

ISSN 2075-1893(Print)
ISSN 2409-3173(Online)

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Харківський національний університет
імені В. Н. Каразіна

**ПРОБЛЕМИ
БЕЗПЕРЕРВНОЇ ГЕОГРАФІЧНОЇ ОСВІТИ
І КАРТОГРАФІЇ**

Збірник наукових праць

Випуск 40

Заснований 2000 року

Харків – 2024

УДК: 91+528.9]:37.018.4-022.322(082.1)

Засновник: Харківський національний університет імені В. Н. Каразіна

Рік заснування: 2000

Періодичність: двічі на рік

До збірника включені статті, у яких розглядаються актуальні проблеми сучасної практичної підготовки студентів і учнів з географії та картографії; узагальнюється досвід і розкриваються перспективи розробки та впровадження у навчальний процес інноваційних педагогічних технологій, підготовки і видання нових картографічних творів, призначених для використання у школах, вищих навчальних закладах та в інших установах безперервної географічної освіти.

Призначено для науковців, аспірантів, викладачів та вчителів географії.

Збірник включено до Переліку наукових фахових видань України категорії Б у галузі географічних наук за спеціальностями 103 (науки про Землю) та 106 (географія) (Наказ МОН України № 409 від 17.03.2020)

Збірник зареєстрований у міжнародних наукометричних базах Index Copernicus, DOAJ, Ulrich's Periodicals Directory, Google Scholar, BASE, OAJI

*Затверджено до друку рішенням Вченої ради
Харківського національного університету імені В.Н. Каразіна
(протокол № 11 від 21.06.2024 р.)*

Редакційна колегія:

В.А. Пересадько – головний редактор, д-р геогр. наук, проф. (ХНУ імені В.Н. Каразіна); О.О. Жемеров – відповідальний редактор, канд. геогр. наук, проф. (ХНУ імені В.Н. Каразіна); С.В. Костріков, д-р геогр. наук, проф. (ХНУ імені В.Н. Каразіна); Л.М. Немець, д-р геогр. наук, проф. (ХНУ імені В.Н. Каразіна); К.Ю. Сегіда, д-р геогр. наук, проф. (ХНУ імені В.Н. Каразіна); А.В. Гриценко, д-р геогр. наук, проф. (УКРНДІЕП, м. Харків); Л.М. Даценко, д-р геогр. наук, проф. (КНУ імені Т. Шевченка); І.П. Ковальчук, д-р геогр. наук, проф. (Національний університет біоресурсів і природокористування України); Є.О.Маруняк, д-р геогр. наук, (Інститут географії НАНУ); Р.І. Сосса, д-р геогр. наук, проф. (Національний університет «Львівська політехніка»); О.С. Третьяков, канд. геогр. наук (ІП «Інтетікс», м. Харків), д-р географії (Франція); П.Г. Шищенко, д-р геогр. наук, проф., чл.-кор. НАПН України (КНУ імені Т. Шевченка); О.М. Берлянт, д-р геогр. наук, проф. (Канада); О.С. Володченко, д-р географії, проф. (Німеччина); Антоніо Авеліно Батішта Вієра, д-р географії (Португалія), Т.П. Гордєзіані - д-р геогр. наук, проф.(Грузія); Кендіс Лубберинг, д-р географії (США), Дуглас Річардсон, д-р географії (США), Єлена Огнева-Гіммельбергер, д-р географії (США).

Адреса редакційної колегії:
61022, м. Харків - 22, майдан Свободи, 4, к. 4-72
тел. 707-53-60, e-mail: progoik@physgeo.com
сайт: <http://goik.univer.kharkov.ua>

Проблеми безперервної географічної освіти і картографії : Збірник наукових праць. – Вип. 40. – Х.: ХНУ імені В. Н. Каразіна, 2024. – 81 с.

Автори опублікованих матеріалів несуть повну відповідальність за добір, точність, достовірність наведених даних, фактів, цитат, інших відомостей.

Статті пройшли внутрішнє та зовнішнє рецензування.

Ідентифікатор медіа у Реєстрі суб'єктів у сфері медіа: R30-04460 (Рішення № 1538 від 09.05.2024 р. Національної ради України з питань телебачення і радіомовлення. Протокол № 15)

© Харківський національний університет
імені В. Н. Каразіна, оформлення, 2024

ISSN 2075-1893(Print)
ISSN 2409-3173(Online)

MINISTRY OF EDUCATION AND SCIENCE OF UKRAINE

V. N. Karazin Kharkiv National University

**THE PROBLEMS
OF CONTINUOUS GEOGRAPHICAL EDUCATION
AND CARTOGRAPHY**

Collection of scientific works

Issue 40

Founded in 2000

Kharkiv– 2024

UDC: 91+528.9]:37.018.4-022.322(082.1)
Founder: V. N. Karazin Kharkiv National University
Year of foundation: 2000
Frequency: twice a year

The collection includes articles that address current issues of modern practical training of students in geography and cartography. The experience is summarized and the prospects of development and introduction of innovative pedagogical technologies into the educational process are revealed, as well as preparation and publication of new cartographic works to be used in schools, higher educational institutions and other institutions of continuous geographical education.

It is designed for scientists, graduate students and teachers of geography.

The collection is included in the List of scientific professional publications of Ukraine in category B in the field of geographical sciences in specialties 103 (Earth sciences) and 106 (geography) (Order of the Ministry of Education and Science of Ukraine № 409 from 17.03.2020)

The collection is registered in international scientometric databases Index Copernicus, DOAJ, Ulrich's Periodicals Directory, Google Scholar, BASE, OAJI

*Approved for publication by the decision of the Academic Council,
V.N. Karazin Kharkiv National University
(Minutes № 11 of 21.06.2024)*

Editorial board:

V.A. Peresadko - Editor-in-Chief, Dr. geogr. sciences, prof. (V.N.Karazin KhNU); O.O. Zhemerov - Editor-in-Chief, Ph.D. geogr. sciences, prof. (V.N.Karazin KhNU); S.V. Kostrikov, Dr. geogr. sciences, prof. (V.N.Karazin KhNU); L.M. Nemets, Dr. geogr. sciences, prof. (V.N.Karazin KhNU); K.Y. Sehida, Dr. geogr., prof. (V.N.Karazin KhNU); A.V. Grytsenko, Dr. geogr. sciences, prof. (UKRNDIEP, Kharkiv); L.M. Datsenko, Dr. geogr. sciences, prof. (T. Shevchenko KNU); I.P. Kovalchuk, Dr. geogr. sciences, prof. (National University of Bioresources and Environmental Sciences of Ukraine); E.O. Marunyak, Dr. geogr. sciences, (Institute of Geography, NASU); R.I. Sossa, Dr. geogr. sciences, prof. (Lviv Polytechnic National University); O.S. Tretyakov, Ph.D. geogr. sciences (Intetix, Kharkiv), Doctor of Geography (France); P.G. Shishchenko, Dr. geogr. sciences, prof., Corresponding Member NAPS of Ukraine (Taras Shevchenko National University); O.M. Berlyant, Dr. geogr. sciences, prof. (Canada); O.S. Volodchenko, Doctor of geography, prof. (Germany); Antonio Avellino Batista Vieira, PhD in Geography (Portugal), T.P. Gordeziani - Dr. geogr. sciences, prof. (Georgia); Candice Lubbering, PhD in geography (USA), Douglas Richardson, PhD in Geography (USA), Elena Ogneva-Himmelberger, PhD in geography (USA).

Address of Editorial Board:
4, Maidan Svobody, room 4-72, Kharkiv – 22, 61022
tel. 707-53-60, e-mail: progoik@physgeo.com
site: <http://goik.univer.kharkov.ua>

The Problems of Continuing Geographical Education and Cartography: Collection of scientific works. – Issue 40. – Kh. : V.N. Karazin KhNU, 2024. – 81 p.

The authors of the published materials are fully responsible for the selection, accuracy, reliability of the data, facts, quotations and other information.

Articles have been reviewed internally and externally.

Media identifier in the Register of the field of Media Entities: R30-04460 (Decision № 1538 dated May 9, 2024 of the National Council of Television and Radio Broadcasting of Ukraine, Protocol № 15)

© V.N. Karazin Kharkiv National University,
design, 2024

ЗМІСТ

Агапова О., Лещенко В. ДОСЛІДЖЕННЯ ПОЖЕЖ У ЛІСАХ УКРАЇНИ ВНАСЛІДОК ВОЄННИХ ДІЙ ЗА ДАНИМИ ДИСТАНЦІЙНОГО ЗОНДУВАННЯ ЗЕМЛІ	6
Байназаров А., Попов В., Вовк У., Пілюгін А. ДИНАМІКА ЛІСОВИХ ПОЖЕЖ НА ТЕРИТОРІЇ ІЗЮМСЬКОГО РАЙОНУ, ВИКЛИКАНИХ БОЙОВИМИ ДІЯМИ	18
Максименко Н., Гречко А., Клещ А. АНАЛІЗ ТЕРИТОРІАЛЬНОЇ СТРУКТУРИ УРБОЛАНДШАФТУ М. ЧУГУЇВ ДЛЯ ПОТРЕБ ВПРОВАДЖЕННЯ КОНЦЕПЦІЇ ЗЕЛЕНО-БЛАКИТНОЇ ІНФРАСТРУКТУРИ.....	25
Пересадько В., Дмитриков О., Джос А. АНАЛІЗ ТОЧНОСТІ КАРТОГРАФІЧНОЇ ІНФОРМАЦІЇ (НА ПРИКЛАДІ ВІДОБРАЖЕННЯ АВТОМОБІЛЬНИХ ШЛЯХІВ УКРАЇНИ І США).....	32
Решетченко С., Дмитрієв С., Божедай І., Жемеров О. КАРТОГРАФУВАННЯ МЕТЕОРОЛОГІЧНИХ ЯВИЩ НА ПРИКЛАДІ ТУМАНІВ НА ТЕРИТОРІЇ ХАРКІВСЬКОЇ ОБЛАСТІ.....	45
Рибченко Л., Савчук С. ГЕЛІОЕНЕРГЕТИЧНІ РЕСУРСИ УКРАЇНИ ЗА 1990 - 2020 рр.	51
Kravchenko K., Shpak Ye. TRANSPORT SYSTEM AS A DETERMINANT OF THE SPATIAL DEVELOPMENT OF THE REGION	58
Зозуля І. ГЕОГРАФІЧНІ ОСОБЛИВОСТІ СІЛЬСЬКОГО ГОСПОДАРСТВА ЧЕРКАСЬКОЇ ОБЛАСТІ В УМОВАХ ЗМІН КЛІМАТУ	68

