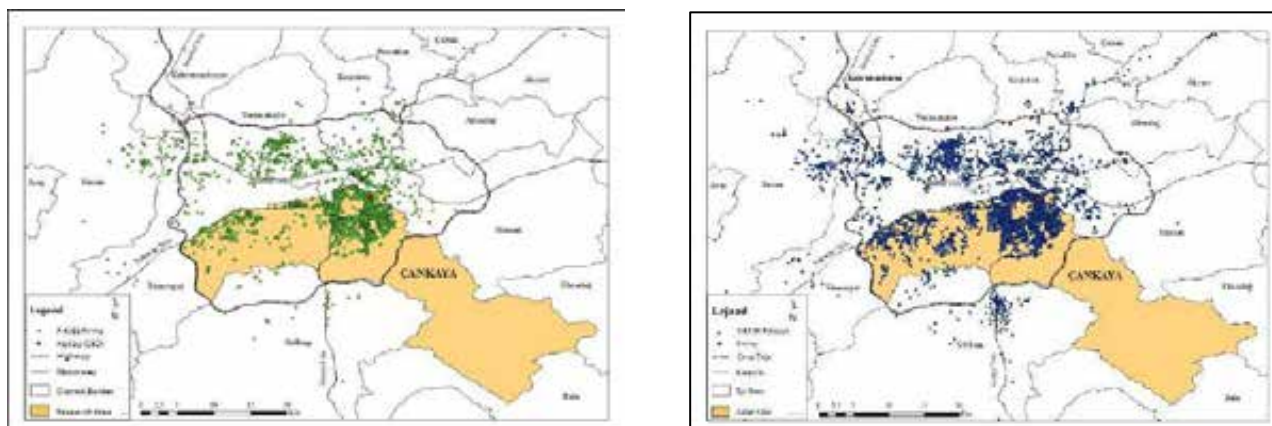


Fig. 3. Distribution of P-KIBS and T-KIBS Firms in Ankara

firms, the first group is 2-9 employees with 66.7%, followed by 10-49 employees with 25.8% (Table 3).

Considering that the most important output of the KIBS sector is knowledge, as the processed information, the ways in which firms obtain information is of importance. While the most effective method of tracking information for the P-KIBS firms was determined as the item "online" with a mean importance of 4.37. The least effective methods, can be listed as "to follow international fairs" with a mean importance of 2.51, "to follow domestic fairs" with 2.71 and "to follow organizations such as scientific and commercial NGOs" with 2.90, respectively. Like the P-KIBS firms, the most effective method of tracking

information according to the T-KIBS was determined as "online" with a mean importance of 4.45, followed by "collaboration/follow-up with the own sector" with a mean importance of 3.91. It is observed that the least effective method used by T-KIBS firms to track information is "to follow international fairs" with a mean importance of 2.72 and "to follow domestic fairs" with a mean importance of 2.97. The general structure of KIBS activities does not demonstrate differentiated results (Table 4).

One of the most important dynamics in the production and transfer of knowledge by KIBS for other sectors is the R&D department and its expenditures [36, 10, 37, 47]. Table 5 shows that 24.88% of the

overall KIBS firms do not allocate shares for R&D over the annual turnover, while 21.46% of the firms allocate a share of between 1-5%, and 17.8% of the firms allocate a share of between 6-10%. Different than the P-KIBS firms, it is observed that T-KIBS firms allocate more shares for R&D (Table 5).

Regarding the innovation capacity of the KIBS firms, the non-parametric chi-square test was used and sub-hypotheses were tested.

Sub-H₁: *There is a significant relationship between the innovation capacity of P-KIBS and T-KIBS firms and their collaboration activities.*

Table 3

General Characteristics of the P-KIBS and T-KIBS Firms

General characteristics	P-KIBS	T-KIBS	KIBS	General characteristics	P-KIBS	T-KIBS	KIBS
Quality of Employees	%	%	%	Age of the Firm	%	%	%
Owner	15.5	13.6	14.2	1-5 Age	34.2	31.8	32.7
Engineer	34.2	45.9	42.2	6-10 Age	24.7	26.5	25.9
Technical staff	10.2	15.4	13.7	11-25 Age	26	32.2	30
Administrative staff	37.3	20.2	25.7	26+ Age	15.1	9.5	11.5
Partner (Shareholder)	2.8	4.9	4.2	Total	100	100	100
Total	100	100	100	Employment	%	%	%
Education status	%	%	%	0-1 Employee	15.8	5.3	9
High school	10.5	9.6	10.5	2-9 Employees	68.5	66.7	67.3
Associate of Science	14.2	12.6	12.6	10-49 Employees	14.4	25.8	21.7
Bachelor's Degree	69.8	69.8	69.1	50-249 Employees	1.4	2.3	2
Master and Ph.D. Degree	5.5	8.1	7.7	Total	100	100	100
Total	100	100	100				

Table 4

The Methods Used by the P-KIBS and T-KIBS Firms to Track Information

Methods of Tracking New Information		Not important at all	Not very important	Important	Rather important	Very important	Mean	SD
		1	2	3	4	5		
P-KIBS	To follow domestic fairs	25.3	24.0	15.1	26.0	9.6	2.71	1.350
	To follow international fairs	30.1	29.5	12.3	15.8	12.3	2.51	1.386
	Online	2.7	2.1	3.4	39.0	52.7	4.37	0.871
	To follow publications and catalogs related to your products or services	10.3	16.4	4.8	42.5	26.0	3.58	1.312
	To follow organizations such as Scientific and Commercial NGOs	23.3	20.5	13.7	28.1	14.4	2.90	1.413
	Collaboration/follow-up with the own sector	10.3	10.3	11.0	49.3	19.2	3.57	1.209
T-KIBS	To follow domestic fairs	15.5	22.3	21.2	31.4	9.5	2.97	1.242
	To follow international fairs	22.0	24.6	21.2	24.2	8.0	2.72	1.269
	Online	.8	2.7	4.5	34.8	57.2	4.45	0.769
	To follow publications and catalogs related to your products or services	4.9	11.0	12.9	44.7	26.5	3.77	1.108
	To follow organizations such as Scientific and Commercial NGOs	15.9	20.8	20.1	30.7	12.5	3.03	1.287
	Collaboration/follow-up with the own sector	4.2	4.9	14.8	47.7	28.4	3.91	1.000
We asked firms to indicate on a five-point scale (1 = not important, 5 = most important)								

Table 5

R&D Expenditure Share of the P-KIBS and T-KIBS Firms

R & D expenditure share over the annual turnover for 2016 (%)	P-KIBS		T-KIBS		KIBS	
	Number of companies	%	Number of companies	%	Number of companies	%
No Expenditure	45	30.82	57	21.59	102	24.88
1-5	32	21.92	56	21.21	88	21.46
6-10	25	17.12	48	18.18	73	17.8
11-20	22	15.07	43	16.29	65	15.85
21-50	18	12.33	33	12.5	51	12.44
51-80	3	2.05	17	6.44	20	4.88
81-100	1	0.68	10	3.79	11	2.68
Total	146	100	264	100	410	100
Source: calculated by the authors						

As shown in Table 6, the chi-square value was calculated separately for P-KIBS and T-KIBS activities. According to this analysis, the chi-square value of the P-KIBS activities was calculated as 6.771 and the doubled p-value (Asymp. Sig. (2-sided)) was obtained as 0.009. This shows that there is a significant relationship between the innovative P-KIBS firms

and their collaboration with other institutions. The chi-square value of the T-KIBS activities was calculated as 30.204 and the doubled p-value (Asymp. Sig. (2-sided)) was obtained as 0.000. This shows that there is also a significant relationship between the innovative T-KIBS firms and their collaboration with other institutions (Table 6).

Table 6

The Chi-Square Tests of the KIBS, P-KIBS, and T-KIBS Regarding the Innovation-Collaboration Activities

Class	Chi-Square Tests	Value	df	Asymptotic Significance (2-sided)
P-KIBS	Pearson Chi-Square	6.771 ^c	1	0.009
	Continuity Correction ^b	5.796	1	0.016
	N of Valid Cases	146		
T-KIBS	Pearson Chi-Square	30.204 ^d	1	0.0000
	Continuity Correction ^b	28.833	1	0.0000
	N of Valid Cases	264		
KIBS	Pearson Chi-Square	40.525 ^a	1	0.0000
	Continuity Correction ^b	39.218	1	0.0000
	N of Valid Cases	410		
a. 0 cells (.0%) have expected count less than 5. The minimum expected count is 70.24.				
b. Computed only for a 2x2 table				
c. 0 cells (.0%) have expected count less than 5. The minimum expected count is 14.32.				
d. 0 cells (.0%) have expected count less than 5. The minimum expected count is 47.78.				
Source: calculated by the authors				

Sub-H₂: *There is a significant relationship between the innovation capacity of P-KIBS and T-KIBS firms and their intrafirm social networks.*

As seen in Table 7, although there is not a significant relationship for the P-KIBS activities, there is a significant relationship between the variables of the innovative T-KIBS firms and their intrafirm social activities with a confidence level of 95%.

The alternative hypothesis regarding the measurement of the relationship between the innovation

capacity of the KIBS firms and extrafirm social activities was formed as follows:

Sub-H₃: *There is a significant relationship between the innovation capacity of P-KIBS and T-KIBS firms and their extrafirm social networks in the own-sector.*

As seen in Table 8, since the P-KIBS activities' degree of freedom is 5 and also there are expected values lower than 5 in 3 cells (this value represents an error rate of 25%), the chi-square (χ^2) value cannot be

Table 7

The Chi-Square Tests of the KIBS, P-KIBS, and T-KIBS Regarding the Innovation-Intrafirm Social Networks

Class	Chi-Square Tests	Value	df	Asymptotic Significance (2-sided)
P-KIBS	Pearson Chi-Square	7.378 ^b	5	0.194
	N of Valid Cases	146		
T-KIBS	Pearson Chi-Square	14.770 ^c	5	0.0110
	N of Valid Cases	264		
KIBS	Pearson Chi-Square	18.982 ^a	5	0.0020
	N of Valid Cases	410		
a. 0 cells (.0%) have expected count less than 5. The minimum expected count is 9.83.				
b. 3 cells (25 %) have expected count less than 5. The minimum expected count is 1.30.				
c. 0 cells (.0%) have expected count less than 5. The minimum expected count is 8.03.				
Source: calculated by the authors				

calculated. The chi-square value of the T-KIBS activities was calculated as 17.826 and the doubled p-value (*Asymp. Sig. (2-sided)*) was obtained as 0.003. In this case, it can be said at a confidence level of

95% that in T-KIBS firms, there is a significant relationship between the variables of the innovative firms and their extrafirm social activities within the own sector.

Table 8

The Chi-Square Tests of the KIBS, P-KIBS, and T-KIBS Regarding the Innovation-Extrafirm Social Networks within the Own Sector

Class	Chi-Square Tests	Value	df	Asymptotic Significance (2-sided)
P-KIBS	Pearson Chi-Square	4.241 ^b	5	.515
	N of Valid Cases	146		
T-KIBS	Pearson Chi-Square	17.826 ^c	5	.003
	N of Valid Cases	264		
KIBS	Pearson Chi-Square	19.709 ^a	5	.001
	N of Valid Cases	410		
a. 2 cells (16.7%) have expected count less than 5. The minimum expected count is 1.40.				
b. 3 cells (25 %) have expected count less than 5. The minimum expected count is 0.26.				
c. 2 cells (16.7%) have expected count less than 5. The minimum expected count is 1.20.				
Source: calculated by the authors				

Sub-H₄: *There is a significant relationship between the innovation capacity of P-KIBS and T-KIBS firms and their extrafirm social networks in different-sectors.*

Regarding the sub-H₄, the chi-square value shows that there is again no significance for the P-KIBS considering the innovation capacity and their extrafirm social networks in different-sectors. However, the chi-square value of the T-KIBS activities was calculated as 11.754 and the doubled p-value (*Asymp. Sig. (2-sided)*) was obtained as 0.038 which shows that at a confidence level of 95% in T-KIBS firms, there is a significant relationship between the innovation capacity of the firms and their extrafirm social activities with different sectors (Table 9).

Sub-H₅: *There is a significant relationship between the innovation capacity of P-KIBS and T-KIBS firms and the age of the firms.*

The chi-square values show that there is no significant relationship between the variables of the firms that implement innovation and the age of the

firms both in P-KIBS and T-KIBS firms (Table 10).

Sub-H₆: *There is a significant relationship between the innovation capacity of P-KIBS and T-KIBS firms and the number of employees in the firms.*

According to the chi-square value for the overall KIBS activities was calculated as 20.119. The doubled p-value (*Asymp. Sig. (2-sided)*) was obtained as 0.000. This shows that the alternative hypothesis (H₁) is accepted for the total KIBS activities. Similarly, for T-KIBS firms at a confidence level of 95%, there is also a significant relationship between the innovative firms and their number of employees. However, for P-KIBS, this (Table 11).

5. Discussion and Conclusion

KIBS are defined as activities that create high added value and play an important role in the production of new knowledge and thus innovation. This study indicates that there are notable differences between the P-KIBS and T-KIBS firms considering their spatial distribution patterns and the dynamics of their innovation processes. While T-KIBS activities

Table 9

The Chi-Square Tests of the KIBS, P-KIBS, and T-KIBS Regarding the Innovation-Extrafirm
(Different Sector) Social Networks

Class	Chi-Square Tests	Value	df	Asymptotic Significance (2-sided)
P-KIBS	Pearson Chi-Square	8.880 ^b	5	.114
	N of Valid Cases	146		
T-KIBS	Pearson Chi-Square	11.754 ^c	5	.038
	N of Valid Cases	264		
KIBS	Pearson Chi-Square	12.771 ^a	5	.026
	N of Valid Cases	410		
a. 1 cells (8.30%) have expected count less than 5. The minimum expected count is 2.81.				
b. 4 cells (33.3%) have expected count less than 5. The minimum expected count is 0.26.				
c. 2 cells (16.7%) have expected count less than 5. The minimum expected count is 2.81.				
Source: calculated by the authors				

Table 10

The Chi-Square Tests of the KIBS, P-KIBS, and T-KIBS Regarding the Innovation-Age of the Firm

Class	Chi-Square Tests	Value	df	Asymptotic Significance (2-sided)
P-KIBS	Pearson Chi-Square	2.306 ^b	3	.511
	N of Valid Cases	146		
T-KIBS	Pearson Chi-Square	4.731 ^c	3	.193
	N of Valid Cases	264		
KIBS	Pearson Chi-Square	3.128 ^a	3	.372
	N of Valid Cases	410		
a. 0 cells (.0%) have expected count less than 5. The minimum expected count is 16.51.				
b. 0 cells (.0%) have expected count less than 5. The minimum expected count is 5.73.				
c. 0 cells (.0%) have expected count less than 5. The minimum expected count is 10.04.				
Source: calculated by the authors				

Table 11

The Chi-Square Tests of the KIBS, P-KIBS, and T-KIBS Regarding the Innovation-Employment

Class	Chi-Square Tests	Value	df	Asymptotic Significance (2-sided)
P-KIBS	Pearson Chi-Square	5.231 ^b	3	.156
	N of Valid Cases	146		
T-KIBS	Pearson Chi-Square	16.683 ^c	3	.001
	N of Valid Cases	264		
KIBS	Pearson Chi-Square	20.119 ^a	3	.000
	N of Valid Cases	410		
a. 1 cells (12.5%) have expected count less than 5. The minimum expected count is 2.81.				
b. 2 cells (25.0%) have expected count less than 5. The minimum expected count is 0.52.				
c. 2 cells (25.0%) have expected count less than 5. The minimum expected count is 2.41.				
Source: calculated by the authors				

demonstrate a spatial clustering tendency independent of the CBD, the P-KIBS firms prefer to locate within the CBD or its vicinity. In general, KIBS sectors prefer to locate by high-income residents, new settlements, and secure and prestigious areas close to large public institutions such as ministries and general directorates.

When looking at the clustering areas of P-KIBS enterprises, it is observed that the population is dense, with a high-income group and areas that are easily accessible. These areas indicate CBD. According to Alonso's bid rent theory, KIBS activities will be concentrated in CBD areas. This assumption holds true

for P-KIBS activities but not for T-KIBS activities. This structure, which emerged in the West following the 1990s, began to emerge in Turkey around 2005 and is still evolving. In this regard, one of the most notable findings of the present study is that advances in information and communication technologies have a varied impact on the location selection preferences of P-KIBS and T-KIBS enterprises.

P-KIBS companies' clustering regions are determined by criteria such as population density and income level, whereas T-KIBS companies' clustering areas are determined by characteristics such as information security, prestige, and proximity to a compe-

tent workforce. T-KIBS firms are found outside CBD areas, whereas P-KIBS firms are concentrated within CBD areas.

In order to understand the innovation forms of KIBS activities, it is necessary to discuss the subject under several headings. The innovation process takes place linearly in balance but not depend on any one factor. One of the important dynamics underlying the innovative capacity of firms is the presence of an independent R&D department within the firm and investments made in R&D. Within this scope, when P- and T-KIBS sectors are compared, certain differences are encountered. P-KIBS sectors consist of firms that draw on a symbolic and synthetic knowledge base, and use explicit and implicit knowledge constituted by a synthesis of relatively symbolic and cultural types of knowledge in the production of services. Since they are built on this type of knowledge, P-KIBS firms do not require the presence of an R&D department within their internal structure. In the field study carried out, it was determined that only 8.9% of the P-KIBS firms had an R&D department and the innovation they create is mostly organizational innovation defined as the use of a new organizational structure in business practices, planning processes, training structures and internal or external relations of the firm. Therefore, the presence of an R&D department is not a requirement for P-KIBS firms. A reflection of this is that the annual R&D investments made by the P-KIBS sectors have a very low share within their total investment.

Considering that T-KIBS activities consist of sectors with an analytical knowledge base, it is normal that these sectors have a more technical and mechanical structure compared to P-KIBS sectors. Thus, the share allocated to R&D expenditures by the T-KIBS sectors is larger compared to the P-KIBS activities. The difference between two types of KIBS sectors affects the distribution of the number of engineers working in the firms, as well. The rate of engineers employed by P-KIBS firms is lower than that of T-KIBS firms.

T-KIBS sectors have higher percentages compared to P-KIBS sectors in terms of their R&D unit, employment and expenditure. When the effects of this structure on innovative capacity are examined, positive reflections of this situation are observed in T-KIBS sectors. T-KIBS sectors are clearly more innovative compared to P-KIBS sectors. In addition to this, there are differences between the type of innovation implemented by the two sectors. It is observed that organizational innovation is the most common type of innovation in P-KIBS sectors as these sectors have a synthetic knowledge structure, do not engage in R&D activities and mainly provide services in the fields of planning and implementation. On the other hand, product and process innovation are more domi-

nant in T-KIBS sectors since they have a more technical and mechanical structure, involve intensive R&D activity, and provide analytical knowledge to their clients. In this context, the innovative capacity of P-KIBS and T-KIBS sectors and the type of innovation they implement are determined by the knowledge base they draw on, their R&D activities and the way in which they present services.

Another important dynamic of the innovation process is the established networks of KIBS firms with other institutions or firms. Certain state policies have also been developed to improve the collaboration network between firms and institutions. The purpose behind the arrangement of these policies is to monitor the incentives to be provided within a certain system and to strengthen the collaboration network between firms/institutions. In this context, the presence of collaboration networks in which firms affect each other with their innovative capacities is important in terms of KIBS sectors. As a result of the analysis based on the field study about the collaboration structure among the P-KIBS and T-KIBS sectors, differences were found between the two sectors. While only 30% of the P-KIBS firms cooperate with another institutions/firms, this rate is quite high in the T-KIBS firms. It was found that the P-KIBS firms mainly cooperated with R&D centers. This finding can be interpreted as the complementary activity for their low level of technical personnel. Therefore, they outsource in the provision of analytical or technical services. Therefore, P-KIBS sectors do not require different types of sectors in their collaboration network or own structure as service delivery involves a universal structure that requires routine information. This situation is different for T-KIBS sectors. T-KIBS firms cooperate more intensely with public institutions. This means that T-KIBS firms carry out project-based service delivery with a tendering procedure or service delivery in the form of collaboration with public or semi-public institutions. On the other hand, the results of the field survey shows that although there is a significant relationship between innovation and collaboration in the P-KIBS sector, this relationship is at a low level. There is a significant relationship between collaboration and innovation for the T-KIBS sector, as well. However, unlike the P-KIBS sector, this relationship is at a high level.

Considering the discussions in the literature that the most important dynamics for KIBS activities are innovation and knowledge production, it is inevitable for them to collaborate with universities. However, it is notable that in Ankara, universities are the institutions with which the KIBS firms collaborate the least. This situation verifies that the government policy emphasizing the collaboration between universities and the industry is still not fully established. It also shows that firm owners still have difficulties in building

business relationships with universities. KIBS firms give more importance to intrafirm dynamics in the knowledge production phase. The fact that the innovation capacities of KIBS activities remain below 40% indicates that intrafirm dynamics can be limited in producing new knowledge.

The ways in which KIBS firms obtain the localized/implicit knowledge and their capacity to process them affect or shape their forms of innovation. In this context, for discussing the relationship between implicit knowledge and innovation, the frequency of social activities carried out by the KIBS firms were analyzed. When the relationship between innovation and intrafirm social networks was examined, no significant relationship was found in the P-KIBS sector while a medium-level and significant relationship was determined between innovation and intrafirm social networks in the T-KIBS sector. These results are in parallel with the relationship between innovation and extrafirm social networks within the own sector or with different sectors. In other words, while the frequency of social activities in the P-KIBS sector supports the type of knowledge it uses, it does not reveal the relationship with innovation. Similarly, in the T-KIBS sector, the frequency of social network activities supports the type of knowledge it uses. However, unlike the P-KIBS sector, it has a significant relationship with innovation.

The methods used by the KIBS sectors to track knowledge provide insights into their competitiveness and innovative capacity. P- and T-KIBS sectors track new knowledge from internet. In this context, in terms of intrafirm sustainability, competitiveness and innovation development capacity, they do not have formal institutional structures to track knowledge. For the T-KIBS sectors, besides the internet, which is the easiest medium to access information, the second most common method as an important source of information is to follow the firms in their own sector. This reveals one of the main reasons why T-KIBS firms prefer to locate in Technology Development Zones (TDZ) along with the firms in their own sector.

On the other hand, the intrafirm knowledge pro-

duction and the customers were regarded as the source of information in both classes of sectors. Customer relations of the P-KIBS and T-KIBS sectors are of importance within the framework of competitive advantages, planning, strategy and marketing innovation. Among the KIBS firms that implement innovation, the strategy/marketing innovation type has the lowest share in both the P-KIBS and T-KIBS firms. The inability of both sectors to produce innovation in terms of marketing techniques is among the most important reasons why they communicate with their customers through traditional methods. The non-institutional structure of the KIBS firms in Ankara is evident in their customer relations, as well. Both sub-sectors of KIBS activities establish customer relations through acquaintances or long-term relationships. According to the results of the field application, fairs/meetings and marketing hold the lowest averages.

In conclusion, strategies such as the development of R&D clusters in metropolitan cities whose economies are primarily based on ICT and information activities should be prioritized. KIBS firms, despite their lack of scientific understanding, must collaborate with universities in order to innovate [28]. The present study found that protocols should be created and this network should be strengthened with the help of governmental policies in order to promote cooperation between universities in metropolitan areas and KIBS firms. It is vital to promote and/or encourage studies to develop relations amongst KIBS enterprises in order to provide an information network between companies in metropolitan cities. Finally, initiatives should be undertaken to institutionalize KIBS enterprises at the SME level, and they should be managed more professionally.

Acknowledgment

This paper is written on the basis of the project titled "Location Preferences and Innovation Dynamics of Knowledge Intensive Business Services: The Case of Ankara Metropolitan City" which was supported by Ankara University Scientific Research Projects (SRP) Coordinator (Project number: 18L0649001).

References

1. Andersson, M., Karlsson, C. (2005). *The role of accessibility for the performance of regional innovation systems*. In C. Karlsson, P. Flensburg, ve S. A. Horte (Eds.), *Knowledge Spillovers and Knowledge Management* (283-310). Cheltenham: Edward Elgar.
2. Asheim, B., Gertler, M. S. (2005). *Regional innovation systems and the geographical foundations of innovation*. In J. Fagerberg, D. C. Mowery, R. R. Nelson (Eds.), *Oxford Handbook of Innovation* (291-317). London: Oxford University Press.
3. Baláž, V. (2004). *Knowledge-intensive business services in transition economies*. *The Service Industries Journal*, 24(4), 83-100.
4. Bettencourt, L. A., Ostrom, A. L., Brown, S. W., Roundtree, R. I. (2002). *Client Co-Production in Knowledge-Intensive Business Services*. *California Management Review*, 44(4), 100-128.

5. Braga, A. M., Marques, C. S., Serrasqueiro, Z. M. (2017). KIBS' key dimensions: a qualitative study on innovation, knowledge, networks, location and internationalisation. *International Journal of Entrepreneurship and Small Business*, 32(3), 364-385.
6. Britton, J. N. H. (2004). High technology localization and extra-regional networks. *Entrepreneurship and Regional Development*, 16(5), 369-390.
7. Cainelli, G., Evangelista, R., Savona, M. (2004). The impact of innovation on economic performance in services. *The Service Industries Journal*, 24(1), 116-130.
8. Cairncross, F. (1997). *The Death of Distance: How the Communications Revolution Is Changing Our Lives*. London: Orion Business Books.
9. Camacho, J. A., Rodriguez, M. (2008). Patterns Of Innovation In The Service Sector: Some Insights From The Spanish Innovation Survey *Economics of Innovation and New Technology*, 17(5), 459-471.
10. Castells M (1996) *The Rise of the Network Society. The Information Age. Economy, Society and Culture, Vol. I*. Oxford: Blackwell.
11. Cooke, P., Leydesdorff, L. (2006). Regional Development in the Knowledge-Based Economy: The Construction of Advantage. *The Journal of Technology Transfer*, 31(1), 5-15.
12. Corrocher, N., Cusmano, L., Morrison, A. (2009). Modes of innovation in knowledge intensive business services evidence from Lombardy. *Journal of Evolutionary Economics*, 19, 173-196.
13. Czarnitzki, D., Spielkamp, A. (2003). Business services in Germany: bridges for innovation. *The Service Industries Journal*, 23(2), 1-30.
14. Deza, X. V., López, M. G. (2014). Regional concentration of knowledge-intensive business services in Europe. *Environment and Planning C: Government and Policy*, 32, 1036-1058. doi: <https://doi.org/10.1068/c11171r>
15. Doloreux, D., Shearmur, R. (2010). Exploring and comparing innovation patterns across different knowledge intensive business services. *Economics of Innovation and New Technology*, 19(7), 605-625.
16. Doloreux, D., Shearmur, R. (2012). Collaboration, information and the geography of innovation in knowledge intensive business services. *Journal of Economic Geography*, 12(1), 79-105.
17. Echeverri-Carroll, E. L., Brennan, W. (1999). Are Innovation Networks Bounded by Proximity? In M. M. Fischer, L. Suarez-Villa, M. Steiner (Eds.), *Innovation, Networks and Localities* (28-49). Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg.
18. Ferreira, J. E., Raposo, M. (Ed.), Fernandes, C. (Ed.), Dejardin, M. (Ed.) (Ed.) (2016). *Knowledge Intensive Business Services and Regional Competitiveness*. London: Routledge.
19. Freel, M. (2006). Patterns of Technological Innovation in Knowledge-Intensive Business Services. *Industry and Innovation*, 13(3), 335-358.
20. Gallouj, F., Weinstein, O. (1997). Innovation in services. *Research Policy*, 26(4), 537-556.
21. Gilbert, B. A., McDougall, P. P., ve Audretsch, D. B. (2008). Clusters, knowledge spillovers and new venture performance: An empirical examination. *Journal of Business Venturing*, 23(4), 405-422. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jbusvent.2007.04.003>
22. Hammer, A. (2014). *Innovation of Knowledge Intensive Service Firms in Urban Areas*. Working Paper. Karlsruhe Institute of Technology. Karlsruhe.
23. Hayter, R., ve Patchell, J. (2011). *Economic Geography: An Institutional Approach*. Canada: Oxford University Press.
24. Hertog, P. D. (2000). Knowledge-Intensive Business Services as co-producers of innovation. *International Journal of Innovation Management*, 04(04), 491-528.
25. Hipp, C. (1999). Knowledge-intensive business services in the new mode of knowledge production. *AI and Society*, 13(1), 88-106.
26. J-Figueiredo, R., Neto, J. V., Quelhas, O. L. G., Ferreira, J. J. d. M. (2017). Knowledge Intensive Business Services (KIBS): bibliometric analysis and their different behaviors in the scientific literature: Topic 16 – Innovation and services. *RAI Revista de Administração e Inovação*, 14(3), 216-225.
27. Kozar, J. M. (2012). *Knowledge intensive business services and metropolitan economic growth: An examination of the computer service industry. (Ph.D. Dissertations and Theses)*. The University of North Carolina at Charlotte, United States.
28. Lee, H.-f., ve Miozzo, M. (2019). Which types of knowledge-intensive business services firms collaborate with universities for innovation? *Research Policy*, 48(7), 1633-1646. doi: <https://doi.org/10.1016/j.respol.2019.03.014>
29. Masiello, B., Marasco, A., Izzo, F., and Amato, U. (2014) Exploring Clients' Role in the Innovation of Advertising Services: A European Survey 21st IPDM Conference – “Innovation through Engineering, Business and Design”, Limerick, Ireland, June 15-17, 2014. Available from: <https://www.researchgate.net/publication/276936668>
30. Matthias, G., Christiane, H. (2014). Using Trademarks to Measure Innovation in Knowledge-Intensive Business Services. *Technology Innovation Management Review*, 4(5).
31. Miles, I., Kastrinos N., Bilderbeek R., den Hertog P., Flanagan K., Huntink W., Bouman M. (1995) *Knowledge-intensive business services: Users, carriers and sources of innovation (European Innovation Monitoring System (EIMS) Report)*. Brussels: European Commission.
32. Miles, I. (2008). Patterns of innovation in service industries. *IBM Syst. J.*, 47(1), 115-128. doi: <https://doi.org/10.1147/sj.471.0115>

33. Miles, I. (2012). *KIBS and Knowledge Dynamics in Client-Supplier Interaction. Exploring Knowledge-Intensive Business Services: Knowledge Management Strategies* (ed. E. di Maria), London; New York: Palgrave Macmillan, pp. 13–34.
34. Miles, I., Kastrinos, N., Bilderbeek, R., Hertog, P. d., Flanagan, K., Huntink, W., Bouman, M. (1995). *Knowledge-intensive business services: users, carriers and sources of innovation*. Retrieved from Brussels Belgium.
35. Miles, I. (2016). *Twenty Years of Service Innovation Research*. In M. Toivonen (ed.), *Service Innovation, Translational Systems Sciences 6* (pp. 3-34). Japan: Springer. doi: https://doi.org/10.1007/978-4-431-54922-2_1
36. Mina, A., Bascavusoglu-Moreau, E. and Hughes, A. 2014. *Open service innovation and the firm's search for external knowledge*. *Research Policy*, 43(5): 853-866.
37. Miozzo, M., Desyllas, P., Lee, H.-f., Miles, I. (2016). *Innovation collaboration and appropriability by knowledge-intensive business services firms*. *Research Policy*, 45(7), 1337-1351.
38. Muller, E., Doloreux, D. (2007). *The key dimensions of knowledge-intensive business services (KIBS) analysis: a decade of evolution*. Retrieved from Karlsruhe.
39. Muller, E., Zenker, A. (2001). *Business services as actors of knowledge transformation: the role of KIBS in regional and national innovation systems*. *Research Policy*, 30(9), 1501-1516.
40. Niemets, L., Sehida, K. (Eds) (2017). *The innovative-investment potential as the regional competitiveness base (a case study of Kharkiv region)*. Kharkiv, V. N. Karazin Kharkiv National University, 520. [in Ukrainian]
41. O'Brien, R. (1992). *Global Financial Integration : The End of Geography*. United States: Council on Foreign Relations Press.
42. Pino, G., Capestro, M., Guido, G., Tomacelli, C., Abate, M. (2016). *Knowledge-intensive services and local development: An empirical analysis of networks, channels and customization processes*. *Local Economy*, 31(3), 359-376.
43. Shearmur, R., Doloreux, D. (2008). *Urban Hierarchy or Local Buzz? High-Order Producer Service and (or) Knowledge-Intensive Business Service Location in Canada, 1991-2001*. *The Professional Geographer*, 60(3), 333-355.
44. Shearmur, R., Doloreux, D. (2009). *Place, Space and Distance: Towards a Geography of Knowledge-Intensive Business Services Innovation*. *Industry and Innovation*, 16(1), 79-102.
45. Shearmur, R., Doloreux, D. (2013). *Innovation and knowledge-intensive business service: the contribution of knowledge-intensive business service to innovation in manufacturing establishments*. *Economics of Innovation and New Technology*, 22(8), 751-774.
46. Shearmur, R., Doloreux, D. (2014). *Knowledge-Intensive Business Services (KIBS) Use and User Innovation: High-Order Services, Geographic Hierarchies and Internet Use in Quebec's Manufacturing Sector*. *Regional Studies*, 49(10), 1654-1671.
47. Shi, X., Wu, Y., Zhao, D. (2014). *Knowledge intensive business services and their impact on innovation in China*. *Service Business*, 8(4), 479-498.
48. Simmie, J., Strambach, S. (2006). *The contribution of KIBS to innovation in cities: an evolutionary and institutional perspective*. *Journal of Knowledge Management*, 10 (5), 26-40.
49. Strambach, S. (2001). *Innovation Processes and the Role of Knowledge-Intensive Business Services (KIBS)*. In K. Koschatzky, M. Kulicke, and A. Zenker (Eds.), *Innovation Networks: Concepts and Challenges in the European Perspective* (pp. 53-68). Heidelberg: Physica-Verlag HD.
50. Stutz, F. P., Warf, B. (2012). *The World Economy: Geography, Business, Development*: Prentice Hall.
51. Şahin, M. T., Yılmaz, M., Varol, Ç. (2017). *Ankara'da Bilgi Yoğun İş Hizmetlerinin Mekansal Örüntüsü*. Paper presented at the II. INES Uluslararası Akademik Araştırmalar Kongresi, Alanya.
52. Şahin, M. T., Yılmaz, M., Varol, Ç. (2018). *Ekonomik Faaliyet Kolu Tanımlama ve Sınıflandırma Önerisi: Bilgi Yoğun İş Hizmetleri (BYİH)*. *Coğrafi Bilimler Dergisi*, 16(2), 239-258.
53. Tether, B. S. (2005). *Do Services Innovate (Differently)? Insights from the European Innobarometer Survey*. *Industry and Innovation*, 12(2), 153-184.
54. Uyarra, E. (2010). *What is evolutionary about 'regional systems of innovation'? Implications for regional policy*. *Journal of Evolutionary Economics*, 20(1), 115-137.
55. Wang, J., Zhang, X., Yeh, A. G. O. (2016). *Spatial proximity and location dynamics of knowledge-intensive business service in the Pearl River Delta, China*. *Habitat International*, 53, 390-402.
56. Wiig Aslesen Isaksen, A. (2007). *Knowledge Intensive Business Services and Urban Industrial Development*. *The Service Industries Journal*, 27(3), 321-338.
57. Windrum, P., Tomlinson, M. (1999). *Knowledge-intensive Services and International Competitiveness: A Four Country Comparison*. *Technology Analysis and Strategic Management*, 11(3), 391-408.
58. Wolfe, D. A. (2009). *Introduction: Embedded Clusters in the Global Economy*. *European Planning Studies*, 17(2), 179-187. doi: <https://doi.org/10.1080/09654310802553407>
59. Wood, P. A. (1991). *Flexible Accumulation and the Rise of Business Services*. *Transactions of the Institute of British Geographers*, 16(2), 160-172.
60. Wood, P. (2002). *Knowledge-intensive Services and Urban Innovativeness*. *Urban Studies*, 39(5-6), 993-1002.
61. Yeh, A. G. O., ve Yang, F. (2013). *Spatial Development of Producer Services in the Chinese Urban System*. *Environment and Planning A*, 45(1), 159.
62. Zieba, M. (2013). *Knowledge-Intensive Business Services (KIBS) and their Role in the Knowledge-Based Economy*. Working Paper. Faculty of Management and Economics. Gdansk University of Technology. Poland.

63. Zieba, M., Bolisani, E., Paiola, M. and Scarso, E. (2017) Searching for innovation knowledge: insight into KIBS companies. *Knowledge Management Research and Practice*, 1–12.

Authors Contribution: All authors have contributed equally to this work.

Контрастна інноваційна динаміка професійно-технологічних наукомістких бізнес-послуг у міських районах

Мехмет Тахсин Шахін¹

PhD (географія), доцент кафедри географії

¹ Університет Акденіз, Анталія, Туреччина;

Людмила Нємець²

д. геогр. н., професор, завідувач кафедри соціально-економічної географії

і регіонознавства імені Костянтина Нємця,

² Харківський національний університет імені В.Н. Каразіна, Харків, Україна;

Мутлу Йілмаз³

д. геогр. н., професор кафедри географії,

³ Університет Анкари, Анкара, Туреччина;

Людмила Ключко²

к. геогр. н., доцент кафедри соціально-економічної географії

і регіонознавства імені Костянтина Нємця;

Сігдем Варол⁴

д. геогр. н., професор кафедри міського та регіонального планування,

⁴ Університет Гази, Анкара, Туреччина

Це дослідження спрямоване на виявлення інноваційного потенціалу та динаміки розвитку компаній Р-KIBS і Т-KIBS фірм, що працюють у столичному районі Анкари, столиці Туреччини. Для досягнення цієї мети було проаналізовано столицю Туреччини Анкару на основі результатів анкетування 410 малих та середніх підприємств, 146 з яких належать до Р-KIBS, а інші 264 фірми Т-KIBS. У процесі дослідження та підготовки статті авторами було використано низку наукових методів як філософських і загальнонаукових, так і конкретно-наукових. Зокрема, використовувалися методи аналізу та синтезу, індукції та гіпотетично-дедуктивний метод, математико-статистичний та просторовий аналіз, методи групування та класифікації, а також анкетування та опитування та ін. Існують помітні відмінності між компаніями Р-KIBS і Т-KIBS, враховуючи їх моделі просторового розподілу та динаміку їх інноваційних процесів. Виявлено закономірності просторового розподілу фірм KIBS. Хоча діяльність Т-KIBS демонструє тенденцію просторової кластеризації незалежно від CBD, фірми Р-KIBS віддають перевагу розміщенню в межах CBD або поблизу нього. Загалом сектори KIBS надають перевагу розташуванню серед мешканців із високим рівнем доходу, у нових поселеннях, а також у безпечних і престижних районах, близьких до великих державних установ, таких як міністерства та генеральні дирекції. Було виявлено, що фірми Т-KIBS найбільш щільно розташовані в центральному діловому районі та нових ділових районах Балгат і Согутезу, а також у зонах технологічного розвитку Анкари. Фірми Р-KIBS, з іншого боку, більш поширені в районах Чанкая та Єнімахалле. Було виявлено, що розвиток інформаційно-комунікаційних технологій має різний вплив на вибір місця розташування підприємств Р-KIBS і Т-KIBS. За результатами дослідження виявлено та визначено фактори, що впливають на кластеризацію компаній Р-KIBS та фірм Т-KIBS. Існує значний зв'язок між інноваційними підприємствами Р-KIBS і фірмами Т-KIBS та їхньою співпрацею з іншими установами. У результаті дослідження було встановлено, що існує значний зв'язок між співпрацею, дослідженнями та розробками, внутрішньофірмовими та позафірмовими соціальними зв'язками щодо інновацій фірм KIBS, а також контрастна динаміка інновацій, пов'язана з різними класами KIBS у містах.

Ключові слова: наукомісткі бізнес-послуги (KIBS), інновації, співпраця, розвиток, професійні KIBS, технічні KIBS.

Внесок авторів: всі автори зробили рівний внесок у цю роботу

Надійшла 20 червня 2023 р.

Прийнята 29 серпня 2023 р.

ЕКОЛОГІЯ

<https://doi.org/10.26565/2410-7360-2023-59-20>

UDC 911+712.2

Received 5 October 2023

Accepted 7 November 2023

Landscape-ecological carcass model of urban landscape and methods of optimize urban landscapes (on the patterns of Ganja and Mingachevir cities)

*Afag Hajiyeveva*¹

PhD (Geography), Associate Professor,

¹ Azerbaijan State University of Economics, 6 Istiglaliyyat St., Baku, AZ1001, Azerbaijan,

e-mail: afaq.adiu@mail.ru,  <https://orcid.org/0000-0002-9813-7835>;

*Gulnar Hajiyeveva*²

PhD (Geography), Chief Researcher,

² Azerbaijan National Academy of Science, Baku, 31 H. Javid, AZ1133, Azerbaijan,

e-mail: hgulnarn@gmail.com,  <https://orcid.org/0000-0002-1061-1652>;

*Khumar Khanim Dadashova*³

Lecturer,

³ Baku Business and Cooperation College, groups of SABAH,

44 N. Narimanov St., Baku, AZ1054, Azerbaijan,

e-mail: xdadashzade@mail.ru,  <https://orcid.org/0000-0003-4305-8256>

ABSTRACT

State of the problem. The article outlines the natural and anthropogenic foundations of urban landscapes and the organization and modeling of ecological carcasses. Currently, the impact of human activity in the area, on the landscapes, especially on urban landscapes, sometimes leads to the fundamental change and reconstruction of several landscape units or components, the degradation of the sensitive ecosystems of the area, and the creation of completely anthropogenic complexes.

Object learning. The main object learning is as follows; study of the differentiation characteristics of the factors influencing the formation of modern geosystems (relief, climate, hydrological and hydrogeological conditions, etc.), researching eco-geographical problems caused by anthropogenic changes, drawing up a map with appropriate content on a large scale, structural and functional characteristics of modern natural geosystems spreading in the research area, exposure to severe anthropogenic influences, study of ecological problems, studying the structural-functional aspects, levels of anthropogenic loading and assimilation, as well as the ecological condition of the modern natural geosystems spreading in the research area, complex study of optimization and large-scale ecological stability, drawing up of ecological potential assessment maps of landscapes.