CONTENT

Ahapova O., Leshchenko V. STUDY OF FORESTS FIRES IN UKRAINE AS A CONSEQUENCE OF MILITARY ACTIONS ACCORDING TO REMOTE EARTH SENSING DATA.....	6
Bainazarov A., Popov V., Vovk U., Piliugin A. THE DYNAMICS OF FOREST FIRES CAUSED BY WAR IN THE TERRITORY OF IZYUM DISTRICT	18
Maxymenko N., Hrechko A., Klieshch A. ANALYSIS OF THE TERRITORIAL STRUCTURE OF THE URBAN LANDSCAPE OF CHUHUIV FOR THE NEEDS OF GREEN AND BLUE INFRASTRUCTURE IMPLEMENTATION.....	25
Peresadko V., Dmytrykov O., Dzhos A. ANALYSIS OF THE ACCURACY OF MAPPING INFORMATION (USING THE EXAMPLE OF MOTORWAY MAPPING IN UKRAINE AND THE USA).....	32
Reshetchenko S., Dmitriev S., Bozhedai I., Zhemerov O. MAPPING METEOROLOGICAL PHENOMENA: A CASE STUDY OF FOG IN THE KHARKIV REGION.....	45
Rybchenko L., Savchuk S. SOLAR ENERGY RESOURCES OF UKRAINE FOR 1990 - 2020	51
Kravchenko K., Shpak Ye. TRANSPORT SYSTEM AS A DETERMINANT OF THE SPATIAL DEVELOPMENT OF THE REGION	58
Zozulya I. GEOGRAPHICAL FEATURES OF AGRICULTURE IN CHERKASY OBLAST IN THE CONTEXT OF CLIMATE CHANGE	68

DOI: 10.26565/2075-1893-2024-40-01

УДК: 630*3:355/359:528.8

Олена Агапова*

к. геогр. наук, доцент ЗВО кафедри фізичної географії та картографії;

e-mail: o.agapova@karazin.ua; ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0003-3074-5524>**Віктор Лещенко***

магістр географії кафедри фізичної географії та картографії; e-mail: leschenko.victor@gmail.com;

ORCID ID: <https://orcid.org/0009-0008-8655-6865>

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

Дослідження пожеж у лісах України внаслідок воєнних дій за даними дистанційного зондування Землі

Метою цієї статті є просторово-часовий аналіз поширення пожеж та виявлення вигорілих ділянок лісу за даними ДЗЗ в межах областей України, де велися активні бойові дії з початку повномасштабного вторгнення російських військ до кінця 2023 року, а також виявлення уражених пожежами лісових екосистем в межах ПЗФ.

Основний матеріал. Станом на 2023 рік за даними Держекоінспекції від бойових дій постраждало близько 3 млн га українського лісу, що відповідає майже третині усього лісового фонду країни. В зону бойових дій потрапили території 900 об'єктів ПЗФ загальною площею 1,24 млн га. У статті представлено результати аналізу поширення пожеж у період з початку повномасштабного вторгнення російських військ до кінця 2023 року в областях України, охоплених активними бойовими діями. На основі даних дистанційного зондування Землі підготовлено картографічні матеріали, які відображають зони найбільшої концентрації вигорілих територій. Особливу увагу приділено впливу бойових дій на природні лісові екосистеми та природно-заповідний фонд, що становлять близько 50% усіх лісових площ країни. У ході дослідження встановлено просторову кореляцію між поширенням пожеж і розташуванням лінії фронту, а також виявлено часову динаміку загорянь, яка збігається з періодами активізації бойових дій.

Висновки. Супутникові дані MODIS і VIIRS, використані через платформу EFFIS, показали високу ефективність у виявленні вигорілих ділянок, зокрема на територіях, недоступних через військові дії або окупацію. Водночас їхня обмежена просторова роздільна здатність знижує точність оцінки масштабів пошкоджень лісів. Представлені у статті результати просторово-часового аналізу пожеж можуть слугувати основою для виділення територій, що потребують більш детальних досліджень, спрямованих на уточнення обсягів втрат лісових екосистем, оцінку масштабів їх пошкоджень, а також розробку стратегій з відновлення лісів, постраждалих від війни.

Ключові слова: лісові екосистеми, природно-заповідний фонд, пожежі, вигорілі території, дистанційний моніторинг, воєнні дії, Україна.

Як цитувати: Агапова О., Лещенко В. Дослідження пожеж у лісах України внаслідок воєнних дій за даними дистанційного зондування Землі. *Проблеми безперервної географічної освіти і картографії*. 2024. Вип. 40. С. 6–17. <https://doi.org/10.26565/2075-1893-2024-40-01>

In cites: Ahapova, O., Leshchenko, V. (2024). Study of forests fires in Ukraine as a consequence of military actions according to remote earth sensing data. *The problems of continuous geographical education and cartography*, (40), 6–17. <https://doi.org/10.26565/2075-1893-2024-40-01> (in Ukrainian)

Вступ. Повномасштабна війна в Україні чинить значний негативний вплив на довкілля, зокрема на лісові екосистеми, які зазнають пошкоджень внаслідок бомбардувань, забруднення металобрухтом, небезпечними хімічними речовинами, масштабних пожеж та несанкціонованих рубок. За даними Міністерства захисту довкілля та природних ресурсів України станом на листопад 2023 року бойові дії охоплювали близько 30 тис. км² лісових територій країни. Окремого дослідження потребують наслідки пожеж, спричинених воєнними діями, для лісових ландшафтів природно-заповідного фонду (ПЗФ) України. Це дозволило б зрозуміти масштаби втрат лісів, оцінити завдані збитки та в подальшому сформулювати науково обґрунтовані стратегії їх відновлення. За офіційними даними [5] станом на 1 березня 2022 року у зону бойових дій потрапили території 900 об'єктів ПЗФ загальною площею 1,24 млн га, що складає приблизно третину загальної площі ПЗФ України. Під загрозою знищення опинилося близько 200 територій (2,9 млн га) Смарагдової мережі. Частина цих територій зазнала масштабних пожеж. Триваюча війна призводить до зростання негативних екологічних наслідків, що підкреслює необхідність поточного моніторингу, збору даних і оцінки збитків, зокрема для лісового фонду.

Вихідні передумови. Відповідно до статті 4 Лісового кодексу України всі лісові масиви на території України, незалежно від їхнього основного призначення та правового статусу власності, вважаються лісовим фондом країни і підлягають захисту з боку держави. До 50% лісів мають обмежений режим лісокористування й переважно екологічне значення, а частка заповідних лісів складає 16,1% [4]. Станом на 2023 рік за даними Держекоінспекції від бойових дій постраждало близько 3 млн га українського лісу, що відповідає майже третині усього лісового фонду країни. За даними звіту [7] Державного агентства лісових ресурсів України за 2022 рік внаслідок війни 2,9 млн га лісів пошкоджені в різному ступені. З урахуванням лісів Автономної республіки Крим та ОРДЛО (окремих районів Донецької і Луганської областей), окупованих з 2014 року, станом на початок 2023 р. близько 1 млн га лісу перебувало в окупації або зазнало деструктивного впливу в результаті активних бойових дій. Наведені оцінки шкоди, заподіяної лісам, різняться в залежності від застосованої методики, вихідних даних та часових періодів, що бралися до розрахунку.

Стан лісів та наслідки воєнних дій для лісових екосистем стали предметом досліджень науковців. Загальні відомості про негативні наслідки війни для лісів України розглядали у своїх роботах Кузик А., Товаряньський В. [6], Чернявський М.В., Шукель І. [10]. Наслідки пожеж, що сталися через воєнні дії, за даними дистанційного зондування Землі (ДЗЗ) досліджували Томченко О. та співавтори [20], Холошин І. та співавтори [16], Мацала М. та співав-

тори [17]. Результати дистанційного моніторингу пожеж на території об'єктів ПЗФ у зоні бойових дій представлені у статті Трофимчука О. та співавторів [21]. У роботі Шевчука С. та співавторів [18] за допомогою відкритих даних супутників Aqua і Terra, NOAA-2, Suomi NPP, Sentinel і Landsat проведено аналіз поширення пожеж на територіях нафтобаз, промислових об'єктів, складах для зберігання обладнання та боєкомплекту, лісів та житлової забудови, руйнацію інфраструктурних споруд поблизу водних об'єктів. У роботі Залюбовської О. та співавторів [3] досліджено та виявлено найбільші пожежі на території національного природного парку (НПП) «Дворічанський» за даними EFFIS.

Саме пожежі є найбільш деструктивними з усіх факторів війни для природних екосистем. Вони виникають через численні бомбардування, розриви снарядів та мін, займання боєкомплекту, ураженої техніки та легкозаймистих речовин у зоні бойових дій та довкола неї. Пожежі знищують усе на своєму шляху: материнський деревостан, підріст, підлісок, що складає нижній ярус лісу, лісову підстилку, руйнує ґрунтовий покрив. При цьому втрачаються лісові ресурси, що могли б бути використані для заготівлі деревини, відбувається небажане заміщення хвойних рослин листяними, втрачаються популяції тварин, у заповідних територіях зникають реліктові види, що несе часто незворотні зміни природним комплексам [10]. Наразі оцінка стану лісів ускладнена тим, що до значних територій фізичний доступ обмежено через окупацію, ведення активних бойових дій та замінованість територій. В таких умовах дані ДЗЗ є єдиним джерелом, що дає можливість оцінити масштаби втрат лісів та негативний вплив війни на компоненти довкілля. Згідно з Методикою, затвердженою наказом Міндовкілля № 424 від 13.10.2022 р., для оцінки шкоди та збитків, завданих ПЗФ, можливе використання даних ДЗЗ наряду з іншими джерелами інформації.

Метою статті є просторово-часовий аналіз поширення пожеж та виявлення вигорілих ділянок лісу за даними ДЗЗ в межах областей України, де велися активні бойові дії з початку повномасштабного вторгнення російських військ до кінця 2023 року, а також виявлення уражених пожежами лісових екосистем в межах ПЗФ.

Виклад основного матеріалу дослідження. За рахунок даних мультиспектральних космічних знімків можливо виявити зміни у спектральних характеристиках земної поверхні, викликані пожежами. Основні підходи виявлення вигорілих ділянок рослинного покриву базуються на застосуванні даних ближньої (NIR) та короткохвильової (SWIR) інфрачервоної області випромінювання. Вони є особливо чутливими до впливу вогню, оскільки зменшення індексу площі листя при повному вигорянні та його пігменту (вмісту хлорофілу) при частковому обпаленні рослинності призводить до значно-

го зниження коефіцієнта відбиття в діапазоні NIR. І водночас зниження вмісту вологи внаслідок спалювання призводить до збільшення значень у SWIR діапазоні. Засновуючись на цих закономірностях вченими (López García and Caselles (1991); Key та Benson, (1999); Brewer та ін. (2005); Eidenshink та ін. (2007)) були запропоновані спектральні індекси для виявлення вигорілих ділянок та/або ступеня вигорання, зокрема нормалізований індекс горіння (Normalized Burn Ratio – NBR) та диференційований нормалізований індекс горіння (Differenced (or delta) Normalized Burn Ratio – dNBR). Для територій активних пожеж найбільш чутливими зонами спектру є середня інфрачервона (MIR: 2,5–8 мкм) і теплова інфрачервона (TIR: 8–14 мкм) смуга, хоча яскравість SWIR також значно збільшується під час активних пожеж, що дає можливість використовувати датчики супутників із середньою роздільною здатністю для активного виявлення пожеж. Ще у 1990-х роках, контраст випромінювання у MIR та TIR діапазонах між осередками активних пожеж та фоном (оточуючими територіями) дозволив створити перші глобальні продукти виявлення пожеж на основі знімків удосконаленого радіометра з дуже високою роздільною здатністю (Advanced Very High-Resolution Radiometer – AVHRR) (Ahern та ін. (2001); Dwyer та ін. (2000)) [12].

Такі супутникові системи, як MODIS і VIIRS, використовують теплові інфрачервоні сенсори для виявлення осередків активних пожеж у реальному часі. Наразі існує низка геоінформаційних онлайн-платформ із моніторингу пожеж, які базуються на даних цих та інших супутникових систем. Найбільш відомими є веб-сервіси FIRMS, NASA (Fire Information for Resource Management System – Інформаційна система про пожежі для управління ресурсами) [14], GWIS (Global Wildfire Information System – Глобальна інформаційна система лісових пожеж), що є спільною ініціативою Group on Earth Observations (GEO) та програми ЄС Copernicus [15] або EFFIS (European Forest Fire Information System – Європейська інформаційна система лісових пожеж) [13], що є частиною програми ЄС Copernicus під керівництвом Служби управління надзвичайними ситуаціями (EMS). Ці інформаційні ресурси надають можливість спостерігати за поширенням активних пожеж та визначати вигорілі ділянки станом на поточний день та за минулі періоди.

Веб-сервіс FIRMS [14] надає дані про активні пожежі майже в реальному часі від спектродіометра з середньою роздільною здатністю MODIS на борту супутників TERRA та AQUA, а також набору радіометрів видимого та інфрачервоного діапазону Visible Infrared Imaging Radiometer Suite (VIIRS) на борту S-NPP (Suomi National Polar-orbiting Partnership), NOAA 20 та NOAA 21 (відомих як JPSS-1 і JPSS-2). Для США та Канади дані виявлення активних пожеж FIRMS доступні в режимі реального часу,

а для всіх інших країн світу – протягом трьох годин після супутникового спостереження. Активні пожежі виявляються та локалізуються автоматизованими алгоритмами на підставі «теплових аномалій» (коли різниця температур між потенційною пожежею та земним покривом навколо неї перевищує заданий поріг). Просторова роздільна здатність пікселя активного виявлення пожежі становить 1 км для MODIS та 375 м для VIIRS, а періодичність зйомки – 1-2 рази на добу. Таким чином, дані VIIRS та MODIS доповнюють взаємодоповнюють одне одного, забезпечуючи виявлення менших за площею пожеж і дозволяючи більш точно окреслювати периметри великих пожеж. Дані про активні пожежі доступні для перегляду на картографічному веб-сервісі FIRMS FIRE MAP або через сервіс NASA WORLDVIEW.

Європейська інформаційна система EFFIS використовує дані про активне виявлення пожеж, надані NASA FIRMS. Для того, щоб звести похибку до мінімуму (не всі гарячі точки, виявлені супутниковою зйомкою, є пожежами) та відфільтрувати активні пожежі, які не кваліфікуються як лісові пожежі (наприклад, спалювання сільськогосподарських культур), система відображає лише відібрану підмножину гарячих точок з тих, що виявлені FIRMS. Для цього використовується алгоритм, який враховує ступінь пошкодження навколишнього ґрунтового покриву, відстань до міських територій і штучних поверхонь, рівень надійності «гарячої точки» [11]. Інформація про активні пожежі зазвичай оновлюється 6 разів на день і стає доступною в EFFIS протягом 2-3 годин після отримання зображень MODIS/VIIRS.

Для визначення та картографування вигорілих ділянок EFFIS у 2003 році був запроваджений модуль швидкого аналізу Rapid Damage Assessment (RDA), що спочатку виявляв вигорілі території лише під час сезону пожеж шляхом напівавтоматичної класифікації щоденних зображень MODIS із просторовою роздільною здатністю 250 м, які були доступні протягом кількох годин після зйомки. Швидка оцінка забезпечувала щоденне оновлення меж вигорілих ділянок на території Європи для пожеж площею близько 30 га і більше. З 2018 року до алгоритмів аналізу RDA було додано використання супутникових зображень Sentinel-2, що дозволило виявляти пожежі на площі менше 30 га та уточнювати межі вигорілих ділянок, визначених за даними MODIS з деталізацією 250 м. Завдяки удосконаленому алгоритму нанесені на карту EFFIS вигорілі ділянки покривають близько 95% від загальної площі вигорілих територій у Європі.

Дані VIIRS також використовуються EFFIS для картографування вигорілих ділянок, периметри яких окреслюються автоматично на основі координат активних пожеж. Алгоритми генерують полігони майже в реальному часі, навіть за умов невеликої

хмарності чи задимленості. Завдяки піксельному окресленню форми периметрів вигорілих ділянок можуть мати чіткіші форми, ніж при класифікації зображень MODIS [19]. З огляду на те, що номінальна просторова роздільна здатність сенсора VIIRS для активного виявлення пожеж становить 375 м, мінімальна площа виявлених вигорілих ділянок складає приблизно 14 га.

У нашому дослідженні проаналізовано дані системи EFFIS щодо активних пожеж і вигорілих ділянок у лісових масивах і територіях ПЗФ у регіонах України, охоплених бойовими діями внаслідок повномасштабного вторгнення російських військ. Аналіз охоплює період з 24 лютого 2022 року до 31 грудня 2023 року та включає території Київської, Житомирської, Чернігівської, Сумської, Харківської, Донецької, Луганської, Запорізької, Херсонської та Миколаївської областей. Картографічні матеріали, представлені у статті, ілюструють просторовий розподіл пожеж та/або вигорілих ділянок, розташування лісових масивів, а також проходження лінії бойового зіткнення, межі окупованих і звільнених територій станом на грудень 2023 року (за даними DeepStateMAP). Для ідентифікації заповідних територій, що постраждали від пожеж, було додатково використано картографічні шари даних ПЗФ України.

Дослідження включає просторово-часовий аналіз пожеж у зазначених регіонах, а також порівняння загальної кількості пожеж у 2022 році з аналогічними показниками за 2021 рік. У результаті вдалося визначити території та часові періоди, де масштаби пожеж досягали максимальних значень.