The purpose of this study is the landscape ecological formation of urban landscapes in the Republic of Azerbaijan, the optimization of urban landscapes, the analysis and generalization of urban development processes at the level of urban creation and living environment, and the determination of the main regularities of the formation of this environment, taking into account innovation and traditional processes.

Methodology. Ecological analyses were carried out on relevant urban landscapes, and four environmental hazard zones were identified in Ganja, and three in Mingachevir (1: 20000) scale ecological risk maps were drawn up. In the end, the principles of the organization of "ecosystems" based on the optimization of both urban landscapes were analyzed.

Research results. The degree of anthropogenic disturbance of the territory was determined, and a map-scheme of the ecogeographic assessment of landscape complexes was drawn up. The study of anthropogenic changes in natural landscapes and the evaluation of the anthropogenic impact in percentage according to digital electronic map fragments was carried out. In the ArcGIS program, the inclination and exposure of slopes in the area, the hypsometry of the relief in the area, the density of roads, the ecogeographical condition of modern urban landscapes, risk zones, and optimization of urban landscapes, etc. maps have been drawn up.

The scientific novelty of the research. The importance and functional role of the city as a complex living environment for the country's population is defined. In the process of city planning in the Republic of Azerbaijan, the face of the city, the composition system of urban architecture, innovations, and traditional features are determined. The main city-forming function and role of the river were determined in the studied cities. And the linear features of the development of the cities, and the differences in formation were determined and analyzed. Accordingly, each of the cities has its own unique development models. Environmental problems of cities were investigated and environmental risk and optimization maps were drawn up.

Keywords: urban landscapes, ecological state, ecological norm limit, optimization of landscapes, landscape-ecological carcass.

In cites: Hajiyeveva Afag, Hajiyeveva Gulnar, Dadashova Khumar (2023). Landscape-ecological carcass model of urban landscape and methods of optimize urban landscapes (on the patterns of Ganja and Mingachevir cities). *Visnyk of V. N. Karazin Kharkiv National University, series "Geology. Geography. Ecology"*, (59), 277-283. <https://doi.org/10.26565/2410-7360-2023-59-20>

Introduction As a result of hundreds of years of spontaneous use of natural resources, natural landscapes have undergone global changes and different levels of anthropogenicization. Increase of the world population, expansion of its need, continuous increase in the use of mineral resources, an application of new technologies and expansion of production in the fields of energetics, industry, agriculture and transport, anthropogenic change of the world landscapes, in the background of expansion and complication of the international economic relations increase of urban landscapes are happening.

These or other factors have led to the strengthening of society's interaction with nature and an increase in the anthropogenic burden on natural landscapes. It is impossible to make efficient use of natural resources, to predict the preservation of natural landscapes in a condition suitable for human life without knowing its complex and interconnected mechanisms of ecological balance and deep knowledge of ecology. From this point of view, the demand and interest in solving landscape and ecological problems and shortages in environmental protection is growing day by day.

Method and study level. During the research, the field research materials, mathematic-statistic methods and ArcGIS 10.3 program in mapping have been used. The research was performed by Y.A. Garibov [2, 3, 4], M.J. Ismayilov [6], and others in this area in Azerbaijan, also M.M. Nazaruk, O.H. Topchi-

ev in Ukraine [20, 24]. However, optimization of landscapes must become rich with the new research according to the requirements of the time. Landscape optimization is a social-economic requirement. Properly, scientifically optimized geosystems must fully compensate for the livelihoods of present and future generations and ensure ecological balance and biodiversity. It is important to take into account the risk and dangers of natural anthropogenic origin which form a danger for the population's life activity.

Ecological analysis of the urban landscapes.

Recently, the horizontal and vertical structures and functional elements of urbanization and urban landscapes are rapidly increasing in Azerbaijan, as well as all over the world [1, 7, 8]. The introduction of new man-made, seliteb, and road communication elements in the urban landscapes requires a consistent analysis of the ecological situation of the landscape here. For this purpose, the landscape-ecological situation was studied by the monitoring information of the Ministry of Environment and Natural Resources and our field research in Ganja and Mingachevir (table 1, 2).

Although an average and maximal density of dust, Nitrogen 4 oxide, Nitrogen 2 oxide, hydrogen sulfide, and hydrogen fluoride are normal in the atmosphere of Ganja city, but the average and maximal density of sulfur dioxide is higher than the others. The amount of dust, carbon monoxide, and phenol is more than the norm in Mingachevir City (table 1 and 2).

Table 1

Dynamics of maximal density (mg/m³) of noxious substances in the atmosphere of Ganja city

Ingredients	DPL mg/m ³	Years (mg/m ³)				
		2012	2013	2014	2015	2016
Dust	0,15	0,4				
Sulphur dioxide gas	0,05	0,054	0,059	0,054	0,061	0,052
Nitrogen 4-oxide	0,04	0,23	0,06	0,05	0,06	0,05
Nitrogen 2- oxide	0,06	0,04	0,04	0,05	0,04	0,05
Hydrogen sulfide	-	0,008	0,004	0,004	0,004	0,003
Hydrogen fluoride	0,005	0,009	0,009	0,009	0,009	0,009

Table 2

Maximal density (mg/m³) of noxious substances in the atmosphere of Mingachevir city

Ingredients	DPL mg/m ³	Years (mg/m ³)				
		2012	2013	2014	2015	2016
Dust	0,15	0,7	0,5	0,7	0,8	0,7
Sulphur dioxide gas	0,05	0,030	0,028	0,020	0,087	0,021
Carbon monoxide	3	4	5	5	5	6
Nitrogen 4-oxide	0,04	0,07	0,16	0,06	0,06	0,06
Nitrogen 2- oxide	0,06	0,12	0,05	0,05	0,05	0,04
PH	0,003	0,009	0,009	0,009	0,009	0,009

Landscape - ecological carcass to use the landscapes as an ecological passage. The river-valley landscapes are the most optimal variant to play an

ecological passage role. Such landscapes form buffer zones among the techno-genic landscapes as the main elements of the ecological carcass in the city. There

are less built structural units and these are structural units of urban landscapes loaded with more greenery [14, 15, 16].

A zone of the landscape-ecological carcass mustn't be less than 25% of the total area of the urban landscape according to the available ecological norms. The basic and second-degree elements of the landscape-ecological carcass are separated in the system structure. The basic elements provide natural-ecological completeness of the landscape. They execute the regulatory function of the ecological balance in the urban landscape and protect biological diversity. The second-degree elements execute functions of the basic elements at a local level [5, 17, 21, 25]. The basic elements are separated into some groups: 1. Basic; 2. Key elements; 3. Transit elements. The

second-degree elements are separated into groups: 1. Local elements; 2. Buffer elements; 3. Rehabilitation elements (Fig. 1.)

A means of formation of the landscape-ecological carcass is to realize measures system in planning and development of the urban zone. This means that it is impossible to optimize the urban landscapes without the composition of the ecological carcass model. The greenery norm is 10 m² per capita. The greenery work is the most important ingredient of the ecological carcass formation. While forming the "green passage" of the ecological carcass, proper selection of preferred plants is also a very important factor [9, 10, 13, 19]. So, the plants suitable for the climate at the regional level and the microclimate at the local level should be selected and planted (Fig. 2).

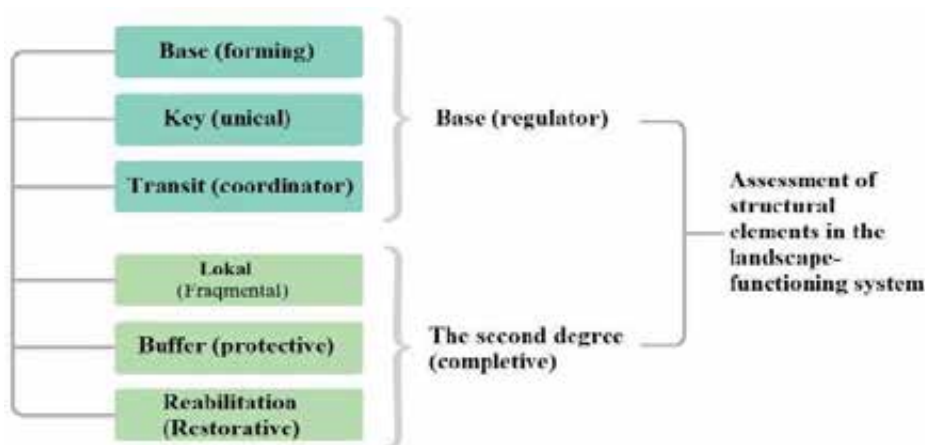


Fig. 1. Structural elements of the landscape-ecological carcass

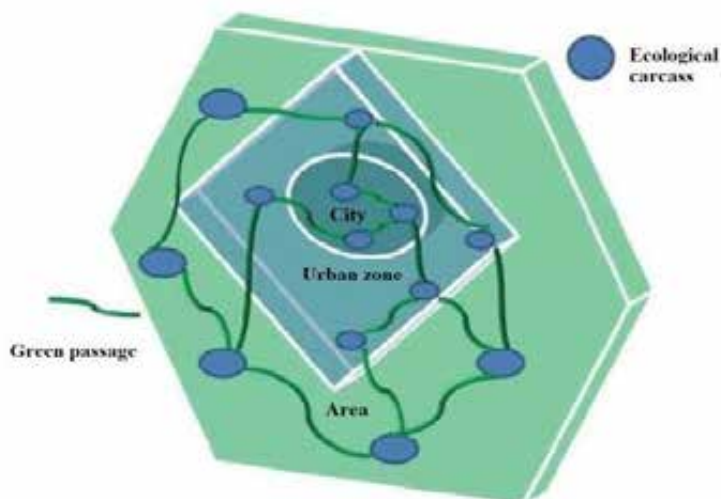


Fig. 2. Landscape-ecological carcass model in Ganja and Mingachevir cities

Examples of the main ecological carcass elements are Ganjachay as a base element and local green areas as secondary elements. In Mingachevir, it is more convenient to take the main base element of the landscape-ecological carcass, the river-valley landscapes of the Kur, and the aquatic landscapes of swamps as a key element. From the second level

elements of the ecological carcass, it is expedient to organize and include special sanitary protection zones around small-scale natural-anthropogenic greenery, suburban agro-landscapes, and reaction areas, and rehabilitation elements. Each of the above-mentioned ecological carcass elements of the urban landscape in Ganja and Mingachevir cities must be

coordinated with the other by corresponding “green passages” of different levels.

From this point of view, we propose to give the main advantage to local plants when conducting landscaping in Ganja and Mingachevir which are the research zones. This will not only protect urban landscapes but also help maintain the ecological balance between their structural elements of natural and anthropogenic origin. According to the available ecological norms, an area of the ecological carcass shouldn't be less than 25%. If we take into account that at present the area of the landscape ecological carcass is 27,5 km² in Ganja, but in Mingachevir it mustn't be less than 32,5 km². This index falls behind in both urban landscapes. So, its area is 1,4 km² (1,3%, 23,7% less than the ecological norm) in Ganja, but in Mingachevir it is 6 km² (4,6%-20,4% less than the ecological norm).

“Ecocity concept”. The future city is considered an eco-city, eco-polis. The American ecologist Richard Register used this term for the first time in 1978 [6]. This is an ecologically clean city. Some researchers think that the eco-city must provide itself with energy freely. The settlement zone should be at a minimal level. The role of “ecological passages” is especially important in the formation of the cities. One of the reasons for the eco-city's formation is the preservation of the natural environment of the city [11, 12, 23].

Six eco-cities are available in the countries of the European Union: Malmo (Sweden), Dublin (Ireland), Tallinn (Estonia), Hillerød (Denmark), Ham-

burg (Germany), Augustenburg (Denmark). Besides, the eco-cities exist in North America and Australia. Its formation is planned in the south of Moscow. According to the Russian scientists' idea satellite cities with a population of up to 300 000 can be created as eco-cities [18, 21]. It should include a park and park-garden recreation area. We offer Mingachevir as an eco “city” taking into account the population. Because the city of Mingachevir fully justifies itself and meets the requirements among the cities studied, both in terms of energy self-sufficiency and the characteristics of the population.

Optimization. It is necessary to fulfill the most accurate measures system which will be realized for the elimination of the ecological problems, that is a process of landscape optimization in a planned form in the zone [2]. Optimization of the landscapes is a purposeful process that is realized to improve the environmental stress and risk zones by assessing the current ecological state [7]. The best optimization method is considered greenery. In both cities, which are the research area, conifers are the phytoncides they secrete. Correct placement of sanitary-protection zones is an important factor.

The ecologically risky zones of the urban landscapes are grouped according to the riskiness degree [19]. There are five risky categories: 1. with a radius of 1000-2000 m; 2. with a radius of 1000-500 m; 3. with a radius of 500-300 m; 4. with a radius of 300-100 m and 5. with a radius less than 100 m. There are four of this group of risk zones belonging to groups 1, 3, 4, and 5 (Fig. 3).

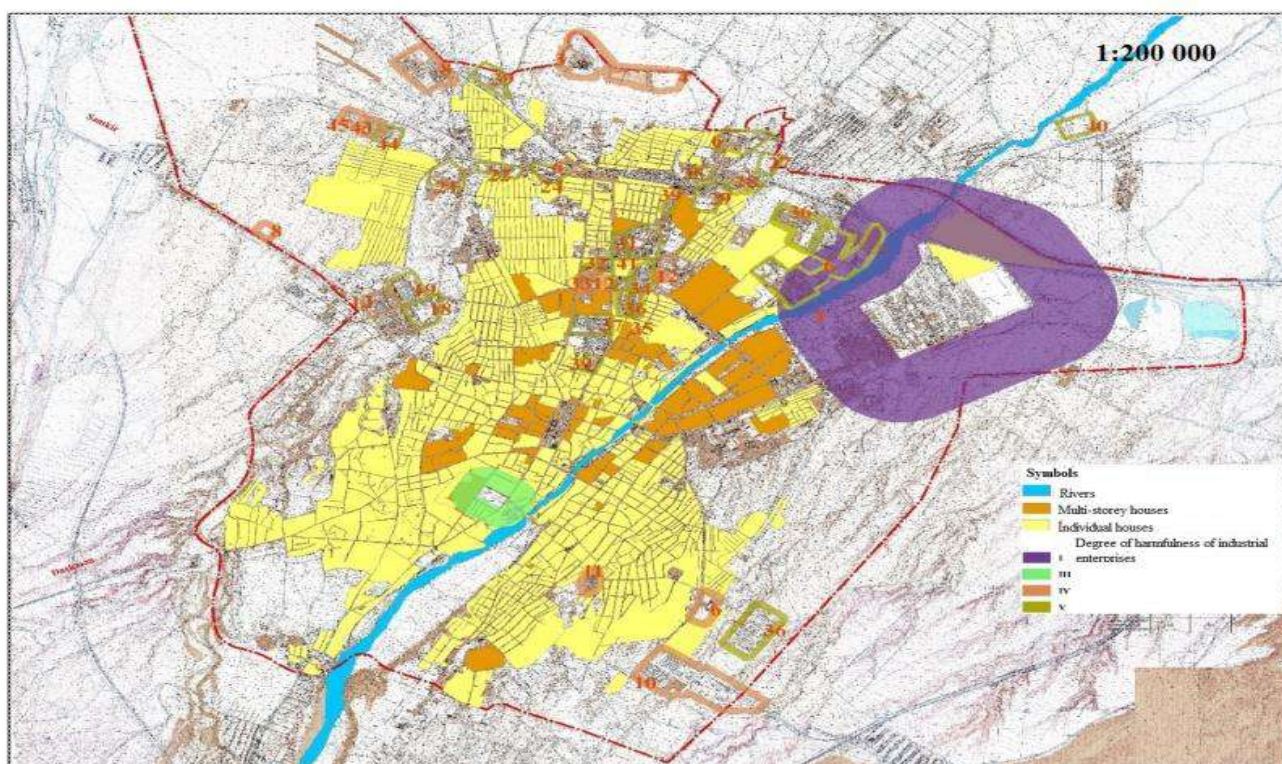


Fig. 3. Ecologically risk and optimization map of Ganja city

The optimization measures are fulfilled by building sanitary protection and greenery zones in the same radius [17]. This is possible at the expense of the “green passages” that connect ecological carcass elements (Fig. 4).

There are 4 zones in the chain of ecological risk category in Ganja and 3 zones in Mingachevir. The reason for its predominance in Ganja is that it is the

largest industrial city in the country which makes the urban landscape in Ganja larger than in Mingachevir. Three of the ecologically risk zones, the zones that belong to the 1, 2, and 4th groups exist in Mingachevir (Fig. 4). So, the realization of the measures optimized by the scientific methods of geosystems is the main way of achieving resistant social-economic and ecological conditions taking into account the available



Fig. 4. Ecologically risk zones and optimization map of Mingachevir city

environment in Azerbaijan [3].

Conclusions. It was determined that the permissible ecological norm level of some ingredients in soil, water, air, and plant cover of the urban landscape was repeatedly violated. The average and maximal density of sulfur gas is higher in comparison with others in the atmosphere of Ganja. However, the amount of dust, carbon monoxide, and phenol is more than the ecological norm in Mingachevir. The ecological problems in the basins of the cities have been investigated, and the chemical elements that repeatedly violate the norm of water pollution have been identified. The riskiness rates of the industrial enterprises in Ganja and Mingachevir have been identified, and 4 ecological risk zones in Ganja, and 3 ecological risk

zones in Mingachevir have been determined, the large-scale maps (s=1:20 000) which reflect corresponding sanitary-protective zones have complied to optimize the same zones.

The ecological carcass models were suggested for the urban landscapes in Ganja and Mingachevir for the first time, and the main and second-degree ecological carcass elements that are met in their zone over corresponding urban landscapes were identified. The present positions of the ecological carcass elements in the city zones and their importance were analyzed. The formation of the ecological “green passages” which connect the same elements was proposed.

References

1. *Azerbaijan National Atlas (2014)*, State Land and Cartography Committee of the Republic of Azerbaijan, Baku, 88-92 [in Azerbaijan]
2. Garibov Y.A. (2012) *Optimization of natural landscapes in the Republic of Azerbaijan*, Baku, 122 [in Azerbaijan]
3. Garibov Y.A. (2012) *Optimization of natural landscapes of the Republic of Azerbaijan*. AzTU printing house, Baku, 216 [in Azerbaijan]
4. Garibov Y.A. (2011) *Anthropogenic transformation of modern landscapes of the Republic of Azerbaijan*. Mars Print Baku, 298. [in Azerbaijan]
5. Hajiyeva G.N., Hajiyeva A.Z., Dadashova Kh.D. (2022) *Proceedings of the National Academy of Sciences of the*

- Republic of Kazakhstan Satbayev University, Impact of urban landscape pollution on human health, 39-45
<https://doi.org/10.32014/2022.2518-170X.138>
6. Ismailov M.J. (2009) Ecological peculiarities of the landscapes of contact zones in large morphostructures. In the book Problem of Kazakhstan Geography. 1, Karaganda, 71-75.
 7. Khalilov S.H., Safarov S.H. (2001) Scientific-practical survey book. Baku, 106 [in Azerbaijan]
 8. Mahmudov Sh.A. (2001) Technology of Production fields and industrial ecology, Baku, 57-63 [in Azerbaijan]
 9. Mahmudov C.C. (2007) Ministry of Education of the Republic of Azerbaijan, Azerbaijan State University of Economics. Ecology. Baku, 246 [in Azerbaijan]
 10. Mehdiyeva V.Z., Baharchi T. (2016) Socio-economic aspects of ecological economic zoning. Ministry of Education of the Republic of Azerbaijan. Azerbaijan State Economic University. Monograph, Baku, 234 [in Azerbaijan]
 11. Mammadaliyev N.M., Yusifova A.C. (2016) Ministry of Culture and Tourism of the Republic of Azerbaijan, Exposition Text of Mingachevir City History Museum, Mingachevir, 284 [in Azerbaijan]
 12. Mammadov A.E. (2014) Ancient Ganja (based on archaeological research) / Azerbaijan National Academy of Sciences Institute of Archeology and Ethnography. Baku, Teknur, 51-57. [in Azerbaijan]
 13. Mammadov A.M., Aliyev T.V. (2010) Archaeological excavation and field research works of the Ganja archaeological expedition in 2009. Archaeological research in Azerbaijan 2009, Baku, 57 [in Azerbaijan]
 14. Mammadov G.Sh., Jafarov A.B. (2010) Agriculture and agro-industrial complex. Economic and social geography of Azerbaijan. Baku. Publishing house of BSU. 152-153. [in Azerbaijan]
 15. Mammadov G.Sh., Khalilov M.T., Mammadova S.A. (2009) Presidential Library of the Affairs Department of the President of the Republic of Azerbaijan, Atmospheric pollution problem. Ecological atlas. Baku: Cartography factory, 30 [in Azerbaijan]
 16. Mammadov G.Sh. (2007) Socio-economic and ecological basis of efficient use of land resources of Azerbaijan, Baku, 583 [in Azerbaijan]
 17. Mammadova S.I. (2017) Azerbaijan Geographical Society ANAS Acad. Institute of Geography named after H.A. Aliyev. Works of the Azerbaijan Geographical Society, XIX. Baku, 83-98 [in Azerbaijan]
 18. Mammadov R.M., Ismayilov M.C., Hasanov M.S. (2017) Works of the Azerbaijan Geographical Society Geography and natural resources, 1, Baku, 3-5.
 19. Mammadov R.M. (2009) Landscape planning in Azerbaijan (first experience and application). Baku, 583.
 20. Nazaruk M.M. (2016) Revitalization as a step towards ecologically balanced development of the city of Lviv. Bulletin of Lviv University. The series is geographical, 50, 271-276.
 21. Pyle G.F. (1978) "Environmental Risk Factors of Carolina Encephalitis in Man" The Geographical Review, 68, 157-70.
 22. Sen-Mark F.D. (1977) Nature socialization M. Publ. "Progress", 251-254.
 23. Shannon, G.W. (1977) Space-Time and Illness Behavior", Social Science and Medicine, 11, 683-89.
 24. Topchiev O. H., Nefedova N.E., Yavorska V.V. (2014) Domestic geography in the context of the formation of Ukrainian statehood. ONU Bulletin. T. 19, issue 4 (23): Geographical and geological sciences. 136-147 [in Ukrainian].
 25. Valishin Y.I. (2017) Psychogeography of city, news of M. State University. Series: Natural Sciences. M., 2, 38.

Authors Contribution: All authors have contributed equally to this work.

Ландшафтно-екологічна каркасна модель міського ландшафту та методи оптимізації міських ландшафтів (на прикладах міст Гянджа і Мінгачевир)

Афаг Гаджисєва¹

к. геогр. н., доцент,

¹ Азербайджанський державний економічний університет,
вул. Істиглаліят, 6, Баку, AZ1001, Азербайджан;

Гульнар Гаджисєва²

к. геогр. н., гол. наук. співробітник,

² Національна академія наук Азербайджану,
вул. Х. Джавіда, 31, Баку, AZ1133, Азербайджан;

Хумар Ханім Дадашова³

викладач,

³ Бакинський коледж бізнесу та співробітництва групи SABAN,
вул. Н. Наріманова, 44, Баку, AZ1054, Азербайджан

У статті окреслено природні та антропогенні основи міських ландшафтів та організацію і моделювання екологічних каркасів. В даний час вплив людської діяльності на території, на ландшафти, особливо на міські ландшафти, інколи призводить до кардинальної зміни та реконструкції кількох одиниць або компонентів ландшафту, деградації чутливих екосистем території, створення повністю антропогенні комплекси. Метою даного досліджен-

ня є ландшафтно-екологічне формування міських ландшафтів Азербайджанської Республіки, оптимізація міських ландшафтів, аналіз і узагальнення процесів містобудування на рівні міського створення і середовища проживання, а також визначення основних закономірностей формування цього середовища з урахуванням інноваційних і традиційних процесів. Було проведено екологічний аналіз відповідних міських ландшафтів, і було визначено чотири зони екологічної небезпеки в Гянджі та три в Мінгечавірі (1:20000). Були проаналізовані принципи організації «екосистем» на основі оптимізації обох міських ландшафтів. Визначено ступінь антропогенної порушеності території та складено карту-схему еколого-географічної оцінки ландшафтних комплексів. Проведено дослідження антропогенних змін природних ландшафтів та зроблено оцінку антропогенного впливу у відсотках за фрагментами цифрових електронних карт. У програмі ArcGIS було складено карти нахилу та експозиції схилів місцевості, гіпсометрії рельєфу місцевості, щільності доріг, екогеографічного стану сучасних міських ландшафтів, зон ризику та оптимізації міських ландшафтів тощо. Визначено значення та функціональну роль міста як комплексного середовища життєдіяльності населення країни. У процесі містобудування в Азербайджанській Республіці визначається обличчя міста, композиційна система міської архітектури, нововведення, традиційні риси. У досліджуваних містах визначено основну містоутворюючу функцію та роль річки. Визначено та проаналізовано і лінійні особливості розвитку міст, і відмінності у формуванні. Відповідно, кожне з міст має свої унікальні моделі розвитку. Досліджено екологічні проблеми міст, складено карти екологічних ризиків та оптимізації.

Ключові слова: *урбанізовані ландшафти, екологічний стан, екологічна нормативна межа, оптимізація ландшафтів, ландшафтно-екологічний каркас.*

Внесок авторів: всі автори зробили рівний внесок у цю роботу

Надійшла 5 жовтня 2023 р.
Прийнята 7 листопада 2023 р.

Розробка локальної екомережі Луцької міської територіальної громади: особливості та проблеми

Зоя Карпюк¹

к. геогр. н., доцент кафедри фізичної географії

¹ Волинського національного університету ім. Лесі Українки,

пр. Волі, 13, м. Луцьк, 43025, Україна,

e-mail: karpyuk.zk@ukr.net,  <https://orcid.org/0000-0002-8073-3129>;

Василь Фесюк¹

д. геогр. н., професор, зав. кафедри фізичної географії,

e-mail: fesyuk@ukr.net,  <https://orcid.org/0000-0003-3954-9917>

Мета дослідження – з'ясувати умови і специфічні особливості формування локальної екомережі Луцької міської територіальної громади, обґрунтувати виділення її структурно-функціональних елементів, сучасний стан розвитку та рекомендації для забезпечення належного функціонування. Методи дослідження: порівняльно-географічного аналізу, польових досліджень, картографічний, статистичний. Результати дослідження: проаналізовано природні умови території громади, джерела антропогенного впливу, показники розвитку природно-заповідного фонду, рівень природності інших ділянок через очевидну необхідність їх включення у склад локальної екомережі для забезпечення її функціональної цілісності. Виділено 13 природних ядер, сім сполучних елементів, буферні зони, потенційно придатні для збільшення площі природних ядер і екологічних коридорів території відновлення і території природного розвитку. Новизна дослідження полягає у тому, що здійснено обґрунтування структурно-функціональних елементів першої у Волинській області екомережі локального рівня, розроблено картосхему локальної екомережі, визначено проблеми функціонування, проаналізовано перспективи розвитку. Розробка локальної екомережі Луцької міської територіальної громади є пілотним проектом розробки локальних екомереж територіальних громад Волинської області. Важливо, що пілотний проект підготовлений для територіальної громади із найвищим потенціалом антропогенного впливу, яка розміщується навколо обласного центру. Авторами в свій час була розроблена схема регіональної екомережі Волинської області. За умов децентралізації питання проєктування екомереж локального рівня набувають надзвичайної актуальності, оскільки територіальні громади не лише стають власниками природних ресурсів на своїй території, але й несуть відповідальність за їх охорону, раціональне використання і збереження.

Ключові слова: локальна екомережа, природне ядро, сполучний елемент, території відновлення, території природного розвитку, природно-заповідний фонд, територіальна громада, Волинська область.

Як цитувати: Карпюк Зоя. Розробка локальної екомережі Луцької міської територіальної громади: особливості та проблеми / Зоя Карпюк, Василь Фесюк // Вісник Харківського національного університету імені В. Н. Каразіна, серія «Геологія. Географія. Екологія», 2023. – Вип. 59. – С. 284–297. <https://doi.org/10.26565/2410-7360-2023-59-21>

In cites: Karpiuk Zoia, Fesyuk Vasyl. (2023). Development of local eco-network of Lutsk territorial community: features and problems. Visnyk of V. N. Karazin Kharkiv National University, series "Geology. Geography. Ecology", (59), 284–297. <https://doi.org/10.26565/2410-7360-2023-59-21> [in Ukrainian]

Вступ. В контексті децентралізації, що реалізується у нашій державі, відбувається передача значного переліку повноважень та відповідальності від державних органів до органів місцевого самоврядування. Це стосується не лише відносин у сфері економіки, соціальної політики тощо, але й питань екологічно безпечного стійкого розвитку. Одним із стратегічних пріоритетів розвитку територіальних громад є охорона довкілля – забезпечення якісного середовища проживання мешканців шляхом впровадження на місцевому рівні дієвих механізмів екологічної політики держави, проєктного менеджменту у сфері екології. Першочерговими кроками для втілення цих планів є ретельний аналіз стану природно-заповідних територій громади та розробка екомереж – єдиних територіальних структур – ділянок заповідної та малопорушеної природи, які забезпечують збереження ландшафтного і біотичного різноманіття, створюють передумови для раціонального приро-

докористування та екологічного оздоровлення територій. Необхідність розробки локальних і регіональних схем екомереж, що є основою розбудови екомережі України, визначено Законами України «Про екологічну мережу України» (№ 1864–IV від 24.06.2004 р.), «Про основні засади (стратегію) державної екологічної політики України на період до 2030 року» (№ 2697–VIII від 28.02.2019 р.), Указом Президента України «Про виклики і загрози національній безпеці України в екологічній сфері та першочергові заходи щодо їх нейтралізації» (№ 111/2021 від 23.03.2021 р.) і іншими законодавчими документами. Досягнення більш високих стандартів екологічної безпеки, зокрема, на рівні територіальних громад, та разом з цим тіснішого міжнародного співробітництва в галузі охорони довкілля вимагає також адаптація законодавства України до законодавства ЄС.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Нові виклики, пов'язані з глобальними природни-

ми змінами та антропогенним впливом суспільства, вимагають використання нових, більш складних, але всеохоплюючих концепцій, які могли б пояснити природу, взаємозв'язок і взаємозалежність фізичних та суспільних процесів [9]. Об'єктивна суперечливість взаємодії суспільства з навколишнім природним середовищем у кінці XIX ст. – на початку XX ст. і потреба оптимального вирішення наявних протиріч між ними зумовили зміну акцентів у вирішенні екологічних проблем з імперативного дослідження забруднення середовища до імперативу дослідження й збереження системоформувальних зв'язків геосистем, а через них – механізмів, які забезпечують відновлення їхньої просторово-часової організації. Сучасні природоохоронні ініціативи – ідеї системності збереження і відновлення довкілля, включені у Всеєвропейську стратегію збереження біологічного та ландшафтного різноманіття (1995 р.), реалізуються шляхом впровадження міжнародних і національних програм для реабілітації стану навколишнього середовища, зокрема екомереж різного територіального рівня. В Україні концептуальні підходи формування і розвитку національної і регіональних природоохоронних систем, методику їх геоінформаційного математично-картографічного моделювання та прикладних аспектів реалізації обґрунтували у своїх працях В.Т. Гриневецький [2], Ю.Р. Шеляг-Сосонко, В.С. Ткаченко, Т.Л. Андрієнко, Я.І. Мовчан [16], Л.П. Царик [15], В.М. Самойленко, Н.П. Корогода [13], М.М. Приходько [12], Л.С. Юглічек, Т.В. Виговська [18], Ю.В. Яцентюк [19; 20] та інші науковці. Важливе значення при обґрунтуванні функціонально спроможних екомереж регіонального рівня має вивчення екомереж локального рівня як першої ланки до розуміння особливостей будови та функціонування екомереж вищого рангу [1]. Екомережі локального рівня мають низку специфічних особливостей, особливо у межах населених пунктів, які відзначаються недостатнім і нерівномірним озелененням та постійним впливом на структурно-функціональні елементи шумового та хімічного забруднення, рекреаційної діяльності, проникнення видів-синантропів тощо. Питання просторової організації локальних екомереж у міських населених пунктах, актуальність застосування геоінформаційних технологій для розробки схем міських екомереж, оцінювання зв'язності біоцентрично-мережевої структури з'ясовували у своїх дослідженнях Є.М. Крижановський, А. В. Нагорна [8], Г.І. Денисик, Ю.В. Яцентюк, В. М. Воловик, Ж.Г. Барчук [3]. Ступінь функціональної придатності міських екомереж значно залежить від забезпечення зв'язності їх екоядерних складових, що значною мірою забезпечується зеленими насадженнями міста. Алгоритм просторової оцінки

міських зелених зон з урахуванням їхніх соціальних, екологічних і економічних функцій в умовах загострення екологічної ситуації у містах України запропоновано у праці [17].

У межах Волинської області аналіз особливостей розвитку та проблем функціонування природно-заповідного фонду, засад створення та стан функціонування об'єктів мережі Емеральд, обґрунтування структурно-функціональних елементів регіональної екомережі проводили В.М. Петлін, В.О. Фесюк, З.К. Карпюк [4; 5; 7; 10; 11], хоча заповідним територіям притаманна значна динамічність якісних і кількісних показників, тому питання їх вивчення наразі не втрачає своєї актуальності. Серед закордонних робіт цікавою для авторів була стаття Olofsson P., Foody G. et al. 2014 [23] про практичне застосування методів дистанційного зондування навколишнього середовища та Nie W. et al. 2021 [22], присвячена оптимізації екологічних мереж міст.

Виділення невирішених раніше частин загальної проблеми. Планування екомереж на місцевому рівні – це один із складних етапів геопросторової організації території, бо локальні екомережі мають певні специфічні особливості, пов'язані із необхідністю високого рівня деталізації та зв'язності їхніх структурно-функціональних елементів. Екомережі локального рівня, водночас, мають важливе значення взаємодоповнюючих складових у структурі регіональних екомереж. У процесі розробки локальних схем екологічних мереж відбувається узгодження структури локальної екомережі з регіональною, формуються конкретні модельні питання про віднесення тих чи інших територій до тих чи інших структурно-функціональних елементів, в окремих випадках у зв'язку з детальним аналізом місцевої ситуації необхідним є коректування схеми регіональної екомережі. Для обґрунтування виділення складових локальних екомереж необхідним є ґрунтовний аналіз особливостей природних умов території громади, рівня її господарського освоєння, сучасного стану природно-заповідного фонду (ПЗФ) та ступеня природності інших ділянок, придатних для включення до структурно-функціональних складових елементів локальної екомережі, рівня збереження біорізноманіття території громади. Реалізація розроблених схем локальних екомереж сприятиме охороні та відновленню природних ландшафтів громади, покращенню довкілля за рахунок оптимізації екологічних умов, збалансуванню структури земель різного використання, розвитку найбільш економічно вигідних форм господарської діяльності.

Розробка локальної екомережі Луцької міської територіальної громади – це пілотний проєкт локальних екомереж для Волинської області, розробле-

ний науковцями кафедри фізичної географії Волинського національного університету на замовлення органів місцевої влади. Проте Указом Президента України № 111/2021 від 23.03.2021 р. введено в дію рішення РНБО України від 23.03.2021 р. «Про виклики і загрози національній безпеці України в екологічній сфері та першочергові заходи щодо їх нейтралізації». Відповідно до п.п. 2 п. 2 цього рішення місцеві органи виконавчої влади зобов'язані вжити заходів щодо розроблення та затвердження місцевих схем формування екологічної мережі. Тому на сьогодні питання наукового обґрунтування та розробки саме проєктів локальних екомереж для територіальних громад є надзвичайно актуальними.

Формулювання мети статті. Мета дослідження – з'ясувати умови і специфічні особливості формування локальної екомережі Луцької міської територіальної громади, обґрунтувати виділення її структурно-функціональних елементів, сучасний стан розвитку та рекомендації для забезпечення належного функціонування.

Матеріали та методи. Дослідження проведено згідно з «Методичними рекомендаціями щодо розроблення регіональних та місцевих схем екомережі» (Наказ Міністерства охорони навколишнього природного середовища України № 604 від 13.11.2009 р.). Під час роботи опрацьовувалися картографічні і статистичні дані, схеми землеустрою та лісовпорядкування, фондова документація з питань охорони довкілля Управління екології та природних ресурсів Волинської обласної державної адміністрації, Відділу екології Луцької міської ради, Регіонального офісу водних ресурсів Волинської області та матеріали власних польових досліджень щодо виділення придатних для включення у різномісцеві екомережі природних та квазіприродних ділянок, що проводилися протягом 2016-22 рр. Протягом 2021 р. виконувалася угода із Відділом екології Луцької міської ради по розробці наукового обґрунтування схеми локальної екологічної мережі Луцької міської об'єднаної територіальної громади. Під час дослідження застосовувалися методи польових досліджень і порівняльно-географічного аналізу для встановлення особливостей територіальної організації об'єктів природно-заповідного фонду, природоохоронних територій мережі Емеральд, інших збережених у природному стані ділянок територіальної громади та структурно-функціональних зв'язків між складовими частинами локальної екомережі; картографічного моделювання для побудови картографічних моделей і обґрунтування меж структурно-функціональних складників локальної екомережі; статистичний – для аналізу частки площ заповідних територій різних категорій у структурі ПЗФ міської територіальної

громади, відсотку заповідності території, ступеня інсуляризованості природно-заповідних територій, показника щільності об'єктів ПЗФ.

Виклад основного матеріалу дослідження.

Обґрунтування будь-якого виду господарського використання території або розробки проєктів охорони довкілля передбачає всебічне врахування особливостей її природних умов і ресурсів. Луцька міська територіальна громада (МТГ) знаходиться у південно-східній частині Волинської області. Для території Луцької МТГ притаманні: рівнинний і хвилясто-горбистий рельєф, ускладнений ерозійними балками, ярами, карстово-суфозійними западинами, густа річкова мережа, яку формують річки Стир, Сапалаївка, Омеляник, Чорногузка, Жидувка, Серна та ставки у їхніх долинах, помірно-континентальні кліматичні умови з високим рівнем вологості повітря, значною кількістю опадів і помірним температурним режимом, поширення торфово-болотних, торфових, дерново-середньопідзолистих, сірих і темно-сірих опідзолених та чорноземних неглибоких ґрунтів, значна трансформованість рослинного покриву із дубово-грабових, дубово-соснових лісів, евтрофних боліт, низинних лук у сільськогосподарські угіддя. Ця територія лежить у межах двох фізико-географічних зон: мішаних лісів і широколистяних лісів (межа проходить північніше обласного центра – міста Луцька), двох фізико-географічних областей: Волинської височинної і Волинського Полісся із переважанням у їхніх межах певних зональних типів ландшафтів. Ландшафти Волинської височини значно відмінні від поліських насамперед через значне поширення лесовидних суглинків та завдяки значним абсолютним висотам і розповсюдженню досить глибоких долин, балок, ярів. Закономірні відмінності геологічної будови, рельєфу, типів ґрунтів, рослинного покриву зумовлюють належність території до кількох фізико-географічних районів: Турійсько-Рожищенського, Ківерцівсько-Цуманського (Волинське Полісся), Локачинсько-Горчинського (Волинська височина). Найпоширеніші ландшафтні урочища у межах громади долинні і вододільні. У межах долинних урочищ розрізняють – заплави: лучні заплави середніх річок Волинської височини, зокрема, р. Стир, із різнотравно-злаковими луками на дернових оглеєних ґрунтах і торфовищах, значно осушені; лучні заплави великих річок Волинської височини, зокрема, р. Чорногузки, із різнотравно-злаково-осоковими луками на лучно-болотних ґрунтах і торфовищах, значно осушені; та надзаплавних терас: нерозчленовані перші й другі лесові тераси з чорноземами неглибокими малогумусними і опідзоленими під ріллею на місці дубово-грабових лісів. У межах вододільних урочищ – слабодреновані межиріччя

на лучних, дернових і дерново-слабопідзолистих ґрунтах під промисловою та житловою забудовою на місці чорновільхових і дубово-соснових лісів; лесові межиріччя на сірих і темно-сірих опідзолених ґрунтах, зайняті промисловою та житловою забудовою, орними землями на місці дубово-грабових лісів; урочища вододільних горбів зі слабопологими і пологими схилами, вкриті сірими і світло-сірими сильно змитими ґрунтами з фрагментарними судібровами зеленчуковими і дібровами з домішками інших листяних порід; балкові урочища з пологими або слабоспадистими схилами і переважним поширенням темно-сірих опідзолених ґрунтів і опідзолених чорноземів (саме ці місцевості були освоєні історично першими і найбільше змінені, існує думка, що інтенсивне їх освоєння сприяло інтенсифікації лінійної ерозії, зокрема, на околицях міста, в районі с. Гаразджа); урочища крутих схилів лесових горбів на сильноеродованих сірих та темно-сірих ґрунтах, місцями дуже змиті). Ландшафти території громади відзначаються невисокою стійкістю, зумовленою загальним переважанням рівнинно-западинного рельєфу, що сформувався на строкатому палеоген-четвертинному (переважно піщаному і лесовому) підґрунті при неглибокому заляганні тріщинуватих товщ крейди; надмірним зволоженням та суттєвим впливом біогенних чинників.

Варто зазначити, що Луцька мТГ (площа громади – 379,6 км², чисельність населення – 241,73 тис. чол.) є специфічною серед територіальних громад Волинської області, бо вона формується навколо великого міста (площа 42 км²), чисельність якого складає 217,32 тис. мешканців. Вплив обласного центру на зміни екологічного стану території дуже відчутний, тому територія громади характеризується високим ступенем господарської освоєності та антропогенної трансформованості. Особливо високий рівень антропогенних змін фіксується у межах м. Луцька. У обласному центрі багато техногенних форм – відпрацьованих та діючих кар'єрів, численних насипів та дамб, полів фільтрації, каналів, штучних водойм. Тут часто фіксуються прояви несприятливих геологічних процесів, зокрема, зсуви на першій надзаплавній терасі р. Стир через підрізання заплави, суфозійні просадки внаслідок інтенсивної втрати вологості із систем підземних інженерних комунікацій (водопроводу, каналізації і теплотрас), переувільнення та перезволоження ґрунтів, а отже зміни їх механічного й хімічного складу. У межах урбоєкосистеми м. Луцька певні риси природності збереглися у парково-рекреаційних зонах та на залужених заплавах річок [14].