Дані EFFIS щодо активних пожеж та вигорілих територій у 2021 і 2022 роках свідчать про суттєве збільшення площ пожеж в Україні у 2022 році порівняно з попереднім роком (рис. 1 а, б). За публічними річними звітами голови Державного агентства лісових ресурсів України [7, 8] у 2022 році в межах лісового фонду було ліквідовано 1009 пожеж, що у 1,5 рази більше, ніж у 2021 році, коли було зафіксовано 659 пожеж. Загальна площа лісових пожеж, з урахуванням досліджень деокупованих територій, у 2022 році становила 22 893 га, що перевищує показник 2021 року (289 га) у 79 разів. Середня площа однієї лісової пожежі зросла у 35 разів, досягнувши 15,4 га, що вказує на значне посилення негативного впливу у 2022 році.

У 2023 році було ліквідовано 593 пожежі на площі 906,8 га, з яких 35 пожеж – це великі лісові пожежі на загальній площі 446,6 га. Середня площа однієї пожежі становила 1,5 га [8]. Утім наведені статистичні дані не є повними та остаточними, оскільки облік пожеж Державним агентством лісових ресурсів здійснювався без урахування значної частини лісів, що перебувають в зоні бойових дій та на тимчасово окупованих територіях, де проведення інструментальної зйомки площ вигорілих лісів є неможливим.

За даними EFFIS з перших днів повномасштабної війни у Житомирській, Київській та Чернігівській областях спостерігалось стрімке зростання кількості пожеж. У перший місяць воно було максимальним (рис. 2 а), а після деокупації територій у квітні 2022 року знизилось до мінімуму. Загалом на цих територіях у період ведення активних бойових дій (перший місяць повномасштабної війни) сталося більше пожеж, ніж за весь інший досліджений період, аж до кінця 2023 року (рис. 2 б).

На прикладі Київської області (рис. 3) простежується просторовий зв'язок між розташуванням вигорілих ділянок лісу та зоною ведення бойових дій у лютому-березні 2022 року. Найбільше постраждали північні райони українського Полісся.

Масштабні пожежі відбулися на території Чорнобильського радіаційно-

екологічного біосферного заповідника та Чорнобильського спеціального загальнозоологічного заказника. Вигорілі ділянки, що датуються березнем 2022 року, також були зафіксовані на території НПП «Залісся», у Святошинському лісі поблизу м. Ірпінь, у соснових лісах поблизу м. Гостомель та с. Нові Петрівці, в межах Іванівського, Поліського, Димерського, Клавдієвського, Тетерівського та Макарівського лісгоспів.

Загальна площа лісових пожеж у Київській області (без урахування Чорнобильської зони відчуження) протягом 2022 року становила 1 128,53 га, що на 1 125,37 га більше, ніж у 2021 році [9].

За час окупації Чорнобильської зони відчуження з 24.02.2022 р. до 01.04.2022 р. бойові дії спричинили пожежі, що завдали шкоди живій природі на площі 14 074 га. Після деокупації зони відчуження було зафіксовано пожежі на площі 18 132 га, які сталися через підлив боєприпасів та мін. До того ж забруднення територій вибухонебезпечними предметами ускладнило роботу пожежних служб у боротьбі з вогнем та сприяло поширенню пожеж на більші території [9].

На Житомирщині під час активних бойових дій від пожеж постраждали ліси природного заповідника «Древлянський» (знищено понад 2100 гектарів лісу [9]), Народицького та Овруцького спецлісгоспів, Білокоровицького, Коростенського, Малинського та Овруцького лісгоспів.

У Чернігівській області в період активних бойових дій, які тривали з 24.02.2022 р. до 03.04.2022 р., пожежі сталися на території Міжріччинського регіонального ландшафтного парку, ландшафтного заказника місцевого значення «Рогізне», Чернігівського, Ніжинського, Семенівського, Корюківського та Прилуцького лісгоспів. За результатами польового обстеження лісових масивів після виходу з території області російських військ виявлені пошкодження лісів ДП «Городнярайагролісгосп» (3,89 га), ДП «Бобровицярайагролісництво» (14,9 га), ДП «Черігіврайагролісгосп» (497,4 га) та

ДП «Чернігівський військовий лісгосп» (416,2 га, з них біля 145 га повністю знищено пожежами) [9]. Але через систематичні обстріли та обмежений до-

ступ до лісів у прикордонних смугах області більш повне проведення польових обстежень лісових масивів неможливе.

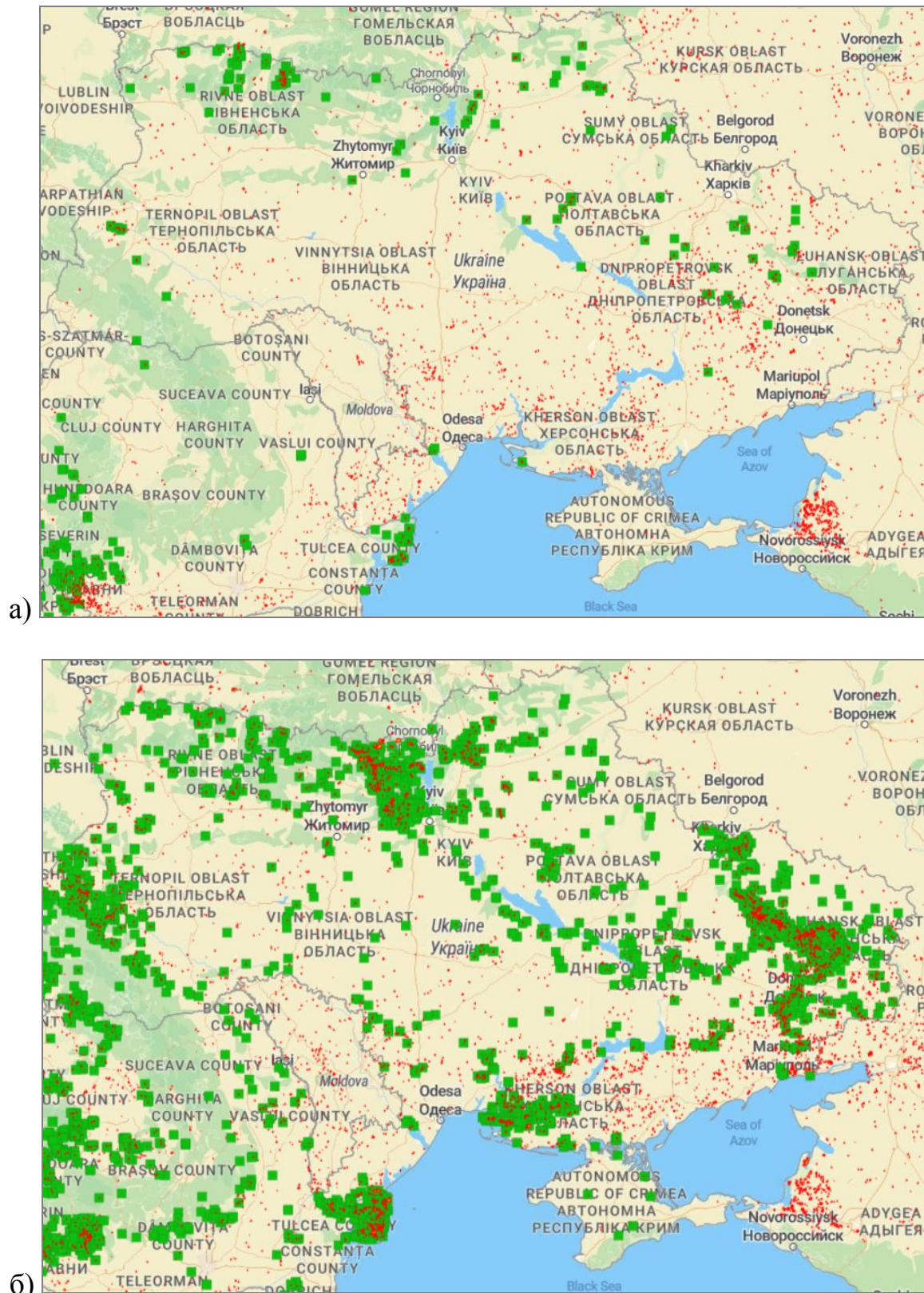
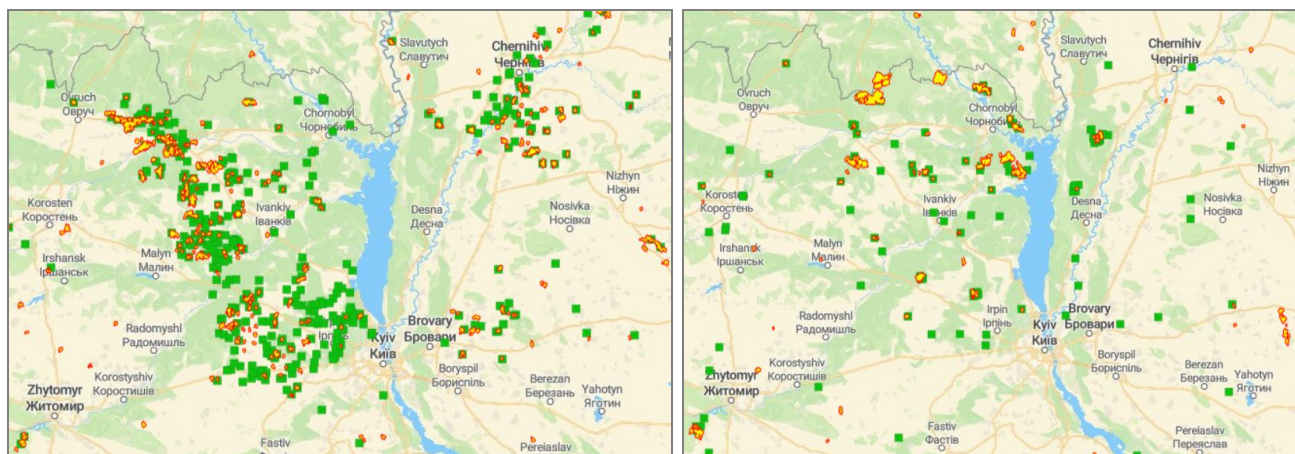


Рис. 1. Поширення активних пожеж (зелені позначки) та вигорілих територій (червоні позначки) на території України за даними EFFIS у 2021 році (а) та 2022 році (б) /

Fig. 1. Distribution of active fires (green markers) and burned areas (red markers) in Ukraine based on EFFIS data in 2021 (a) and 2022 (b).



а)

б)

Рис. 2. Поширення активних пожеж (зелені позначки) та вигорілих територій (жовто-червоні позначки) у північних областях України за даними EFFIS у період з 24.02.2022 по 31.03.2022 р. (а) та з 01.04.2022 по 31.12.2023 р. (б) /

Fig. 2. Distribution of active fires (green markers) and burned areas (yellow-red markers) in the northern regions of Ukraine based on EFFIS data from February 24, 2022, to March 31, 2022 (a) and from April 1, 2022, to December 31, 2023 (b).

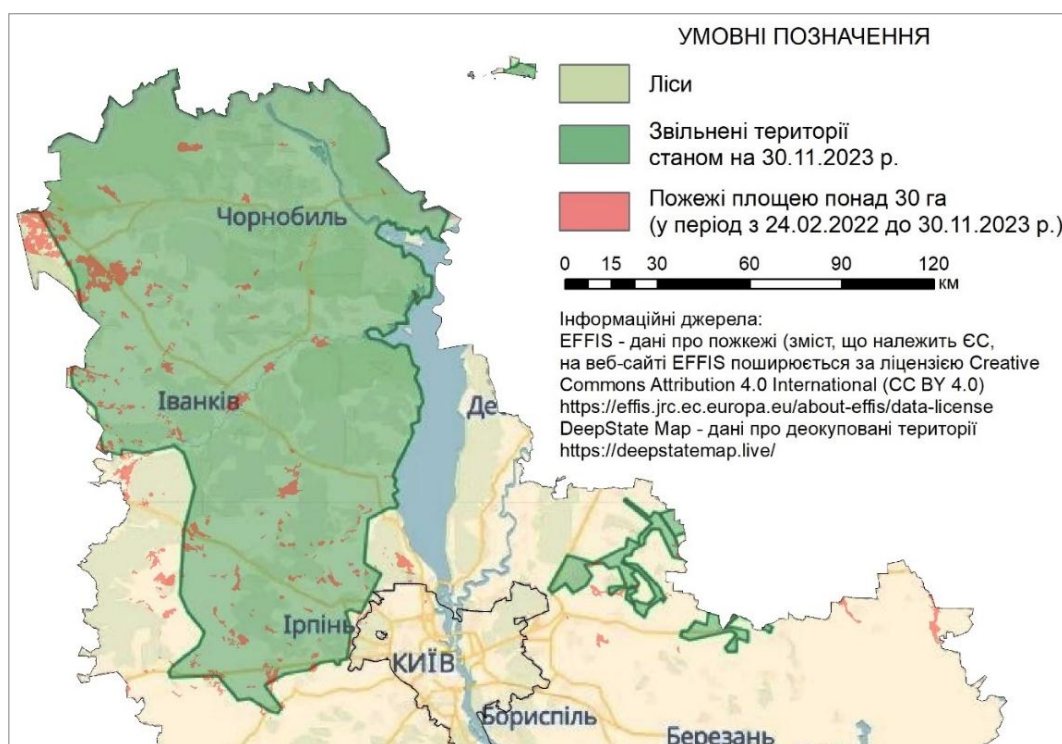


Рис. 3. Фрагмент карти вигорілих територій у Київській області у період повномасштабного вторгнення (з 24.02.2022 до 30.11.2023 р.) /
Fig. 3. A fragment of the burned areas map in Kyiv region during the full-scale invasion (from February 24, 2022, to November 30, 2023).

На Сумщині порівняно з Київською та Чернігівською областями за даними EFFIS сталося значно менше пожеж, які до того ж майже не охоплювали лісові масиви. Проте через обстріли та несанкціоновані рубки, здійснені російськими військами, на окремих ділянках лісу зафіксовано пошкодження до ступеня припинення росту дерев. Масованих обстрілів зазнали території Гетьманського НПП та НПП «Деснянсько-Старогутський» [9].

У межах Харківської та Луганської областей на початку війни кількість пожеж не була високою,

але у травні-червні 2022 року їх кількість суттєво зросла (рис. 4 а), особливо в районі Ізюмського лісового господарства та Кременського лісомисливського господарства. В цей період вздовж долини р. Сіверський Донець від м. Балаклія до м. Лисичанськ сталася найбільша кількість пожеж. На Луганщині вигоріли значні площі Серебрянського лісу Кременського лісомисливського господарства, лісові масиви Северодонецького лісомисливського господарства. Також пожежі були зафіксовані у Станично-Луганському та Новоайдарському лісо-

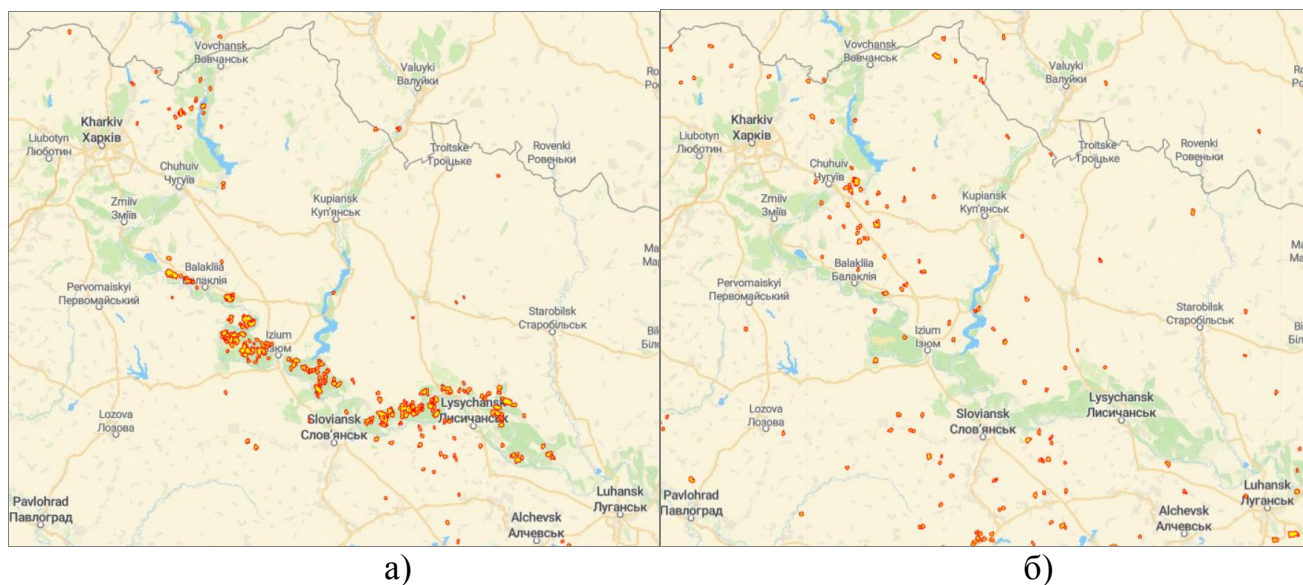


Рис. 4. Вигорілі ділянки на території Харківської та Луганської областей за даними EFFIS у періоди з травня по червень 2022 р. (а) та з серпня 2022 р. по квітень 2023 р. (б) /

Fig. 4. Burned areas in Kharkiv and Luhansk regions based on EFFIS data for the periods from May to June 2022 (a) and from August 2022 to April 2023 (b).

мисливських господарствах. За даними Державної екологічної інспекції Луганської області, у 2022 році з початку бойових дій російські окупаційні війська частково знищили лісовий фонд регіону на площі близько 26 тис. га артилерійськими, авіаційними та важкими вогнеметними системами [9]. Постраждали ліси у наступних об'єктах природно-заповідного фонду Луганщини: ботанічному заказнику місцевого значення «Серебрянський», НПП «Кременські ліси», гідрологічному заказнику місцевого значення «Кременські каптажі», заповідному урочищу місцевого значення «Дубовий гай» (що являло собою унікальну діброву природного походження віком близько 300 років), лісовому заказнику місцевого значення «Білогорівський», загальнозоологічному заказнику місцевого значення «Жеребець», заповідному урочищу місцевого значення «Капітанівський ліс» та частині Луганського природного заповідника «Трехізбенський степ».

У Харківській області пожежі сталися в межах Балаклійського (вигоріла майже вся територія лісового масиву Високий Бір), Вовчанського, Ізюмського (непоправну шкоду пожежі нанесли Ізюмському лісу), Куп'янського та Чугуєво-Бабчанського лісових господарств. Серед об'єктів ПЗФ від пожеж постраждали НПП «Дворічанський», гідрологічний заказник місцевого значення «Графський», ботанічний заказник місцевого значення «Конопляне», регіональні ландшафтні парки «Оскільський» та «Ізюмська Лука», ботанічна пам'ятка природи «Красношахтарська», заповідне урочище «Бір», ландшафтні заказники «Савинська лісова дача» (пожежі охопили майже всю територію) та «Крейдянська лісова дача».