Тривала історія освоєння та сприятливі природні умови території громади зумовили інтен-

сивне сільськогосподарське освоєння, розораність перевищує екологічно допустимі нормативи. В структурі посівів велика частка належить зерновим, овочевим культурам, ріпаку, соняшнику, частка сіножатей і пасовищ незначна. Значний рівень селитебного навантаження – до складу територіальної громади входить м. Луцьк, смт Рокини і 34 села. Потужними ландшафтоперетворюючими чинниками є також будівництво, інтенсивне використання транспортних магістралей, господарська експлуатація та забруднення поверхневих і підземних вод, ґрунтів, фіто- та зооценозів, рекреаційне навантаження.

Для забезпечення прийнятних умов для збереження і відновлення біотичного та ландшафтного різноманіття території, покращення соціально-економічних умов розвитку громади була розроблена схема локальної екомережі. Екомережі, зокрема і локального рівня, як просторові геосистеми, передбачають включення до складу структурно-функціональних елементів пов'язаних між собою функціонально і територіально природних геосистем та антропогенізованих ландшафтів для забезпечення нерозривності і взаємопов'язаності її складових частин [15; 21]. У Законах України «Про Загальнодержавну програму формування національної екологічної мережі України», «Про екологічну мережу України» зазначено повний перелік об'єктів, що є складовими структурних елементів екомережі. Як основні природні елементи екологічної мережі вказані території та об'єкти природно-заповідного фонду.

У межах ПЗФ Луцької мТГ, за даними відділу екології Луцької міської ради, станом на 01.01.2022 р., під охорону держави взято 36 територій та об'єктів загальною площею 2317,1162 га, що належать до шести категорій (табл. 1). Три об'єкти: частина Ківерцівського національного природного парку «Цуманська пуща», Луцький ботанічний сад, парк-пам'ятка садово-паркового мистецтва «Байрак» (822,8962 га; 35,51 % площі ПЗФ ТГ) мають загальнодержавне значення, 33 об'єкти (1494,22 га; 64,49 % площі ПЗФ ТГ) – місцевого значення. До територій та об'єктів ПЗФ місцевого значення належать: шість заказників (два загальнозоологічних, два орнітологічних, два гідрологічних) – 1012,68 га, 17 пам'яток природи (14 ботанічних, одна зоологічна, дві гідрологічних) – 56,24 га, дев'ять заповідних урочищ – 412,8 га, один ППСМ – 12,5 га. У відсотковому відношенні найбільша кількість об'єктів ПЗФ належить до категорії «пам'ятки природи» (47,22 %), «заповідні урочища» (25,00 %), «заказники» (16,67 %). Відповідно на «ППСПМ» припадає 5,55 %, НПП – 2,78 %, ботанічний сад – 2,78 % всіх ПЗФ-об'єктів територіальної громади. Частка площ природоохоронних територій

та об'єктів різних категорій у структурі ПЗФ Луцької ТГ інша: КНПП – 799,8962 га (34,52 %), заказники – 1012,68 га (43,70 %), пам'ятки природи – 49,34 га (2,43 %), заповідні урочища – 412,8 га (17,82 %), ботанічний сад – 10,0 га (0,43 %), парки-пам'ятки садово-паркового мистецтва – 25,5 га (1,10 %).

Коефіцієнт заповідності території Луцької ТГ складає 27,86 % (у межі КНПП входить 16

об'єктів (446,11 га): сім пам'яток природи, дев'ять заповідних урочищ). Ступінь інсуляризованості територій та об'єктів територіальної громади – 0,37. Показник щільності об'єктів ПЗФ складає 0,54 об'єктів/100 км². Для порівняння – відсоток заповідності Волинської області станом на 01.06.2021 р. становить 10,96, індекс інсуляризованості – 0,3, показник щільності об'єктів ПЗФ – 1,96 об'єкт/100 км² [7].

Таблиця 1 / Table 1

Структура територій та об'єктів природно-заповідного фонду Луцької мТГ (складено авторами) /
The structure of the territories and objects of the nature reserve fund of Lutsk UTC (compiled by the authors)

Категорія, тип	Загальнодержавного значення		Місцевого значення		Всього	
	кількість об'єктів, шт.	площа, га	кількість об'єктів, шт.	площа, га	кількість об'єктів, шт.	площа, га
Національні природні парки	1	799,8962	–	–	3	799,8962
Заказники	–	–	6	1012,68	6	1012,68
загальнозоологічні	–	–	2	348,95	2	348,95
орнітологічні	–	–	2	100,00	2	100,00
гідрологічні	–	–	2	563,72	2	563,73
Пам'ятки природи	–	–	17	56,24	17	56,24
ботанічні	–	–	14	39,33	14	39,33
зоологічні	–	–	1	7,0	1	7,0
гідрологічні	–	–	2	9,91	2	9,91
Заповідні урочища	–	–	9	412,8	9	412,8
Ботанічні сади	1	10,00	–	–	1	10,00
Парки-пам'ятки садово-паркового мистецтва	1	13,0	1	12,5	2	25,5
Всього	3	822,8962	33	1494,22	36	2317,1162

Значна частина заповідних об'єктів громади має давній природоохоронний статус. Сім об'єктів ПЗФ: Луцький ботанічний сад загальнодержавного значення, заказники загальнозоологічний «Гнідавське болото», орнітологічний «Пташиний гай», пам'ятки природи: ботанічні «Меморіал», «Дубовий гай», «Платан західний», гідрологічна «Теремнівські ставки» розташовуються на території обласного центру.

До мережі зелених насаджень загального користування у обласному центрі, крім об'єктів ПЗФ, рішенням Луцької міської ради 01.08.2020 р. включено п'ять парків: Центральний парк культури та відпочинку імені Лесі Українки (площа 77,57 га; дата та номер рішення міської ради про затвердження меж – № 33/19 від 31.10.2012 р.), Лугопарк на вул. Набережній (9,51 га; № 48/186 від 29.11.2013 р.), Парк культури та відпочинку імені 900-річчя м. Луцька (18,6 га; № 62/44 від 23.07.2014 р.), Парк на вул. Конякіна – вул. Гордіюк (8,1 га; № 7/24 від

27.04.2016 р.), Парк по вул. Боженка (10,05 га; № 15/41 від 01.12.2016 р.); рекреаційна зона вздовж р. Сапалаївка в межах вул. Шопена – вул. Чехова (7,51 га; № 15/42 від 01.12.2016 р.) та 33 сквери (19,8355 га). Мережа природно-заповідних та штучно створених міських озелених територій: зелених насаджень вздовж доріг, скверів, садів, парків сприяють зменшенню негативного впливу шкідливих викидів у місті, слугують засобом збереження природи в урбанізованому середовищі, виконують важливі екологічні, економічні, соціальні, історико-культурні функції [6]. З метою здійснення обліку та інвентаризації зелених насаджень м. Луцька, проведення заходів з оцінки їхнього стану, забезпечення доступу до інформації громадськості, з червня 2020 р. запроваджена автоматизована інформаційна система обліку зелених насаджень «Inspectree Луцьк».

Своєрідним буфером на шляху забруднювачів водних об'єктів і природних комплексів зага-

лом є досить збережені ділянки ландшафтів у річкових долинах – водоохоронні зони. У межах Луцької мТГ водоохоронні зони та прибережні захисні смуги річок та водойм встановлені із врахуванням законодавчих норм та нормативно-технічної документації вздовж р. Стир (у межах області протікає на протязі 227,5 км) та його приток: правої – р. Сапалаївки, лівих – Черногузки, Омеляника, Жидувки і навколо озер (біля сіл Озерце, Прилуцьке, Жабка) в долині Стиру та значних за розмірами ставків (біля смт Рокині, сіл Шепель, Заболотці, Забороль, Великий Омеляник, Боголюби, Сирники). Ставки біля сіл Шепель (88,0 га), Боголюби (33,97 га) належать до одних із найбільших у області.

Лісові насадження на території Луцької мТГ належать до Боголюбського, Ківерцівського, Торчинського, частково Копачівського, Рожищенського лісництв ДП «Ківерцівське лісове господарство», створеного у 1939 р. Ліси займають насамперед підвищені ділянки рельєфу. Переважають широколистяні насадження – дубові та грабово-дубові з домішкою інших порід та сосново-дубові, у долинах невеликих річок – вільхові. Переважаними лісоформуючими породами у господарстві є дуб черешчатий *Quercus robur*, сосна звичайна *Pinus sylvestris*, граб звичайний *Carpinus betulus*, береза бородавчаста *Betula pendula*, вільха чорна *Alnus glutinosa* та ін.

Болотні екосистеми – низинні евтрофні високотравні болота, що є важливими гідрологічними і кліматичними регуляторами території, осередками депонування парникових газів, територіями поширення багатьох рідкісних видів флори і фауни, у межах Луцької мТГ найбільші площі займають у заплаві р. Черногузки, значно менші ділянки залишилися в заплавах річок Стиру, Серни, Омелянівки. Більші площі у заплавах річок займають різнотравно-злаково-осокові луки, подекуди заболочені на лучно-болотних ґрунтах і торфовищах.

До складу геокомпонентів локальних та регіональної екомереж важливо включати об'єкти мережі Емеральд, яка слугує одним із основних інструментів для збереження територій, що мають значну екологічну цінність, і створює підґрунтя для співпраці держав задля виконання своїх зобов'язань за Бернською конвенцією про охорону дикої флори та фауни і природних середовищ існування в Європі (ЗУ «Про приєднання до Конвенції 1979 р. про охорону дикої флори і фауни і природних середовищ існування в Європі» від 29.10.1996 р.). У межі Луцької мТГ входить три об'єкти Смарагдової мережі Волинської області: частини АСЦІ «НПП «Цуманська Пуща» (UA0000112), «Долина р. Стир у Волинській області» (UA0000334), «Черногузка» (UA0000252).

Згідно розробленої у 2016 р. (договір № 395У-05Ф) на замовлення Управління екології та природних ресурсів Волинської обласної державної адміністрації схеми регіональної екомережі Волинської області, через територію Луцької мТГ проходить кілька структурно-функціональних елементів регіонального значення: сполучні коридори Стирський, Риловицько-Серненський, Луцько-Черногузький, що простягаються лісовими, болотними і лучними угіддями, чагарниковими заростями заплав Стиру, Черногузки, Серни і поєднують природні ядра: Ківерцівське національного значення, Садівське, Чаруківське, Воротнівське регіонального значення (ядра розміщуються безпосередньо біля меж території громади). *Ківерцівське* природне ядро національного значення, один із основних елементів екологічної мережі Волинської області, сформоване на базі Ківерцівського НПП «Цуманська пуща» і є лісовим масивом у межах річки Стиру і Горині.

У межах Луцької мТГ *Стирський* сполучний елемент простягається річковою долиною р. Стир. Ширина заболоченої заплави річки із старицями, що затоплюються під час повені, в межах м. Луцька сягає 1-2 км, за містом розширюється. Ширина русла в межах міста складає 20-25 м, глибина – 1,5-3,5 м. Повторюючи звивисту форму річки, сполучний коридор пролягає територією мТГ на протязі близько 30 км. Ширина екокоридору варіює від 1,0-1,2 км до 1,6-1,8 км. Включає Лугопарк, організований на вул. Набережній м. Луцька, заказники місцевого значення: загальнозоологічний «Гнідавське болото» (116,6 га; 12.12.1995 р.), гідрологічний «Краєвид» (13,73 га; 18.08.2000 р.), ботанічну пам'ятку природи м/з «Ділянка лісу – 2» (6,7 га; 27.12.1972 р.). Заболочена заплава Стиру у межах екокоридору заросла рогозом широколистим *Typha latifolia*, очеретом звичайним *Phragmites australis*, різними видами осок, не густими заростями верболюзу *Salix alba* та іншими видами, що є місцем мешкання й розмноження риб, земноводних, плазунів, птахів, ссавців, зокрема синиць великої *Parus major* і вусатої *Panurus biarmicus*, дрозда співочого *Turdus philomelos*, зозулі *Cuculus canorus*, шпака *Sturnus vulgaris*, зяблика *Fringilla coelebs*, вівсянки *Emberiza citrinella*, крижня *Anas platyrhynchos*, курочки малої *Porzana parva*, черепахи болотної *Emys orbicularis*, зайця-русака *Lepus europaeus*, ласки *Mustela nivalis*, лисиці рудої *Vulpes vulpes*. У загальнозоологічному заказнику «Гнідавське болото», що входить у межі сполучного коридору, виявлені рідкісні види, занесені до Червоної книги України та у міжнародні природоохоронні переліки: видра річкова *Lutra lutra*, горностаї *Mustela erminea*, лунь польовий *Circus cyaneus*.

Довжина Риловицько-Серненського сполучного елемента, що слугує сполучною ланкою між природними ядрами локального значення Шепельським і Рокинівським, сягає близько 15 км, ширина варіює від 0,1-0,2 км до 0,5-0,7 км. Довжина Лузько-Чорногузького сполучного елемента на території Луцької мТГ складає близько 13 км, ширина варіює від 0,3-0,4 км до 0,6-0,9 км. У межах екокоридору поширена різнотравно-злаково-осокова рослинність. У межах екокоридорів трапляються рідкісні види фауни: гоголь *Bucephala clangula*, деркач *Crex crex*, журавель сірий *Grus grus*, луні польовий *Circus cyaneus* і лучний *C. pygargus*, сорокопуд сірий *Lanius excubitor*, сова болотяна *Asio flammeus*, горностаї *Mustela erminea*, видра річкова *Lutra lutra*.

Структурно-функціональні елементи локальної екомережі Луцької мТГ включають природні ядра, сполучні елементи, буферні зони, території відновлення та території природного розвитку (рис. 1). До складу природних ядер локального значення належать 13 об'єктів (табл. 2).

Розгалуженість гідрологічної мережі Луцької мТГ зумовлює наявність значної кількості сполучних елементів у локальній екомережі, що охоплюють ділянки водоохоронних зон річок та прилягаючі угіддя. В окремих випадках можливість сполучних зв'язків між функціональними елементами регіональної екомережі підсилюється малими річками й каналами. У локальній екомережі виділені Сапалаївський, Гнідавський, Омелянівський, Прудниківський, Жидичинсько-Прилуцький, Шепельсько-Боголюбський, Богушівсько-Буківський екокоридори локального значення. Протяжність Сапалаївського сполучного елемента близько 7 км, ширина – від 0,04 до 0,08 км, Гнідавського – близько 4 км (ширина – від 0,05-0,1 км до 0,2 км), Омелянівського – близько 14 км (ширина – від 0,04-0,08 км до 0,2-0,3 км), Прудниківського – близько 7 км (ширина коливається від 0,08 км до 0,2-0,3 км), Жидичинсько-Прилуцького – близько 4 км (ширина – в межах 0,02-0,04 км), Шепельсько-Боголюбського – близько 15 км (ширина – від 0,04-0,08 км до 0,2-0,3 км), Богушівсько-Буківського – близько 7 км (ширина – практично на всій протяжності 0,04-0,05 км, розширюючись поступово 0,1-0,2 км у напрямку до Риловецько-Серненського сполучного елемента).

Богушівсько-Буківський сполучний елемент пролягає значною мірою узліссям лісових антропогенних ландшафтів, решта локальних екокоридорів проходять помірно зволженими прирусловими і центральними частинами заплави малих річок – приток Стиру та осушених притерасних знижень. В заплавах річок розвиваються процеси заболочування, підтоплення. Території водоохоронних зон і прибережних смуг частково вико-

ристовуються під приватну, промислову чи громадську забудову.

Два об'єкти локальної екомережі Луцької мТГ віднесені до *територій відновлення*: Рокинівська і Прилуцька (площею біля 15–20 га кожна) – це ділянки з деградованою природною рослинністю, але із збереженим середовищем існування, що сприятиме їх швидкому відновленню. Вони у структурі екомережі важливі з погляду формування її просторової цілісності. Рокинівська ділянка може бути сполучною ланкою між Риловицько-Серненським та Стирським екокоридорами регіонального рівня, а Прилуцька стане продовженням Жидичинсько-Прилуцького сполучного елемента локального значення. Їх екологічна реставрація сприятиме відновленню екологічних зв'язків між збереженими природними територіями та збільшенню площі структурно-функціональних елементів локальної екомережі.

Територіями природного розвитку, які призначені для посилення ефективності екомережі, але поки територіально ізольовані від її складових частин, можуть слугувати зелені насадження скверів міста та деякі природоохоронні об'єкти. Фрагментованість цих ділянок через значну протяжність відкритих ділянок між окремими деревними насадженнями, наявність великої кількості екобар'єрів у вигляді будівель, автодоріг, можуть долати певні види комах та птахів, пристосовані до урбанізованого середовища.

На основі аналізу переваг, недоліків, можливостей та загроз розвитку природно-заповідної та екологічної мережі Луцької мТГ методом SWOT-аналізу запропоновано шляхи та заходи оптимізації їх стану на перспективу. До *Strengths (сильних сторін)* можна віднести: відносно збережені ландшафти території Волинської височини; наявність значної кількості (36 об'єктів) і територій ПЗФ в межах мТГ, відносно високий коефіцієнт заповідності території території Луцької мТГ порівняно з Волинською та іншими адміністративними областями (10,92 % по Волинській області, 6,77 % по Україні станом на 2021 р.); присутність у складі природно-заповідних територій значного за розмірами та рекреаційним потенціалом об'єкту ПЗФ – Ківерцівського НПП «Цуманська пуща»; існування значної кількості населення – потенційних споживачів рекреаційних та екосистемних послуг. *Weaknesses (Слабкими сторонами)* є: відносно низький коефіцієнт заповідності території порівняно з європейськими вимогами, необхідність розширення природно-заповідної мережі; обмежена частка об'єктів та територій ПЗФ, винесених в натуру, складність проведення цих робіт через їх високу вартість; неузгодженість проєктів формування екомережі національного, регіонального, локального рівня, від-

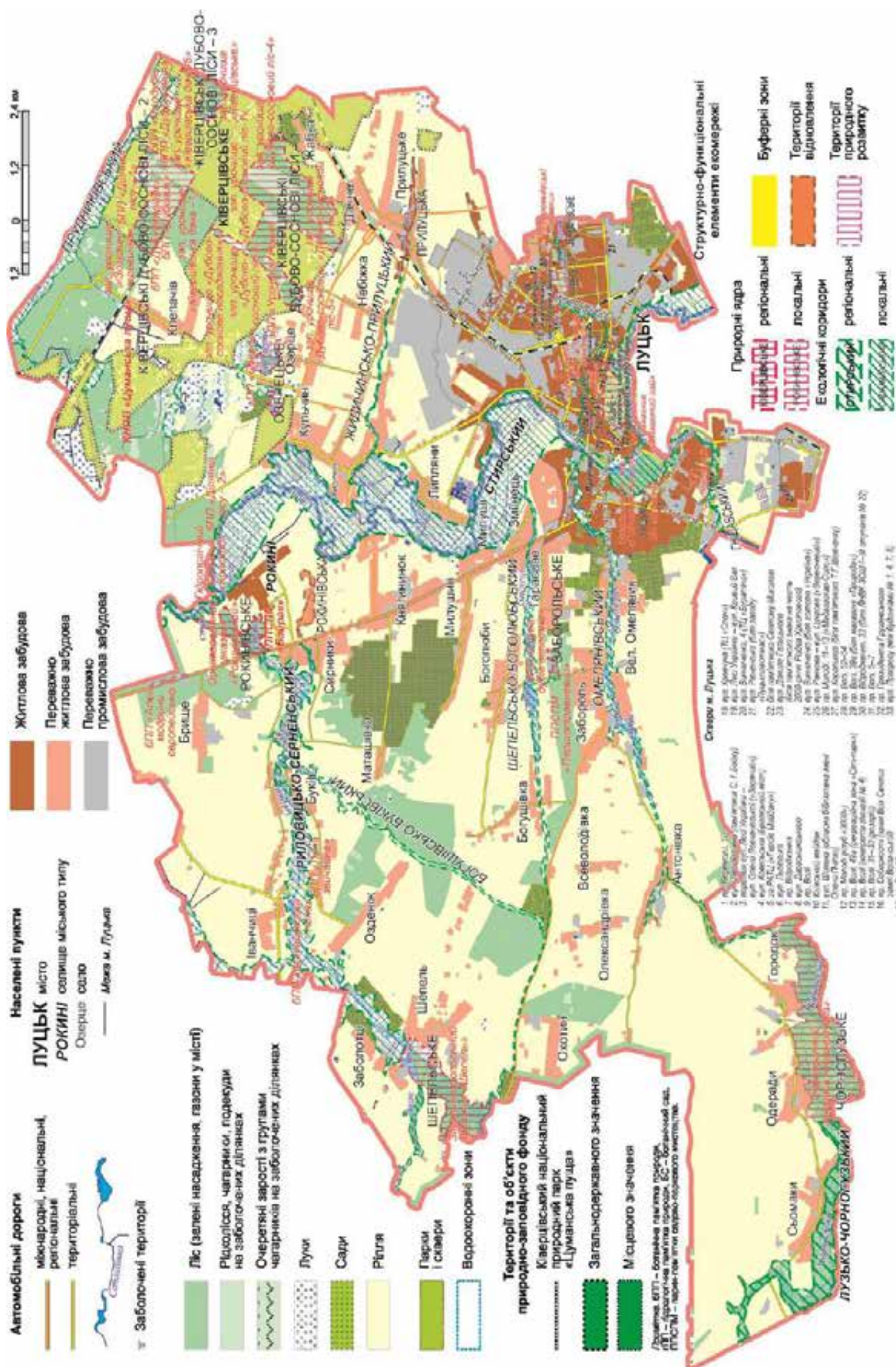


Рис. 1. Структурно-функціональні елементи екомережі Луцької міської територіальної громади (автор-укладач З. К. Карпюк) /
Fig. 1. Structural and functional elements of the eco-network of Lutsk urban territorial community (author by Associate Professor Z. Karpiuk)

Таблиця 2 / Table 2

Природні ядра локального значення у структурі екомережі Луцької мТГ (складено авторами) /
Natural cores of local importance in the structure of the eco-network of Lutsk UTC (compiled by the authors)

Назва і площа природного ядра	Заповідні об'єкти, що входять у склад природного ядра та його коротка характеристика
1	2
«Ківерцівські дубово-соснові ліси – 1» (близько 410 га)	Природне ядро формують щільно згруповані п'ять заповідних урочищ: «Дубово-сосновий ліс – 1» (29,6 га; 12.12.1995 р.), «Дубово-сосновий ліс – 2» (45,5 га; 12.12.1995 р.), «Дубово-сосновий ліс – 3» (100,9 га; 12.12.1995 р.), «Дубово-сосновий ліс – 4» (50,6 га; 12.12.1995 р.), «Дубово-сосновий ліс – 5» (23,5 га; 12.12.1995 р.) та ПП ботанічна «Дубово-соснове насадження» (3,2 га; 10.02.1995 р.) і зоологічна «Урочище Ревні» (7,0 га; 12.12.1995 р.) у ДП «Волинський військовий лісгосп» Луцького л-ва, де ростуть високобонітетні (1 А, 1, 2) лісові масиви із сосни звичайної <i>Pinus sylvestris</i> із домішкою дуба черешчатого <i>Quercus robur</i> , що збереглися у природному стані, віком від 60 до 80–100 років та є місцем мешкання багатьох видів лісової південнополіської фауни, зокрема щеврика лісового <i>Anthus trivialis</i> , вівсянки звичайної <i>Emberiza citrinella</i> , зеленяка <i>Carduelis chloris</i> , синиць великої <i>Parus major</i> і блакитної <i>P. caeruleus</i> та ін.
«Ківерцівські дубово-соснові ліси – 2» (близько 250 га)	До складу ядра входять три заповідні урочища: «Зозулині черевички» (65,0 га; 16.12.2003 р.), «Ківерцівська дача–1» (6,3 га; 23.11.1979 р.), «Ківерцівська дача–6» (7,1 га; 23.11.1979 р.); п'ять ботанічних ПП: «Ділянка лісу – 1» (4,3 га; 11.07.1972 р.), «Дуб-патріарх» (0,01 га; 31.10.1991 р.), «Лісодуб» (8,3 га; 31.10.1991 р.), «Дубовик» (3,3 га; 31.10.1991 р.), «Дубососнина» (7,2 га; 31.10.1991 р.) та прилягаючі лісові насадження у ДП «Ківерцівське ЛГ», Ківерцівського л-ва. У межах природного ядра ростуть високобонітетні сосново-дубові, соснові, дубові насадження віком від 70 до 200 років, деякі з ділянок занесені у насінневий генофонд (кв. 92, вид. 16; кв. 93, вид. 3). Тут виявлені рідкісні види рослин, включені у ЧКУ: зозулині черевички справжні <i>Cypripedium calceolus</i> , лілія лісова <i>Lilium martagon</i> , кадило сарматське <i>Melittis sarmatica</i> та регіонально рідкісний молочай гранчастий <i>Euphorbia angulata</i> .
«Ківерцівські дубово-соснові ліси – 3» (близько 80 га)	Сформоване на базі заповідного урочища «Ківерцівське» (75,3 га; 04.11.1997 р.) у межах ДП «Ківерцівське ЛГ» Ківерцівського л-ва, де ростуть високобонітетні сосново-дубові насадження віком 140–180 років, у трав'яному покриві яких виявлені лікарські рослини, зокрема валеріана дводомна <i>Valeriana officinalis</i> .
«Озерянське» (близько 15 га)	У складі природного ядра озеро карстового походження (глибина 5,0 м), що охороняється у гідрологічній ПП «Озерце» (4,0 га; 03.03.1993 р.), ще кілька невеликих озер та осокових і чагарникових заростей навколо них із верби козячої <i>Salix caprea</i> , вільхи чорної <i>Alnus glutinosa</i> .
«Рокинівське» (близько 100 га)	Сформоване на базі ППСІМ зд/з «Байрак» (13,0 га; 20.08.1996 р.) і орнітологічного заказника «Рокинівський» (90,0 га; 16.12.2003 р.). Це комплекс ставків з осоковими, очеретяними, рогозовими заростями у заплаві р. Серни з прилеглими водно-болотними та лучними угіддями, на яких мешкають численні види орнітофауни: широконоска <i>Anas clypeata</i> , очеретянка чагарникова <i>Acrocephalus palustris</i> , чечевиця звичайна <i>Carpodacus erythrinus</i> , чепура велика <i>Ardea alba</i> , бугайчик <i>Ixobrychus minutus</i> , синьошийка <i>Luscinia svecica</i> , бугай <i>Botaurus stellaris</i> , мартин річковий <i>Larus ridibundus</i> . Трапляються рідкісні види флори і фауни: коручка чемерникоподібна <i>Epipactis helleborine</i> , лунь лучний <i>Circus pygargus</i> , деркач <i>Crex crex</i> , видра річкова <i>Lutra lutra</i> (ЧКУ, ЄЧС).
«Шепельське» (близько 250 га)	Включає загальнозоологічний заказник «Шепель» (232,35 га; 26.05.1992 р.) та прилеглі заболочені і чагарникові угіддя у заплаві р. Серни із 15 природними джерелами і ставками. Тут виявлені рідкісні види фауни, занесені в ЧКУ, додатки Вашингтонської, Боннської, Бернської конвенцій: лунь польовий <i>Circus cyaneus</i> , горностай <i>Mustela erminea</i> , видра річкова <i>Lutra lutra</i> (вид ЄЧС). Територія є місцем розмноження і зупинки під час міграційних перельотів: лебедя-шипуну <i>Cygnus olor</i> , пірникоз великої <i>Podiceps cristatus</i> і малої <i>P. ruficollis</i> , грицика великого <i>Limosa limosa</i> , луня болотного <i>Circus aeruginosus</i> , мартин звичайного <i>Larus ridibundus</i> , бугая <i>Botaurus stellaris</i> , вівсянки очеретяної <i>Emberiza schoeniclus</i> ,

	очеретянки ставкової <i>Acrocephalus scirpaceus</i> , чорні червоноголової <i>Aythya ferina</i> і чубатої <i>A. fuligula</i> , крижня <i>Anas platyrhynchos</i> , ширококоніски <i>Anas clypeata</i> , чайки <i>Vanellus vanellus</i> , чирянок великої <i>Anas querquedula</i> і малої <i>A. crecca</i> , лиски <i>Fulica atra</i> та ін.
«Чорногузьке» (близько 250 га)	Включає ділянки у заплаві р. Чорногузки гідрологічного заказника «Чорногузка» (на території Луцької громади лежить лише частина заказника, загальна площа якого 1500,0 га; 26.05.1992 р.) – різнотравно-злаково-осокові угруповання та чагарникові зарості із крушини ламкої <i>Frangula alnus</i> та вільхи чорної <i>Alnus glutinosa</i> , де мешкають понад 100 видів хребетних тварин, зокрема, бугай <i>Botaurus stellaris</i> , бугайчик <i>Ixobrychus minutus</i> , чепура велика <i>Ardea alba</i> , очеретянка чагарникова <i>Acrocephalus palustris</i> , синьошийка <i>Luscinia svecica</i> , просянка <i>Emberiza calandra</i> і трапляються види, занесені в ЧКУ й додатки міжнародних конвенцій: гоголь <i>Bucephala clangula</i> , деркач <i>Crex crex</i> , журавель сирій <i>Grus grus</i> , луні польовий <i>Circus cyaneus</i> і лучний <i>C. pygargus</i> , сорокопуд сирій <i>Lanius excubitor</i> , сова болотяна <i>Asio flammeus</i> , горностай <i>Mustela erminea</i> , видра річкова <i>Lutra lutra</i> , два з них – <i>Crex crex</i> і <i>Lutra lutra</i> – включені ЄЧС.
«Заборольське» (близько 15 га)	До складу входять ботанічна ПП «Група дубів-вельтнів» (0,05 га; 11.07.1972 р.), ППСМ «Першотравневий» (12,5 га; 26.09.1977 р.). У лісовому масиві природного ядра ростуть п'ять вікових дерев дуба звичайного <i>Quercus robur</i> (ім близько 350 років), діаметр крони дерев сягає 20 м та екзотичні види: катальпа бігонієвидна <i>Catalpa bignonioides</i> , тюльпанове дерево <i>Liriodendron tulipifera</i> , бархат амурський <i>Phellodendron amurense</i> , ін. до тсуга Мензіса <i>Pseudotsuga menziesii</i> і ін.
«Луцьке – 1» (близько 40 га)	Частина Центрального парку культури та відпочинку імені Лесі Українки, у складі якої знаходиться орнітологічний заказник «Пташиний гай» (10,0 га; 03.03.1993 р.). Рослинність ядра – кленово-тополеві насадження віком понад 50–60 років, із домішкою ялини <i>Picea abies</i> , чагарниково-лучні ділянки, де мешкають близько 50 видів птахів, 35 із них гніздяться: зозуля <i>Cuculus canorus</i> , дятли великий строкатий <i>Dendrocopos major</i> і сирійський <i>D. syriacus</i> , чиж <i>Carduelis spinus</i> , дрозди співочий <i>Turdus philomelos</i> , чорний <i>T. merula</i> , дрізд-чикотень <i>T. pilaris</i> , вівчарики весняний <i>Phylloscopus trochilus</i> , жовтобровий <i>P. sibilatrix</i> , вівчарик-ковалик <i>P. collybita</i> , зяблик <i>Fringilla coelebs</i> , вівсянка <i>Emberiza citrinella</i> , соловейко східний <i>Luscinia luscinia</i> , синиці велика <i>Parus major</i> і блакитна <i>P. caeruleus</i> , припугнень <i>Columba palumbus</i> та інші види орнітофауни.
«Луцьке – 2» (близько 10 га)	Розміщене на схилах р. Сапалаївки, де ростуть екзотичні види, зокрема платан західний <i>Platanus occidentalis</i> (у складі ботанічної ПП «Платан західний» – 0,01 га; 26.09.1977 р.), ліщина ведмежа <i>Corylus colurna</i> , сосни: чорна <i>Pinus nigra</i> , кримська <i>Pinus nigra</i> subsp. <i>pallasiana</i> і сибірська <i>Pinus sibirica</i> , айлант високий <i>Ailanthus altissima</i> , софора японська <i>Styphnolobium japonicum</i> , різні види квіткових рослин.
«Луцьке – 3» (близько 20 га)	Сформоване на базі парку імені 900-річчя Луцька, що знаходиться у долині р. Сапалаївки та балок, прилягаючих до долини. Тут ростуть верби <i>Salix caprea</i> , клени <i>Acer platanoides</i> , тополі <i>Populus nigra</i> , берези <i>Betula pendula</i> , горобина <i>Sorbus aucuparia</i> , обліпиha <i>Hippophae rhamnoides</i> та інші зональні породи дерев і чагарників, що найчастіше використовуються для озеленення міст.
«Луцьке – 4» (10,0 га)	Знаходиться у місті на лівому березі р. Стир у межах ділянки, виділеної для облаштування університетського ботанічного саду «Волинь». Частина заплави суттєво трансформована. Тут ростуть каштани <i>Aesculus hippocastanum</i> , клени <i>Acer platanoides</i> , берези <i>Betula pendula</i> , тополі <i>Populus nigra</i> , чагарники з обліпиhi <i>Hippophae rhamnoides</i> , а у пониженнях рельєфу поблизу старого русла р. Стир – вологолюбні зарості із верболозу <i>Salix alba</i> .
«Теремнівське» (близько 6 га)	У межах природного ядра лежить гідрологічна ПП «Теремнівські ставки» (5,91 га; 03.03.1993 р.), створена для збереження каскаду ставків (комплекс споруджений у 1985 р.), що є наповнювачами р. Сапалаївки. У видовому складі іхтіофауни водойм переважають: <i>Ctenopharyngodon idella</i> , верховодка <i>Alburnus alburnus</i> , плітка <i>Rutilus rutilus</i> , карась сріблястий <i>Carassius gibelio</i> , <i>Hypophthalmichthys molitrix</i> та ін., деякі види червононогих <i>Gastropoda</i> та двостулкових <i>Bivalvia</i> молюсків.

Примітка. ДП – державне підприємство, л-во – лісництво, зд/з – загальнодержавного значення, ПП – пам'ятка природи, ППСМ – парк-пам'ятка садово-паркового мистецтва, ЄЧС – Європейський Червоний список, ЧКУ – Червона книга України.

відсутність проєктів екомережі локального рівня в межах області; недостатнє використання закордонного досвіду (насамперед, досвіду та вимог ЄС); незадовільний стан збереження та благоустрою деяких існуючих об'єктів ПЗФ. *Opportunities (Можливості)* включають: перспективи надання екосистемних послуг; залучення наукового потенціалу для вирішення проблем розвитку екологічної мережі на національному, регіональному та локальному рівнях, виявлення природних територій, перспективних для наступного заповідання та збереження біотичного і ландшафтного різноманіття, їх обстеження та підготовка наукових обґрунтувань щодо створення нових об'єктів природно-заповідного фонду і включення їх до екомережі; залучення міжнародної фінансової допомоги та досвіду для виконання заходів охорони природи, використання досвіду регіональних пілотних проєктів і програм, які реалізовувались в Україні. *Threats (Загрози)* включають: недостатність фінансового забезпечення для виконання окремих природоохоронних заходів, передбачених Стратегією розвитку Волинської області до 2025 р., Комплексною програмою охорони навколишнього природного середовища міста Луцька на 2018-2020 роки, регіональних, державних програм в галузі охорони природи та міжнародних зобов'язань України; небажання місцевих громад створювати нові та розширювати існуючі природно-заповідні об'єкти у зв'язку із переконанням про неможливість чи ускладненість подальшого використання природних ресурсів території; рекреаційна дигресія як наслідок інтенсивного використання об'єктів ПЗФ у рекреації та туризмі; деградація екосистемних послуг.

Для її ефективного функціонування ПЗФ і локальної екомережі необхідним є дотримання комплексу заходів, які забезпечать раціональне, розраховане на перспективу, невиснажливе використання природних ресурсів, захист природних комплексів та їх компонентів від техногенних та антропогенних переважань, збереження і відновлення біорізноманіття. Вони включають: застосування локалізаційно-пошукової тактики у виявленні місць зростання та мешкання і природного переміщення типових і рідкісних видів рослин і тварин, рослинних угруповань; позитивну динаміку заповідання (наприклад, з метою оптимізації природно-заповідної мережі області у 2019 р. науковцями Волинського національного університету імені Лесі Українки та КНПП «Цуманська пуца» було проведене обстеження каскаду з п'яти ставків на р. Омеляник у межах

м. Луцька, які були створені в 1980-их рр., та розроблене наукове обґрунтування для організації у перспективі загальнозоологічного заказника місцевого значення «Кічкарівські ставки»); застосування ренатуралізаційно-відновлювального підходу шляхом заболочування, заліснення, залужування трансформованих антропогенним впливом територій; впровадження сучасних технологій для моніторингу стану довкілля.

Насамперед варто винести в натуру межі об'єктів і територій ПЗФ, не допускати такого їх використання, що суперечить охоронним зобов'язанням, уникати утворення стихійних сміттєзвалищ, водночас необхідним є підтримка благоустрою цих об'єктів. Також варто звернути увагу на стан меліоративних систем. В межах ОТГ відносно небагато осушувальних систем, а поза межами м. Луцька лише одна – Жидичинська із загальною площею осушення 460 га і площею гончарного дренажу 283 га. Потрібно провести її інвентаризацію з метою встановлення доцільності подальшого використання в сільському господарстві окремих ділянок. Якщо будуть виявлені ділянки, які не використовуються вже багато років, зарослі самосівом, заболочені, канали яких замулені і зарослі, то можливо доцільніше буде їх ренатуралізувати. Тобто повернути в природний стан, залужити чи заліснити, чи, можливо, просто не заважати природній сукцесії. Зрозуміло, що це питання набагато складніше, ніж може здатись на перший погляд. Землі громади, здебільшого, мають власника, за межами населених пунктів – розпайовані. Адміністрації громади потрібно постійно комунікувати з власниками, прислухатись до їхньої думки, інформувати їх про переваги ренатуралізації, про важливість екосистемних послуг, сталого землекористування і напрацьовувати спільну позицію, яка б враховувала економічні та екологічні пріоритети. Наступний напрямок діяльності – подальший пошук територій, перспективних для включення до екологічної мережі, обґрунтування необхідності їх включення, резервування територій для цих потреб, надання природоохоронного статусу. Потрібно також проводити узгодження схем регіональної і локальної екологічної мережі із затвердженою проєктною документацією для забезпечення збереження та невиснажливого використання цінних ландшафтів, інших природних комплексів, об'єктів і територій.

Висновки. Раціональне територіальне планування, зокрема на рівні територіальних громад, обов'язково повинно включати у структуру ланд-

шафтів елементи екологічної інфраструктури. Розробка локальних екомереж забезпечить збереження, відтворення і невиснажливе використання місцевих природних ресурсів, біотичного та ландшафтного різноманіття, підвищення самовідновлювальної здатності природних геосистем та їх компонентів. Важливе значення у формуванні екомереж належить територіям та об'єктам природно-заповідної мережі, що є основними природними компонентами екологічної мережі. ПЗФ Луцької мТГ включає 36 природоохоронних об'єктів загальною площею 2317,1162 га, із яких три об'єкти (822,8962 га, 35,51 %) загальнодержавного, 33 об'єкти (1494,22 га, 64,49 %) – місцевого значення. Коефіцієнт заповідності території складає 27,86 %, ступінь інсуляризованості – 0,37, показник щільності об'єктів ПЗФ – 0,54 об'єктів/100 км². Розроблена екомережа Луцької міської територіальної громади складається із природного ядра Ківерцівського та сполучних елементів Стирського, Риловицько-Серненського, Луцько-Чорно-

гузького регіонального рівня, та структурно-функціональних елементів локального рівня: 13 природних ядер (Ківерцівські дубово-соснові ліси – 1, Ківерцівські дубово-соснові ліси – 2, Ківерцівські дубово-соснові ліси – 3, оточені буферною зоною у складі природного ядра «Ківерцівське»; Рокинівське, Озерецьке, Луцьке – 1, Луцьке – 2, Луцьке – 3, Луцьке – 4, Теремнівське, Заборольське, Чорногузьке, Шепельське), семи сполучних елементів (екокоридори Сапалаївський, Гнідавський, Омелянівський, Прудниківський, Жидичинсько-Прилуцький, Шепельсько-Боголюбський, Богушівсько-Буківський), двох територій відновлення (Прилуцька, Рокинівська), низки територій природного розвитку. Формування різномірних екомереж – явище динамічне, тому і надалі необхідно моніторити ділянки, перспективні для включення в структуру ПЗФ і екомережі, резервувати їх, включати у функціональні елементи локальної екомережі для підсилення її ефективності.

Список використаної літератури

1. Байдіков І. А. Міські екомережі : структурно-функціональні особливості та проблеми обґрунтування (на прикладі найбільших міст Запорізької області). *Український географічний журнал*. 2011. № 2. С. 53-58.
2. Гриневецький В. Т. Поняття екомережі та основні напрями її ландшафтознавчого обґрунтування в Україні. *Український географічний журнал*. 2002. № 4. С. 62-67.
3. Денисик Г. І., Яценчук Ю. В., Воловик В. М., Барчук Ж. Г. Локальна екомережа міста Вінниця. *Український географічний журнал*. 2021. № 2(114). С. 41-49.
4. Карпюк З. К. Проблеми та перспективи функціонування екологічної мережі. *Сучасний екологічний стан та перспективи екологічно безпечного стійкого розвитку Волинської області : кол. моногр. / В. О. Фесюк. С. О. Пугач, А. М. Слащук [та ін.]; за ред. В. О. Фесюка. Київ, 2016. С. 231-276.*
5. Карпюк З. К., Фесюк В. О., Антипюк О. В. Природно-заповідний фонд Волинської області : альбом-каталог. Київ : ТОВ «ОК-ПОЛІГРАФ», 2018. 136 с.
6. Карпюк Зоя, Фесюк Василь, Мороз Ірина. Природно-заповідний фонд м. Луцька : історія формування, функціональне призначення, сучасний стан збереженості. *Науковий вісник Східноєвропейського національного університету імені Лесі Українки. Географічні науки*. 2020. № 1 (405). С. 25-36. <http://esnuir.eenu.edu.ua/handle/123456789/17651>
7. Карпюк З. К., Фесюк В. О. Природоохоронні мережі Волинської області : монографія. Луцьк : Терен, 2021. 212 с.
8. Крижановський Є. М., Нагорна А. В. Розробка біоцентрично-мережевої структури екологічної мережі міста Вінниця з використанням геоінформаційних технологій. *Східно-Європейський журнал передових технологій*. 2014. 6/10 (72). С. 8-12. <http://journals.uran.ua/eejet/article/view/29275/30308>.
9. Нємець Людмила, Кравченко Катерина, Сегіда Катерина, Телебенєва Євгенія, Ключко Людмила. Інформаційно-синергетична складова суспільно-географічних досліджень у науковій спадщині Костянтина Нємця. *Вісник Харківського національного університету імені В. Н. Каразіна, серія «Геологія. Географія. Екологія»*, 2022. Вип. 57. С. 153-172. <https://doi.org/10.26565/2410-7360-2022-57-12>
10. Об'єкти та території Смарагдової мережі Волинської області / [Фесюк В. О., Мороз І. А., Карпюк З. К., Полянський С. В., Фесюк В. О.]. *Природні ресурси регіону : проблеми використання, ревіталізації та охорони : матер. III-ого міжнародного наукового семінару, присвяченого 30-річчю кафедри раціонального використання природних ресурсів і охорони природи Львівського національного університету імені Івана Франка (м. Львів, 5–7 жовтня 2018 р.)*. Львів, 2018. С. 338-342.
11. Петлін В. М., Фесюк В. О., Карпюк З. К. Регіональна екомережа Волинської області. *Український географічний журнал*. 2021. № 2. С. 31-41. <https://doi.org/10.15407/ugz2021.02.031>. <https://evnuir.vnu.edu.ua/handle/123456789/19730>
12. Приходько М. М. Екомережа як фактор екологічної безпеки природних та антропогенних геосистем в регіоні Українських Карпат і прилеглих територій. *Український географічний журнал*. 2011. № 2. С. 41-48.
13. Самойленко В. М., Корогода Н. П. Регіональні та локальні екомережі : підручник [з грифом МОНС України]. Київ, 2013. 192 с.
14. Фесюк В. О. Луцьк : сталий розвиток і соціально-екологічні проблеми. Луцьк : РВВ ЛНТУ, 2013. 304 с.
15. Царик Л. П. Географічні засади формування і розвитку регіональних природоохоронних систем (концепту-

- альні підходи, практична реалізація). Тернопіль, 2009. 320 с.
16. Шеляг-Сосонко Ю. Р., Ткаченко В. С., Андрієнко Т. Л., Мовчан Я. І. Екомережа України та її природні ядра. *Український ботанічний журнал*. 2005. Т. 62, № 2. С. 142-158.
 17. Шищенко П. Г., Гавриленко О. П., Циганок Є. Ю. Доступність зелених зон в умовах компактного міста (на прикладі Києва). *Вісник Харківського національного університету імені В. Н. Каразіна, серія «Геологія. Географія. Екологія»*, 2021. Вип. 55. С. 245-256. <https://doi.org/10.26565/2410-7360-2021-55-18>
 18. Юглічек Л. С., Виговська Т. В. Екологічна мережа Хмельниччини. *Хмельницький : Вид-во Хмельницького університету управління і права*, 2012. 96 с.
 19. Яцентюк Ю. В. Регіональна екомережа Вінницької області. *Людина та довкілля. Проблеми неоекології*. 2014, № 1-2. С. 77-85.
 20. Яцентюк Ю. В. Екомережа Жмеринського району як парадинамічна антропогенна ландшафтна система. *Наукові записки Вінницького державного педагогічного університету імені Коцюбинського. Географія*. 2018. Вип. 30(1-2). С. 101-109.
 21. Biodiversity loss and ecological network structure / J. Memmott, D. Alonso et al. *Ecological Networks*. Oxford U. Press., 2005. P. 325-344.
 22. Nie W., Shi Y., Siaw M. J., Yang F., Wu R., Wu X., Zheng X., Bao Z. Constructing and optimizing ecological network at county and town Scale : The case of Anji County, China. *Ecological Indicators*. 2021. Vol. 132. P. 680-896.
 23. Olofsson P., Foody G., Herold M., Stehman S. V., Woodcock C. E., Wulder M. A. Practices for estimating area and assessing accuracy of land change. *Remote Sensing of Environment*. 2014. Vol. 148. P. 42-57.

Внесок авторів: всі автори зробили рівний внесок у цю роботу

Development of local eco-network of Lutsk territorial community: features and problems

Zoia Karpiuk¹

PhD (Geography), Associate Professor, Department of Physical Geography,

¹ Lesya Ukrainka Volyn National University, 13 Voli Av., Lutsk, 43000, Ukraine

Vasyl Fesyuk¹

DSc (Geography), Professor, Head of Department of Physical Geography

ABSTRACT

Introduction. Planning of ecological networks at the local level is one of the most difficult stages of geospatial organization of the territory, which requires a detailed and balanced approach, thorough analysis of topographic materials, land management data and the use of geographic information technologies. Local-level eco-networks have a number of features related to the need for a high level of detalization and connectivity of their components. For them, specific model questions are formed about the assignment of certain areas to the structural and functional elements of the ecological network. At the same time, these elements are complementary elements in the structure of ecological networks of regional importance.

The purpose of the article. The purpose of the study is to find out the conditions and specific features of the local eco-network of the Lutsk territorial community, to justify the allocation of its structural and functional elements, the current state of development and recommendations to ensure proper functioning.

Methods. To study the features of the territorial organization of preserved areas of the urban community, in particular, as part of the nature reserve network and the Emerald network, substantiation of the boundaries of functional components of the local eco-network, elucidation of functional relationships between its elements, construction of cartographic models methods of field research, comparative geographical analysis, cartographic analysis, statistical analysis were used.

Results. The natural conditions of the community, sources of economic impact and anthropogenic transformation of the environment, indicators of nature reserves, the level of naturalness of other areas: swamps, wetlands, water protection zones, forests, protective forest belts, reclaimed areas due to their obvious necessity inclusion in the local eco-network to ensure its functional integrity were analyzed. 13 natural nuclei, seven connecting elements, buffer zones potentially suitable for increasing the area of natural nuclei and ecological corridors of the territory of restoration and territory of natural development have been identified.

The scientific novelty. The substantiation of structural and functional elements of the first local level eco-network in Volyn Region is made, the map of the local eco-network is developed, the problems of functioning are determined and the prospects of development are analyzed.

Practical significance. The development of the local ecological network of the Lutsk town territorial community is a pilot project of the development of local ecological network of the territorial communities of the Volyn region.

Keywords: local ecological network, natural nuclei, connecting element, restoration territories, natural development territories nature reserve fund, territorial community, Volyn region.

References

1. Baidikov I. A. (2011). Urban eco-networks: structural and functional features and problems of substantiation (on the example of the largest cities of Zaporizhia region). *Ukrainian Geographical Journal*, 2, 53-58 [in Ukrainian].
2. Hrynevetskyi V. (2002). The concept of the ecological network and the main directions of its landscape studies in Ukraine. *Ukrainian geographical journal*, 4, 62-67 [in Ukrainian].
3. Denysyk H. I., Yatsentiuk Yu. V., Volovyk V. M., Barchuk Zh. G. (2021). Local eco-network of Vinnytsia. *Ukrainian Geographical Journal*, 2, 41-49 [in Ukrainian].
4. Karpiuk Z. K. (2016). Problems and prospects of functioning of the ecological network. Current ecological condition and prospects of ecologically safe sustainable development of Volyn region: collective monograph. Ed. V. O. Fesiuk. Kyiv : TOV Pidpryemstvo VNA, 316 [in Ukrainian].
5. Karpiuk Z. K., Fesiuk V. O., Antypuk O. V. (2018). Nature Reserve Fund of the Volyn region. Kyiv : TOV «OK-Poligraph», 136 [in Ukrainian].
6. Karpiuk Z. K., Fesiuk V. O., Moroz I. A. (2020). Lutsk Nature Reserve Fund: history of formation, functional purpose, current state of preservation. *Scientific Bulletin of the Lesia Ukrainka East European National University. Geographical sciences*, 1, 25-36 [in Ukrainian].
7. Karpiuk Z. K., Fesiuk V. O. (2021). Nature protection networks of Volyn Region : monograph. Lutsk : Teren, 212 [in Ukrainian].
8. Kryzhanovskiy E. M., Nahorna A. V. (2014). Development of biocentric network structure of the ecological network of Vinnytsia using geoinformation technologies. *Eastern European Journal of Advanced Technology*, 6 (72), 8-12 [in Ukrainian].
9. Niemets Liudmyla, Kravchenko Kateryna, Sehida Kateryna, Telebienieva Ievgeniia, Kliuchko Liudmyla (2022). Informational and synergetic component of human-geographical research in the scientific heritage of Kostiantyn Niemets. *Visnyk of V. N. Karazin Kharkiv National University, series «Geology. Geography. Ecology»*, (57), 153-172. <https://doi.org/10.26565/2410-7360-2022-57-12> [in Ukrainian].
10. Fesiuk V. O., Moroz I. A., Karpiuk Z. K., Polianskyi S. V., Fesiuk V. O. (2018). Objects and territories of the Emerald Network of the Volyn region. Natural resources of the region: problems of use, revitalization and protection: Proceedings of the III International Scientific Seminar dedicated to the 30th anniversary of the Department of Rational Use of Natural Resources and Nature Protection of Ivan Franko Lviv National University (Lviv, October 5-7, 2018). Lviv, 338-342 [in Ukrainian].
11. Petlin V. M., Fesiuk V. O., Karpiuk Z. K. (2021). Regional ecological network of Volyn Region. *Ukrainian Geographical Journal*, 2, 31-41. <https://doi.org/10.15407/ugz2021.02.031> [in Ukrainian].
12. Prykhodko M. M. (2011). Econetwork as a factor of ecological safety of natural and anthropogenic geosystems in the region of the Ukrainian Carpathians and adjacent territories. *Ukrainian Geographical Journal*, 2, 41-48 [in Ukrainian].
13. Samoilenko V. M., Korohoda N. P. (2013). Regional and local econetworks : textbook. Kyiv : Logos, 192 [in Ukrainian].
14. Fesiuk V. O. (2013). Lutsk: sustainable development and socio-ecological problems. Lutsk : LNTU, 304 [in Ukrainian].
15. Tsaryk L. P. (2009). Geographical basis of formation and development of regional nature protection systems (conceptual approaches, practical implementation). Ternopil: Pidruchnyky i posibnyky, 320 [in Ukrainian].
16. Sheliah-Sosonko Yu., Tkachenko V., Andrienko T., Movchan Ya. (2005). The Eco-network of Ukraine and Its Natural Nuclei. *Ukrainian Botanical Journal*. 62, 2, 142-158 [in Ukrainian].
17. Shyshchenko P. H., Havrylenko O. P., Tsyhanok Ye. Yu. (2021). Accessibility of green spaces in the conditions of a compact city: case study of Kyiv. *Visnyk of V. N. Karazin Kharkiv National University, series «Geology. Geography. Ecology»*, (55), 245-256. <https://doi.org/10.26565/2410-7360-2021-55-18> [in Ukrainian].
18. Yuhlichek L. S., Vyhovska T. V. (2012). Ecological network of Khmelnytskyi area. *Khmelnytskyi: Khmelnytskyi University of Management and Law Publishing House*, 96 [in Ukrainian].
19. Yatsentiuk Yu. V. (2014). Regional econetwork of Vinnytsia Region. *Human being and the environment. Problems of neoecology*, 1-2, 77-85 [in Ukrainian].
20. Yatsentiuk Yu. V. (2018). Ecological network of Zhmerynka district as a paradyamic anthropogenic landscape system. *Scientific notes of Vinnytsia Ivan Kotsiubynskyi State Pedagogical University. Geography*, 30 (1-2), 101-109 [in Ukrainian].
21. Memmott J., Alonso D. et al. (2006). Biodiversity loss and ecological network structure. *Ecological Networks*. Oxford U. Press., 325-344.
22. Nie W., Shi Y., Siaw M. J., Yang F., Wu R., Wu X., Zheng X., Bao Z. (2021). Constructing and optimizing ecological network at county and town Scale: The case of Anji County, China. *Ecological Indicators*, 132, 680-896. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2021.108294>.
23. Olofsson P. Foody G. M., Herold M., Stehman S. V., Woodcock C. E., Wulder M. A. (2014). Good practices for estimating area and assessing accuracy of land change. *Remote Sensing of Environment*, 148, 42-57. doi: <https://doi.org/10.1016/j.rse.2014.02.015>.

Greening and agroecological assessment of the agricultural sector of the Karabakh region

*Valida Mehdiyeva*¹

PhD (Geography), Associate Professor,

¹ Azerbaijan State University of Economics, 6 Istiglaliyyat St., Baku, AZ 1001, Azerbaijan,

e-mail: mehdiyeva-valide@mail.ru,  <https://orcid.org/0000-0002-9455-3620>

*Ilgar Khalilov*¹

PhD (Geography), Associate Professor, Azerbaijan State University of Economics,

e-mail: xalilov.ilgar@inbox.ru,  <https://orcid.org/0000-0001-7617-9439>

*Farhad Eminov*¹

PhD (Geography), Associate Professor, Azerbaijan State University of Economics,

e-mail: eminov-f@rambler.ru,  <https://orcid.org/0000-0001-8747-7802>

ABSTRACT

State of the problem. During the occupation by Armenia of the Karabakh economic district of the Republic of Azerbaijan, the military degradation of agricultural lands and their use in agriculture and animal husbandry without observing agroecological rules led to the deterioration of soil fertility and the reduction of the optimality of agrarian landscapes.

Object learning. The article presents modern ideas for re-doing the agroecological assessment of the lands and solving the actual agroecological problems of their use in agriculture for greening the development of the agricultural area in the Karabakh economic region. In the economic region, the main approach is given to methodological issues of agro-ecological assessment of soil quality, greening of efficient use of agricultural land, agro-ecological analysis of anthropogenic dynamics of soils, regional integration of assessment of agro-ecological quality of soils. In the design of agroecosystems in the Karabakh economic region, the agroecological approach of the differentiation of the area according to the soil-climate factors, the evaluation of the soil taking into account the geomorphological and climatic factors is given. At the same time, the importance of cadastral assessment and accounting of the modern ecological condition of the region's land resources, as well as the issues of their effective use and protection are explained.

In the article, in order to ensure the development of the agrarian sector in the region, the importance of the complex agro-ecological re-evaluation of land resources, ways to eliminate the main indicators of land degradation and ecological requirements for the cultivation of plants, determination of territorial units characterized by variability of natural and climatic conditions, agro-production grouping of elementary areas of agro-landscapes and according to the agro-ecological assessment of the area, the ways of organizing the efficient use of land were investigated.

Methodology. Generalization, historical, statistical, systematic analysis, and comparison methods were used to prepare the article.

Research results. Environmental and economic stability may become more challenging in the future due to increasing anthropogenic pressure on agroecosystems in the economic region and poor infrastructure. Due to intensive land use, frequent erosion, river floods, and environmental pollution in the region can lead to a decline in the quality of agricultural land. Also, anthropogenic activities in the region can have a negative impact on the state and development of agroecosystems and the sustainable development of agriculture in the region, to optimize which it is considered necessary to improve and update the methods and technologies used in agriculture.

The scientific novelty of the research. It is necessary to apply agroecological concepts and principles in the redesign, development, and management of sustainable agricultural systems in the economic region. The development of agroecosystems in the region should be ensured by alternative agricultural methodologies and approaches that combine the socio-economic and historical context of agriculture. The production of organic agricultural products, which do not harm human health and the natural environment, should be carried out, and the ecological condition of the soil should also be monitored regularly.

Keywords: greening, agriculture, environmentally friendly product, agro-industrial complex, assessment.

In cites: Mehdiyeva Valida, Khalilov Ilgar, Eminov Farhad (2023). Greening and agroecological assessment of the agricultural sector of the Karabakh region. *Visnyk of V. N. Karazin Kharkiv National University, series "Geology. Geography. Ecology"*, (59), 298-306. <https://doi.org/10.26565/2410-7360-2023-59-22>

Introduction. In 2020, the Azerbaijani army liberated the historical territories of Karabakh and Eastern Zangezur, which had been under the occupation of Armenia for almost 30 years, and this year went down in the history of the country as the year of Victory. Part of the territories liberated from occupation is the territory of the Karabakh economic region, located between the Araz River and the southeastern part of the Lesser Caucasus, the western part of Azerbaijan, including the Karabakh plain, starting from the Karabakh ridge. The Karabakh economic region,

which has unique rich natural and geographical features, including fauna and flora, valuable soil and water resources, natural landscapes, and an area of 8.99 thousand km², covers mountainous, low-mountainous, and flat territories in relief. The rivers Tartar-chay, Gargarchay, Khachinchay, Gulablychay, Kon-delanchay, Guruchay, Gozluchay, and Cheraken, flowing through the territory of the economic region and belonging to the Kura-Aras river basin, are of great importance in the water supply of the region and irrigation of agricultural land.

On the territory of the Karabakh economic region, soil types of various productivity are common, including gray, forb-gray, chestnut, light chestnut, mountain chestnut, and mountain gray-brown soil types. The climate is dry desert in the plains located along the Karabakh plain and the Araz River, with dry summers in the low mountains and foothills. The average monthly temperature on the plains and in the foothills is 0-1°C in January and 24-25°C in July. The average annual precipitation is 400-800 mm [11,18,19].

The problems of the greening of agricultural plants in the agrarian sector in the territory of the Karabakh economic region and the modern agro-ecological assessment should be taken into account, taking into account the factors of soil productivity (lack of nutrients and microelements) in the structure. In addition, there is a violation of the salt balance, physical and physicochemical properties of the soil, the development of pathogenic microflora, the prolifera-

tion of pests and harmful weeds, and a change in pH in a direction unfavorable for plants.

1. Problems of ecologicalization of agricultural plants in the Karabakh economic region

The basis of the economy of the Karabakh economic region is agriculture. The reason for this is that there are different types of soil suitable for agriculture in terms of productivity in the region. In 2015, the cultivated area for agricultural purposes in the economic region was 226581 ha, but this indicator increased slightly and reached 227332 ha in 2021. Accordingly, the area of cultivated land was 111187 ha in 2015 and 102136 ha in 2021 for cereals and legumes, 13721 and 13094 ha for potatoes, vegetables, and melons, and 5608 and 6428 ha for orchards and berries. In 2015, the cotton cultivation area in the economic region was only 3187 ha, and in 2021, this number increased by 9 times and reached 27855 ha (fig. 1).

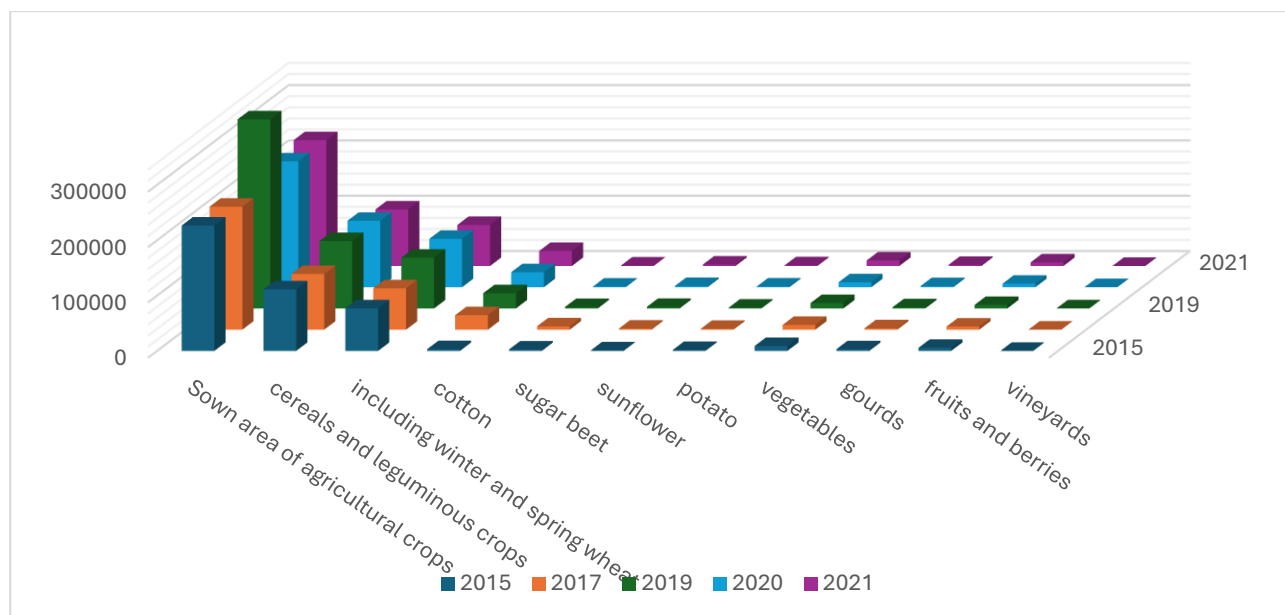


Fig. 1. Cultivated area of agricultural crops in the economic region, ha [20]

In total, 406180 tons of grains and legumes were harvested from cultivated land in 2015, and this figure dropped to 389840 tons in 2021. At the same time, the yield of sugar beet decreased by about 3.5 times. However, this decrease was mainly due to a 3-fold reduction in beet acreage. Among other products mentioned above, there was an increase in the yield of cotton, vegetables, fruits and berries, grapes and a decrease in the harvest of potatoes and melons (Fig. 2).

In 2021, there were 300,213 heads of cattle, 747,231 heads of sheep and goats, 1,742,482 heads of birds, and 32,006 bee families in the region. Compared to 2015, the number of cows and buffaloes increased from 135,763 to 139,405 in 2021, the number of birds increased from 1,645,624 to 1,742,482, bee families increased from 10,642 to 32,006, and the number of sheep and goats decreased from 851033

heads to 747231 heads, respectively. During this period, meat slaughter increased from 21,776 tons to 26,910 tons, milk production increased from 238,585 tons to 311,007 tons, and egg production increased from 67,469 units to 101,221 units (Fig. 3 and 4).

Undoubtedly, after the clearance of land in the region from mines and unexploded ordnance, both the sown area and the quantitative and qualitative indicators of cultivated products will increase. Agricultural production is carried out under irrigation conditions on the plains, and in hilly and foothill areas, mainly in rainfed conditions [6].

On the rivers flowing through the territory of the economic region, reservoirs were built and put into operation to provide cultivated fields with irrigation water. Before the occupation, grain growing, viticulture, cotton growing, vegetable growing, fruit grow-

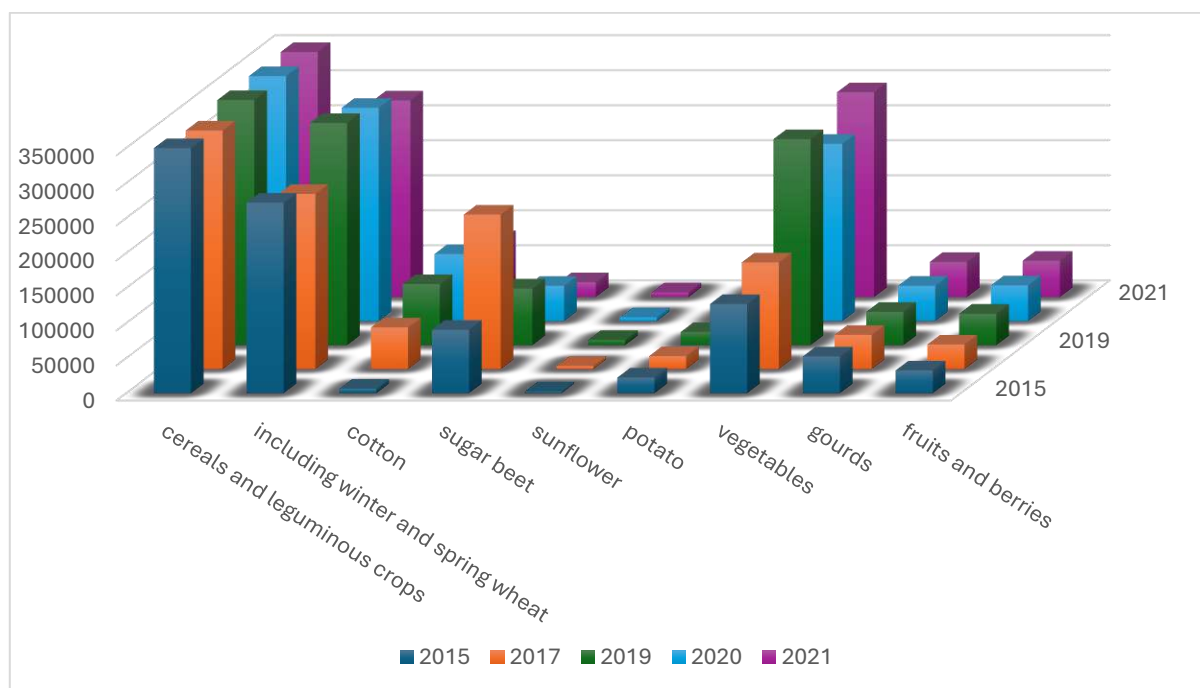


Fig. 2. Production of agricultural products, tons

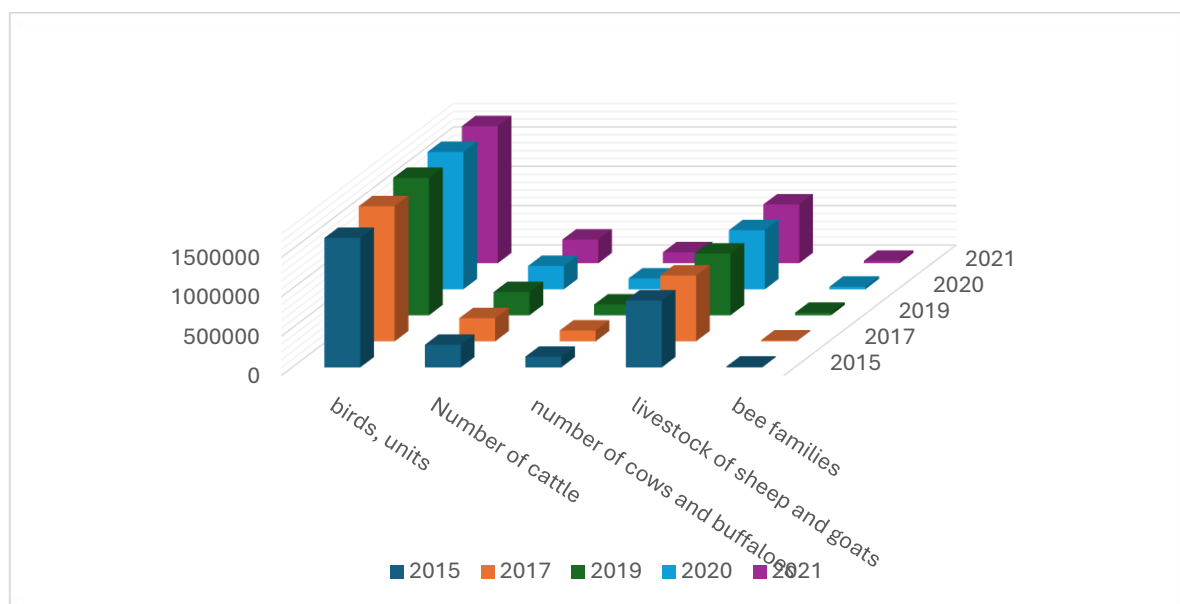


Fig. 3. Number of animals and birds and livestock production in the economic region

ing, cattle breeding, sheep breeding, poultry breeding, pig breeding, horse breeding, beekeeping, and cocoon breeding were widely developed in the economic region. During the same period, the problem of producing environmentally friendly agricultural products in the economic region arose, which was associated with the widespread use of chemicalization [14, 20].

The current global environmental crisis and food security problems have set the country the task of transitioning to a sustainable development strategy. The most important direction of this strategy is to provide the entire population of the country with environmentally friendly agricultural products. Obtain-

ing environmentally friendly (green farming) crop and livestock products is one of the most important tasks in the Karabakh economic region liberated from occupation [15].

The production of high-quality, environmentally friendly crop and livestock products is one of the prerequisites for the sustainable development of the economic region. It is known that environmentally safe agricultural products are products that comply with general hygienic, technological, and toxicological standards adopted for their various types (production-processing-consumption) and do not have a negative impact on human health, animals, and the environment. Simply put, any home garden where we grow

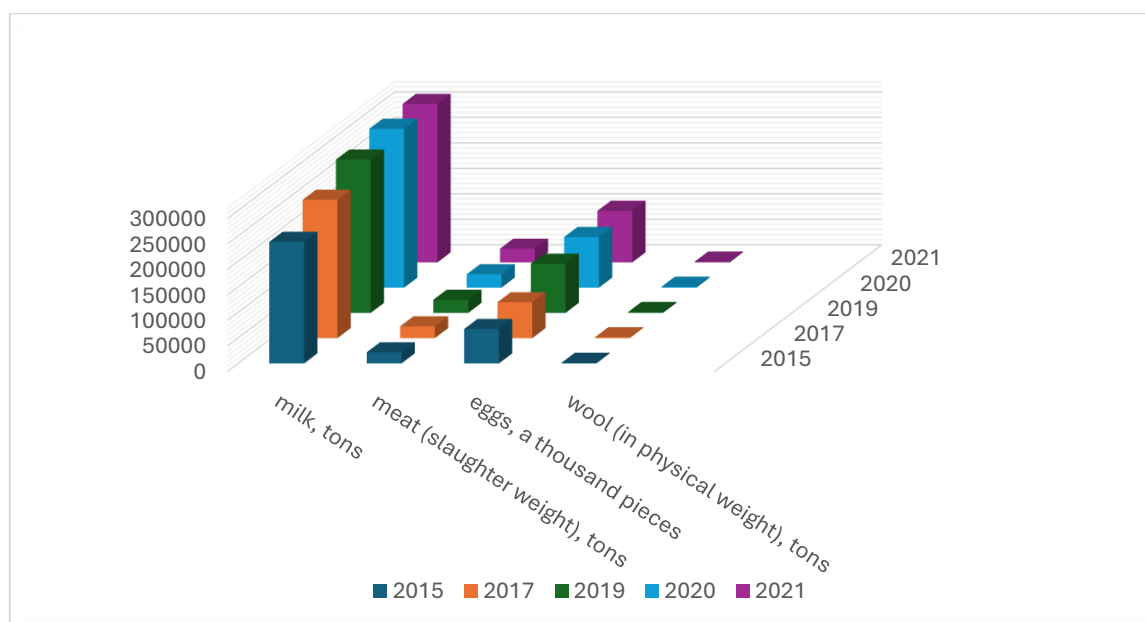


Fig. 4. Production of livestock products [20]

our own produce gives us more confidence than what we buy in the supermarket, and this is natural because our own produce is grown without pollution factors, etc. it does not affect us.

To obtain ecologically safe agricultural products in the territory of the Karabakh economic region, it is necessary to conduct scientific research in agroecosystems in order to have reliable preliminary information on the ecological and toxicological state of the soil as a result of the intensive use of agrochemical substances (fertilizers, pesticides, ameliorants, etc.). In our opinion, the first work on the released land plots of the economic region should begin with an assessment of the ecological and toxicological state of agroecosystems, primarily the soil cover. With proper consideration of environmental requirements, it is possible to achieve a desire to increase the productivity of cultivated plants and animals. To do this, it is important to implement in the economic region:

1. Apply the scientific foundations of the greening of agriculture in the territory of the economic region;
2. Apply modern methodological approaches to agroecological land assessment;
3. Define the principles of agroecological assessment of arable land;
4. Determine the agroecological assessment of plants [3].

Agricultural products in the territory of the Karabakh economic region are diverse. There is great potential here to increase the production of grain crops, grapes, cotton, potatoes, melons, fruits and vegetables, meat, and dairy products, which are produced to meet the biological, material, and other needs of the population [5].

The starting point in solving the problem of gre-

ening agriculture in the territory of the Karabakh economic region, cleared after liberation from occupation, is the development of a system of agroecological assessment of agricultural plants. To determine agro-ecological areas of plant cultivation in the territory of an economic region, it is necessary to determine and clearly indicate their requirements for agroclimatic, soil, geomorphological, lithological, hydrological, and other conditions. At the same time, in addition to quantitative estimates of the productivity of agricultural crops grown in the economic region, the quality side of the product should be no less important.

2. Agro-ecological assessment of the soil and agricultural plants of the Karabakh economic region.

All aspects of the agroecological assessment of the lands liberated from the occupation of the Karabakh economic region and the plants grown on them should be carefully studied and evaluated by new scientific research. Some criteria for the agroecological assessment of crops are currently descriptive and based on practical experience without deep experimental research. Nevertheless, the extensive factual material collected in the region will allow us to effectively solve this problem of the formation of modern farming systems [1, 10]. In order to implement the production of environmentally friendly agricultural products, it is advisable to implement the following measures on the territory of the economic region:

- evaluate the quality of agroecosystems;
- rechecking the production and processing of environmentally friendly agricultural products;
- evaluate the quality of environmentally friendly agricultural products;
- to detect contaminants in food products;
- carry out certification of food products;

- strengthening state support for the development of small and medium-sized businesses in the field of food production.

When evaluating agricultural plants in the territory of an economic region, one should take into account the ecological requirements of plants for metabolism, as well as the requirements associated with the technological features of their cultivation and environmental impact. It is known that the agrotechnical properties of the soil are based on an assessment of the basic properties of the soil in terms of their suitability for growing plants. To determine the agrotechnical properties of soils, fixed and regulated indicators are distinguished [8, 13]. The agrophysical properties of soils in an economic region should be determined by a general description of the physical state of soils, their granulometric and aggregate composition, structural state, specific gravity, mass density, porosity, air, water, thermal, electrical, and radioactive properties.

The biological activity of soils on the territory of an economic region is expressed by the general manifestation of the activity of the biochemical processes occurring in them. These processes characterize the magnitude and direction of the transformation of substances and energy under the influence of living organisms in the soil. Soil biological activity indicators can be used to check the condition of the soil. When soils are contaminated with small amounts of organic compounds, an increase in some indicators of biological activity is observed. Because here the groups of microorganisms involved in the processing of additional substrates develop more intensively [6, 9].

The influence of plants on the soil in the territory of the economic region should be well studied. It is known that plants are the main source of soil nutrition with organic matter. Without organic matter, it would be impossible to form a fertile layer of the soil horizon - bio humus, and this, in turn, would make it impossible for the presence of flora and fauna on the surface of the earth. Plant roots serve as a hardening material for many types of soils, and prevent soil erosion. Plants can remove a significant amount of excess salts from the soil, and can also change the acid-base ratio of the soil. Trees around agricultural land have a protective effect, protecting the soil from wind erosion. Plants are excellent fertilizers and the basis for fertile soil layers. They are also food for many living organisms, including bacteria and fungi. Provision of organic matter is especially important in sandy and sandy loamy clay soils [3, 4].

It is known that the requirements of plants for heat, light, moisture supply, and temperature regime are different. Usually, agroecological assessment of plants begins with the determination of the length of the growing season. The overall assessment of the heat needs of plants is determined by the sum of

active temperatures (above 10°C) during the growing season. This trait can vary greatly not only between plants but also between different varieties of the same crop. The need for heat is calculated for almost all crops, their varieties, and hybrids. On the territory of the Karabakh economic region, the active temperature above +10 C ranges from 1500 to 3500 degrees from the highlands to the plains, which affects the growth of various crops (cereals and legumes, fruits and vegetables, melons, cotton, grapes, other industrial crops) is considered important for cultivation.

3. Ecological problems of agriculture in the Karabakh economic region and ways to solve them.

The cultivation of ecologically high-quality agricultural products in the occupied territories of the Karabakh economic region is closely related to the ecological state of the local lands. The military actions carried out on the territory of the economic region for almost 30 years have spoiled the ecological state of the lands and caused their degradation. It is known from studies that due to soil erosion, salinization and waterlogging of sites, plant nutrition disturbance through the root system is accompanied by a decrease in yield and a deterioration in the quality of agricultural products. From studies conducted in foreign countries, it is known that in wheat grain grown in eroded areas, the amount of protein, starch, microelements decreases and the nutritional quality of grain deteriorates. When the environment for growing plants is contaminated, the quality of the product deteriorates significantly.

The environment is mainly polluted by waste from industrial enterprises, pesticides used in agriculture, and wastewater from livestock farms and complexes. Environmental pollution can lead to the accumulation in plant tissues of a large amount of nitric acid salts, pesticide residues, heavy metals, and radionuclides. Under the influence of pollutants and xenobiotics, the quality of plant food raw materials and food products decreases. Plant products are of poor quality, often harmful and toxic, and even pathogenic [12].

As a rule, the distribution of toxic substances in the body of animals is uneven. They depend on the physicochemical properties of pollutants and other factors. So, DDT is mainly concentrated in adipose tissue, lead - in the liver and kidneys, cadmium - in the kidneys, radioactive iodine - in the thyroid gland, and strontium - in the bones. Many chemical compounds that migrate through the food chain are transformed into new forms. Some of them are neutralized, while others, on the contrary, become more harmful. The concentration of persistent chemicals and long-lived radionuclides is increasing in the last links of the food chain, including in the human body.

Under the influence of pollutants and xenobiotics in the body of animals, the quality of livestock

products is reduced. Food raw materials and food products of animal origin are often of poor quality, even harmful or pathogenic [4, 5].

With this in mind, the lands on the territory of the economic region must be studied in detail, and scientifically substantiated, so that the quality of the products grown on them meets environmental, hygienic norms and standards.

The presence of heavy metals that accumulate in the soil during the conflict and have migratory properties, which are considered a source of danger to the living world, has a negative impact on the production of agricultural products and its quality in the economic region. Studies show that heavy metals are known to be the most dangerous pollutants. The most common of them are lead, mercury, cadmium, arsenic, zinc, nickel, etc. About 90% of heavy metals released into the environment accumulate in soils. They then migrate to natural waters, are taken up by plants, and enter the food chain. Lead, mercury, cadmium, arsenic, and zinc are considered the main pollutants because their anthropogenic accumulation in the environment is particularly high. These elements have a high affinity for physiologically important organic compounds and are able to suppress the most important metabolic processes, and inhibit growth and development [7]. In agricultural production, this leads to a decrease in productivity and a deterioration in product quality. A person's risk of getting sick varies depending on the allowable between of heavy metals that he can take with food, for example, lead-3 mg, cadmium-0.4 mg, and mercury-0.3 mg per week. Although these levels are arbitrary, they serve to control the content of heavy metals in foods [3, 4].

In general, there is no such thing as nitrate agricultural products. Because they are the main source of nitrogen in plant nutrition. To obtain high-quality agricultural products on the lands of the economic region, it is necessary to introduce mineral nitrogen fertilizers and organic substances into the soil. The problem of nitrates in agricultural products is one of the most urgent problems of our time. The illiterate use of high and ultra-high doses of nitrogenous minerals and organic fertilizers leads to the fact that an excess of nitrogen in the soil causes large amounts of nitrates to enter the plants. Nitrates are salts of nitric acid. Salts of nitric acid are used as fertilizers in the form of sodium nitrate, potassium nitrate, ammonium nitrate, and calcium nitrate. Nitrates are present in all environments - soil, water, and air. By themselves, nitrates are slightly toxic, but under the action of microorganisms or during a chemical reaction they are reduced to nitrites, which are dangerous to humans and animals. Among the crops cultivated in the region, the most nitrates are collected in table beet, lettuce, spinach, dill, etc. Therefore, in order to reduce the amount of nitrates in food, it is important to

choose the right methods of cultivation, and storage [1, 16].

In soils, nitrites are formed as a result of the activity of nitrifying and denitrifying microorganisms as an intermediate product of ammonia oxidation and nitrate reduction. Under normal conditions, their amount in plants and water is small. However, when fresh vegetables are stored at room temperature, microbial conversion of nitrate to nitrite can occur, leading to an increase in the content of the latter.

For the normal productivity of agroecosystems in all regions of Azerbaijan, including the Karabakh economic region, in addition to fertilizers, plant protection products from weeds, diseases, and pests, which are called pesticides, are also used [2]. Of particular concern is the possibility of contamination of soil, water, and plants, including agricultural crops and products of their processing with residual amounts of pesticides. Pesticides can cause cancer in humans. About 70% of the compounds used enter the human body through meat, milk, and eggs, and 30% through plant foods. The main reason for the accumulation of residual amounts of pesticides in products is the violation of the rules for their use. For the development of green farming in the economic region, the use of individual effective methods of plant protection, including the integrated use of chemical, biological, and agrotechnical measures, can provide comprehensive plant protection.

Dioxins are among the harmful substances of technogenic origin that harm agricultural products. The most important chemical properties of dioxins are extreme stability in strong acidic and alkaline solutions, and high resistance to oxidizing agents. Dioxins are strongly associated with soil particles, so they are poorly washed off by rain. Dioxins are concentrated in the main upper 15-meter soil layer. The sources of dioxin formation and the ways of their entry into inanimate and living nature are very diverse. Their appearance in the environment is primarily associated with the production and use of organochlorine compounds and their disposal. Dioxins enter the air with smoke from the burning of industrial and domestic waste, as well as with vehicle exhaust gases. Accumulation of dioxins is observed mainly along food chains. Most dioxins are readily absorbed from the gastrointestinal tract and skin. Dioxins are practically not excreted from the human body [5, 17].

Thus, increasing the efficiency of crop production and animal husbandry, thereby solving the problem of providing food to the rapidly growing population of the country, can be solved by polluting the soils of the economic region and developing degradation processes in them, eliminating intense and large-scale pollution and depleting the natural environment. Otherwise, as a result of an increase in the content of toxic elements and compounds in the soils of

the economic region, the quality of food products may deteriorate. Heavy metals collected in soil and plants affect the environment in the economic region, and pose a potential threat to human health due to contamination of drinking water and agricultural land. These threats are exacerbated by watercourses that transport pollutants to other parts of the economic region.

Sustainable development of the Karabakh economic region, as well as environmental security, can only be achieved by preserving natural ecosystems and ensuring the proper quality of the environment. This can be achieved through the formation and consistent implementation of a unified state policy in the field of environmental protection and rational use of natural resources.

The state policy in the field of environmental protection and efficient nature management is based on the following basic principles, the implementation of which will stimulate the development of green farming in the Karabakh economic region and the preservation of agro-ecological conditions:

- sustainable development of the economic region, equal attention to its economic, social and environmental component and prevention of land degradation;

- minimization of negative environmental consequences and protection of public health during the period of economic growth, which will occur as a result of promising economic activities in the economic region;

- refusal to implement economic and other projects implemented on the territory of the eco

- compensation for damage caused to the environment as a result of violation of the legislation of the Republic of Azerbaijan on the use of natural resources in the territory of the economic region on a paid basis and on environmental protection;

- ensuring the active participation of environmental non-governmental organizations, self-government bodies and business circles operating in the territory of the Karabakh economic region in the preparation, discussion, adoption and implementation of decisions in the field of environmental protection and rational nature management.