Аналіз даних EFFIS за різні часові періоди показав, що ситуація зі збільшеною кількістю пожеж

на території Луганщини, Харківщини та півночі Донеччини тривала у травні-червні 2022 року, дещо менше здійснювалось у липні, і майже відсутні пожежі в серпні цього року. З того часу і до травня 2023 року лісових пожеж на цих територіях практично не було (рис. 4 б). У травні 2023 року сталися масштабні пожежі на території Серебрянського лісу (на захід від Лисичанська), де в цей час російські війська вели активні штурмові дії позицій Збройних сил України. Просторовий аналіз вигорілих ділянок у травні-червні 2022 року демонструє кореляцію поширення пожеж з проходженням лінії фронту, у той час російські окупаційні війська вели наступ на міста Лисичанськ, Северодонецьк, Лиман. Слід зазначити, що в період Харківського контрнаступу (вересень 2022 року) масштабні лісові пожежі не фіксувалися (рис. 4 б).

У Донецькій області в період повномасштабної війни кількість пожеж вздовж лінії фронту суттєво зросла у порівнянні з даними 2021 року (рис. 5 а, рис. 1 а). У травні 2022 року російські окупаційні війська штурмували м. Лиман Донецької області. Через численні бомбардування та вибухи боєприпасів у соснових лісах навколо Лиману почалися масштабні лісові пожежі. Значних пошкоджень зазнали лісові насадження ДП «Лиманське лісове господарство», які входять до складу НПП «Святі Гори». За попередніми даними площа лісів природного парку, пошкоджених пожежами, обстрілами та важкою технікою, складає майже 18 тис. га. На території регіонального ландшафтного парку «Клебан-Бик», у тому числі в межах геологічної пам'ятки природи загальнодержавного значення «Клебан-Бичьке відслонення», сталися пожежі загальною площею понад 30 гектарів [9]. Масштабні пожежі мали місце в межах Дробишевського та Ямпільського лісництв.



13



13

Крім того, пожежі сталися у лісових масивах на території Українського степового природного заповідника (відділення «Крейдова флора») та довкола Кальчицького водосховища.

У перший місяць повномасштабної війни відбулося різке зростання кількості пожеж вздовж меж тимчасово окупованих територій Донбасу (ОРДЛО). У подальшому висока концентрація пожеж спостерігалася у травні-червні 2022 року у лісах поблизу м. Лиман та м. Святогірськ, у липні-серпні 2022 року зросла кількість пожеж довкола міст Бахмут, Мар'їнка, Вугледар. У наступні місяці до липня 2023 року вигорілі ділянки в межах лісових масивів відсутні. У серпні та вересні 2023 року зафіксовано пожежі не лише вздовж лінії фронту, а й по всій території Донеччини, що пов'язано з високою пожежонебезпекою у цей період року.

На територіях Запорізької, Херсонської та Миколаївської областей, як і в інших регіонах, максимальна концентрація пожеж зосереджена вздовж лінії фронту (рис. 6). Однак часовий розподіл пожеж у південних регіонах має свої особливості: на початку повномасштабної війни їх кількість була мінімальною, а починаючи з травня 2023 року, почала поступово зростати, досягнувши піку у вересні 2023 року. Після цього, з настанням холодного сезону, виникнення пожеж зменшилося до мінімуму. Найбільша концентрація вигорілих територій спостерігається в районах, де тривали інтенсивні бойові дії, зокрема навколо дельти Дніпра (Херсонська область) та поблизу м. Оріхів (Запорізька область).

У Херсонській області пожежі відбувалися у Великоолександрівському, Каховському лісових господарствах, Збур'ївському, Олешківському, Голопристанському, Великокопанівському лісомисливських господарствах та Степовому філіалі УкрНДІЛГА. Від пожеж постраждали лісові ділянки та інша природна рослинність у наступних об'єктах природно-заповідного фонду: НПП «Джарилгацький», «Кам'янська Січ», Нижньодніпровському НПП, Чорноморському біосферному заповіднику, ботанічному заказнику «Хрестова Сага», загальнозоологічному заказнику «Корсунський», ландшафтних заказниках «Інгулець», «Олександрівський», заповідному урочищу місцевого значення «Недогірський ліс». Також вигоріли ділянки Волижиного лісу та лісові насадження довкола території НПП «Олешківські піски».

На території Запорізької області від пожеж постраждали ліси у Запорізькому, Мелітопольському, Пологівському лісомисливських господарствах, Кам'янсько-Дніпровському, Приморському та Бердянському лісових господарствах. Пожежі сталися на територіях ландшафтних заказників «Іванівський бір», «Водянські кучугури», «Урочище Білозірське», «Змішаний ліс із залишками ковиляно-типчакового степу» та ботанічного заказнику «Балка Білоглинка».

У Миколаївській області пожежі сталися на територіях Баштанського, Березнуватського, Володимирського, Вознесенського лісових господарств, Миколаївського та Очаківського лісомисливських господарств, постраждали лісові масиви НПП «Білобережжя Святослава», лісового заказника місцевого значення «Балабанівка» та ділянки Чорноморського біосферного заповідника «Волижин ліс». На початку повномасштабної війни внаслідок бойових дій сталася пожежа у природному заповіднику «Єланецький степ» на загальній площі 100 га. За даними Миколаївського обласного управління лісового та мисливського господарства на території Миколаївського та Баштанського лісгоспів, що частково перебували під окупацією, у 2022 році через бойові дії сталося 70 пожеж загальною площею 1934,43 га. Загалом у Баштанському лісовому господарстві знищено ліси на площі 38,0 га і пошкоджено – 66,0 га, у Миколаївському лісгоспі – 842,0 га та 2210,0 га відповідно [2].

Згідно з даними Державної екологічної інспекції Південно-Західного округу, що діє в межах Миколаївської та Одеської областей, НПП «Білобережжя Святослава» та РЛП «Кінбурнська коса» внаслідок бойових дій та окупації зазнали значних пошкоджень. На території Кінбурнського півострова пожежі охопили понад 2000 га земель природно-заповідного фонду, завдавши шкоди водно-болотним, степовим та лісовим екосистемам [1].

Висновки. Аналіз динаміки поширення пожеж у регіонах України продемонстрував прямий зв'язок між інтенсивністю загорянь і веденням активних бойових дій. Основними факторами виникнення пожеж є масові обстріли, влучання артилерійських снарядів та замінування територій. Значна частина пошкоджених лісів належить до ПЗФ, серед яких значних втрат зазнали унікальні та реліктові ліси. Постраждали зокрема такі об'єкти ПЗФ, як природний заповідник «Древлянський», Чорнобильський радіаційно-екологічний біосферний заповідник, НПП «Залісся», «Кремінські ліси», «Святі гори», «Дворічанський», «Білобережжя Святослава», регіональний ландшафтний парк «Кінбурнська коса», заповідне урочище «Дубовий гай» та інші.

Окрім вогню, значну шкоду заповідним територіям завдають фортифікаційні споруди, що нерідко зводяться в межах охоронюваних зон. Замінування лісів створює додаткові ризики: вибухи мін можуть спричинити нові пожежі, ускладнюючи їх контроль і гасіння. На територіях, де активні бойові дії вже припинилися, встановлення причин пожеж є складним через залишки боеприпасів і мін. Розмінування таких зон є критично важливим для забезпечення ефективного патрулювання та боротьби з пожежами. У сучасних умовах контроль за пожежами на забруднених вибухонебезпечними предметами територіях здійснюється переважно лише з доріг або безпечних

зон, що сприяє розповсюдженню великих пожеж, які важко локалізувати.

Супутникові дані MODIS та VIIRS широко застосовуються для моніторингу пожеж, особливо на територіях, де польові дослідження ускладнені через бойові дії або замінування. Вони забезпечують оперативну інформацію про динаміку поширення пожеж, дозволяючи ідентифікувати осередки загорянь і оцінювати масштаби вигорілих площ. Однак їхня точність обмежена просторовою роздільною здатністю, що є прийнятною лише для первинного аналізу. Для детальних досліджень необхідні супутникові знімки з метровою або сантиметровою роздільною здатністю. Обмеження супутникових даних включають можливість пропуску невеликих осередків загоряння, прикритих димом або хмара-

ми, а також помилкове виявлення інших джерел тепла. Це вимагає додаткової верифікації отриманих результатів. Інструменти на кшталт EFFIS дозволяють порівнювати супутникові дані з офіційною статистикою ДСНС, підвищуючи точність аналізу.

Попри наявний моніторинг, значна частина причин загорянь залишається невстановленою через відсутність доступу до територій. Проведений у даному дослідженні аналіз за допомогою даних EFFIS може слугувати початковим етапом, що допоможе визначити зони, які потребують поглибленого вивчення. Подальші дослідження повинні бути спрямовані на уточнення масштабів втрат лісових масивів, оцінку завданих збитків, виявлення незворотних змін в екосистемах і розробку стратегій для їх відновлення.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ:

1. Артамонов В. А., Легкий С. В., Корой Н. А. Оцінка ушкоджень біорізноманіття Миколаївської області внаслідок бойових дій. *XV Миколаївські міські екологічні читання «Збережемо для нащадків»*: Матеріали конф., м. Миколаїв, 30 листоп. 2022 р. / ред.: М. М. Романенко, Л. М. Варюхіна; уклад. М. М. Романенко. Миколаїв, 2022. С. 10–12. URL: <https://eugreendimensions.chmnu.edu.ua/storage/resources/36ірінник%20Екочитання%202022.pdf> (дата звернення: 12.10.2024).
2. Екологічний паспорт Миколаївської області. 2023. С. 140–141. URL: <https://ecolog.mk.gov.ua/store/files/1716551342.pdf> (дата звернення: 12.10.2024).
3. Залюбовська О., Залюбовський М., Сінна О. Природно-заповідний фонд Харківської області в умовах воєнних дій. *Проблеми безперервної географічної освіти і картографії*. 2023. Вип. 38. С. 7–16. URL: <https://doi.org/10.26565/2075-1893-2023-38-01>.
4. Загальна характеристика лісів України. *Офіційний сайт Державного агентства лісових ресурсів України*. URL: <https://forest.gov.ua/napryamki-diyalnosti/lisi-ukrayini/zagalna-harakteristika-lisiv-ukrayini> (дата звернення: 12.10.2024).
5. Збережемо природно-заповідний фонд України. *Офіційний портал Верховної Ради України*. URL: <https://www.rada.gov.ua/news/razom/220659.html> (дата звернення: 12.10.2024).
6. Кузик, А. Д., Товарянський, В. І. Вплив воєнних дій на лісові екосистеми України та їх післявоєнне відновлення. *Вісник ЛДУБЖД*. 2023. № 27. С. 16–22. URL: <https://doi.org/10.32447/20784643.27.2023.02>.
7. Публічний звіт голови Державного агентства лісових ресурсів України за 2022 рік. URL: <https://forest.gov.ua/storage/app/sites/8/public/zvit/publicnii-zvit-za-2022.pdf> (дата звернення: 12.10.2024).
8. Публічний звіт голови Державного агентства лісових ресурсів України за 2023 рік. URL: https://www.kmu.gov.ua/storage/app/sites/1/17-civik-2018/zvit2023/zvit_lis_%202023.pdf (дата звернення: 12.10.2024).
9. Регіональні доповіді про стан навколишнього природного середовища в Україні у 2022 році. *Міністерство захисту довкілля та природних ресурсів України*. URL: <https://mep.gov.ua/wp-content/uploads/2023/12/RD-2022.zip> (дата звернення: 12.10.2024).
10. Чернявський М. В., Шукель І. В. Пожежі в лісах і збитки завдані ними внаслідок воєнних дій. *Відновлення довкілля України внаслідок збройної агресії росії*: зб. тез доп. Круглого столу, м. Львів, 17 берез. 2023 р. Львів, 2023. С. 94–98. URL: <https://sci.ldubgd.edu.ua/bitstream/123456789/11971/1/36ірінник%20круглого%20столу.pdf#page=94> (дата звернення: 12.10.2024).
11. EFFIS - Active Fire Detection. *EFFIS*. URL: <https://forest-fire.emergency.copernicus.eu/about-effis/technical-background/active-fire-detection> (дата звернення: 12.10.2024).
12. Chuvieco, E., et al. Historical background and current developments for mapping burned area from satellite Earth observation. *Remote Sensing of Environment*. 2019. Vol. 225. P. 45–64. URL: <https://doi.org/10.1016/j.rse.2019.02.013>.
13. European Forest Fire Information System EFFIS. *EFFIS*. URL: <https://forest-fire.emergency.copernicus.eu/> (дата звернення: 12.10.2024).
14. Fire Information for Resource Management System. *NASA / LANCE / FIRMS*. URL: <https://firms.modaps.eosdis.nasa.gov/> (дата звернення: 12.10.2024).
15. Global Wildfire Information System. *GWIS*. URL: <https://gwis.jrc.ec.europa.eu/> (дата звернення: 12.10.2024).
16. Kholoshyn, I. V., et al. Assessment of military destruction in Ukraine and its consequences using remote sensing. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 2023. Vol. 1254, no. 1. P. 012132. URL: <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1254/1/012132>.
17. Matsala, M., et al. War drives forest fire risks and highlights the need for more ecologically-sound forest management in post-war Ukraine. *Scientific Reports*. 2024. Vol. 14:4131. 13 p. URL: <https://doi.org/10.1038/s41598-024-54811-5>.
18. Serhii A. Shevchuk, Vyshnevskiy V. I., Olena P. B. The Use of Remote Sensing Data for Investigation of Environmental Consequences of Russia-Ukraine War. *Journal of Landscape Ecology*. 2022. Vol. 15, no. 3. P. 36–53. URL: <https://doi.org/10.2478/jlecol-2022-0017>.
19. The Rapid Damage Assessment (RDA) module of EFFIS. *EFFIS*. URL: <https://forest-fire.emergency.copernicus.eu/about-effis/technical-background/rapid-damage-assessment> (дата звернення: 12.10.2024).
20. Tomchenko, O. V. et al. Assessment and monitoring of fires caused by the War in Ukraine on Landscape scale. *Journal of Landscape Ecology*. 2023. Vol. 16, no. 2. P. 76–97. URL: <https://doi.org/10.2478/jlecol-2023-0011>.
21. Trofymchuk, O., et al. Monitoring of fires and assessment of changes in the state of nature-protected territories of Ukraine as a result of military operations. *22nd International Multidisciplinary Scientific GeoConference 2022*, Vienna, Austria, 6–8 December 2022. 2022. 22.3.2. P. 369–377. URL: <https://doi.org/10.5593/sgem2022v/3.2/s14.43>.

Стаття надійшла до редакції 16.04.2024

Стаття рекомендована до друку 17.06.2024

Ahapova Olena Leontiivna – Ph.D. in Geography, Associate Professor of the Department of Physical Geography and Cartography, Faculty of Geology, Geography, Recreation and Tourism, V. N. Karazin Kharkiv National University; e-mail: o.agapova@karazin.ua, ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0003-3074-5524>

Leshchenko Viktor Sergiyovych – Master of Geography, The Department of Physical Geography and Cartography, Faculty of Geology, Geography, Recreation and Tourism, V. N. Karazin Kharkiv National University; e-mail: leschenko.victor@gmail.com, ORCID ID: <https://orcid.org/0009-0008-8655-6865>

STUDY OF FORESTS FIRES IN UKRAINE AS A CONSEQUENCE OF MILITARY ACTIONS ACCORDING TO REMOTE EARTH SENSING DATA

The purpose of the article is to conduct a spatiotemporal analysis of wildfire spread and identify burned forest areas using remote sensing data within the regions of Ukraine that experienced active combat from the start of the full-scale Russian invasion until the end of 2023. Additionally, it seeks to identify forest ecosystems affected by fires within protected areas.

The main material. As of 2023, according to the State Environmental Inspection, approximately 3 million hectares of Ukrainian forests have been affected by hostilities, which accounts for nearly one-third of the country's entire forest fund. The combat zone has included the territories of 900 protected areas with a total area of 1.24 million hectares. The article presents the results of an analysis of fire spread from the beginning of the full-scale invasion of Russian forces until the end of 2023 in regions of Ukraine affected by active hostilities. Based on remote sensing data, cartographic materials were prepared to illustrate zones of the highest concentration of burned areas. Particular attention is given to the impact of hostilities on natural forest ecosystems and the protected areas, which comprise approximately 50% of the country's total forested areas. The study identified a spatial correlation between the spread of fires and the location of the front line, as well as a temporal dynamic of ignitions that coincides with periods of intensified combat activities.

Conclusions and further research. Satellite data from MODIS and VIIRS, utilized via the EFFIS platform, demonstrated high effectiveness in detecting burned areas, particularly in regions inaccessible due to military operations or occupation. However, their limited spatial resolution reduces the accuracy of assessing the scale of forest damage. The spatial-temporal fire analysis results presented in the article may serve as a foundation for identifying areas requiring more detailed investigations. These investigations should aim to refine estimates of forest ecosystem losses, evaluate the extent of damage, and develop strategies for restoring forests affected by the war.

Keywords: forests, protected areas, fires, burned areas, remote sensing, military actions, Ukraine.