We hope that in the near future the concept of greening agriculture will be fully implemented in the Karabakh economic region, cleared of mines and unexploded ordnance, the effectiveness of environmental protection measures will increase, and the population will be able to preserve nature for themselves.

Conclusion

It is necessary to comply with environmental norms and standards applied in agriculture and animal husbandry in order to have a high quality of agricultural products grown in the territory of the

Karabakh economic region and grown in the future, and to grow environmentally friendly agricultural products. On the territory of the economic region, the activities of the biogeochemical food chain, the quality of crop and livestock products are to a certain extent influenced by climatic (microclimatic), hydrological, biocenotic and anthropogenic factors. In the event of drought, heavy rains, hail and floods, adverse weather and climatic conditions, mass diseases of plants and animals, and man-made environmental disasters, the conditions for the development of crop and livestock production can deteriorate sharply. This will lead to a decrease in the scale of production and a deterioration in the quality of agricultural products of plant and animal origin.

In general, the high anthropogenic pressure on the environment, the fragility of local ecosystems in the regions, the population density in the future, and weak infrastructure are threats to environmental and economic stability. However, the scale of the anthropogenic impact is such that a significant part of the land, including agricultural land, may become unusable as a result of various negative processes and phenomena occurring in the economic area: water and wind erosion, flooding, the threat.

At the same time, a possible technogenic impact on the territory of the economic region will have a negative impact on the state and development of agroecosystems, which makes it necessary to solve the problem of developing methods and technologies to prevent or reduce the negative impact of technogenic factors in order to ensure the sustainable development of agricultural production. Land degradation in the territory of the economic region occurred as a result of the impact of natural and anthropogenic processes that caused a change in the function of the land, the natural and economic value of soils, as well as the quantitative and qualitative deterioration of its. The composition of humus in the soil, optimization of its quality, proper use of chemicals in the soil are the most important conditions for growing environmentally friendly agricultural products.

It is necessary to use microbiological fertilizers in new areas, industrial processing of household waste, composting and processing of animal waste, industrial technology for the production of environmentally friendly organic fertilizers based on biotechnology, contributing to the production of environmentally friendly agricultural products.

Successful development of agriculture and animal husbandry in the economic region, improving the quality of agricultural products is possible when implementing measures based on the results of an objective environmental assessment of agrobiogeocenoses, lands suitable for grazing and farming.

References

1. Ahmadov G.A. (2010) Directions of application of innovations in agriculture. Baku, "Science", 484 [in Azerbaijan]
2. Ahmadov I.V. (2006) Agricultural management (textbook) Baku: Ozan, 880 [in Azerbaijan]
3. Agro-ecological land assessment, design of adaptive-landscape systems of agriculture and agricultural technologies: a methodological guide (2005). M., Publishing house of the K.A. Timiryazev RGAU-MSHA, 763.
4. Chernikov V.A., R.M.Aleksakhin, A.V.Golubev (2000) Agroecology. M., Kolos, 536.
5. Chernikov V.A., Sokolov O.A. (2009) Environmentally friendly products. M., Koloss, 247.
6. Hajiyeve, G.N., Hajiyeve, A.Z., Jafarova, F.M. (2023) Ecological problems associated with land cover in the great Caucasus and important aspects for efficient use. Revista Universidad y Sociedad. Have Scientific of the University of Cienfuegos. 15, 1, 277-284. ISSN 2218-3620.
7. Hajiyeve G.N., Hajiyeve A.Z., Dadashova Kh.D., (2022) Impact of urban landscape pollution on human health. News of the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan. Series of geology and technology sciences. Series of geology and technical sciences. 1, 451, 39-45. ISSN 2224-5278 <https://doi.org/10.32014/2022.2518-170X.138>
8. Ibrahimov I.H. (2016) Economy of the agrarian sector. Baku, NBS "Printing Company" LLC, 655. [in Azerbaijan]
9. Kharina S.G., (2002) Agricultural ecology textbook, Blagoveshchensk: DalGAU Publishing House, 101.
10. Khaustov A.P., Redina M.M. (2008) Rationing of anthropogenic impacts and assessment of the nature intensity of territories: Proc. allowance. M., RUDN, 282.
11. Mehdiyeva V.Z., Khalilov I.B. (2019) Ecological and economic aspects of the use of natural resource potential in sustainable development of the Republic of Azerbaijan. 37th International Scientific Conference on Economic and Social Development – "Socio Economic Problems of Sustainable Development". Baku, 14-15 February, 142-152.
12. Makarov V.I. (2015) Agroecological land assessment: Textbook. [Electronic resource]. Izhevsk: FGBOU VPO Izhevsk State Agricultural Academy. 104.
13. Mammadov G.Sh., Khalilov M.Y., Mammadov S.Z. (2010) Agroecology. Baku, "Science", 552.
14. Nechaev V.I., Artemova E.I. (2009) Problems of innovative development of animal husbandry: Monograph. Krasnodar: "Atri", 368.
15. Rajendran P., Jayakumar E, Kandula S. and Gunasekaran P. (2008) Vermiculture and Vermicomposting Biotechnology for Organic Farming and Rural Economic Development, 5.
16. Salahov S.V. (2004) Problems of state regulation of the agrarian sector, Baku, Elm, 504. [in Azerbaijan]
17. Urzaev N.A., Vakulin A.A., Nikitin A.V. Agricultural ecology, (2000) M., Kolos, 304.
18. Available at: <https://www.wormfarmingsecrets.com>
19. Available at: www.eko.gov.az
20. Available at: www.stat.gov.az

Authors Contribution: All authors have contributed equally to this work.

Екологізація та агроекологічна оцінка аграрного сектору Карабаської області

Валіда Мехдієва¹

к. геогр. н., доцент,

¹ Азербайджанський державний економічний університет,
вул. Істиглаліят, 6, Баку, AZ1001, Азербайджан;

Ільгар Халілов¹

к. геогр. н., доцент,

Азербайджанський державний економічний університет;

Фархад Емінов¹

к. геогр. н., доцент,

Азербайджанський державний економічний університет

У статті представлені сучасні ідеї щодо переробки агроекологічної оцінки земель та вирішення актуальних агроекологічних проблем їх використання в сільському господарстві для екологізації розвитку сільськогосподарського району Карабаського економічного району. В економічному районі основний підхід приділяється методичним питанням агроекологічної оцінки якості ґрунтів, екологізації ефективного використання сільськогосподарських угідь, агроекологічного аналізу антропогенної динаміки ґрунтів, регіональної інтеграції оцінки агроекологічної якості ґрунтів. При проектуванні агроєкосистем Карабаського економічного району дається агроекологічний підхід диференціації території за ґрунтово-кліматичними факторами, оцінка ґрунту з урахуванням геоморфологічних і кліматичних факторів. При цьому роз'яснено важливість кадастрової оцінки та обліку сучасного екологічного стану земельних ресурсів регіону, а також питання їх ефективного використання та охорони. Для забезпечення розвитку аграрного сектору регіону розглянуто важливість комплексної агроекологічної

переоцінки земельних ресурсів, шляхи усунення основних показників деградації земель та екологічні вимоги до вирощування рослин, визначення територіальних одиниць, що характеризуються мінливістю природно-кліматичних умов, досліджено агровиробниче групування елементарних ділянок агроландшафтів та за даними агроєкологічної оцінки території, шляхи організації ефективного використання земель. Екологічна та економічна стабільність може стати більш складною у майбутньому через посилення антропогенного тиску на агроєкосистеми в економічному регіоні та погану інфраструктуру. Через інтенсивне землекористування, часті ерозії, розливи річок, забруднення навколишнього середовища в регіоні можуть призвести до погіршення якості сільськогосподарських угідь. Також антропогенна діяльність у регіоні може негативно впливати на стан і розвиток агроєкосистем та сталий розвиток сільського господарства регіону, для оптимізації якого вбачається за необхідне удосконалити та оновити методи і технології, що використовуються в сільському господарстві. Необхідно застосовувати агроєкологічні концепції та принципи при реконструкції, розвитку та управлінні стійкими сільськогосподарськими системами в економічному регіоні. Розвиток агроєкосистем регіону має забезпечуватися альтернативними сільськогосподарськими методологіями та підходами, які поєднують соціально-економічний та історичний контекст сільського господарства.

Ключові слова: *екологізація, сільське господарство, екологічно чистий продукт, агропромисловий комплекс, оцінка.*

Внесок авторів: всі автори зробили рівний внесок у цю роботу

Надійшла 5 жовтня 2023 р.
Прийнята 9 листопада 2023 р.

Impact of climate change factor on the resource (providing) ecosystem services of the Lower Danube wetlands

Mariia Slizhe¹

PhD (Geography), Senior Researcher,

¹ Odessa State Environmental University, 15 Lvivska St., Odessa, 65016, Ukraine,

e-mail: m.o.slizhe@gmail.com,  <http://orcid.org/0000-0002-6398-4188>;

Tamerlan Safranov¹

DSc (Geology and Mineralogy), Professor, Head of Department of Ecology and Environmental Protection,

e-mail: safranov@ukr.net,  <http://orcid.org/0000-0003-0928-5121>;

Nikolai Berlinsky¹

DSc (Geography), Professor, Head of Oceanology and Marine Management Department,

e-mail: nberlinsky@ukr.net,  <http://orcid.org/0000-0002-4576-4958>;

Youssef El Hadri¹

PhD (Natural Sciences), Senior Lecturer of Oceanology and Marine Management Department,

e-mail: magribinets@ukr.net,  <http://orcid.org/0000-0003-3690-0927>

ABSTRACT

Problem Statement. Wetlands perform many vital functions, in particular: accumulation and storage of surface waters; protection from storms and floods; strengthening the coastline and curbing water erosion; hydraulic connection with groundwater; surface water purification; nutrient content; deposit formation; pollutants retention; stabilization of local climatic conditions, especially the amount of precipitation and temperature of the near-surface layer of the atmosphere. They are the world's most productive ecosystems, focus of biodiversity, sources of water and primary productivity on which the existence of innumerable species of plants and animals depends. Wetlands support numerous species of birds, mammals, reptiles, amphibians, fish and invertebrates. The ecological character of wetlands is the totality of their ecosystem components, processes and services at one time or another. Wetland ecosystem services are understood as the benefits that people receive from these. These are providing services (water and food); regulatory services (regulation of floods, droughts, land degradation, etc.); supporting services (soil formation, nutrient cycling, photosynthesis, biodiversity); cultural services (cultural and entertainment, spiritual, religious and other intangible benefits). In Ukraine, there are 2417 wetlands with a total area of about 255 million hectares. Among them are 50 wetlands of international importance with a total area of about 734 thousand hectares, a significant proportion of which falls on the territory of the North-Western Black Sea region coastal zone.

The aim of this study is to determine the state, vulnerabilities and climate change impact on the ecosystem services of the «Chilia Branch» wetlands.

Research Methodology. To determine the periods of drought, the study used the Standardised Precipitation Evapotranspiration Index (SPEI) from April to October 1980-2023. The SPEI index was calculated at a point located in the southern part of the Danube Biosphere Reserve. The assessment of the state of the vegetation cover was carried out on the basis of the analysis of Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) the period 2017-2023 at two sites (Ermakov Island and Limba Island). To analyze dynamics land cover in the wetland area, were used Sentinel-2 land use satellite imagery for the period 2017-2021.

Results. Analysis of the SPEI index showed that during the study period there was a positive statistically significant linear trend towards an increase in dry conditions (0.26 / 10 years). In the period 1980-2023 during the growing season on the territory of the "Chilia Branch" wetland, there is a change in weather conditions towards arid, which poses a certain threat. At the same time, it should be noted that the unique hydrological complex of the Danube Delta has a mitigating effect of the atmospheric drought impact on the vegetation. Also, it should be noted that the threat to coastal wetlands is the anthropogenic transformation of coastal natural systems (urbanization processes, expansion of land for agricultural needs, pollution of soil and surface waters), which can lead to loss of habitats of living organisms and deterioration of ecosystem services.

Keywords: ecosystem services, wetlands, Lower Danube, Danube Biosphere Reserve, NDVI, SPEI, land use, climate change.

In cites: Slizhe Mariia, Safranov Tamerlan, Berlinsky Nikolai, El Hadri Youssef (2023). Impact of climate change factor on the resource (providing) ecosystem services of the Lower Danube wetlands. Visnyk of V. N. Karazin Kharkiv National University, series "Geology. Geography. Ecology", (59), 307-319. <https://doi.org/10.26565/2410-7360-2023-59-23>

Introduction. Wetlands, according to Convention on Wetlands [1], «are areas of marsh, fen, peat-land or water; whether natural or artificial, permanent or temporary, with water that is static or flowing, fresh, brackish or salt, including areas of marine water the depth of which at low tide does not exceed six metres». According to the UN Environment Program [2], the area of wetlands is about 5.7 million km², that is, approximately 6 % of the Earth's land

surface, of which 2 % are lakes, 30 % – raised bogs, 26 % – lowland bogs, 20 % – wetlands and 15 % – floodplains. Wetlands perform many vital functions, in particular: accumulation and storage of surface waters; protection from storms and floods; strengthening the coastline and curbing water erosion; hydraulic connection with groundwater; surface water purification; nutrient content; deposit formation; pollutants retention; stabilization of local climatic condi-

tions, especially the amount of precipitation and temperature of the near-surface layer of the atmosphere. They are the world's most productive ecosystems, focus of biodiversity, sources of water and primary productivity on which the existence of innumerable species of plants and animals depends. Wetlands support numerous species of birds, mammals, reptiles, amphibians, fish and invertebrates.

The ecological character of wetlands is the totality of their ecosystem components, processes and services at one time or another. Wetland ecosystem services are understood as the benefits that people receive from these. These are providing services (water and food); regulatory services (regulation of floods, droughts, land degradation, etc.); supporting services (soil formation, nutrient cycling, photosynthesis, biodiversity); cultural services (cultural and entertainment, spiritual, religious and other intangible benefits) [3].

It is known that since 1970, about 35 % of the entire territory of the world's wetlands has been lost. They disappear three times faster than forests, and living organisms that depend on the existence of wetlands, respectively, are in danger of extinction. Therefore, the problem of rational use of wetlands is very relevant, which implies the preservation of their ecological character in the context of sustainable development, which is ensured through the implementation of ecosystem approaches [4].

Pressure indicators on wetlands, according to [5], include: habitat conversion and degradation (land conversion), climate change, pollution and nutrient enrichment, over-exploitation and introductions of invasive alien species.

The concept of "ecosystem services" is absent in Ukrainian legislation, therefore, their inclusion in decision-making is not very common, but the Law of Ukraine "Basic principles (strategy) of the state environmental policy of Ukraine for the period up to 2030" notes the feasibility of "introducing the ecosystem approach into sectoral policy and improving the system of integrated environmental management".

In Ukraine, there are 2417 wetlands with a total area of about 255 million hectares. Among them are 50 wetlands of international importance with a total area of about 734 thousand hectares, a significant proportion of which falls on the territory of the North-Western Black Sea region coastal zone, namely: Lake Kuhurlui, Lake Kartal, Chilia Branch, Maly Sasyk Liman, Shagany- Alibey-Burnas Limans group, Dniester-Turunchuk Crossrivers Area, the northern part of the Dniester Liman, Tiligulskiy Liman, the Dnieper Delta, Tendra, Yagorlytska, Karkinitzka and Dzharlygatsky bays, and Big Chapelsk Depression.

Wetlands act as a regulator of such processes as fresh water accumulation and storage, water filtra-

tion, absorption from the atmosphere and accumulation of CO₂. Wetland plants absorb CO₂ in the 50 times more than tropical forests, after which they are covered with silt when the water level rises. They are sources of O₂, which is released during photosynthesis, and maintain a balance between CO₂ and O₂.

In addition, the wetlands of the North-Western Black Sea region coastal zone contribute to the regulation of surface runoff, the groundwater level stabilization, the climatic conditions formation (precipitation, humidity and air temperature in the surface layer of the atmosphere), prevention and containment of erosion processes, biodiversity conservation, contribute to the formation of various plant and animal species. They are a source of water supply, fish and hunting resources, supply of wood materials and reeds, wild plant products and other biological resources; provide habitats for rare and Red Data Book species of animals and plants. Wetlands are barriers to mechanical (retain large particles and suspended solids) and physicochemical (retain heavy metal ions and biogenic elements) pollution of surface water bodies.

One of the reasons for the degradation of the North-Western Black Sea region wetlands is the underestimation of their real economic value, the cost of natural resources and services in general [6].

The aim of this study is to determine the state, vulnerabilities and climate change impact on the ecosystem services of the «Chilia Branch» wetlands.

Vulnerability and impact of climate change on wetlands. Strategies directed to increase food production and reduce poverty often involve converting wetlands to agricultural grounds and significantly increasing fertilizer use to increase crop yields. This approach leads to a reduction in the habitat area of local species (and, accordingly, the number of services provided by natural habitats), an increase in the amount of pollutants entering the aquatic environment, the destruction of natural water filters, the loss of ecosystem services provided by wetlands, on which the lives of the poorest segments of the population depend in the first place. Such approaches make it difficult to achieve the goal of improving water quality and sanitary and hygienic conditions, and may even lead to increased poverty among certain population groups [3].

All over the world, the construction of dams, other hydraulic structures and the abstraction of water for agricultural, industrial and domestic needs have led to a change in hydrological regimes and the transport of sediments and nutrients, as well as modification of habitats, disruption of the migration routes of aquatic biota, in particular such as salmon fish. The amount of water stored behind dam walls has increased by 4 times since 1960, and now the volume of water stored in artificial reservoirs is 3-6 times the amount of water in natural rivers [3].

The greatest threat to coastal wetlands comes from the transformation of coastal ecosystems for development, leading to large losses of habitats and services. Other direct factors affecting coastal wetlands are freshwater abstraction, nitrogen loading, over-harvesting of biological products, siltation, changes in water temperature and alien species invasions. The main indirect drivers of change are considered to be population growth in coastal areas, coupled with increased economic activity.

Many coastal wetlands are changing as a result of sea level rise, increased intensity and repeatability of storms and tidal waves, leading to changes in hydrological regimes and sediment transport. Such changes have adverse impacts on wetland vegetation and animals, especially species that cannot move to more suitable habitats, as well as migratory species that use wetlands during their life cycle. Destruction and fragmentation of coastal wetlands serving as migration routes has endangered some species and led to the loss of others.

Despite the lack of information about the climate change impacts on specific wetland types and river basins, it is generally considered that removing current pressures on wetlands and increasing their resilience is the most effective way to combat the adverse effects of climate change. Sea level rise, changes in the hydrological regime (especially temperature) of water basins can reduce the amount of resources and services provided by wetlands. In addition, climate change management efforts may also have or exacerbate negative impacts on freshwater and coastal ecosystems. There is an urgent need for information about the climate change impacts on specific types of wetlands and river basins, which could help water and wetland managers, take into account climate change in the planning and management process. Conservation, maintenance or restoration of wetland ecosystems can be an important element of the overall climate change mitigation strategy.

It is predicted, that global climate change will accelerate the loss and degradation of many wetlands and their species, and harm the communities that depend on their services; however, there are no plausible projections yet of the extent of such loss, degradation and damage in the future [3]. At the same time, it is expected that climate change will increase rainfall over more than half of the land surface, and this will provide more water for society and ecosystems. However, the increase in precipitation will not be ubiquitous, and climate change will also be accompanied by significant their reductions in other areas.

Climate changes in the Danube Delta region.

The climate of the North-Western Black Sea region belongs to the steppe atlantic-continental climate, and it is more continental and arid compared to other areas of Ukraine. High air temperatures are noted in

the summer, the average monthly temperature in July is 31-30 °C, and the maximum varies between 38-41 °C. The annual amount of precipitation is about 250-300 mm [7]. Droughts are often observed here, which can continue throughout the entire spring-summer period (for example, in 2007, 2009, 2012), and also reach the character of severe and extreme droughts [8, 9].

According to observations at the posts and stations network of the Danube Hydrometeorological Observatory of the State Emergency Service of Ukraine in the Ukrainian part of the Danube mouth, there is a trend towards climate warming. The average annual air temperature over the past century has increased by 1.0-1.5 °C, and the maximum annual temperatures have increased by 2-3 °C [10]. There is a increase in water temperature in the reservoirs and streams of the Danube Delta, which is significantly ahead of the increase in air temperature. Significant heating of the earth's surface determines the development of more powerful convective processes. Already, the number of severe weather phenomena associated with convective activity has become more frequent in the region.

The distribution of atmospheric precipitation in the Ukrainian part of the Danube mouth in summer due to active convection is irregularly in time and across the territory. Changes in precipitation patterns lead to increased local runoff and floods [11, 12]. These trends indicate the possibility of an increase in the maximum river discharge entering the estuarine zone and an increase in water temperature, especially in the summer months.

The most vulnerable to climate change is the Ukrainian part of the Danube Delta, where, in addition to external factors of influence, the negative consequences are exacerbated by the processes of redistribution of water flow from the Chilia system of watercourses to the Tulcea channel [13]. Due to the decrease in maximum water levels along the Chilia branch, the deterioration of water exchange between the river and the Danube lakes is expected, as well as a decrease in the flow of small watercourses.

Also, it is possible to add that the average annual air temperature trends in Romania in 1961-2018 show a statistically significant positive trend of 0.27-0.40 °C/10 years. The greatest increase in the average seasonal temperature is observed in the summer and is 0.39-0.52 °C/10 years [14]. In general, in Romania, the amount of precipitation (in 1961-2013) is maintained, with slight tendencies to increase in autumn and decrease in other seasons at some stations [15]. In the Danube Delta, there is a decrease in precipitation to 200 mm per year/10 years [16].

Materials and research methods

Description of the «Chilia Branch» wetlands. «Chilia Branch» wetlands are located in the steppe

zone of the North-Western Black Sea region near the state border with Romania, at a distance of 20-30 km southeast of the Kiliya town. The wetlands are part of the Danube Delta. The largest settlement in the vicinity of the site is the Vylkove town (Fig. 1), and the nearest Ramsar wetlands are Lake Sasyk and the

Romanian part of the Danube Delta. Other hydrologically related wetlands are the Black Sea and wetlands of the lower Danube Delta. The minimum elevation of the wetlands location is 0.2 m, and the maximum is 0.6 m. The total area of the wetlands is 328 km² [17].



Fig. 1. Map of the "Chilia Branch" wetlands (the study areas – Site 1, Site 2, Site 3 are marked with rectangles, the Danube Biosphere Reserve highlighted in green)

The Danube Delta is an ecotone zone of the river-sea type and is characterized by an extremely high level of species and biotope diversity. Diversity of aquatic biotopes, favorable climate, high productivity of reservoirs, good protective conditions and proximity to grain fields determine the high biological capacity of the delta and its attractiveness for water birds. This is a well-known nesting, molting, wintering and stopping place for water birds during migrations, a large spawning ground for fish and amphibians. This place is home to feeding biotopes of many seabirds.

The main branches and channels of the delta are characterized by very strong currents. The islands are

flooded during periods of high water, and the reservoirs located on them are filled. All delta reservoirs are fresh, with the exception of shallow bays in its coastal part. The course of sedimentation processes depends from weather conditions in the Danube basin. As a result of significant erosion and the influence of precipitation from channels and the sea, the wetlands are characterized by significant mobility. The water level in the delta depends on such a seasonal phenomenon as the March floods. The high water level is observed at the end of March and lasts 2-3 weeks. Currently, almost 95 % of the territory of the delta is flooded with water. Between floods, the average water level is 80-180 cm. Surface runoff in July-

August decreases, and in September-October reaches a stable equilibrium. The water level, especially in the reservoirs of the eastern coastal part of the wetlands, depends from the direction and wind speed, and can vary by 90 cm during the day. Danube water is characterized by medium mineralization, and the oxygen content is within normal saturation, although there are periods of its deficiency (winter) or excess (summer). The hydrochemical regime of reservoirs located within the wetlands is unstable. The temperature and salinity of the water, especially in the coastal part of the wetlands, show significant fluctuations, which largely dependent from the action of easterly wind. So, at the river mouth, the water salinity reaches 1.8 ‰ [18].

The wetlands are the delta of the Chilia channel of the Danube. Within their boundaries are swampy areas, floodplain forests, straits, channels, alluvial islands, freshwater lakes, sandy ridges, and in the coastal part – low sandy bars separating the bays from the sea. There are also mainland islands, most of which are located between the Ochakivsky and Starostambulske Branches. The wetlands also include a strip of the Black Sea coast, which is 1 km wide and surrounds the delta in the east. Flat islands of alluvial origin are separated from each other by channels of various sizes. In the lower coastal part, the channels flow into a system of open shallow bays, which are separated from the sea by low silt-sand spits and underwater bars.

The hydrological value of the wetland lies in the fact that the water from the river is used for irrigation of rice fields and the needs of fish farms, as well as for the municipal water supply of the Vylkove and Kilia towns. The main channel is the basic shipping route connecting the port of Ust-Dunaysk with other ports of Ukraine and other countries with access to the Danube.

By type, wetlands refer to estuaries (permanent waters of estuaries and deltas), permanent inland deltas, as well as channels and drainage ditches.

The vegetation of the delta is extremely diverse, with a predominance of hydrophilic plant associations. The cenoses of swamps, open sections of the river, flooded lowland forests, floodplain meadows, as well as halophyte groups include 651 species of vascular plants. The islands of the Chilia mouth are covered with lacustrine and marsh vegetation, mainly with common reeds and cattails. The vegetation of water bodies is represented by many submerged and floating species. In spring and summer, shallow bays and shallow water on flooded islands warm up well and are characterized by high productivity. There are all conditions for the development of plankton, nekton and benthos (primarily crustaceans, mollusks and insect larvae), which provides a rich food base for vertebrates. The flora of the Danube Delta includes

65 endemics of the Ponto-Caspian floristic complex. Sixteen species are listed in the Red Book of Ukraine [19].

An example of the structure of the natural vegetation of a wetland is the distribution by economic plant types of the Danube Biosphere Reserve (DBR) vegetation [20, 21]. Thus, the group of food plants of the DBR (Danube Delta) includes 314 species (33.00 % of the total flora), fodder crops – 281 species (29.58 %), medicinal – 232 species (24.42 %), technical – 178 species (18.74 %), poisonous – 133 species (13.75 %), non-food economic – 77 species (7.00 %) [22].

Wetlands are an important habitat for valuable species of birds, mammals, amphibians, reptiles. The total number of water birds breeding within the wetland is 25 thousand pairs, which nest mainly in reeds, floodplain forests, on small islands and peninsulas. In autumn and spring, up to 133 species of migratory birds can be found here. The migration route is mainly along the coast with resting places on bays and sandbars. The total number of migrants flying through this area every year is about 2-3 million birds. About 28 thousand birds can stay here for the winter. Species of birds from the Red Book of Ukraine that nest here are pygmy cormorant *Phalacrocorax pygmaeus*, curly pelican *Pelecanus crispus*, yellow heron *Ardeola ralloides*, white-eyed pochard *Aythya nyroca*, kentish plover *Charadrius alexandrinus*, eurasian oystercatcher *Haematopus ostralegus* [18].

The waters of the wetlands are the habitat of many species of reptiles, amphibians and fish, as well as spineless. The composition of the ichthyofauna includes mainly local, including anadromous, fish species. Shallow areas of well-heated bays are a place for spawning and growth of fry of many cyprinids and Danube herring. Among the fish listed in the Red Book of Ukraine, there are: Danube salmon *Hucho hucho ssp. hucho* (endemic subspecies), sterlet *Acipenser ruthenus*, striped ruffe *Gymnocephalus schraetser*, Black Sea beluga *Huso huso ponticus*, European mudminnow *Umbra krameri*, Danube streber *Zingel streber streber* and zingel *Z. zingel*. Species of spineless from the Red Book of Ukraine: dragonflies *Coenagrion lindenii* and *C. mercuriale*, molluscs *Turricaspiia lincta* [19].

Wetlands are an important recreational center and are of great importance for environmental education and research. Fishing is a traditional activity of the local residents.

Factors negatively affecting on the ecological character of the wetland include: pollution, mass grazing, land cultivation, uncontrolled burning of reeds and illegal fishing and hunting [17].

The Danube Biosphere Reserve (Ramsar Site 3UA003) is located on the territory of the wetland,

established in 1998 on the basis of the Danube Plavni Reserve by expanding its territory, in 1999 the Danube Delta International Romanian-Ukrainian Biosphere Reserve was created.

Ermakov Island – is one of the largest islands in the Ukrainian Danube Delta – is 9.6 km long and 3.6 km wide, with an area of about 23 km². After 2009, on Ermakov Island, work began on its restoration after partial removal of dams. In the dams surrounding the island along the perimeter, holes were made in several places. This made it possible for the Danube water to enter on the island during the seasonal flood. According to the project, the demolition of part of the dams surrounding the island should lead to the restoration of natural processes on Ermakov – seasonal flooding of the island. In its natural state, every spring Ermakov received the flood waters of the Danube, which enriched the land with nutrients and irrigated the vegetation of the island. During the high water season, spawning grounds and feeding grounds for fish fry were formed on the island. Meadows temporarily turned into lakes, where rare species of water birds lived. During the summer, the water partially left the island, leaving lush vegetation and fertile soils, and the next spring everything was repeated, creating conditions for the development of one of the most biodiverse corners of the Danube Delta [17].

Currently, the flora of the Ermakov Island has 717 species of plants, which is 74.15 % of the flora of the Danube Biosphere Reserve. As for the current state of the island, now the inland lakes on the island are no more than a meter deep, they serve as a feeding ground for pelicans, which, according to rough estimates, are home to about 30,000 individuals [23].

Standardized Precipitation Evapotranspiration Index. To determine the periods of drought, the study used the Standardised Precipitation Evapotranspiration Index (SPEI), which is based on using the monthly (or weekly) difference between the amount of precipitation and potential evapotranspiration, and is a measure of excess or deficit of moisture for the analyzed month [24, 25]. Potential evapotranspiration is the total loss of water as a result of the plant's transpiration process due to its vascular system and water evaporation from the Earth surface. The SPEI index is sensitive to changes in evaporation (caused by temperature fluctuations), is easy to calculate, and allows choosing a time scale.

The presence of a drought is defined as a period in which the SPEI index has a negative value and reaches a value of -1.0 or less (Tab. 1). The beginning of a drought is determined when the SPEI acquires a negative value, the end of a drought is marked by the first positive value of the index after the negative ones.

Table 1

SPEI criteria [8]

SPEI value	Category
$\geq 2,00$	Extremely Wet
1,50 – 1,99	Very Wet
1,00 – 1,49	Moderate Wet
0,00 – 0,99	Normal
-0,99 – 0,00	Mild Drought
-1,49 – -1,00	Moderate Drought
-1,99 – -1,50	Severe Drought
$\leq -2,00$	Extreme Drought

The study used the database of the SPEI index [26], provided by researchers from the Pyrenean Institute of Ecology S. Begueria, S.M. Vicente-Serrano et al. The SPEI database offers information about droughts on a global scale in real time, with a spatial step of 1 degree and a variable time step from 1 to 48 months. In this study, the index is applied on a time scale of 6 months.

Normalized Difference Vegetation Index. The assessment of the state of the vegetation cover was carried out on the basis of the analysis of Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) [27]. The index is calculated on the basis of Sentinel 3A satellite images and averaged over a 10-day period. The platform contains data for the period 2017-2023.

The NDVI index is a simple measure of the amount of photosynthetically active biomass. For

NDVI display a standardized discrete (continuous gradient) scale is used in the range of values from +1 to -1 [28, 29]. Index values corresponding to green phytomass are in the range of 0.2-0.8. The state of vegetation can be assessed by the following index values [30]: 0.71-1.00 – dense healthy vegetation, 0.56-0.7 – healthy vegetation, 0.41-0.55 – satisfactory condition, 0.31-0.40 – bad condition, 0.21-0.30 – oppressed condition.

Sentinel-2 land use/land cover satellite imagery. Most studies use different indices and metrics to distinguish wetlands from other land cover. One such indicator is the classification of various land covers based on Sentinel-2A satellite data, which was launched in 2015 as part of the European program Copernicus (Sentinel). Sentinel-2 offers satellite imagery with a resolution of 10 to 60 m and has better spa-

tial resolution than the last Landsat OLI/TIRS [31].

Product data Sentinel-2 10m land use/land cover time series, provided by the company Esri, was used in this study [32]. The product displays a global land use/land cover map for the period 2017-2021 obtained from ESA Sentinel-2 images with a resolution of 10 m. The Impact Observatory artificial intelligence land classification model generates annual global land use/land cover estimates divided into 9 classes. Each pixel in the image is assigned a specific land cover class [33].

Results of the study

Influence of drought conditions on the vegetation cover of the "Chilia Branch" wetlands. For the analysis of drought events, the period from April to October 1980-2023 was chosen. The SPEI index was calculated at a point located in the southern part of the Danube Biosphere Reserve. Analysis of the SPEI index showed that during the study period there was a positive statistically significant linear trend towards an increase in dry conditions (0.26 / 10 years).

Periods with excessive moisture were 1980 – spring 1981, 1984-1985, 1987-1988, 1991, 1993, 1997, 2004-2005, 2014 – spring 2015, 2017, spring 2018, 2021. Very wet periods were 1980, 1984, 1988, 1997, 2021. Extremely wet periods were August 1997 and April 2015 (Fig. 2).

Dry periods were summer 1981-1983, 1986, 1989-1990, 1992, 1994-1995, 1998-2003, 2006-2009, 2011-2013, 2015-2016, autumn 2018 – 2020, 2022-2023. Severe drought was observed in 1983, 1990, 1994, 2000, 2007, 2009, 2012, 2015, 2018, 2019. Extreme drought was observed in July-October 2007, August-October 2012, September 2015, April,

August-September 2020, August-October 2022.

As an illustration of the response of the vegetation cover of the "Chilia Branch" wetlands, we present the values of the NDVI index for the period from June 2020 to June 2023 at two sites. The first one is located on Ermakov Island. The second site is located on Limba Island (Fig. 3).

As you can see, despite the fact that in the spring-summer periods of 2020 and 2023 in this area, there was a drought in some months that corresponded to the criterion of extreme, and 2021 was characterized by moisture indicators within the normal range, and June 2021 was moderately humid, the value of the NDVI index in these periods has a close value (Fig. 4), which indicates about the special conditions in the area that have a mitigating effect on the impact of atmospheric drought on the vegetation cover.

Land cover classes changes on the territory of the «Chilia Branch» wetlands. Total area allocated for change assessment land use/land cover (Fig. 1) is 758 km² and includes areas of wetlands and the Black Sea. As can be seen from Table 2, the greatest variability with the smallest area is characterized class Bare ground (the coefficient of variation C_v ranges from 57.4 % for the area of all plots to 165.2 % for Site 3). The smallest changes are in the area occupied by water (C_v from 1.6 % for Site 1 to 10.3 % for Site 3). For classes Trees and Flooded vegetation value of C_v , in general, in all selected areas, it has close values (from 20.0 to 28.0 %), with some differences in Site 2 (for the class Flooded vegetation $C_v = 15.2$ %) and Site 3 (for class Trees $C_v = 43.3$ %), which can be explained by the features of the selected areas.

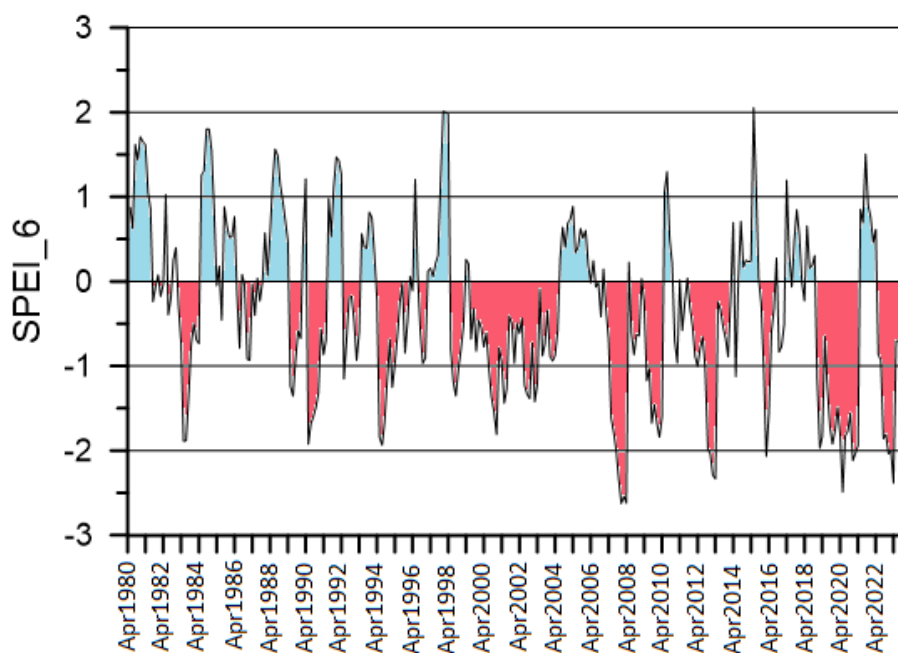


Fig. 2. Interannual course of the SPEI index at a point located in the southern part of the Danube Biosphere Reserve in April-October 1980-2023

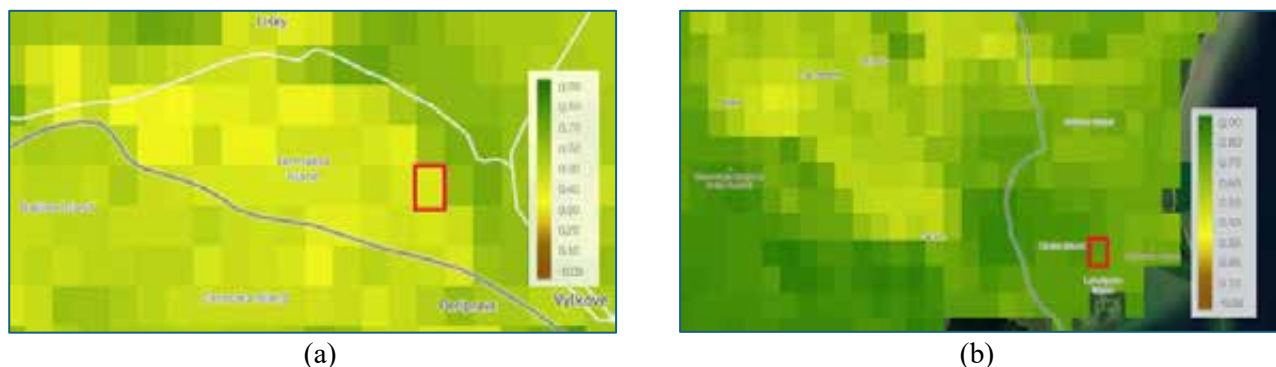


Fig. 3. Sentinel 3A averaged over 10-day NDVI index 01.05.2023: (a) – Ermakov Island, (b) – Limba Island. The red rectangle highlights the pixel for which the time series in Fig. 4

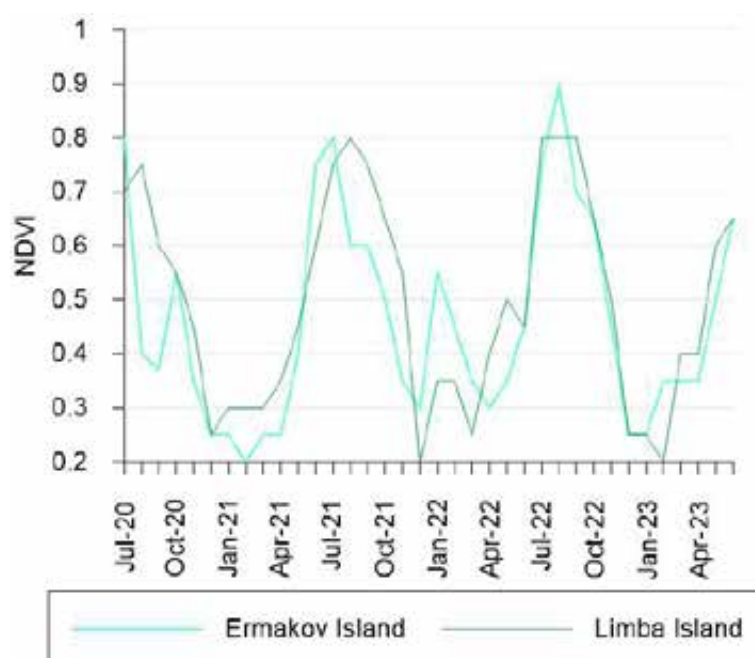


Fig. 4. Sentinel 3A averaged over 10-day NDVI index

Table 2

Mean area ($\bar{S}$), standard deviation (σ), coefficient of variation (C_v) of the area of land cover classes in 2017-2022

Land Cover Class	Site											
	All			Site 1			Site 2			Site 3		
	$\bar{S}$, km ²	σ , km ²	C_v , %	$\bar{S}$, km ²	σ , km ²	C_v , %	$\bar{S}$, km ²	σ , km ²	C_v , %	$\bar{S}$, km ²	σ , km ²	C_v , %
1 - Water	159.2	3.0	1.9	144.8	2.4	1.6	7.1	0.1	1.8	7.3	0.8	10.3
2 - Trees	71.2	19.0	26.6	63.5	17.9	28.1	2.4	0.5	22.7	5.3	2.3	43.3
4 - Flooded vegetation	120.0	24.7	20.6	65.9	16.9	25.6	23.1	3.5	15.2	31.0	8.8	28.3
5 - Crops	59.0	3.6	6.2	12.7	2.8	21.7	5.6	1.3	22.9	40.6	0.6	1.4
7 - Built Area	9.9	0.4	4.3	8.6	0.3	3.7	1.3	0.2	12.5	-	-	-
8 - Bare ground	0.7	0.4	57.4	0.6	0.4	73.0	-	-	-	0.1	0.1	165.2
11 - Rangeland	338.2	37.8	11.2	305.5	29.4	9.6	7.9	3.5	43.8	24.8	9.5	38.2

Analysis of interannual changes in the area of land cover classes in 2017-2022 (Fig. 5) showed that 2020 can be distinguished, in which the greatest

changes and redistribution of classes of territories were noted. So, in 2020, the area occupied by water is maximum in Sites 1 and 3, the minimum value of

the area occupied by trees was noted in all sites, and the area occupied by flooded vegetation and pastures was also redistributed. One of the reasons was the heavy rains that took place in June 2020 in the eastern part of Europe (from 200 to 400 mm of precipitation in two weeks), which subsequently led to an increase in the level in the Lower Danube. In particular, one of the affected areas covered the upper basin of the Prut River (especially in Ukraine, and subsequently

in Romania and the Republic of Moldova), where, as a result of intense precipitation, a significant increase in level was observed (up to 3 meters in Romania and Western Ukraine), which caused severe flooding along the Jiu River [34]. Also, the increase in the area occupied by water in 2018 in section 2 can be explained by significant rainfall in June, with which, in particular, the flooding in the central and eastern part of Romania was also associated [34].

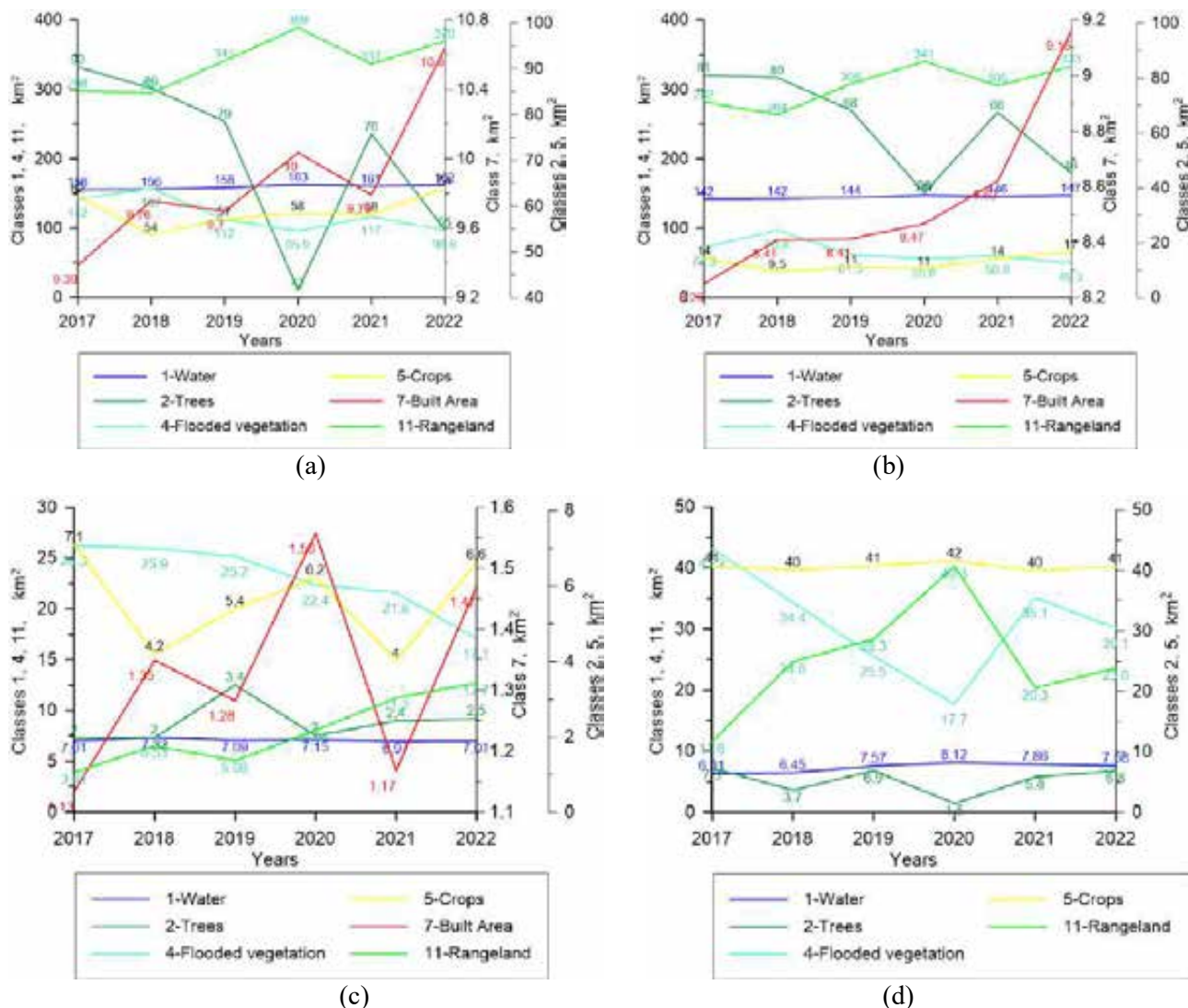


Fig. 5. Area (km²) of the territory occupied by various land cover classes:
(a) – all sites together, (b) – Site 1, (c) – Site 2, (d) – Site 3

It should be noted that urban development increased from 2017 to 2022, and there is also an increase in the area of agricultural land (due to Site1).

Conclusions. Due to unique physical-geographical, hydrological and climatic conditions, wetlands "Chilia Branch" are the habitat of many valuable species of plants and animals, as well as provide a significant amount of ecosystem services (water and food, regulation of floods, droughts, land degradation, soil formation, nutrient cycling, photosynthesis, biodiversity, cultural, recreational and spiritual).

Climate change is one of the factors that can lead to degradation and loss of wetland ecosystems. In the period 1980-2023 during the growing season on the territory of the "Chilia Branch" wetland, there is a change in weather conditions towards arid, which poses a certain threat. At the same time, it should be noted that the unique hydrological complex of the Danube Delta has a mitigating effect of the atmospheric drought impact on the vegetation.

Having a large catchment area, the Danube bears the load in case of excessive precipitation, which can

lead to floods in the Danube Delta, flooding of territories and redistribution of land cover classes and, thus, negatively affect the state of wetland ecosystems.

Also, it should be noted that the threat to coastal wetlands is the anthropogenic transformation of coastal natural systems (urbanization processes, expansion of land for agricultural needs, pollution of soil and surface waters), which can lead to loss of habitats of living organisms and deterioration of eco-

system services.

Acknowledgments. This study is supported by 'Restoration of the Danube river basin waters for ecosystems and people from mountains to coast - DANUBE4all' project. The authors would like thank of the European Climate, Infrastructure and Environment Executive Agency (CINEA) for providing financial support of this research under Grant 101093985.

Bibliography

1. Convention on Wetlands of International Importance especially as Waterfowl Habitat. (Ramsar, Iran, 2.2.1971). [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://www.ramsar.org/sites/default/files/documents/library/scan_certified_e.pdf
2. UN Environment Program. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.unep.org>
3. Экосистемы и благосостояние человека: водно-болотные угодья и водные ресурсы. Синтез. – Вашингтон, округ Колумбия : Институт мировых ресурсов, 2005. – 69 с. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://www.millenniumassessment.org/documents/MA_WetlandsandWater_Russian.pdf
4. Разумное использование водно-болотных угодий: Концептуальная основа разумного использования водно-болотных угодий. / Руководства Рамсарской конвенции по разумному использованию водно-болотных угодий, 3-е издание. – Гланд, Швейцария : Секретариат Рамсарской Конвенции, 2007. – 31 с. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.ramsar.org/sites/default/files/documents/library/hbk1rus.pdf>
5. Maes J. Mapping and Assessment of Ecosystems and their Services: An analytical framework for ecosystem condition / J. Maes, A. Teller, M. Erhard et al. – Luxembourg: Publications Office of the European Union, 2018. – 78 p. DOI: <https://doi.org/10.2779/055584>
6. Сафранов Т. А. Оцінка екосистемних послуг північно-західної частини Чорного моря: стан, проблеми та перспективи / Т. А. Сафранов, М. А. Берлінський, Ю. Ель Хадрі, М. О. Сліже // Вісник Харківського національного університету імені В. Н. Каразіна, серія «Геологія. Географія. Екологія», 2022. – Вип. 56. – С. 255-263. <https://doi.org/10.26565/2410-7360-2022-56-19>
7. Клімат України / за ред. В.М. Ліпінського, В.А. Дячука, В.М. Бабіченко. – Київ: Вид. Раєвського, 2003. – 343 с.
8. Семенова І.Г. Синоптичні та кліматичні умови формування посух в Україні: монографія / Одеський державний екологічний університет. – Х.: ФОП Панов А.М., 2017. – 236 с.
9. Semenova I. Synoptic Conditions of Droughts and Dry Winds in the Black Sea Steppe Province Under Recent Decades / I. Semenova, M. Slizhe // Front. Earth Sci. – 2020. – 8(69). DOI: <https://doi.org/10.3389/feart.2020.00069>
10. Черой А.И. Возможные климатические изменения в дельте Дуная, юго-западная часть Украины / А. И. Черой // Вісник ОНУ. Сер.: Географічні та геологічні науки. – 2013. – Т. 18. – Вип. 3(19). – С. 50-55. DOI: [https://doi.org/10.18524/2303-9914.2013.3\(19\).184483](https://doi.org/10.18524/2303-9914.2013.3(19).184483)
11. Черой А.И. Сток воды, наносов и морфологические процессы в устьевой области реки Дунай: Дисс. ... кандидата географических наук: 11.00.07 / Черой Александр Иванович. – Одесса: ОДЭКУ, 2009. – 174 с.
12. Shuisky Y.D. The influence of sea-level rise on the natural and cultural resources of the Ukrainian coast / Changing Climate and the Coast. Vol. 2: Edited by J.G. Titus. – Washington DC, 1990. – P. 201-219.
13. Черой А.И. Комплексные обследования морского края Килийской дельты Дуная в 2011-2012 гг. / А.И. Черой, О.А. Дьяков, Е.И. Жмуд и др. // Укр. гідрометеорол. журнал. – 2012. – Вип. 11. – С. 24-33. <http://uhmj.odeku.edu.ua/ru/kompleksnye-obsledovaniya-morskogo-kraya-kilijskoj-delty-dunaya-v-2011-2012-gg/>
14. Arghius V. Analysis of annual and seasonal air temperature trends in central part of Romania / V. Arghius, L.-O. Muntean, N. Baci, V. Macicaan, C. Arghius // Present Environment And Sustainable Development. – 2020. – Vol. 14. – No. 1. – P. 51-61. DOI: <https://doi.org/10.15551/pesd2020141004>
15. Dumitrescu A. Recent climatic changes in Romania from observational data (1961-2013) / A. Dumitrescu, R. Bojariu, M. V. Birsan et al. // Theor Appl Climatol. – 2015. – Vol. 122. – P. 111-119. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00704-014-1290-0>
16. Busuioc A., Boroneant C., Baci M., Dumitrescu A. Observed temperature and precipitation variability in Romania [Електронний ресурс] / SEECOF-1. Bucharest, Romania, 2008. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://meteo.hr/SEECOF08/day2/2-19.pdf>
17. Водно-болотні угіддя України. Довідник / Під ред. Г. Б. Марушевського, І. С. Жарук– Київ : Чорноморська програма Ветландс Інтернешнл, 2006. – 312 с. <https://pernatidruzi.org.ua/book.php?bookid=1>
18. Стеценко М. П. Водно-болотні угіддя України : [інформаційні матеріали] / [М. П. Стеценко, Г. В. Парчук, М. Л. Клестов, М. О. Осипова, Г. О. Мельничук, О. Л. Андрієвська] ; за ред. М. П. Стеценко. – Київ : Б. в., 1999. – 312 с.
19. Directory of Azov-Black Sea Coastal Wetlands: Revised and updated / Ed. by Gennadiy Marushevsky. – Kyiv : Wetlands International, 2003. – 235 pp. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: http://gull-research.org/papers/articles09/directory_of_azov_blacksea_coastal_wetlands.pdf

20. Біорізноманітність Дунайського біосферного заповідника, збереження регулювання / гол. ред. Ю.Р. Шеляг-Сосонко. – Київ: Наук. думка, 1999. – 704 с.
21. Титар В.М., Жмуд М.Є., Волошкевич О.М. Екологічний менеджмент ДБЗ // Біорізноманітність Дунайського біосферного заповідника, збереження та управління / Під ред. Ю.Р. Шеляг-Сосонко. – Київ : “Наукова думка”, 1999. – С. 289-363.
22. Рубель О.Е. Екологія ветландов. – Кишинев, 2009. – 252 с. https://econology.org.ua/wp-content/uploads/2015/03/045_Rubel-book-final-2009-e-konologiya.pdf
23. Ермаков: уникальная экологическая лаборатория и туристическая надежда дельты Дуная. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://ru.bessarabiainform.com/2018/06/vozrozhdeniyj-ostrov-ermakov-unikalnaya-ekologicheskaya-laboratoriya-i-turisticheskaya-nadezhda-delta-dunaya/>
24. Vicente-Serrano S.M. A multiscalar drought index sensitive to global warming: the standardized precipitation evapotranspiration index / S. M. Vicente-Serrano, S. Begueria, J. I. Lopez-Moreno // J. of Climate. – 2010. – Vol. 23. – No. 7. – P. 1696-1718. <https://doi.org/10.1175/2009JCLI2909.1>
25. Vicente-Serrano S.M. A new global 0.5° gridded dataset (1901-2006) of a multiscalar drought index: comparison with current drought index datasets based on the Palmer Drought Severity Index / S. M. Vicente-Serrano, S. Begueria, J.I. Lopez-Moreno et al. // J. of Hydrometeorology. – 2010. – Vol. 11. – P. 1033-1043. DOI: <https://doi.org/10.1175/2010JHM1224.1>
26. SPEI Global Drought Monitor. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://spei.csic.es/index.html>
27. Terrascope project. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://viewer.terrascope.be/>
28. Carlson T.N. On the relation between NDVI, fractional vegetation cover, and leaf area index / T. N. Carlson, D. A. Ripley // Remote Sensing of Environment. – 1997. – Vol. 62 (3). – P. 241-252. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0034-4257\(97\)00104-1](https://doi.org/10.1016/S0034-4257(97)00104-1)
29. Son N.T. A comparative analysis of multitemporal MODIS EVI and NDVI data for large-scale rice yield estimation / N. T. Son, C. F. Chen, C. R. Chen, V. Q. Minh, N. H. Trung // Agricultural and Forest Meteorology. – 2014. – Vol. 197. – P. 52-64. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2014.06.007>
30. Гребень А.С. Анализ основных методик прогнозирования урожайности с помощью данных космического мониторинга, применительно к зерновым культурам степной зоны Украины / А. С. Гребень, И. Г. Красовская // Екологічна безпека та збалансоване ресурсокористування. – 2013. – Вип. 1(7). – С. 170-180. <https://ebzr.nung.edu.ua/index.php/ebzr/article/view/280>
31. Kaplan G. Mapping and monitoring Wetlands using Sentinel-2 satellite imagery / G. Kaplan, U. Avdan // ISPRS Annals of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, Volume IV-4/W4, 2017 4th International GeoAdvances Workshop (14-15 October 2017, Safranbolu, Karabuk, Turkey) [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://isprs-annals.copernicus.org/articles/IV-4-W4/271/2017/isprs-annals-IV-4-W4-271-2017.pdf>
32. Sentinel-2 Land Cover Explorer. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.esri.com/>
33. Karra K. Global land use / land cover with Sentinel 2 and deep learning / K. Karra, C. Kontgis, Z. Statman-Weil, J. C. Mazzariello, M. Mathis, S. P. Brumby // 2021 IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium, Brussels, Belgium. – 2021. – P. 4704-4707. DOI: <https://doi.org/10.1109/IGARSS47720.2021.9553499>
34. European Flood Awareness System. Copernicus Emergency Management Service. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.efas.eu/en>

Authors Contribution: All authors have contributed equally to this work.

References

1. Convention on Wetlands of International Importance especially as Waterfowl Habitat. [Ramsar, Iran, 2.2.1971] (1971). Available at: https://www.ramsar.org/sites/default/files/documents/library/scan_certified_e.pdf (accessed 12.09.2023).
2. UN Environment Program. (2023). Available at: <https://www.unep.org> (accessed 12.09.2023).
3. Ecosystems and human well-being: wetlands and water resources. Synthesis. (2005). Washington, DC: World Resources Institute, 69. Available at: https://www.millenniumassessment.org/documents/MA_WetlandsandWater_Russian.pdf (accessed 12.09.2023).
4. Wise use of wetlands: A conceptual framework for the wise use of wetlands. Ramsar Guidelines for the Wise Use of Wetlands, 3rd edition. (2007). Gland, Switzerland: Ramsar Secretariat, 31. Available at: <https://www.ramsar.org/sites/default/files/documents/library/hbk1rus.pdf> (accessed 12.09.2023).
5. Maes, J. et al. (2018). Mapping and Assessment of Ecosystems and their Services: An analytical framework for ecosystem condition. Luxembourg: Publications Office of the European Union, 78. <https://doi.org/10.2779/055584>
6. Safranov, T.A., Berlinsky, M.A., El Hadri, Y. & Slizhe, M.O. (2022). Assessment of ecosystem services of the north-western part of the Black sea: state, problems and prospects. Visnyk of V. N. Karazin Kharkiv National University, series "Geology. Geography. Ecology", (56), 255-263. <https://doi.org/10.26565/2410-7360-2022-56-19> [in Ukrainian]
7. Lipinsky, V.M. (2003). Climate of Ukraine. Kiev: Raevsky, 343. [in Ukrainian]
8. Semenova, I.G. (2017). Synoptic and climatic conditions of dry land formation in Ukraine: monograph. Kh.: FOP Panov A.M., 236. <https://doi.org/10.3389/feart.2020.00069> [in Ukrainian]

9. Semenova, I. & Slizhe, M. (2020). Synoptic Conditions of Droughts and Dry Winds in the Black Sea Steppe Province Under Recent Decades. *Front. Earth Sci.*, 8:69. <https://doi.org/10.3389/feart.2020.00069>
10. Cheroy, A.I. (2013). Possible climate changes in the Danube delta, southwestern part of Ukraine. *Bulletin of ONU. Ser.: Geographical and geological sciences*, 18, 3(19), 50-55. [https://doi.org/10.18524/2303-9914.2013.3\(19\).184483](https://doi.org/10.18524/2303-9914.2013.3(19).184483)
11. Cheroy, A.I. (2009). Water, sediment runoff and morphological processes in the mouth area of the Danube River: Diss. ... Candidate of Geographical Sciences: 11.00.07. Odessa: ODEKU, 174.
12. Shuisky, Y.D. (1990). The influence of sea-level rise on the natural and cultural resources of the Ukrainian coast. *Changing Climate and the Coast. Vol. 2.* Washington DC, 201-219.
13. Cheroy, A.I., Dyakov, O.A., Zhmud, E.I. et al. (2012). Comprehensive surveys of the sea region of the Chilia Danube delta in 2011-2012. *Ukr. hydrometeorol. Journal*, 11, 24-33. <http://uhmj.odeku.edu.ua/ru/kompleksnye-obsledovaniya-morskogo-kraya-kilijskoj-deltv-dunaya-v-2011-2012-gg/>
14. Arghius, V., Muntean, L.-O., Baci, N., Macicaan, V. & Arghius, C. (2020). Analysis of annual and seasonal air temperature trends in central part of Romania. *Present Environment And Sustainable Development*, 14, 1, 51-61. <https://doi.org/10.15551/pesd2020141004>
15. Dumitrescu, A., Bojariu, R., Birsan, M.V. et al. (2015). Recent climatic changes in Romania from observational data (1961–2013). *Theor Appl Climatol.*, 122, 111-119. <https://doi.org/10.1007/s00704-014-1290-0>
16. Busuioc, A., Boroneant, C., Baci, M. & Dumitrescu, A. (2008). Observed temperature and precipitation variability in Romania. *SEECOF-1*. Available at: <https://meteo.hr/SEECOF08/day2/2-19.pdf> (accessed 12.09.2023)
17. Marushevsky, G.B. & Zharuk, I.S. (2006). Wetlands of Ukraine. *Dovidnik*. Kiev: Black Sea program of Wetlands International, 312. <https://pernatidruzi.org.ua/book.php?bookid=1> [in Ukrainian]
18. Stetsenko, M.P. (1999). Wetlands of Ukraine: [informational materials]. Kyiv: B., 312. [in Ukrainian]
19. Marushevsky, G. (2003). Directory of Azov-Black Sea Coastal Wetlands: Revised and updated. Kyiv: Wetlands International, 235. http://gull-research.org/papers/articles09/directory_of_azov_blacksea_coastal_wetlands.pdf
20. Shelyag-Sosonko, Yu.R. (1999). Biodiversity of the Danube Biosphere Reserve, preservation of regulation. Kyiv: Nauk. opinion, 704. [in Ukrainian]
21. Tytar, V.M., Zhmud, M.E. & Voloshkevich, O.M. (1999). Environmental management of DBZ. Biodiversity of the Danube Biosphere Reserve, conservation and management. Kyiv: "Scientific Opinion", 289-363. [in Ukrainian]
22. Rubel, O.E. (2009). Wetland ecology. Chisinau, 252. https://economy.org.ua/wp-content/uploads/2015/03/045_Rubel-book-final-2009-e-konologiya.pdf
23. Ermakov: a unique environmental laboratory and tourist hope of the Danube Delta. (2018). Available at: <https://ru.bessarabiainform.com/2018/06/vozrozhdeniye-ostrov-ermakov-unikalnaya-ekologicheskaya-laboratoriya-i-turisticheskaya-nadezhda-delta-dunaya/> (accessed 12.09.2023)
24. Vicente-Serrano, S.M. et al. (2010). A multiscalar drought index sensitive to global warming: the standardized precipitation evapotranspiration index. *J. of Climate*, 23, 7, 1696-1718. <https://doi.org/10.1175/2009JCLI2909.1>
25. Vicente-Serrano, S.M. et al. (2010). A new global 0.5° gridded dataset (1901-2006) of a multiscalar drought index: comparison with current drought index datasets based on the Palmer Drought Severity Index. *J. of Hydrometeorology*, 11, 1033-1043. <https://doi.org/10.1175/2010JHM1224.1>
26. SPEI Global Drought Monitor. (2023). Available at: <http://spei.csic.es/index.html> (accessed 12.09.2023)
27. Terrascope project. (2023). Available at: <https://viewer.terrascope.be/> (accessed 12.09.2023)
28. Carlson, T.N. & Ripley, D.A. (1997). On the relation between NDVI, fractional vegetation cover, and leaf area index. *Remote Sensing of Environment*, 62(3), 241-252. [https://doi.org/10.1016/S0034-4257\(97\)00104-1](https://doi.org/10.1016/S0034-4257(97)00104-1)
29. Son, N.T. et al. (2014). A comparative analysis of multitemporal MODIS EVI and NDVI data for large-scale rice yield estimation. *Agricultural and Forest Meteorology*, 197, 52-64. <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2014.06.007>
30. Greben, A.S. & Krasovskaya, I.G. (2013). Analysis of the main methods for predicting yield using space monitoring data, in relation to grain crops of the steppe zone of Ukraine. *Ecological safety and balanced resource consumption*, 1(7), 170-180. <https://ebzr.nung.edu.ua/index.php/ebzr/article/view/280>
31. Kaplan, G. & Avdan U. (2017). Mapping and monitoring Wetlands using Sentinel-2 satellite imagery. *ISPRS Annals of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, Volume IV-4/W4*, 2017 4th International GeoAdvances Workshop (14-15 October 2017, Safranbolu, Karabuk, Turkey). Available at: <https://isprs-annals.com/pernacus.org/articles/IV-4-W4/271/2017/isprs-annals-IV-4-W4-271-2017.pdf> (accessed 12.09.2023)
32. Sentinel-2 Land Cover Explorer. (2023). Available at: <https://www.esri.com/> (accessed 12.09.2023)
33. Karra, K. et al. (2021). Global land use / land cover with Sentinel 2 and deep learning. 2021 IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium, Brussels, Belgium, 4704-4707. <https://doi.org/10.1109/IGARSS47720.2021.9553499>
34. European Flood Awareness System. (2023). Copernicus Emergency Management Service. Available at: <https://www.efas.eu/en> (accessed 12.09.2023)

Вплив фактору зміни клімату на ресурсні (забезпечуючі) екосистемні послуги водно-болотних угідь Нижнього Дунаю

Марія Сліже¹

к. геогр. н., ст. наук. співр.

¹ Одеського державного екологічного університету,
вул. Львівська, 15, м. Одеса, 65016, Україна;

Тамерлан Сафранов¹

д. геол.-мін. н., професор, зав. кафедри екології та охорони довкілля;

Микола Берлінський¹

д. геогр. н., професор, зав. кафедри океанології та морського природокористування;

Юссеф Ель Хадрі¹

PhD, ст. викл. кафедри океанології та морського природокористування

Водно-болотні угіддя виконують багато життєво важливих функцій. На водно-болотних угіддях мешкають численні види птахів, ссавців, рептилій, земноводних, риб і безхребетних. Екологічний характер водно-болотних угідь (ВБУ) – це сукупність компонентів екосистеми, процесів і послуг у той чи інший час. Екосистемні послуги ВБУ розуміються як переваги, які люди отримують від них. Це надання послуг (вода та харчування); регуляторні послуги (регулювання повеней, посух, деградації земель тощо); допоміжні послуги (грунтоутворення, кругообіг поживних речовин, фотосинтез, біорізноманіття); культурні послуги (культурно-розважальні, духовні, релігійні та інші нематеріальні блага). Метою цього дослідження є визначення стану, вразливості та впливу зміни клімату на екосистемні послуги ВБУ «Кілійське гирло». Для визначення періодів посухи в дослідженні використовувався стандартизований індекс евапотранспірації опадів (SPEI) з квітня по жовтень 1980-2023 років. Індекс SPEI розраховано в точці, розташованій у південній частині Дунайського біосферного заповідника. Оцінку стану рослинного покриву проводили на основі аналізу нормалізованого диференційного вегетаційного індексу (NDVI) за період 2017-2023 рр. на двох ділянках (острів Єрмаков та острів Лімба). Для аналізу динаміки ґрунтового покриву на водно-болотній території були використані супутникові знімки Sentinel-2 за період 2017-2021 рр. Аналіз індексу SPEI показав, що протягом досліджуваного періоду спостерігається позитивна статистично значуща лінійна тенденція до збільшення посушливих умов (0,26 / 10 років). У період 1980-2023 рр. протягом вегетаційного періоду на території ВБУ «Кілійське гирло» спостерігається зміна погодних умов у бік посушливості, що становить певну загрозу. Водночас слід зазначити, що унікальний гідрологічний комплекс дельти Дунаю пом'якшує вплив атмосферної посухи на рослинність. Загрозою для прибережних водно-болотних угідь є антропогенна трансформація прибережних природних систем (процеси урбанізації, розширення земель для сільськогосподарських потреб, забруднення ґрунту та поверхневих вод), що може призвести до втрати місць існування живих організмів та погіршення екосистемних послуг.

Ключові слова: екосистемні послуги, водно-болотні угіддя, Нижній Дунай, Дунайський біосферний заповідник, NDVI, SPEI, землекористування, зміна клімату.

Внесок авторів: всі автори зробили рівний внесок у цю роботу

Надійшла 13 вересня 2023 р.
Прийнята 17 листопада 2023 р.

Навантаження біогенними елементами та органічними речовинами річок басейну Дону (суббасейн р. Сіверський Донець)

Ольга Ухань¹

к. геогр. н., зав. лабораторії регіональних гідрохімічних досліджень відділу гідрохімії

¹ Українського гідрометеорологічного інституту ДСНС України та НАН України,

пр. Науки, 37, Київ, 03028, Україна,

e-mail: ukhan_o@ukr.net,  <https://orcid.org/0000-0002-4856-7175>

Наталія Осадча¹

д. геогр. н., зав. відділу гідрохімії,

e-mail: nosad@uhmi.org.ua,  <https://orcid.org/0000-0001-6215-3246>

Стаття присвячена визначенню особливостей навантаження біогенними елементами та органічними речовинами річок басейну Дону (суббасейн р. Сіверський Донець). Основну увагу приділено емісії нітрогену, фосфору та органічних речовин, що надходять зі стічними водами комунальних, промислових підприємств та населених пунктів. Джерелом інформації про відведення забруднюючих речовин від комунальних та промислових підприємств був державний реєстр 2ТП-Водгосп. Паралельно навантаження біогенними елементами та органічними речовинами визначали розрахунковим шляхом на підставі коефіцієнтів про надходження забруднюючих речовин від 1 людини, чисельності населення та ступеня утилізації забруднюючих речовин очисними спорудами. Аналіз міських поселень показав, що всього у населених пунктах (з градацією >100000 чол.) досліджуваної території басейну проживає 48% населення, з них 22% проживає у м. Харків. Ступінь підключення населених пунктів до мережі каналізаційних систем варіює в межах 40-70%, метод очистки стічних вод – переважно біологічний. Показано, що основне навантаження біогенними елементами та органічними сполуками (за показниками ХСК та БСК₅) спричиняють міста з еквівалентом населення (ЕН) більше 100 тис. чол. Встановлено, що найбільше забруднення річок органічними речовинами та біогенними елементами від населення підключеного до каналізаційних систем характерне для р. Уди (переважно за рахунок впливу м. Харків). Кількість органічних речовин, які надходять до річок у складі промислових стічних вод також є найбільшою для р. Уди. Показано, що найбільше забруднення річок біогенними елементами спричиняється стічними водами промислових підприємств у межах суббасейну р. Казенний Торець (ПрАТ НКМЗ, м. Краматорськ – найбільший забруднювач) та р. Сіверський Донець (ПАТ Северодонецьке об'єднання "Азот") безпосередньо. Ключову роль у забрудненні органічними та поживними речовинами від населення невідключеного до каналізації відіграють суббасейні річки Велика Кам'янка, Казенний Торець, Уди, Айдар, Лугань, Оскол та р. Сіверський Донець безпосередньо.

Ключові слова: біогенні елементи, органічні речовини, населення, промислові підприємства, точкові джерела.

Як цитувати: Ухань Ольга. Навантаження біогенними елементами та органічними речовинами річок басейну Дону (суббасейн р. Сіверський Донець) / Ольга Ухань, Наталія Осадча // Вісник Харківського національного університету імені В. Н. Каразіна, серія «Геологія. Географія. Екологія», 2023. – Вип. 59. – С. 320-328. <https://doi.org/10.26565/2410-7360-2023-59-24>

In cites: Ukhan Olha, Osadcha Nataliia (2023). Load of nutrients and organic substances of the Don River basin (Severskyi Donets sub-basin). Visnyk of V. N. Karazin Kharkiv National University, series "Geology. Geography. Ecology", (59), 320-328. <https://doi.org/10.26565/2410-7360-2023-59-24> [in Ukrainian]

Постановка проблеми. Одним з пріоритетних завдань сучасної стратегії охорони водних ресурсів України є розроблення Плану управління річковим басейном (ПУРБ). Важливим етапом під час його підготовки є аналіз основних антропогенних навантажень та їхніх впливів [8, 9, 12]. Господарська діяльність, що ведеться в межах водозборів річок, є одним з ключових чинників впливу на загальний стан водних екосистем. Рівень такого впливу залежить від багатьох чинників, серед яких вагому роль відіграють кількість забруднюючих речовин та джерела їхнього надходження. Останні поділяються на точкові (стаціонарні) джерела та дифузні (розподілені). До перших належать прямі водовипуски стічних вод населених пунктів та промислових підприємств, до других – вимивання з водозбірної території під час випадіння атмосферних опадів [2, 4].

Водозабезпечення східної частини України

відбувається переважно за рахунок поверхневих та підземних вод річкового басейну Сіверського Дінця, який належить до складних водних об'єктів з різноманітними природними умовами [1, 13]. Водні ресурси р. Сіверський Донець слугують для забезпечення питного та промислового водопостачання, потреб сільського господарства. Річки басейну мають істотне рекреаційне значення [12, 15]. В результаті здійснення господарської діяльності до річкової мережі надходять стічні води підприємств промислового, комунального та сільського господарств, шахтні води, які істотним чином порушують природну рівновагу процесів у водній екосистемі. Із неочищеними чи недостатньо очищеними стічними водами населених пунктів надходить велика кількість органічних речовин, біогенних елементів та мікробів, що створює потенційний ризик для поверхневих вод.

Серед компонентів хімічного складу вод, які

надходять до водних об'єктів від точкових та розподільних джерел, найбільшу увагу привертають органічні речовини та біогенні елементи.

Біогенні елементи належать до ключових поживних речовин, які стимулюють розвиток автотрофних гідробіонтів і забезпечують підтримання у воді первинної продукції та накопичення органічної речовини. Підвищений вміст біогенних елементів є одним із важливих чинників, що зумовлює погіршення екологічного стану поверхневих вод. Зростання їхнього вмісту у воді призводить до неконтрольованого розвитку вищої водної рослинності та водоростей, наслідком чого є небажане порушення балансу організмів у водному об'єкті та зниження якості води [14, 16]. Навантаження вод біогенними елементами зумовлене переважно сполуками нітрогену та фосфору, інші біогенні елементи значної ролі не відіграють.

Органічне забруднення поверхневих вод в основному полягає у надходженні продуктів життєдіяльності живих організмів – людей чи тварин, тобто в основному зумовлено міськими агломераціями та сільськогосподарськими фермами. Основна небезпека надходження органічних речовин полягає у використанні великої кількості кисню на її окиснення. В результаті, у забруднених водах виникають умови дефіциту кисню іноді до утворення гіпоксії, що призводить до значимих порушень біологічних угруповань та до загибелі окремих видів [9-11].

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Проблематиці забруднення поверхневих вод України біогенними елементами та органічними речовинами присвячено багато робіт видатних науковців. Питання особливостей стоку хімічних елементів у річкових водах України широко висвітлено в роботах українських науковців Закревського Д.В., Пелешенка В.І., Хільчевського В.К. Особливостям формування річкового стоку біогенних елементів присвячено роботи різних років Нахшиної Є.П., Сніжка С.І., Осадчої Н.М. Дослідженням з вивчення антропогенної складової річкового стоку біогенних елементів присвячено роботи [7, 9, 11, 14].

Дослідження впливу точкових та розподілених джерел та особливості навантаження забруднюючими речовинами поверхневих водних об'єктів наведено у роботах [2-3, 5, 18]. Глибоке та комплексне вивчення питання навантаження поверхневих вод від розподілених та точкових джерел в Україні протягом останніх 10 років, на жаль, не проводилося. Стисло оцінку навантаження поверхневих вод біогенними та органічними речовинами безпосередньо басейну р. Сіверський Донець за основними джерелами надходження представлено у [12]. Більш детальні та розширені результати розрахунків навантаження

біогенними елементами, органічними речовинами та небезпечними забруднюючими речовинами було отримано науковцями Українського гідрометеорологічного інституту (УкргМІ) та співробітниками Державного агентства водних ресурсів України в рамках проекту Координатора проектів ОБСЄ в Україні для басейнів р. Сіверський Донець та р. Дністер. Результати цих досліджень частково покладено в основу представленої статті.

Одним із вагомих результатів у сфері вивчення надходження поживних речовин до поверхневих водних об'єктів стало розроблення методики оцінки їх навантаження біогенними елементами [6].

Формулювання мети статті. Контроль за вмістом біогенних елементів та органічних речовин у воді є одним із важливих чинників для забезпечення нормального функціонування водних екосистем та підтримання якості вод в цілому. Зважаючи на складність формування хімічного складу та беручи до уваги багатогранність використання вод у господарській діяльності, визначення особливостей навантаження річок басейну Сіверського Дінця біогенними елементами та органічними речовинами визначило мету нашого дослідження.

Матеріали та методи досліджень. Джерелом інформації про відведення забруднюючих речовин від комунальних та промислових підприємств був державний реєстр 2ТП-Водгосп за 2019 р., який містить дані про обсяги відведеної стічної води та окремих речовин у їхньому складі від 59 водокористувачів житлово-комунальної сфери та 122 підприємствах різних галузей промисловості України в межах басейну р. Сіверський Донець. Вказані водокористувачі відводили стічні води до поверхневих вод (саме ці дані було використано у представленій роботі), підземних горизонтів та на рельєф.

Статистичні дані щодо кількості населення та населених пунктів, розподілу за територією басейну було запозичено з банку даних статистики населення України Державної служби статистики України та Інституту демографії та соціальних досліджень імені М.В. Птухи НАН України (http://database.ukrcensus.gov.ua/MULT/Dialog/statfile_c.asp). Крім цих даних, кількість сільського населення, що проживає в межах субводосборів досліджуваного басейну, встановлювали з відкритого джерела OpenStreetMap (OSM).

Дані про надходження органічних і біогенних речовин від населених пунктів, окрім даних звітності 2ТП-Водгосп, паралельно визначалися розрахунковим шляхом на підставі коефіцієнтів про надходження забруднюючих речовин від 1 людини, чисельності населення та ступеня утилі-

зації забруднюючих речовин очисними спорудами. У разі значних розходжень, перевагу надавали розрахунковим даним. Алгоритм розрахунків надходження поживних речовин від населення підключеного до КОС полягає у послідовності наступних дій:

1. Визначення ступеню підключення населення до КОС.
2. Розрахунок надходження біогенних елементів та органічних речовин для підключеного населення.
3. Заключні розрахунки після утримання очисними спорудами в залежності від методу очищення.

Реєстр про ступінь підключення населення до каналізації в Україні не ведеться. Інформацію про ступінь підключення населення до окремих КОС запозичено з сайту The International Benchmarking Network (https://database.ib-net.org/search_countries).

Для розрахунку органічних речовин скористалися коефіцієнтами їх надходження за рахунок життєдіяльності 1 особи. У Європейських країнах генерація навантаження від населення розраховується за наступними показниками: БСК₅ - 60 г/добу на особу, ХСК - 110 г/добу на особу. Надходження біогенних елементів розраховувалося за коефіцієнтами, скоригованими згідно якості харчування пострадянських країн: для N_{total} - 7,3 г/доба ·чол, для P_{total} - 2,05 г/доба ·чол.[17, 19].

У басейні Сіверського Донця 97% загального обсягу стічних вод очищається біологічним методом, лише досить незначна частка – механічним

методом. Для розрахунків утримання поживних речовин каналізаційними системами використовувалися наступні коефіцієнти: БСК₅ – 0,7 ХСК – 0,75, N_{total} – 0,35, P_{total} – 0,2 [20, 21].

Особливості розрахунку надходження біогенних елементів та органічних речовин від сільського населення полягає у визначенні їх надходження після утримання ґрунтами. Нітроген і фосфор, що надійшов у ґрунт зі стічними водами, утримується в ній за рахунок дії різноманітних процесів. В цілому, їх спільна дія оцінюється за величиною коефіцієнта утримання, що становить 0,8 для нітрогену та 0,9 для фосфору. Для органічних речовин значення коефіцієнту є єдиним – 0,7 [17, 19].

Виклад основного матеріалу дослідження. Серед *точкових джерел* розглядали надходження біогенних елементів та органічних речовин у складі комунальних стічних вод населення, підключеного до каналізаційних систем (КОС) та у складі стічних вод промислових підприємств.

Населення, підключене до каналізаційних систем. Аналіз міських поселень показав, що досліджуваний район басейну Сіверського Дінця належить до територій з високим ступенем урбанізації. Всього у населених пунктах, що відносяться до градації >100 тис. осіб, проживає 48% населення, з них 22% проживає у м. Харків. Розподіл за різними типами населених пунктів представлено у таблиці 1, з якої слідує, що у великих містах, до яких віднесли поселення з чисельністю понад 10 тис. осіб, сумарно проживає 4,8 млн. жителів.

Таблиця 1 / Table 1

Розподіл населення у басейні р. Сіверський Донець між різними типами населених пунктів / Distribution of the population in the Siverskyi Donets River basin among different types of settlements

Тип населеного пункту	Кількість у басейні	Всього проживає, тис. осіб	% від загального населення у басейні
>1 млн. чол	1	1451028	22,5
100 тис. – 1 млн. чол.	8	1643348	25,5
10-100 тис. чол	60	1702058	26,4
2-10 тис. чол	189	849930	13,1
< 2 тис. чол.	2148	797483	12,3

Проаналізовані дані щодо ступеня підключення населення до каналізаційних систем очищення свідчать, що він значно варіює залежно від кількості населення. Для агломерацій понад 100 тис. осіб. він у середньому складає 69%; для міст 10-100 тис. осіб. – 54% і для невеликих міст (до 10 тис. чол.) – 40%. Також слід зауважити, що у басейні Сіверського Донця існує низка міських населених пунктів 2 - 10 тис. (всього 170), у яких

очисні споруди відсутні взагалі, а відведення стічних вод відбувається шляхом накопичення у відстійниках.

За проведеними нами розрахунками загальне навантаження від міського населення підключеного до КОС становить: для органічних речовин – 15169 т/рік за величиною БСК₅ та 21489 т/рік за показником ХСК; для біогенних елементів – 4798 т/рік для нітрогену та 1658 т/рік для фосфору.

Розподіл забруднення біогенними елементами та органічними речовинами за різними категоріями міст представлено на рис. 1.

Як видно з рисунку, основне навантаження спричиняють міста з еквівалентом населення

(ЕН) більше 100 тис. Перелік найбільших міст в басейні Сіверського Донця та кількісне надходження органічних речовин та біогенних елементів (розраховане) безпосередньо від цієї категорії населених пунктів представлено у табл. 2.

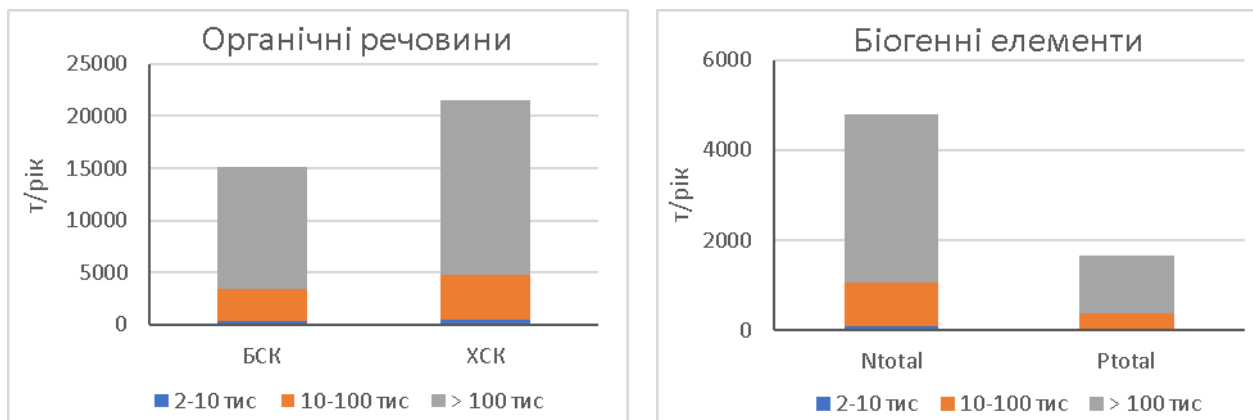


Рис. 1. Навантаження біогенними елементами та органічними речовинами від міських агломерацій різного типу /

Fig. 1. Load of nutrients and organic substances from different types of urban agglomerations

Таблиця 2 / Table 2

Населені пункти в басейні Сіверського Дінця з ЕН>100 тис. осіб /
Settlements in the Siverskyi Donets basin with a population of more than 100ths people

Місто	Населення	Водний об'єкт, до якого надходять стічні води	Тип очищення стічних вод	Загальне навантаження, т/рік			
				БСК ₅	ХСК	N _{total}	P _{total}
Харків	1451028	Тетліга, Попільна, Уди, Рогань, Лопань	біологічне	5521,3	7821,9	1746,6	603,6
Луганськ	425848	Сіверський Донець, Лугань	біологічне	1620,4	2295,5	512,6	177,1
Горлівка	256714	Балка Широка, Балка Залізна, Бахмутка	біологічне	976,8	1383,8	309,0	106,8
Краматорськ	164283	Казенний Торець	біологічне	625,1	885,5	197,7	68,3
Слов'янськ	117445	Сіверський Донець, Казенний Торець	біологічне	446,8	633,1	141,3	48,8
Алчевськ	111360	Сіверський Донець, Лугань	біологічне	423,7	600,3	134,0	46,3
Сєвєро-донецьк	109466	Сіверський Донець	біологічне	416,5	590,0	131,7	45,5
Лисичанськ	104314	Сіверський Донець, Біленька	біологічне	396,9	562,3	125,5	43,4
Макіївка	353918	Б. Широка, Казенний Торець	біологічне	1346,7	1907,8	426,0	147,2
ВСЬОГО	3094376			11774,4	16680,5	3724,6	1287,3

За проведеними нами розрахунками, від зазначених великих міст до поверхневих вод Сіверського Дінця надійшло органічних речовин: 11774,4 т за БСК₅ та 16680,5 т за ХСК; біогенних елементів – 3724,6 т загального нітрогену та 1287

т загального фосфору. Найбільше надходження зазначених речовин - до 46% від загальної кількості для цієї категорії міст - відбувається за рахунок м. Харків, а водні масиви річок Уди, Тетліга, Попільна, Рогань та Лопань відчувають, відповідно,

найбільше навантаження серед водних масивів басейну.

Промислові стічні води. Аналіз надходження органічних речовин з промисловими стічними водами, за звітністю 2ТП-Водгосп, показав, що найбільше – до 10 тис. т/рік – їх надходить за даними показника ХСК.

За територіальним розподілом близько 73% загального навантаження органічними речовинами надійшло до річок суббасейну р. Уди, що приймає зворотні (стічні) води промислових підприємств в межах Харківської агломерації, яка за чисельністю населення є другою в Україні. До річок суббасейну р. Казенний Торець та безпосередньо р. Сіверський Донець надійшло відповідно 12% та 11% від загальної емісії органічних речовин. Тобто, 96% органічного забруднення поверхневих вод басейну Сіверського Дінця від промислових підприємств генерується саме у вказаних суббасейнах.

Щодо надходження біогенних елементів з промисловими стічними водами, то слід зауважити, що на даний час реєстр 2ТП-Водгосп містить інформацію лише про відведення неорганічних сполук нітрогену та фосфору. Згідно проаналізованих даних, загальне навантаження поверхневих вод біогенними елементами становить 166,5 т /рік сполук нітрогену та 18 т/рік сполук фосфору (табл. 3). За даними державного обліку водокористування, звітністю за формою 2ТП-Водгосп (річна) найбільшу кількість біогенних елементів відводили промислові підприємства до поверхневих вод суббасейну р. Казенний Торець (ПрАТ НКМЗ, м. Краматорськ, як найбільший забруднювач) та р. Сіверський Донець (ПАТ Сєвєродонецьке об'єднання "Азот") безпосередньо.

Розрахунок відносної частки точкових джерел у загальній емісії сполук нітрогену показав, що найбільший їх вплив спостерігається у суббасейні р. Уди, де роль зазначеного чинника перевищує 55%. Для річок Біленька та Кундрюча надходження стічних вод від міських агломерацій досягає відповідно 39% та 35%; для річок Борова, Кам'янка та Луганка вплив точкових джерел сягає 20%. У інших суббасейнах Сіверського Дінця істотного впливу точкових джерел не виявлено (рис. 2).

Застосування фосфоровмісних миючих засобів для господарсько-побутових потреб призводить до накопичення фосфатів у стічних водах. Діючий нині в Україні мікробіальний спосіб очищення стічних вод дозволяє вилучати лише 20% сполук фосфору, решта надходить у водні об'єкти. У прісних водах фосфор слугує одним із основних чинників розвитку процесу евтрофікації [3]. Відносна роль точкових джерел у формуванні стоку фосфору у межах окремих суббасейнів Сіверського Донця представлена на рис. 3.

Найбільший внесок – від 60 до 70% характерний для 4 суббасейнів Сіверського Донця – річок Айдар, Уди, Казенний Торець та Лугань за рахунок того, що вказані річки є приймачами стічних вод основних міських агломерацій східного регіону України.

Основними джерелами надходження органічних сполук від *дифузних джерел* є домогосподарства, не підключені до каналізаційних мереж. Це, передусім, сільське населення та частина міського, оскільки в Україні є велика кількість міст повністю необлаштованих системами збору та відведення стічних вод. Надалі цю групу населення будемо сумарно характеризувати як сільське.

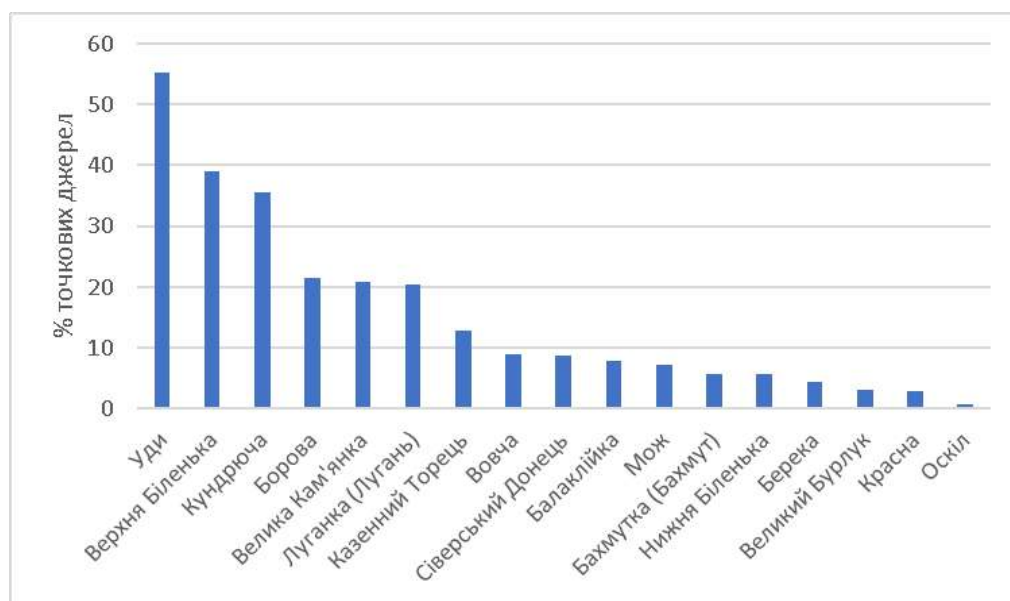


Рис. 2. Частка точкових джерел у формуванні емісії нітрогену у окремих суббасейнах Сіверського Дінця /

Fig. 2. The share of point sources in the formation of nitrogen emissions in the Siverskyi Donets sub-basins

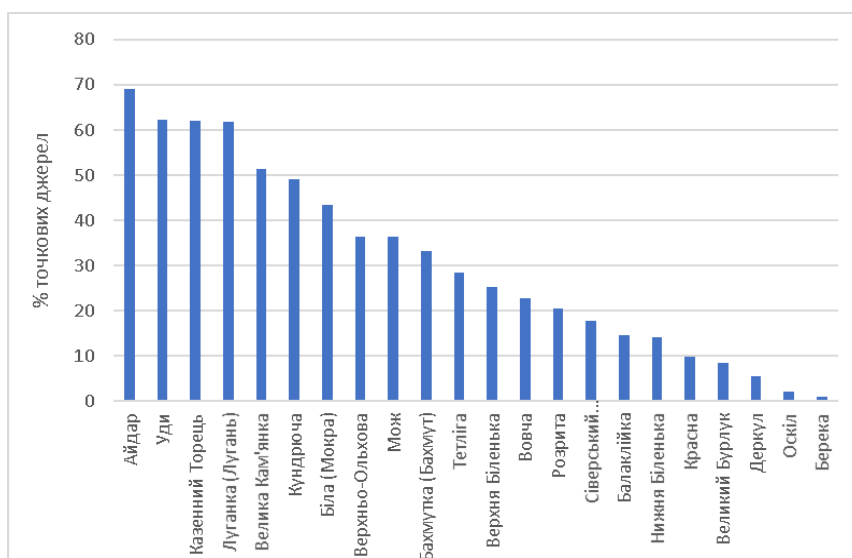


Рис. 3. Частка точкових джерел у формуванні емісії фосфору у окремих суббасейнах Сіверського Дінця
Fig. 3. The share of point sources in the formation of phosphorus emissions in the Siverskyi Donets sub-basins

Результати розрахунків свідчать, що за рік від домогосподарств невідключених до КОС до басейну р. Сіверський Донець надходить органічних речовин у кількості 27584 т у вимірі БСК₅ та 46893 т за ХСК, що значно перевищує сумарне надходження від точкових джерел. Причиною цього є невисокий рівень підключення населення до очисних споруд. У сільських населених пунктах та невеликих містах стічні води відводяться у відстійники, облаштовані у землі, звідки забруднюючі речовини легко потрапляють у підземні води і транспортуються з ними у річкове русло. Треба зазначити, що мікробіальні та сорбційні процеси у ґрунтовому покриві сприяють утилізації 70% органічних речовин. Разом з тим, значна чисель-

ність населених пунктів не облаштованих системами збору та очищення стічних вод призводить до забруднення поверхневих вод. Обсяги стічних вод, які вивозяться спеціалізованим транспортом, в Україні не обліковуються.

Аналіз отриманих даних свідчить, що ключову роль у забрудненні органічними речовинами басейну р. Сіверський Донець від населення невідключеного до каналізації відіграють наступні 6 суббасейнів: Велика Кам'янка, Казенний Торець, Сіверський Донець, Уди, Айдар (рис. 4) У межах зазначених суббасейнів сукупно формується 59% навантаження органічними речовинами у басейні Сіверського Дінця.

Що стосується емісії біогенних елементів, то

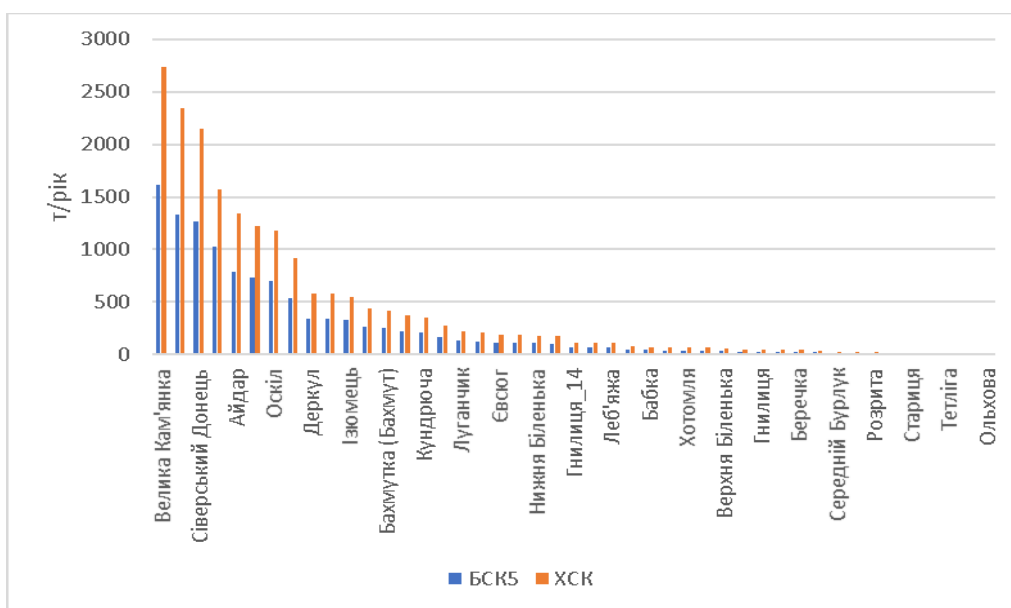


Рис. 4. Просторовий розподіл забруднення поверхневих вод басейну р. Сіверський Донець органічними речовинами від сільського населення /

Fig. 4. Spatial distribution of surface water pollution in the Siverskyi Donets River basin by organic matter from the rural populations

відповідно до проведених розрахунків всього за рік від сільського населення у басейні Сіверського Донця надходить 2684 т сполук нітрогену загального та 376 т фосфору загального. Щодо територіального розподілу, то найбільше надходження біогенних елементів характерне для суббасейнів річок Лугань, Казенний Торець, Уди, Айдар, Оскол та р. Сіверський Донець безпосередньо. В межах зазначених суббасейнів формується 79% навантаження сполуками нітрогену та 65% сполуками фосфору.

Висновки. Основне навантаження біогенними елементами та органічними речовинами (за показниками ХСК та БСК₅) спричиняють міста з еквівалентом населення (ЕН) більше 100 тис. осіб. Найбільше забруднення поверхневих вод вказаними сполуками від населення підключеного до КОС характерне для річок суббасейну р. Уди, переважно за рахунок впливу м. Харків.

Кількість органічних речовин, які надходять у складі промислових стічних вод також є найбільшою для суббасейну р. Уди.

Серед промислових підприємств в межах басейну р. Сіверський Донець найбільшу кількість біогенних елементів відводили ПрАТ НКМЗ, м. Краматорськ до річок суббасейну р. Казенний Торець та ПАТ Северодонецьке об'єднання "Азот" до р. Сіверський Донець безпосередньо.

Ключову роль у забрудненні органічними речовинами басейну р. Сіверський Донець від населення невідключеного до каналізації відіграють 5 суббасейнів: Велика Кам'янка, Казенний Торець, Сіверський Донець, Уди, Айдар, у межах яких сукупно формується 59% від загального навантаження ОР. Найбільше надходження сполук нітрогену та фосфору характерне для суббасейнів річок Лугань, Казенний Торець, Уди, Айдар, Оскол та р. Сіверський Донець безпосередньо.

Список використаної літератури

1. Клименко В.Г. Гідрографічна характеристика річок Харківської області: Методичні вказівки [Текст] / В.Г. Клименко, О.В. Локтіонова // Харків: ХНУ імені В. Н. Каразіна, 2011. – 48 с.
2. Кондратьев С.А. Формирование внешней нагрузки на водоемы: проблемы моделирования [Текст] / С.А. Кондратьев. – СПб: «Наука», 2007. – 253 с.
3. Лузовіцька Ю.А. Аналіз чинників формування біогенного складу води р. Десна за допомогою сумарних та різницевої інтегральних кривих [Текст] / Ю.А. Лузовіцька, Н.М. Осадча, В.А. Артеменко // Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія. – 2017. – Т.1. – Вип. 44. – С. 85–94.
4. Лузовіцька Ю. А. Особливості дифузного надходження біогенних речовин у водні екосистеми [Текст] / Ю.А. Лузовіцька, Н.М. Осадча // Научный журнал «Геополитика и Экогеодинамика регионов». – Том 10.– Вып. 1. – Симферополь, 2014 г. – С. 157–161
5. Михайлов С.А. Диффузное загрязнение водных экосистем. Методы оценки и математические модели [Текст] / С.А. Михайлов. – СО РАН, ГПНТБ им-т водных и экологических проблем Барнаул, «День», 2000. – 130 с.
6. Осадча Н.М. Методика оцінки навантаження поверхневих водних об'єктів біогенними елементами [Текст] / Н.М. Осадча, Ю.А. Лузовіцька, О.О. Ухань та ін. // Український географічний журнал, 2022. – 4 (120). – С. 37–48. <https://doi.org/10.15407/ugz2022.04>
7. Осадча Н. Доповнення розділу ПУРБ щодо аналізу антропогенних впливів на якісний стан поверхневих вод від точкових джерел. Оцінка дозволів на спецоводокористування [Текст] / Н. Осадча, О. Ухань, Ю. Лузовіцька та ін. // Звіт. Підготовлено на замовлення Представництва ЮНІСЕФ в Україні. К., 2021.
8. Осадчий В.І. Теорія та практика досліджень хімічного складу поверхневих вод України в умовах впливу природних та антропогенних чинників [Текст] / В.І. Осадчий, Н.М. Осадча, Ю.Б. Набиванець та ін. // Проблеми гідрології, гідрохімії, гідроекології. Монографія. – К.: Ніка-центр, 2019. – С. 3–5. https://uhmi.org.ua/conf/conf_7_2018/tezy_conf_7_2018.pdf
9. Осадчий В.І. Вплив урбанізованих територій на формування хімічного складу поверхневих вод басейну Дніпра [Текст] / В.І. Осадчий, Н.М. Осадча, Н.М. Мостова // Наук. праці УкрНДГМІ. – 2002. – Вип.250. – С. 242–261. https://uhmi.org.ua/pub/np/250/21_Mostova.pdf
10. Osadchyy V. Processes determining surface water chemistry [Text] / V. Osadchyy, B. Nabyvanets, P. Linnik et al // Springer International Publishing, Switzerland, 2016. <https://link.springer.com/book/10.1007%2F978-3-319-42159-9>
11. Романенко В.Д. Идентификация и оценка источников загрязнения водных объектов («горячих точек») в бассейне Днепра на территории Украины [Текст] / В.Д. Романенко, С.А., Афанасьев, А.Г. Васенко та ін. / К.: Изд. ПолиграфКонсалтинг, 2003. – 282 с.
12. Сіверський Донець: Водний та екологічний атлас [Текст] / Під ред. А. В. Гриценко, О. Г. Васенко / Х.: ВД «Райдер», 2006. – 188 с. <http://repositsc.nuczu.edu.ua/handle/123456789/5134>
13. Ухань О.О. Особливості формування хімічного складу та якості поверхневих вод басейну р. Сіверський Донець. Автореферат дис. канд. геогр. наук [Текст] / О.О. Ухань. – Київ, 2013. – 22 с.
14. Ухань О.О. Вплив природних та антропогенних факторів на формування режиму біогенних елементів у поверхневих водах басейну Сіверського Дінця [Текст] / О.О. Ухань, В.І. Осадчий // Наук. пр. УкрНДГМІ, 2011. – Вип. 261. – С. 163–178. https://uhmi.org.ua/pub/np/261/Ukhan_Osadchyy_261.pdf

15. Ухань О.О. Оцінка емісії біогенних елементів та органічних речовин у поверхневій воді басейну р. Сіверський Донець від дифузних джерел [Текст] / О.О. Ухань, В.М. Чехній, О.Г. Голубцов // Проблеми гідрології, гідрохімії, гідроекології. Монографія. – К.: Ніка-центр, 2019. – С. 113–114 https://uhmi.org.ua/conf/conf_7_2018/tezy_conf_7_2018.pdf
16. Хрисанов Н.И. Управление эвтрофированием водоемов [Текст]. Монография / Н.И. Хрисанов, Г.К. Осипов // СПб: Гидрометеоиздат, 1993. – 245 с.
17. Behrendt, H., Nutrient emissions into river basins of Germany [Text] / H. Behrendt, P. Huber, M. Kornmilch et al // UBA-Texte 23/00, 2000. – 266 p.
18. Krenzel Fabian. Challenges for transboundary river management in Eastern Europe—Three case studies [Text] / Krenzel F., Karthe D., Reeh T., Bernhofer C. // Die Erde, 2018. – 149(2–3). – P. 157–172.
19. Pilegaard K. Factors controlling regional differences in forest soil emission of nitrogen oxides (NO and N₂O) / K. Pilegaard, U. Skiba, P. Ambus, C. Beier et al // Biogeosciences, 2006. – 3. – P. 651–661.
20. Pöthig, R. A universal method to assess the potential of phosphorus loss from soil to aquatic ecosystems / R. Pöthig, H. Behrendt, D. Opitz, G. Furrer // Environmental Science and Pollution Research, 2010. – 17(2). – P. 497–504.
21. Venohr, M., Modellierung von Einträgen, Retention und Frachten in Flusssystemen mit MONERIS / M. Venohr, H. Behrendt, J. Hirt, D. Hofmann et al. // Teil III, 2008. – Nährstoffe – Modellergebnisse – Schriftenreihe SWW. – 128. – P. 87–98.

Внесок авторів: всі автори зробили рівний внесок у цю роботу

Load of nutrients and organic substances of the Don River basin (Severskiy Donets sub-basin)

Olha Ukhan¹

PhD (Geography), Head of the Regional Hydrochemical Researches Laboratory,
Hydrochemistry Department,

¹ Ukrainian Hydrometeorological Institute of the State Emergency Service of Ukraine
and the National Academy of Sciences of Ukraine,
37 Nauki Av., Kyiv, 03028, Ukraine;

Nataliia Osadcha¹

DSc (Geography), Head of the Hydrochemistry Department

Formulation of the problem. The main danger of organic substances is the use of large amounts of oxygen for its oxidation. As a result, there are conditions of oxygen deficiency in polluted water sometimes to the formation of hypoxia. It leads to significant violations of biological groups and the death of certain species. The increase of nutrients leads to the uncontrolled development of higher aquatic plants and algae. It caused to undesirable imbalance of organisms in the water body and to decrease in water quality. So, control over the content of nutrients and organic substances in water is one of the important factors to ensure the proper functioning of aquatic ecosystems and maintain water quality.

The Severskiy Donets river basin is a quite difficult water object with a variety of natural conditions. Water resources of the Severskiy Donets River serve to provide drinking and industrial water supply, agricultural needs and recreation function.

Aim of the research is to determine the peculiarities of loading rivers of the Severskiy Donets basin with nutrients and organic substances.

Methods. For the purpose of research, the state register 2TP-Vodhosp was used. It contains information about removal of pollutants from utilities and industrial enterprises. Statistical data about the number of population and settlements, distribution by the territory of the basin were borrowed from the database of the State Statistics Service of Ukraine and the Institute of Demography and Social Research.

Scientific novelty of the work is that for the first time the loading of nutrients and organic substances for all first-order tributaries in the Severskiy Donets basin was calculated.

Practical value. Analys of the main anthropogenic loads in the Severskiy Donets river basin and their impacts can be used for composition of the River Basin Management Plan as an important component. It may serve as a basis for the development of measures for surface water bodies and the river basin as a whole in order to achieve defined environmental goals.

Results. The main load of nutrients and organic compounds is caused by cities with a population equivalent (PE) more than 100 thousand people.

The rivers of the Uda sub-basin are the most polluted by these compounds (as a part of municipal sewage) mainly due to the influence of Kharkiv city. The amount of organic matter that enters with the industrial wastewater is also the largest for the Uda sub-basin. Among the industrial enterprises within the Severskiy Donets basin, the largest number of nutrients was diverted by PJSC NKMZ in Kramatorsk city to the rivers of the Kazenny Torets sub-basin and PJSC Severodonetsk Association "Azot" directly to the Severskiy Donets River. The main role in organic pollution from the rural

population is played by 5 sub-basins: Velyka Kamyanka, Kazenny Torets, Severskyi Donets, Udy, Aidar. In general, they form 59% of the total organic substances load. The largest inflow of nitrogen and phosphorus compounds is observed to the sub-basins of the rivers Luhan, Kazennyi Torets, Udy, Aidar, Oskol and the Severskyi Donets.

Keywords: nutrients, organic substances, population, industrial enterprises, point sources.

References

1. Klimenko V.G., Loktionova O.V. (2011). *Hydrographic characteristics of the Kharkiv region rivers: Methodical instructions*. Kharkiv, 48. [in Ukrainian].
2. Kondratiev S.A. (2007). *Formation of external load on reservoirs: problems of modeling*. S-Pb, 253.
3. Luzovitska Y.A., Osadcha N.M., Artemenko V.A. (2017). *Analysis of factors of formation of nutrient composition of Desna river water by means of total and difference integral curves*. *Hydrology, hydrochemistry and hydroecology*. Kyiv, 44, 85-94. [in Ukrainian].
4. Luzovitska Y.A., Osadcha N.M. (2014). *Peculiarities of diffuse inflow of nutrients into aquatic ecosystems*. *Geopolitics and Ecogeodynamics of Regions*. Sympheropol, 10 (1), 157-161. [in Ukrainian].
5. Mikhailov S.A. (2000). *Diffuse pollution of aquatic ecosystems. Evaluation methods and mathematical models*. Bar-naul, 130.
6. Osadcha N.M., Luzovitska Y.A., Ukhan O.O., Biletska S.V., Osipov V.V., Bonchkovskiy A.S., Nabyvanets Y.B., Osadchy V.I. (2022) *Methodology for assessing the load of surface water bodies with nutrients*. *Ukrainian Geographical Journal*, 2022. 4 (120). C.37-48. <https://doi.org/10.15407/ugz2022.04>
7. Osadcha N, Ukhan O, Luzovitska Y, Osypov V, Klebanov D, Nabyvanets Y. (2021). *Addition to the RBMP section on the analysis of anthropogenic impacts on the quality of surface water from point sources. Assessment of permits for special water use*. Prepared to order by the UNICEF Representative Office in Ukraine. K, 2021.
8. Osadchy V.I., Osadcha N.M., Nabyvanets Y.B et (2019). *Theory and practice of research of chemical composition of surface waters of Ukraine in the conditions of influence of natural and anthropogenic factors*. Monograph. Kyiv, 3-5. https://uhmi.org.ua/conf/conf_7_2018/tezy_conf_7_2018.pdf [in Ukrainian].
9. Osadchy V.I., Osadcha N.M., Mostova N.M. (2002). *Influence of urbanized territories on the formation of the chemical composition of surface waters of the Dnipro basin*. *Science works of UHMI*. Kyiv, 250, 242-261. https://uhmi.org.ua/pub/np/250/21_Mostova.pdf [in Ukrainian].
10. Osadchy V., Nabyvanets B., Linnik P., Osadcha N., Nabyvanets Yu. (2016). *Processes determining surface water chemistry*. Switzerland.. <https://link.springer.com/book/10.1007%2F978-3-319-42159-9>
11. Romanenko V.D., Afanasyev S.A., Vasenko A.G., Osadchy V.I., Andreichenko Y.I., Nabivanets Yu.B. (2003). *Identification and assessment of sources of pollution of water bodies ("hot spots") in the Dnipro basin in Ukraine*. Kyiv, 282.
12. *Seversky Donets: Water and Environmental Atlas* (2006). Gritsenko A.V., Vasenko O.G. (ed). Kharkiv, 188. <http://repositsc.nuczu.edu.ua/handle/123456789/5134> [in Ukrainian].
13. Ukhan O.O. (2013). *Features of formation of chemical composition and quality of surface waters of the Seversky Donets basin*. Candidate's thesis. Kyiv, 22. [in Ukrainian].
14. Ukhan O.O., Osadchy V.I. (2011). *Influence of natural and anthropogenic factors on the formation of the regime of nutrients in the surface waters of the Seversky Donets basin*. *Science works of UHMI*. Kyiv, 261, 163–178. https://uhmi.org.ua/pub/np/261/Ukhan_Osadchy_261.pdf [in Ukrainian].
15. Ukhan O.O., Chekhniy V.M., Golubtsov O.G. (2019). *Estimation of emission of nutrients and organic substances into surface waters of the Seversky Donets basin from diffuse sources*. Kyiv, 113-114. https://uhmi.org.ua/conf/conf_7_2018/tezy_conf_7_2018.pdf [in Ukrainian].
16. Hrisanov N.I., Osipov G.K. (1993). *Management of eutrophication of reservoirs*. Saint-Petersburg, 245.
17. Behrendt, H., P. Huber, M. Kornmilch, D. Opitz, O. Schmoll, G. Scholz and R. Uebe (2000). *Nutrient emissions into river basins of Germany*. 266.
18. Krengel Fabian, D Karthe, T Reeh, C Bernhofer et al. (2018). *Challenges for transboundary river management in Eastern Europe-Three case studies*. *Die Erde*, 2018. 149(2-3), 157-172.
19. Pilegaard K., U. Skiba, P. Ambus, C. Beier, N. et al. (2006). *Factors controlling regional differences in forest soil emission of nitrogen oxides (NO and N₂O)*. *Biogeosciences*, 3, 651-661.
20. Pöthig, R., Behrendt, H., Opitz, D., Furrer, G. A (2010) *Universal method to assess the potential of phosphorus loss from soil to aquatic ecosystems*. *Environmental Science and Pollution Research*, 17(2), 497-504.
21. Venohr, M., H. Behrendt, U. Hirt, J. Hofmann, D. Et al. (2008). *Modellierung von Einträgen, Retention und Frachten in Flusssystemen mit MONERIS III Nährstoffe – Modellergebnisse*. – *Schriftenreihe SWW*, 128, 87–98.

Authors Contribution: All authors have contributed equally to this work

Received 12 July 2023
Accepted 21 August 2023

Природоохоронні стандарти ЄС – національні і регіональні реалії

Любомир Царик¹

д. геогр. н., професор, зав. кафедри геоекології та методики навчання екологічних дисциплін,

¹ Тернопільський національний педагогічний університет імені Володимира Гнатюка,

вул. М. Кривоноса, 2, Тернопіль, 46027, Україна,

e-mail: tsarykl55@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0003-0944-1905>;

Іван Ковальчук²

д. геогр. н., професор, зав. кафедри геодезії та картографії,

² Національний університет біоресурсів і природокористування України,

вул. Васильківська, 17, Київ, 03040, Україна,

e-mail: kovalchukip@ukr.net, <https://orcid.org/0000-0002-2164-1259>;

Петро Царик¹

к. геогр. н., доцент кафедри географії України і туризму,

e-mail: pitertsaryk@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-4503-4437>;

Ігор Кузик¹

PhD, асистент кафедри геоекології та методики навчання екологічних дисциплін,

e-mail: kuzyk@tnpu.edu.ua, <https://orcid.org/0000-0002-4491-1071>

Метою статті є оцінка сучасного стану заповідності територіальних громад Тернопільської області та співставлення цих параметрів із природоохоронними стандартами Європейського Союзу. У статті визначено основні геоекологічні, економічні та юридичні проблеми, пов'язані з перспективами розвитку природоохоронної діяльності на національному і регіональному рівнях. До них віднесено відсутність мотивації в управлінських структурах, низьку екологічну культуру населення, недостатнє фінансування природоохоронної діяльності, існування різних форм власності на землю. У роботі проаналізовано національне та міжнародне природоохоронне законодавство, визначено основні причини екологічних проблем України, в тому числі військові дії. Визначено рівень заповідності та кількість природоохоронних територій територіальних громад Тернопільської області. Отримані дані показали, що 36,5% територіальних громад області мають рівень заповідності менше 1%. Ситуація з низьким рівнем заповідності є незадовільною у шістнадцяти громадах Тернопільського району та чотирьох громадах Кременецького і Чортківського районів. Створено типологічні групи та побудовано відповідну карту заповідності територіальних громад Тернопільської області. Запропоновано створити п'ятдесят три нові природоохоронні території у двадцяти п'яти громадах Тернопільської області загальною площею 39 358 га. Обґрунтовано доцільність створення тринадцяти регіональних ландшафтних парків, двадцяти трьох гідрологічних пам'яток природи місцевого значення, шести парків-пам'яток садово-паркового мистецтва, чотирьох ландшафтних заказників, чотирьох ботанічних пам'яток природи місцевого значення та трьох заповідних урочищ. Встановлено, що рівень заповідності територіальних громад Тернопільської області не відповідає сучасним вимогам Європейської стратегії збереження ландшафтного та біотичного різноманіття. Для досягнення міжнародних стандартів заповідності територій та акваторій в області необхідно створити як великі, за площею, заповідні території – регіональні ландшафтні та національні природні парки, так і локальні охоронні зони для гідрологічних об'єктів, окремих дерев чи ландшафтів. Для цього необхідно активізувати наукові дослідження місцевих та регіональних природних комплексів.

Ключові слова: природоохоронна політика, заповідність, територіальні громади, Тернопільська область.

Як цитувати: Царик Любомир (2023). Природоохоронні стандарти ЄС – національні і регіональні реалії / Любомир Царик, Іван Ковальчук, Петро Царик, Ігор Кузик // Вісник Харківського національного університету імені В. Н. Каразіна, серія «Геологія. Географія. Екологія», 2023. Вип. 59. – С. 329-339. <https://doi.org/10.26565/2410-7360-2023-59-25>

In cites: Tsaryk Ljubomyr, Kovalchuk Ivan, Tsaryk Petro, Kuzyk Ihor (2023). Environmental protection standards of the EU – national and regional realities. Visnyk of V. N. Karazin Kharkiv National University, series "Geology. Geography. Ecology", (59), 329-339. <https://doi.org/10.26565/2410-7360-2023-59-25> [in Ukrainian]

Вступ. Отримання Україною статусу кандидата в члени ЄС накладає відповідальність на реалізацію економічних, соціальних та екологічних векторів розвитку. Однак розроблені та затверджені національні плани дій з охорони навколишнього природного середовища (Основні засади державної екологічної політики України на період до 2020 і 2030 років [8, 9]) поки не принесли істотних результатів. Мабуть тому, що першопричини існуючих екологічних проблем України мають складну генезу:

- на законодавчому рівні екологічні пріоритети підпорядковані економічній доцільності;
- домінують ресурсомісткі та енергоємні галузі виробництва зі зношеними основними фондами, дуже негативно впливає на стан навколишнього середовища воєнна агресія росії;
- неефективна система державного управління у сфері охорони природи, відсутність управлінських ланок на рівні нових адміністративних районів і територіальних громад;
- низький рівень екологічної культури насе-

лення, що проявляється у відсутності переконань у необхідності першочергової уваги до вирішення природоохоронних проблем;

- відсутність всеохоплюючої системи екологічної освіти на рівні загальноосвітніх і вищих навчальних закладів;

- відсутність системи дієвого моніторингу стану навколишнього середовища;

- тривале фінансування природоохоронних заходів за залишковим принципом на всіх управлінських рівнях.

Усе вище сказане гальмує запровадження міжнародних стандартів у соціальну, економічну та екологічну сфери. Наведемо підтверджуючі факти такого стану природоохоронних, еколого-освітніх і просвітницьких заходів в Україні.

1. Заповідність територій та акваторій знаходиться на рівні 7% при декларуванні показника у 10,5%;

2. Розораність території є однією з найвищих у Європі і становить понад 60% при науково обґрунтованій нормі у 45-48% [2].

3. Лісистість території України є однією з найнижчих у Європі і складає близько 16%, при нормі у 20-22% [2].

4. З програми загальноосвітньої діяльності навчальних закладів вилучений предмет «Екологія», натомість читається дисципліна «Біологія і екологія», а техноекоекологічні, соціоекоекологічні і геоекоекологічні складові підготовки учнів фактично ігноруються.

5. На рівні територіальних громад, адміністративних районів відсутні управлінські структури з питань сталого розвитку та екології.

6. Води більшості річок України непридатні для використання без попередньої очистки, що констатується у регіональних доповідях про стан навколишнього природного середовища. Підземні води України в багатьох регіонах за своєю якістю не відповідають установленим вимогам до джерел водопостачання, що пов'язано передусім з антропогенним забрудненням, а інтенсивне використання призводить до виснаження їх горизонтів.

7. Кількість і структура транспортних викидів не обліковується статистичними службами з 2017 року, незважаючи на загрозливий стан атмосферних забруднень у великих містах і значний рівень емісії парникових газів.

8. Якщо долучити до перерахованих проблем наслідки військових дій, то геоекоекологічний стан території України не просто складний, а загрозливий і далекий від того рівня, якого вимагає європейське законодавство.

Усі вище перелічені факти та причини екологічних проблем національного і регіонального рівнів, зумовлюють необхідність детальнішого вив-

чення цих проблем та розробки пріоритетних напрямків їх вирішення. Одним із аспектів природоохоронної політики України є створення заповідних об'єктів та збільшення площі природно-заповідного фонду. Згідно з положеннями «Стратегії біорізноманіття ЄС до 2030 року» [14], щонайменше 30% суходолу і 30% морських акваторій повинні стати заповідними. Окрім того, принаймні третина цих заповідних територій (10%) повинні бути під режимом суворої охорони (біосферні резервати). В Україні на національному рівні пересічний показник заповідності становить близько 7%, в окремих регіонах ще нижче. Особливо актуальною проблема рівня заповідності територій стала після проведення реформи децентралізації, адже в деяких адміністративних районах і територіальних громадах рівень заповідності становить 0,5-5%. Це зумовлює необхідність наукових досліджень таких територій на предмет створення нових заповідних об'єктів. Тому вивчення сучасного стану рівня заповідності територіальних громад Тернопільської області є актуальним та важливим науково-практичним завданням. Подібні дослідження актуалізують дану проблему в інших регіонах України, особливо тих, які постраждали від військових дій, зумовлених російською агресією.

Аналіз останніх досліджень і публікацій.

Останні дослідження мережі природоохоронних об'єктів і територій адміністративних областей і районів були проведені ще до реформи децентралізації. Станом на сучасний період, окремі Управління екології обласного рівня систематизували інформацію про природно-заповідний фонд свого регіону у розрізі територіальних громад [3]. Науковий спектр цієї проблематики лише розвивається. Серед останніх публікацій варто відмітити статтю, виконану колективом авторів Голік Ю.С., Смоляр Н.О., Остапенко П.О., Чепурко Ю.В. щодо особливостей розподілу територій та об'єктів природно-заповідного фонду Полтавської області в умовах нового адміністративно-територіального устрою України [1]. Вивченням особливостей управління природоохоронними територіями займаються закордонні вчені: Hockings Marc, Stolton Sue, Dudley, Nigel [16], Ervin J. [15], Thomas Lee, Middleton Julie [19]. Методологічні основи для оцінювання природоохоронних територій в Україні розробили Руденко Л.Г., Голубцов О.Г., Чехній В.М. та інші [5, 10].

Застосування ландшафтного підходу в організації природокористування на природоохоронних територіях досліджували Гудзевич А.В., Любченко В.Є., Бронікова Л.Ф., Гудзевич Л.С. [17]. Етнокультурні ландшафти Поділля, у тому числі, з позиції збереження біорізноманіття вивчали В. Воловик, О. Лаврик, Ю. Яцентюк, А. Максютюв

[20]. Дослідження природно-заповідного фонду басейнових систем проводили Ковальчук І.П., Павловська Т.С., Савчук Д.В. (басейн р. Стохід) [4], Павловська Т.С., Ковальчук І.П., Чижевська Л.Т. (басейн р. Турія) [6], Павловська Т., Ковальчук І., Василюк Л. (р. Виживка) [7], Царик П., Царик Л., Вітенко І. (басейни річок Гнізна, Джурин і Вільховець) [11]. Узагальнено інформацію про природно-заповідний фонд малих річок Західного Поділля у публікації Царика Л.П., Ковальчука І.П., Царика П.Л., Жданюка Б. С., Кузика І.Р. [18] та монографії Царика Л., Царика П., Кузика І., Царика В. [12]. Проблеми та перспективи реалізації екомережного підходу до оптимізації природокористування та охорони природи Подільського регіону досліджували Ковальчук І., Царик Л., Царик П. [13].

Виділення невирішених раніше частин загальної проблеми. Завершальним етапом реформи децентралізації в Україні повинна бути організація ефективного природоохоронного менеджменту та раціонального використання природно-ресурсного потенціалу територіальних громад. Незважаючи на те, що статистичні відомості про об'єкти і території природно-заповідного фонду нових адміністративних територій створено практично у кожній області, дослідження нормативних показників рівня їх заповідності не проводились. Особливо актуальними ці проблеми є в контексті інтеграції України в європейське співтовариство, оскільки досягнення відповідних норм ЄС у природоохоронній сфері України є одним із пріоритетних завдань як на національному, так і на регіональному рівнях. Тому аналіз сучасного стану природно-заповідного фонду Тернопільської області та обґрунтування перспектив його

розширення дозволить, на прикладі окремої адміністративної області, показати ключові проблеми природоохоронного менеджменту на локальному рівні громад. У перспективі це сприятиме активізації регіональних наукових досліджень на предмет виявлення та створення нових заповідних об'єктів, збереження типових та унікальних природних комплексів інших регіонів України.

Метою дослідження є оцінка сучасного стану заповідності територіальних громад Тернопільської області та співставлення цих параметрів із природоохоронними стандартами Європейського Союзу.

Виклад основного матеріалу. Відпрацювання природоохоронних завдань, задекларованих в «Основних засадах (стратегія) державної екологічної політики України на період до 2030 року» [9] необхідно проводити на усіх рівнях. Тому детальніше зупинимось на оцінці стану природоохоронної діяльності територіальних громад (на прикладі Тернопільської області).

Попри заповідність Тернопільської області у 9,8%, спостерігаємо доволі загрозливу картину на рівні територіальних громад. Зокрема, 34,5% територіальних громад мають заповідність менше 1%. Це свідчить про відсутність цілеспрямованої реалізації Стратегії екологічної політики не тільки 2020, а й 2030. Переконані, що у громадах є освічені громадяни в галузі охорони природи, однак вони не затребувані місцевою владою. У керівництві громад створено посади кількох бухгалтерів, кожен з яких відповідає за певну сферу документообігу (шкіл, дитячих садків, будинків культури і бібліотек), землевпорядник, голова, кілька заступників, однак немає у штатному розписі фахівців в галузі екології і сталого розвитку.

Таблиця 1 / Table 1

Типологічні групи територіальних громад Тернопільської області за часткою заповідних територій /
Typological groups of the Ternopil Region territorial communities by the share of protected areas

Типологічні групи територіальних громад за часткою заповідних територій, %	Кількість територіальних громад, од	Частка від загальної кількості громад, %
Менше 1%	20	36,35
1 - 10	20	36,35
11 - 20	9	16,30
21 - 30	2	3,65
31 - 40	2	3,65
41 - 50	1	1,85
Більше 50	1	1,85

Як свідчать дані таблиці 1, 36,35% територіальних громад Тернопільської області мають заповідність території менше 1% і це, як правило, одна категорія природозаповідання – пам'ятка природи площею від 0,02 до 144 га. 36,35% територіальних громад мають частки заповідних територій від 5 до 10%. Заповідними об'єктами у цих

громадах зайнято від 135 до 4486 га. І тільки у 15 громадах заповідні площі відповідають європейським нормам (рис. 1). Це, в основному, селищні і міські територіальні громади, приурочені до національних і регіональних ландшафтних парків, природного заповідника, великих за площею заказників.

Згідно з даними таблиці 2, найвищі показники заповідності спостерігаємо в межах Чортківського району (південь області), ступінь заповідності якого є найвищим в області і становить 15,01%. Проблемними з позиції заповідності є Білобожницька (40), Колиндянська (42), Скала-Подільська (48) і Трибухівська (54) територіальні громади.

У Кременецькому районі ступінь заповідності складає 8,83%, що є нижчим за пересічно обласний показник у 9,8%. Найнижчою є заповідність таких територіальних громад: Борсуківська (36), Лопушнянська (37), Вишнівецька (46) і Великодедеркальська (50).

Найскладніша ситуація у центральному (Тернопільському) районі, ступінь заповідності якого

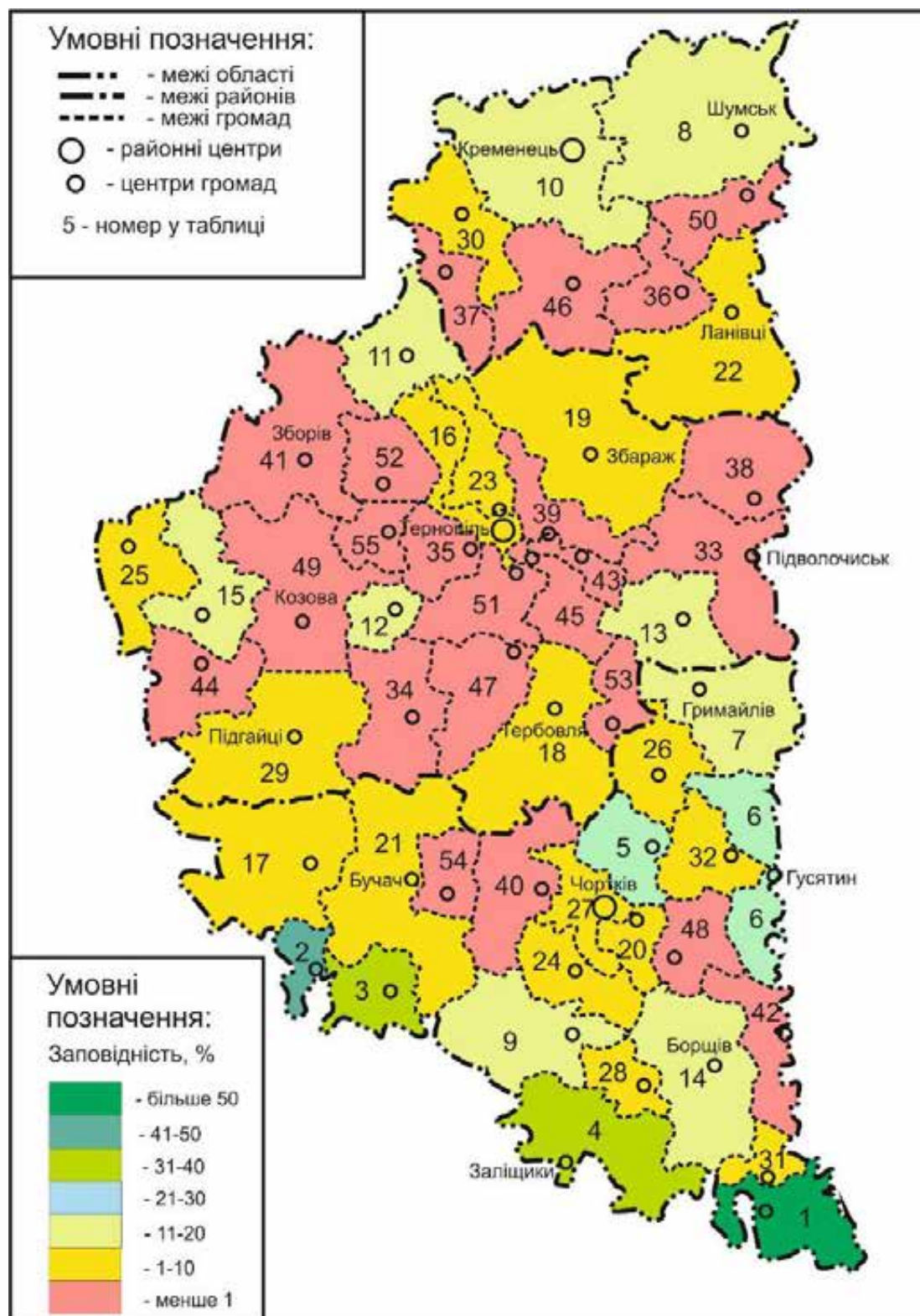


Рис. 1. Заповідність територіальних громад Тернопільської області /
Fig. 1. The level of conservation of the Ternopil region territorial communities

Таблиця 2 / Table 2

Показники заповідності територіальних громад Тернопільської області /
Indicators of the protected status of the Ternopil region territorial communities

№	Територіальна громада	Кількість заповідних об'єктів, од	Площа заповідних об'єктів, га	Заповідність %
1.	Мельнице-Подільська	25	13816,74	56,51
2.	Коропецька	10	3996,76	46,10
3.	Золотопотіцька	17	6226,5	38,89
4.	Заліщицька	40	12703,15	36,25
5.	Копичинецька	9	4504,92	26,33
6.	Гусятинська	7	6133,74	24,85
7.	Гримайлівська	7	5862,61	17,72
8.	Шумська	36	11065,21	17,49
9.	Товстенська	20	5582,12	16,49
10.	Кременецька	30	9136,28	16,25
11.	Залозецька	10	3759,48	15,03
12.	Купчинецька	6	1437,86	14,73
13.	Скалатська	11	2894,28	12,91
14.	Борщівська	46	5262,13	12,78
15.	Бережанська	21	2716,10	11,38
16.	Тернопільська	16	1618,30	9,67
17.	Монастирська	19	4282, 13	9,08
18.	Теребовлянська	22	3464,39	7,86
19.	Збаразька	28	4486,17	7,59
20.	Заводська	9	662,90	7,31
21.	Бучацька	26	3133,71	5,99
22.	Лановецька	17	2844,16	5,93
23.	Білецька	8	672,67	4,91
24.	Нагірянська	11	821,93	4,55
25.	Нараївська	21	966,34	4,43
26.	Хоростківська	4	747,52	4,05
27.	Чортківська	15	603,46	3,99
28.	Більче-Золотецька	14	395,67	3,80
29.	Підгаєцька	17	1320,55	2,71
30.	Почаївська	6	534, 22	2,46
31.	Іване-Пустенська	6	194,64	2,43
32.	Васильковецька	3	398,73	2,34
33.	Підволочиська	11	495,03	1,41
34.	Золотниківська	2	398,00	1,40
35.	Підгороднянська	5	135, 62	1,10
36.	Борсуківська	6	144,38	0,95
37.	Лопушніанська	5	91,18	0,63
38.	Скориківська	4	163,20	0,62
39.	Байковецька	11	93,93	0,54
40.	Білобожницька	8	14,23	0,5
41.	Зборівська	12	208,71	0,45
42.	Скала-Подільська	14	81,77	0,44
43.	Великобірківська	4	27,62	0,42
44.	Саранчківська	11	92,10	0,41
45.	Великогаївська	9	59,31	0,40
46.	Вишнівецька	7	99,50	0,31
47.	Микулинецька	7	62,43	0,26
48.	Колиндянська	3	18,85	0,12
49.	Козівська	12	20,73	0,05
50.	Великодедерецька	1	7,11	0,04
51.	Великобerezовицька	8	3,19	0,02
52.	Озернянська	2	0,11	0,00066
53.	Іванівська	1	0,02	0,0002
54.	Трибухівська	1	0,02	0,0002
55.	Козлівська	0	0	0

складає 4,03%. Частка територіальних громад з низьким ступенем заповідності тут сягає 50% (13 із 26 громад). Переважно це територіальні громади з високим ступенем господарського освоєння території, розбалансованою структурою земельних угідь, високою часткою забудованості.

З метою збільшення площі природно-заповідних територій Тернопільської області, приведення показників заповідності адміністративних районів до науково обґрунтованих нормативів, нами виконувалися експедиційні дослідження геоекологічного стану басейнів малих річок (Джурин, Гнізні, Нічлави, Вільховець, Коропця, Баріш, Довжанки, Ікви), опрацьовувалися зібрані матеріали, виконувалося узагальнення інформації в кандидатських дисертаціях, статтях і монографіях. При цьому використовувалися топографічні і кадастрові карти, космічні знімки, а також фондові матеріали кафедри геоекології, Управління екології та природних ресурсів тощо. Враховувались публікації фахівців природного заповідника «Медобори», Кременецького ботанічного саду, НПП «Дністровський каньйон» і «Кременецькі гори», які виконували дослідження окремих

об'єктів, пропонує для заповідання. Базовими критеріями для вибору об'єктів, придатних для заповідання, виступали:

- 1) ступінь збереженості та унікальності ландшафту і його компонентів;
- 2) наявність червонокнижних, регіонально рідкісних видів рослин і тварин;
- 3) природоресурсна, біотична цінність, естетична привабливість об'єкту;
- 4) приналежність перспективного заповідного об'єкту до базових елементів регіональної чи локальних екомереж або можливість його залучення в ці мережі;
- 5) приналежність земельних угідь до певних категорій землекористувачів.

За результатами комплексних досліджень геоекологічного стану пропонує об'єктів, оцінювання придатності ландшафтів та їхніх природних компонентів для використання в якості природоохоронних територій, було обґрунтовано та узгоджено пропозиції щодо перспектив створення 53-х нових заповідних об'єктів у 25 громадах Тернопільської області загальною площею 39358 га (табл. 3).

Таблиця 3 / Table 3

Перспективні заповідні об'єкти територіальних громад Тернопільської області /
Prospective protected sites of the Ternopil region territorial communities

№	Громада	Назва об'єкту	Площа, га	Загальна площа, га
1	Кременецька	Регіональний ландшафтний парк «Малополіський»	2500,0	6001,0
		Регіональний ландшафтний парк «Білокриницький»	3500,0	
		Гідрологічна пам'ятка природи «Вітік річки Вілія»	1,0	
2	Лановецька	Регіональний ландшафтний парк «Горинський»	1500,0	1500,0
3	Лопушенська	Гідрологічна пам'ятка природи «Джерело Кринка»	0,2	0,7
		Ботанічна пам'ятка природи «Староолексинська липова алея»	0,5	
4	Збаразька	Регіональний ландшафтний парк «Збаразькі Товтри»	1500,0	1513,8
		Ландшафтний заказник «Урочище Новиківське»	10,0	
		Гідрологічна пам'ятка природи «Чернихівецькі джерела»	0,2	
		Гідрологічна пам'ятка природи «Стривецьке джерело»	0,2	
		Гідрологічна пам'ятка природи «Кобильське джерело»	0,2	
		Гідрологічна пам'ятка природи «Джерело «Парадове»	0,2	
		Гідрологічна пам'ятка природи «Шимківські джерела»	3,0	
5	Підгаєцька	Регіональний ландшафтний парк «Підгаєцький»	4500,0	4500,0
6	Теребовлянська	Регіональний ландшафтний парк «Княжий ліс»	4000,0	4002,0
		Гідрологічна пам'ятка природи «Осталецька долина джерел»	1,0	
		Парк-пам'ятка садово-паркового мистецтва «Залишки старовинного парку у с. Сушин»	1,0	

7	Бережанська	Регіональний ландшафтний парк «Урманський»	4000,0	4000,0
8	Тернопільська	Регіональний ландшафтний парк «Залізцівсько-Вертелківський»	3500,0	3680,0
		Парк-пам'ятка садово-паркового мистецтва «Парк Національного відродження»	55,0	
		Парк-пам'ятка садово-паркового мистецтва «Парк «Сопільче»	98,0	
		Парк-пам'ятка садово-паркового мистецтва «Парк Т.Г. Шевченка»»	22,0	
		Парк-пам'ятка садово-паркового мистецтва «Біблійний сад ТНПУ ім. В. Гнатюка»	5,0	
9	Підволочиська	Гідрологічна пам'ятка природи «Супранівське джерело»	0,2	0,2
10	Микулинецька	Парк-пам'ятка садово-паркового мистецтва «Микулинецький парк»	10,0	10,0
11	Великобіроківська	Ботанічна пам'ятка природи «Середнє болото»	7,5	7,5
12	Саранчуківська	Гідрологічна пам'ятка природи місцевого значення «Витік річки Бибелки»	0,2	0,2
13	Іванівська	Заповідне урочище «Дубина Лозівська»	1,5	18,5
		Заповідне урочище «Стадниця» с. Глещави	12,0	
		Гідрологічна пам'ятка природи «Копанка» витік р. Тайна у с. Іванівка	5,0	
14	Бучацька	Регіональний ландшафтний парк «Баришський»	2000,0	2001,0
		Гідрологічні пам'ятка природи «Осівецькі джерела»	1,0	
15	Монастирська	Гідрологічна пам'ятка природи «Велеснівські водоспади»	1,0	1,0
16	Борщівська	Регіональний ландшафтний парк «Лісова пісня»	300,0	300,0
17	Копичинецька	Ландшафтний заказник «Копичинецький» водо-болотні угіддя у м. Копичинці	22,0	22,5
		Заповідне урочище «Перебендиха» у с. Котівка	0,5	
18	Чортківська	Регіональний ландшафтний парк «Середньосеретський»	4000,0	4000,0
19	Товстенська	Гідрологічні пам'ятка природи «Джерело і потічок» у с. Кошилівці	0,2	1164,2
		Ботанічна пам'ятка природи «Урочище «Чагор» с. Поділля	210,0	
		Ландшафтний заказник «Над Джурином»	954,0	
20	Мельнице-Подільська	Ботанічна пам'ятка природи «Дністровські перлини»	15,0	15,0
21	Скала-Подільська	Регіональний ландшафтний парк «Надзбручанське Поділля»	2500,0	2500,0
22	Золотопотіцька	Гідрологічна пам'ятка природи «Возилівські водоспади»	1,0	1,0
23	Коропецька	Регіональний ландшафтний парк «Лемківське село»	4000,0	4000,0
24	Білобожницька	Гідрологічна пам'ятка природи «Семенів потік»	0,9	68,3
		Гідрологічні пам'ятка природи «Ставок у с. Джуринська Слобідка»	52,0	
		Гідрологічні пам'ятка природи «Став у с. Полівці»	4,0	
		Гідрологічні пам'ятка природи «Став у долині р. Біла»	11,0	
		Гідрологічні пам'ятка природи «Два джерела»	0,2	
		Гідрологічні пам'ятка природи «Джерело Св. Анни»	0,2	
25	Колиндянська	Ландшафтний заказник у селі Колиндяни	51,0	51,0

Перспективними для створення, насамперед, є регіональні ландшафтні парки, які завдяки великій площі сприятимуть зростанню заповідності окремих територіальних громад та адміністративних районів, передбачатимуть їх використання у сфері туризму, рекреації та екоосвітній діяльності. Запропоновані 13 регіональних ландшафтних парків (РЛП) збільшать площу природно-заповідного фонду області на 37 800 га. Окрім РЛП, обґрунтовано необхідність створення 23-ох гідрологічних пам'яток природи місцевого значення (83 га), шести парків-пам'яток садово-паркового мистецтва (191 га), чотирьох ландшафтних заказників (1037 га), чотирьох ботанічних пам'яток природи місцевого значення (233 га) і трьох заповідних урочищ (14 га). Створення цих заповідних об'єктів сприятиме зростанню заповідності Кременецького району з 8,8% до 12,5%, Тернопільського – з 4% до 7% і Чортківського – з 15% до 17%. Загалом заповідність Тернопільської області зросте на 3-4%.

В окремих територіальних громадах завдяки реалізації запропонованих заходів заповідність зросте на 46%. Так, наприклад, створення у Коропецькій територіальній громаді РЛП «Лемківське село» забезпечить заповідність цієї адміністративної одиниці у 96%. У Тернопільській громаді, завдяки створенню перспективного «Залізцівсько-Вертелівського» РЛП та чотирьох парків-пам'яток садово-паркового мистецтва, заповідність зросте з 9,7% до 39,5% (рис. 3). У Кременецькій ТГ створення двох РЛП «Малополіський» і «Білокриницький» забезпечить рівень заповідності у 30%. Сприятиме створення заповідних об'єктів зростанню заповідності громад із низькими показниками. Так, завдяки створенню РЛП «Підгаєцький» площею 4500 га, у Підгаєцькій територіальній громаді рівень заповідності зросте з 2,5% до 12,5%. У Скала-Подільській громаді створення РЛП «Надзбручанське Поділля» сприятиме зростанню заповідності з 0,5% до 14%.

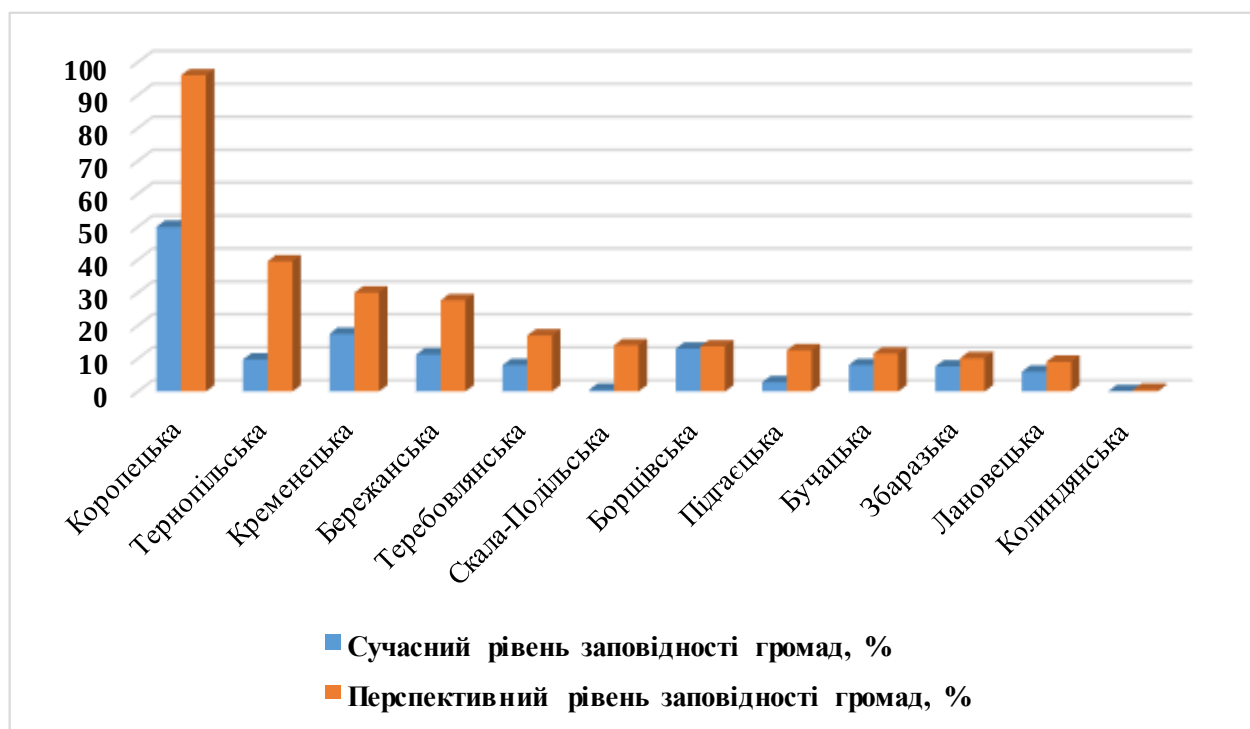


Рис. 3. Сучасний стан та перспективи заповідності окремих територіальних громад Тернопільської області /

Fig. 3. The current status and prospects of protected areas of the Ternopil Region in certain territorial communities

Висновки. На основі аналізу теоретичних напрацювань і практичних розробок вітчизняних та зарубіжних дослідників з напрямків реалізації Всеєвропейської стратегії збереження ландшафтного і біотичного різноманіття, зі створення регіональних і локальних концепцій екомереж та за результатами власних досліджень встановлено, що рівень заповідності адміністративних одиниць в сучасних умовах повинен складати не менше

10,5% при пропозиціях заповідання у світовому масштабі не менше 30% площ територій та акваторій. В результаті виконаного аналізу рівня заповідності територіальних громад Тернопільської області доведена необхідність активізації наукових досліджень регіональних наукових центрів в галузі охорони, збереження і відновлення природи, створення нових заповідних територій на рівні територіальних громад з урахуванням євро-

пейських природоохоронних вимог. Обґрунтовано доцільність створення 13 регіональних ландшафтних парків, 23 гідрологічних пам'яток природи місцевого значення, 6 парків-пам'яток садо-

во-паркового мистецтва, чотирьох ландшафтних заказників, чотирьох ботанічних пам'яток природи місцевого значення і трьох заповідних урочищ.

Список використаної літератури

1. Голік Ю.С. Особливості розподілу територій і об'єктів природно-заповідного фонду Полтавської області в умовах нового адміністративно-територіального устрою України / Ю.С. Голік, Н.О. Смоляр, П.О. Остапенко, Ю.В. Чепурко // *Екологічні науки*. – 2022. – №6. – С. 171-177. <https://doi.org/10.32846/2306-9716/2021.eco.6-39.29>
2. Гродзинський М.Д. Пізнання ландшафту: місце і простір. Монографія. У 2-х томах. / М. Д. Гродзинський // К.: ВПЦ «Київський університет», 2005. – Т.2. – 203 с.
3. Офіційний вебсайт Управління екології та природних ресурсів Тернопільської ОДА. Мережа природно-заповідного фонду. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://ecology.te.gov.ua/prirodno-zapovidnij-fond/merezha-pzf/#l-merezha-pzf>
4. Ковальчук І. П. Природно-заповідний фонд басейну р. Стохід: сучасний стан, картографічна модель, шляхи оптимізації функціонування / І.П. Ковальчук, Т.С. Павловська, Д.В. Савчук // *Часопис картографії: Збірник наукових праць*. – 2011. – Вип. 3. – С. 82-91.
5. Методологія і практика оцінювання території України для заповідання / за ред. Л.Г. Руденка – К.: Наук. Думка, 2020. – 232 с.
6. Павловська Т.С. Сучасний стан природно-заповідної мережі басейну річки Турія / Т.С. Павловська, І.П. Ковальчук, Л.Т. Чижевська // *Фізична географія та геоморфологія* – 2013. – Вип. 1 (69). – С.44-53.
7. Павловська Т. Актуальні питання дослідження сучасного стану природно-заповідної мережі басейну річки Вишівка (правобережжя Прип'яті) / Т. Павловська, І. Ковальчук, Л. Василюк // *Наукові записки ТНПУ ім. В. Гнатюка. Серія: географія*. – 2013. – №2 (35). – С. 228-233.
8. Про Основні засади (стратегію) державної екологічної політики України на період до 2020 року. Закон України від 21.12.2010 №2818-VII. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2818-17#Text>
9. Про Основні засади (стратегію) державної екологічної політики України на період до 2030 року. Закон України від 28.02.2019 року №2697-VIII. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2697-19#Text>
10. Руденко Л.Г. Ландшафтознавчі аспекти організації перспективної мережі заповідних територій України / Л.Г. Руденко, Є.О. Маруняк, С.А. Лісовський, В.М. Чехній, О.Г. Голубцов, Є.І. Іваненко // *Український географічний журнал* – 2016. – №3. – С. 18-26. <https://doi.org/10.15407/ugz2016.03.018>
11. Царик П. Перспектива створення заповідних територій у долинах річок Гнізна, Джури та Вільховець / П. Царик, Л. Царик, І. Вітенко // *Наукові записки ТНПУ ім. В. Гнатюка. Серія: географія* – 2010. – №2. – С. 236-242.
12. Царик Л. Природокористування та охорона природи у басейнах малих річок: монографія / Л. Царик, П. Царик, І. Кузик, В. Царик // Тернопіль: Тайп, 2021. – 162 с.
13. Царик Л. Засади, проблеми і перспективи реалізації екомережевого підходу до оптимізації природокористування й охорони природи Подільського регіону України / Л. Царик, І. Ковальчук, П. Царик // *Наукові записки ТНПУ ім. В. Гнатюка. Серія географія*. – 2022. – №1. – С. 196-209.
14. Biodiversity strategy for 2030. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://ec.europa.eu/environment/strategy/biodiversity-strategy-2030_en
15. Ervin J. Rapid Assessment and Prioritization of Protected Area Management (RAPAM) Methodology. WWF, Gland, Switzerland. – 2003. – 55 p.
16. Hockings Marc. Management Effectiveness: Assessing Management of Protected Areas? / Marc Hockings, Sue Stolton, Nigel Dudley // *Journal of Environmental Policy & Planning*. – 2004. – №6.
17. Hudzevich A. Landscape approach to regional features organization of environmental management of the protected area / A. Hudzevich, V. Liubchenko, L. Bronnikova., L. Hudzevich. *Вісник Харківського національного університету імені В.Н. Каразіна, серія «Геологія, Географія, Екологія»*, 2020. – Вип. 52 – С. 119-129. <https://doi.org/10.26565/2410-7360-2020-52-09>
18. Tsaryk L.P. Basin systems of small rivers of Western Podillya: state, change tendencies, perspectives of nature management and nature protection optimization / L.P. Tsaryk, I.P. Kovalchuk, P.L. Tsaryk, B.S. Zhdaniuk, I.R. Kuzyk // *Journal of Geology, Geography and Geoecology*. – 2020 – №29.3. – С. 606-620. <https://doi.org/10.15421/112055>
19. Thomas Lee. Guidelines for Management Planning of Protected Areas. / Lee Thomas, Julie Middleton // IUCN Gland, Switzerland and Cambridge. – 2003. – 79 p.
20. Volovyk V. Polish ethnocultural landscape of Podillya: structure, use, protection of cultural heritage / V. Volovyk, O. Lavryk, Y. Yatsentyuk, A. Maksytov // *Вісник Харківського національного університету ім. В.Н. Каразіна, серія «Геологія, Географія, Екологія»*, 2022. – Вип. 57. – С. 68-80. <https://doi.org/10.26565/2410-7360-2022-57-06>

Внесок авторів: всі автори зробили рівний внесок у цю роботу

Environmental protection standards of the EU - national and regional realities

Ljubomyr Tsaryk¹

DSc (Geography), Professor,
Head of the Department of Geoecology and methods of teaching environmental sciences,

¹ Ternopil Volodymyr Hnatiuk National Pedagogical University,
2 Maxyma Kryvonisa St., Ternopil, 46027, Ukraine;

Ivan Kovalchuk²

DSc (Geography), Professor, Head of the Department of Geodesy and Cartography,

² National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine,
17 Vasylykivska St., Kyiv, 03040, Ukraine;

Petro Tsaryk¹

PhD (Geography), Associate Professor of the Department of Geography of Ukraine and Tourism;

Ihor Kuzyk¹

PhD (Geography), Assistant of the Department of Geoecology and methods of teaching environmental sciences

ABSTRACT

The **purpose** of the work is to assess the current state of protected areas of the Ternopil region territorial communities and compare these parameters with the environmental standards of the European Union.

Methods. Generalisation and systematisation of information, evaluation, comparison, method of analogies and typologies, statistical, mathematical, cartographic and geoinformation.

Scientific novelty. The main geoecological, economic and legal problems related to the prospects for the development of nature conservation at the national and regional levels are identified. These include the lack of motivation in management structures, low environmental culture of the population, insufficient funding for environmental protection, and the existence of different forms of land ownership. The level of conservation of territorial communities and new administrative districts of the Ternopil region is determined.

Results. Analysed by national and international environmental legislation and identifies the main causes of Ukraine's environmental problems, including military operations. Based on the comparative analysis, the authors compare the basic environmental parameters of Ukraine and the European Union, which demonstrate their significant differences. The level of conservation and the number of protected areas of the Ternopil region territorial communities are determined. The data obtained showed that 36.5% of the region's territorial communities have a conservation level of less than 1%. The situation with the low level of conservation is unsatisfactory in sixteen communities in the Ternopil district and four communities in the Kremenets and Chortkiv districts. Typological groups have been created and a corresponding map of the reserve status of the Ternopil region territorial communities has been constructed. It is proposed to create fifty-three new protected areas in twenty-five communities of the Ternopil region with a total area of 39358 hectares. The expediency of creating thirteen regional landscape parks, twenty-three hydrological natural monuments of local significance, six parks of landscape art monuments, four landscape reserves, four botanical natural monuments of local significance and three protected tracts is substantiated.

Conclusions. It has been established that the level of conservation of the Ternopil region territorial communities does not meet the current requirements of the European Strategy for the Conservation of Landscape and Biotic Diversity. In order to achieve international standards of protected areas and waters, the region needs to create both large protected areas – regional landscape and national nature parks – and local protection zones for hydrological objects, individual trees or landscapes. For this purpose, it is necessary to intensify scientific research of local and regional natural complexes. And the administrative staff of territorial communities should include a position responsible for landscaping, sustainable development and nature protection.

Keywords: environmental policy, conservation, territorial communities, Ternopil region.

References

1. Holik, Yu., Smolyar, N., Ostapenko, P., Chepurko, Iu. (2021). Peculiarities of distribution of objects and territories of the nature reserve fund of Poltava region in the conditions of the new administrative-territorial structure. *Ecological sciences*, 6 (39), 171-177. <https://doi.org/10.32846/2306-9716/2021.eco.6-39.29> [in Ukrainian]
2. Grodzinsky, M. D. (2005). *Cognition of the landscape: place and space*. Monograph. Kyiv: «Kyiv University», 503 [in Ukrainian]
3. Official website of the Department of Ecology and Natural Resources of the Ternopil Regional Administration. Network of nature reserve fund. Available at: <https://ecology.te.gov.ua/prirodno-zapovidnij-fond/merezha-pzf/#l-merezha-pzf> [in Ukrainian]
4. Kovalchuk, I. P., Pavlovska, T. S., Savchuk, D. V. (2011). Nature reserve fund of the Stokhid river basin: current state, cartographic model, ways of optimization of functioning. *Journal of cartography: Collection of scientific papers of sciences*. Kyiv: Taras Shevchenko National University of Kyiv, 3, 82-91 [in Ukrainian].
5. *Methodology and practice of assessing the territory of Ukraine for the nature conservation* (2020). Edited by Rudenko, L. H. Kyiv: Nauk. Dumka, 232 [in Ukrainian]

6. Pavlovska, T., Kovalchuk, I., Chizhevska, L. (2013). Modern state of Turia river basin's natural reserve network. *Physical geography and geomorphology*. 1 (69), 44-53 [in Ukrainian]
7. Pavlovskaya, T., Kovalchuk, I., Vasilyuk, L. (2013). The topical aspects of the research of the present state of the natural preservation network of the river Vyzhivka basin (the right bank of the Prypyat river). *Scientific Notes Ternopil Volodymyr Hnatiuk National Pedagogical University. Series: Geography*, 2 (35), 228-233 [in Ukrainian]
8. On the Basic Principles (Strategy) of the State Environmental Policy of Ukraine for the period up to 2020. Law of Ukraine dated 21.12.2010, № 2818-VII. Available at: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2818-17#Text> [in Ukrainian]
9. On the Basic Principles (Strategy) of the State Environmental Policy of Ukraine for the period up to 2030. Law of Ukraine dated 28.02.2019, №2697-VIII. Available at: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2697-19#Text> [in Ukrainian]
10. Rudenko, L. H., Maruniak, Eu. O. Lisovskiy, S. A., Checkniy, V. M., Golubtsov, O. H., Ivanenko, Ye. I. (2016). Landscape study aspects of the perspective network of protected areas organization in Ukraine. *Ukrainian Geographic Journal*, 3, 18-26. <https://doi.org/10.15407/ugz2016.03.018> [in Ukrainian]
11. Tsaryk, P. Tsaryk, L., Vitenko, I. (2010). Prospects of protected areas establishment in the valleys of the rivers Gnizna, Dzhuryn and Vilhovets. *Scientific Notes Ternopil Volodymyr Hnatiuk National Pedagogical University. Series: Geography*, 2, 236-242 [in Ukrainian]
12. Tsaryk, L.P., Tsaryk, P.L., Kuzyk, I.R., Tsaryk, V.L. (2021). *Nature use and nature conservation in small river basins: monography. The second edition is supplemented and revised.* Ternopil: Type, 162 [in Ukrainian]
13. Tsaryk, L., Kovalchuk, I., Tsaryk, P. (2022). Principles, problems and prospects of implementation of the economic approach to optimization of nature management and nature protection of the Podillia Region. *Ternopil V. Hnatiuk National Pedagogical University. Series: Geography*, 1, 196-209 [in Ukrainian]
14. Biodiversity strategy for 2030. Available at: https://ec.europa.eu/environment/strategy/biodiversity-strategy-2030_en
15. Ervin, J. (2003). *Rapid Assessment and Prioritization of Protected Area Management (RAPAM) Methodology.* WWF, Gland, Switzerland, 55.
16. Hockings, Marc, Stolton, Sue, Dudley, Nigel. (2004). Management Effectiveness: Assessing Management of Protected Areas? *Journal of Environmental Policy & Planning*, 6. <https://doi.org/10.1080/1523908042000320731>
17. Hudzevich, A., Liubchenko, V., Bronnikova, L., Hudzevich, L. (2020). Landscape approach to regional features organization of environmental management of the protected area. *Visnyk of V. N. Karazin Kharkiv National University, series «Geology. Geography. Ecology»*, (52), 119-129. <https://doi.org/10.26565/2410-7360-2020-52-09>
18. Tsaryk, L.P., Kovalchuk, I.P., Tsaryk, P.L., Zhdaniu, B.S., Kuzyk, I.R. (2020). Basin systems of small rivers of Western Podillya: state, change tendencies, perspectives of nature management and nature protection optimization. *Journal of Geology, Geography and Geoecology*, 29(3), 606-620. <https://doi.org/10.15421/112055>
19. Thomas, Lee, Middleton, Julie. (2003). *Guidelines for Management Planning of Protected Areas.* IUCN Gland, Switzerland and Cambridge. 79.
20. Volovyk, V., Lavryk, O., Yatsentyuk, Y., Maksiytov, A. (2022). Polish ethnocultural landscape of Podillya: structure, use, protection of cultural heritage. *Visnyk of V.N. Karazin Kharkiv National University, series «Geology. Geography. Ecology»*, (57), 68-80. <https://doi.org/10.26565/2410-7360-2022-57-06>

Authors Contribution: All authors have contributed equally to this work

Received 31 May 2023

Accepted 26 July 2023

ПРАВИЛА ОФОРМЛЕННЯ МАТЕРІАЛІВ, ЩО ПОДАЮТЬСЯ ДО «ВІСНИКА ХАРКІВСЬКОГО УНІВЕРСИТЕТУ»

До Вісника Харківського національного університету імені В.Н. Каразіна серія «Геологія. Географія. Екологія», приймаються наукові статті обсягом біля 40 тис. знаків, присвячені дослідженням у галузях геології, геохімії, гідрогеології, географії, економічної та соціальної географії, екології, а також суміжних дисциплін. Матеріали можуть бути представлені українською або англійською мовами. Перевага надається англомовним статтям. Рішення про публікацію приймається редакційною колегією „Вісника”, при цьому кожна стаття рецензується двома вченими-фахівцями у даній тематиці.

Матеріали подаються в електронному вигляді та надсилаються на електронну пошту geoseries@karazin.ua. Електронна версія оформлюється у форматі Microsoft Word, шрифт Times New Roman, розмір 14, міжрядковий інтервал 1,5, всі поля по 2 см, відступ для абзацу – 0,75 см. **Жирним** шрифтом виділяються підзаголовки у статті. Ілюстрації, включаючи графіки і схеми, мають бути розміщені безпосередньо в тексті, а також подані окремими файлами. Скрізь, де можливо, доцільніше використовувати графіки, а не таблиці. Орієнтація сторінок – книжкова. Вирівнювання слід робити по ширині сторінки. Якщо стаття українською, є необхідним дублювання підписів до рисунків та назв таблиць і діаграм англійською.

Згідно вимог МОН 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 порушеної проблеми, на які спирається автор.
3. **Виділення невирішених раніше частин загальної проблеми**, яким присвячується стаття;
4. **Формулювання мети статті** (постановка завдання).
5. **Виклад основного матеріалу дослідження** з повним обґрунтуванням отриманих наукових результатів.
6. **Висновки** з дослідження і перспективи подальших розвідок у цьому напрямі.

Для статей необхідно вказати УДК, подати назву (до 10 слів), анотацію (1800-2500 знаків) та ключові слова (8-10).

На окремому аркуші надається інформація про авторів (прізвище, ім'я та по-батькові, повна назва організації, посада, вчений ступінь і звання, поштова адреса, телефон, e-mail, ORCID) українською й англійською мовами. Перелік посилань оформлюється згідно з ДСТУ 3008:2015. До переліку обов'язково повинна бути включена література за останні п'ять років, у тому числі закордонна та включена до наукометричних баз Scopus та WoS, а сам перелік повинен містити не менше ніж 20 посилань.

Також є необхідним розгорнутий реферат англійською мовою, оформлений згідно міжнародних вимог до наукових видань. Реферат повинен мати:

- обсяг 2500-3500 знаків,
- змістовність (відображати головний зміст статті та результати досліджень),
- структурованість (наявність обов'язкових елементів: *мета, методика, результати, наукова новизна, практична значимість, ключові слова*).

Після реферату необхідно навести **References** – перекладений англійською список використаних джерел, який має бути оформлений згідно міжнародного стандарту APA (American Psychological Association). До джерел у списках використаної літератури обов'язково необхідно додавати DOI (за наявності).

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

Редакція залишає за собою право проводити редакційну правку рукопису.

У разі переробки статті авторами датою надходження рукопису статті в редакцію приймається дата її повторного надсилання.

При підтвердженні позитивного рішення на публікацію статті, автор має оформити та надіслати згоду на публікацію та оприлюднення персональних даних.

Зразок оформлення статті :

<https://doi.org/10.26565/2410-7360-2023-58-08>

UDC 528.8+551.4

Received 23 April 2023

Accepted 12 May 2023

Integrating remote sensing and aeromagnetic data for lithological and structural lineaments mapping in Abu Ghaylan - Kiklah - Tighrinna, northwest Libya

Nureddin Saadi ¹

PhD (Geological Engineering), Lecturer, Department of Geological Engineering,

¹ University of Tripoli, University Road, Tripoli, Libya,

e-mail: n.saadi@uot.edu.ly, <https://orcid.org/0000-0003-0593-8578>;

Ousama Elkoul ²

...

ABSTRACT

Problems Statement and Purpose. Libya is the fourth-largest country in Africa and the seventeenth-largest country in the world with area of 1,759,540 sq. km. Most of Libya is located in the Sahara Desert and known for being the driest and most remote regions with limited accessibility. ...

Keywords: Libya, Remote Sensing, Digital Elevation, Lineaments, Lithological Mapping, Aeromagnetic, Data Integration.

Introduction

Integration approach of multi-source data can improve geological interpretation and provide detailed information on unexplored areas [1–3]. The remote sensing satellites (sensors) can detect and map geological surface based on the spectral and spatial resolution [4, 5]. ...

Authors Contribution: All authors have contributed equally to this work

References

1. Thiele, S.T., Lorenz, S., Kirsch, M., Cecilia Contreras Acosta, I., Tusa, L., Herrmann, E., Möckel, R., Gloaguen, R. (2021). Multi-Scale, Multi-Sensor Data Integration for Automated 3-D Geological Mapping. *Ore Geology Reviews*, 136, 104252. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.oregeorev.2021.104252>

Інтеграція дистанційного зондування та аеромагнітних даних для картографування літологічних і структурних ліній в Абу-Гайлан - Кікла - Тігрінна, північно-західна Лівія

Нуреддін Сааді ¹

доктор філософії (геологічна інженерія), викладач кафедри геологічної інженерії,

¹ Університет Тріполі, Університетська дорога, Тріполі, Лівія;

Усама Елкул ²

...

У 1970-х роках Центр промислових досліджень у Лівії розпочав створювати геологічні карти всіх лівійських земель, отриманих з аналогових (друкованих) аерофотознімків і геологічних польових поїздок у деякі доступні місця. ...

Ключові слова: Лівія, дистанційне зондування, цифровий рельєф, лінеamenti, літологічне картування, аеромагнітний, інтеграція даних.

Список використаної літератури

1. Multi-Scale, Multi-Sensor Data Integration for Automated 3-D Geological Mapping / S.T. Thiele et al. *Ore Geology Reviews*. 2021. Vol. 136. P. 104252. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.oregeorev.2021.104252>

Внесок авторів: всі автори зробили рівний внесок у цю роботу

Надійшла 23 квітня 2023 р.

Прийнята 12 травня 2023 р.

© Saadi Nureddin, ... , 2023

Наукове видання

ВІСНИК
ХАРКІВСЬКОГО НАЦІОНАЛЬНОГО УНІВЕРСИТЕТУ
імені В. Н. КАРАЗІНА

серія
«ГЕОЛОГІЯ. ГЕОГРАФІЯ. ЕКОЛОГІЯ»

Випуск 59

ЗБІРНИК НАУКОВИХ ПРАЦЬ

Українською та англійською мовами

Редактор В. Г. Суярко
Технічний редактор О. В. Чуєнко
Комп'ютерне верстання О. В. Чуєнко
Відповідальний за випуск В. Г. Суярко

Підписано до друку 27.11.2023 р. Формат 60x84/8. Папір офсетний.
Друк цифровий. Ум. друк. арк. 32,8. Обл.-вид. арк. 38,0.
Наклад 100 пр. Зам. № 24/23. 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.