REFERENCES:

1. Artamonov, V. A., Lehkyi, S. V., Koroi, N. A. (2022). Assessment of biodiversity damage in Mykolaiv region due to hostilities. *Proceedings of the XV Mykolaiv City Ecological Readings "Preserve for Future Generations"*, November 30, 2022, 10-12. <https://eugreendimensions.chmnu.edu.ua/storage/resources/Збірник%20Екоцитання%202022.pdf> [in Ukrainian].
2. Environmental Passport of Mykolaiv Region (2023), 140-141. <https://ecolog.mk.gov.ua/store/files/1716551342.pdf> [in Ukrainian].
3. Zaliubovska, O., Zaliubovskiy, M., Sinna, O. (2023). Protected areas of Kharkiv region in the conditions of military operations. *The problems of continuous geographical education and cartography*, (38), 7-16. <https://doi.org/10.26565/2075-1893-2023-38-01> [in Ukrainian].
4. The State Forest Resources Agency of Ukraine. (2024). *General Characteristics of Forests of Ukraine*. <https://forest.gov.ua/napryamki-diyalnosti/lisi-ukrayini/zagalna-harakteristika-lisiv-ukrayini> [in Ukrainian].
5. The Verkhovna Rada of Ukraine. (2024). *Preserve the Nature Reserve Fund of Ukraine*. <https://www.rada.gov.ua/news/razom/220659.html> [in Ukrainian].
6. Kuzyk, A. D., Tovaryanskyi, V. I. (2023). Impact of hostilities on forest ecosystems of Ukraine and their post-war restoration. *Bulletin of Lviv State University of Life Safety*, (27), 16-22. <https://doi.org/10.32447/20784643.27.2023.02> [in Ukrainian].
7. Public Report of the Head of the State Forest Resources Agency of Ukraine for 2022. https://forest.gov.ua/storage/app/sites/8/public_zvit/publicnii-zvit-za-2022.pdf [in Ukrainian].
8. Public Report of the Head of the State Forest Resources Agency of Ukraine for 2023. https://www.kmu.gov.ua/storage/app/sites/1/17-civik-2018/zvit2023/zvit_lis_%202023.pdf [in Ukrainian].
9. Ministry of Environmental Protection and Natural Resources of Ukraine. (2023). *Regional Reports on the State of the Environment in Ukraine for 2022*. <https://mep.gov.ua/wp-content/uploads/2023/12/RD-2022.zip> [in Ukrainian].
10. Cherniavskiy, M. V., Shukel, I. V. (2023). Forest fires and the damage they caused as a result of hostilities. *Environmental Recovery of Ukraine Due to Russian Armed Aggression: Proceedings of the Round Table*, March 17, 2023, Lviv State University of Life Safety, 94-98. <https://sci.lubgd.edu.ua/bitstream/123456789/11971/1/Збірник%20круглого%20стола.pdf#page=94> [in Ukrainian].
11. EFFIS. *Active Fire Detection EFFIS*. <https://forest-fire.emergency.copernicus.eu/about-effis/technical-background/active-fire-detection> [in English].
12. Chuvieco, E., Mouillot, F., Van der Werf, G. R., San Miguel, J., Tanase, M., Koutsias, N., ... & Giglio, L. (2019). Historical background and current developments for mapping burned area from satellite Earth observation. *Remote Sensing of Environment*, 225, 45-64. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2019.02.013> [in English].
13. EFFIS. *European Forest Fire Information System (EFFIS)*. <https://forest-fire.emergency.copernicus.eu/> [in English].
14. NASA | LANCE | FIRMS. *Fire Information for Resource Management System*. <https://firms.modaps.eosdis.nasa.gov/> [in English].

15. GWIS. *Global Wildfire Information System*. <https://gwis.jrc.ec.europa.eu/> [in English].
16. Kholoshyn, I. V., Syvyj, M. J., Mantulenko, S. V., Shevchenko, O. L., Sherick, D., & Mantulenko, K. M. (2023). Assessment of military destruction in Ukraine and its consequences using remote sensing. In *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 1254 (1), 012132. IOP Publishing. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1254/1/012132> [in English].
17. Matsala, M., Odruzhenko, A., Hinchuk, T., et al. (2024). War drives forest fire risks and highlights the need for more ecologically sound forest management in post-war Ukraine. *Scientific Reports*, 14(1), 4131. <https://doi.org/10.1038/s41598-024-54811-5> [in English].
18. Serhii, A. S., Vyshnevskyi, V. I., & Bilous, O. P. (2022). The use of remote sensing data for investigation of environmental consequences of Russia-Ukraine war. *Journal of Landscape Ecology*, 15(3), 36-53. <https://doi.org/10.2478/jlecol-2022-0017> [in English].
19. EFFIS. *The Rapid Damage Assessment (RDA) Module of EFFIS*. <https://forest-fire.emergency.copernicus.eu/about-effis/technical-background/rapid-damage-assessment> [in English].
20. Tomchenko, O. V., Khyzhniak, A. V., Sheviakina, N. A., Zahorodnia, S. A., Yelistratova, L. A., Yakovenko, M. I., & Stakhiv, I. R. (2023). Assessment and monitoring of fires caused by the war in Ukraine on landscape scale. *Journal of Landscape Ecology*, 16(2), 76-97. <https://doi.org/10.2478/jlecol-2023-0011> [in English].
21. Trofymchuk, O., Vishnyakov, V., Sheviakina, N., Klymenko, V., & Slastin, S. (2022). Monitoring of fires and assessment of changes in the state of nature-protected territories of Ukraine as a result of military operations. *International Multidisciplinary Scientific GeoConference: SGEM*, 22(3.2), 369-377. <https://doi.org/10.5593/sgem2022V/3.2/s14.43> [in English].

The article was received by the editors 16.04.2024

The article is recommended for printing 17.06.2024

DOI: 10.26565/2075-1893-2024-40-02
УДК 630*528.8

Анатолій Байназаров*

к. геогр. наук, доцент кафедри фізичної географії та картографії;
e-mail: a.baynazarov@karazin.ua; ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0003-1511-3596>

Владислав Попов*

завідувач навчальної лабораторії геоінформаційних систем та дистанційного зондування Землі;
e-mail: v.popov@karazin.ua; ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-5960-631X>

Уляна Вовк*

магістр географії кафедри фізичної географії та картографії;
e-mail: physgeo@karazin.ua

Андрій Пілюгін*

старший викладач кафедри фізичної географії та картографії;
e-mail: a.piliugin@karazin.ua; ORCID ID: <https://orcid.org/0009-0001-9144-6379>

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

Динаміка лісових пожеж на території Ізюмського району, викликаних бойовими діями

Метою даної статті є представлення результатів розрахунку кількісних показників (спектральних індексів за різночасовими супутниковими знімками та їх порівняння) з метою оцінки деградації лісів Ізюмського району Харківської області внаслідок пожеж 2022-2023 років.

Основний матеріал. У статті розкривається проблематика використання методів спектральних індексів для детектування лісових загорянь. Одним із специфічних спектральних індексів, що найбільш спеціалізований до поставленої мети, – нормалізований індекс загорянь NBR, що використовує ближній інфрачервоний та короткохвильовий інфрачервоний зони супутникових знімків. Автори в статті представляють результати розрахунку NBR за літні місяці періоду 2021-2023 рр. та їх різницю за методикою dNBR (що є різницею між NBR знімків до пожежі та після неї). Для оцінки ступеня пошкоджень та відновлення насаджень використано класифікацію dNBR USGS. Також висвітлено методику і результати векторизації і підрахунку площ за отриманими таким чином різницевиими зображеннями; кількісні результати оцінки представлено в статті.

Висновки. Проведене дослідження надає кількісну інформацію щодо характеру і ступеня пошкоджень лісів на обраній ділянці за період інтенсивних бойових дій 2022 року. Загальна площа вигорянь складає близько 72% від загальної. Індексні різниці зображення вказують також на часткове відновлення рослинності на території в період 2022-2023 рр. Використана методика хоча й має певні переваги, проте потребує перевірки польовими дослідженнями.

Ключові слова: географія, метод спектральних індексів, лісові пожежі, Ізюмський район.

Як цитувати: Байназаров А., Попов В., Вовк У., Пілюгін А. Динаміка лісових пожеж на території Ізюмського району, викликаних бойовими діями. *Проблеми безперервної географічної освіти і картографії*. 2024. Вип. 40. С. 18–24. <https://doi.org/10.26565/2075-1893-2024-40-02>

In cites: Bainazarov, A., Popov, V., Vovk, U., Piliugin A. (2024). The dynamics of forest fires caused by war in the territory of Izyum district. *The problems of continuous geographical education and cartography*, (40), 18–24. <https://doi.org/10.26565/2075-1893-2024-40-02> (in Ukrainian)

Вступ. Нищівний характер бойових дій, що відбуваються на території Харківської області, визначає в повній мірі необхідність не лише якісного, але й кількісного аналізу впливу на природне середовище. Попереду велика робота в оцінці й моніторингу змін, що зазнали природні комплекси нашої країни, але вже наразі є доцільним почати шукати відповіді на запитання кількості втрат, зокрема, у лісогосподарських активах. З початку війни майже в усіх лісових насадженнях, що опинилися близько до, або ж у безпосередньому контакті з лінією фронту, за допомогою глобальних моніторингових сервісів (наприклад, Fire Information for Resource Management System, FIRMS) фіксувалося трагічне зростання зафіксованих у інфрачервоному діапазоні спектру локалізованих займань. Але всі наявні відкриті сервіси оперують даними з низькою роздільною здатністю, тому питання кількісної оцінки, скільки саме деревостану було знищено, яка динаміка його загибелі і відновлення, - залишаються в такому випадку без відповіді. Матеріали і методи дистанційного зондування Землі є одними з ефективних підходів (поступаючись у точності традиційним польовим, але переважаючи їх продуктивністю і покриттям), тому представлено дослідження у повній мірі зосереджується саме на них. Наступне питання, що постає, - яку територію обрати для оцінки, який період і частоту аналізу. Автори вважають, що однією з найбільш постраждалих лісових комплексів в Харківській області є насадження в околицях міста Ізюма, включно з територією регіонального ландшафтного парку «Ізюмська Лука». Тож, очевидно, усі спроби оцінки будуть корисні не лише в економічному плані, а й у природоохоронному. Тому для виконання оціночного аналізу було обрано саме цю ділянку Ізюмського району.

В певному сенсі навіть склалася тенденція, що комплексна наукова оцінка змін, які стосуються деревостану і лісової підстилки, формується, значною мірою, для територій природно-заповідного фонду, і менш поширена для лісових комплексів виключно економічного використання. При цьому основним напрямом такого комплексного підходу до оцінки змін лісів є розробка моделей обробки даних ДЗЗ, оскільки використання останніх суттєво спрощує процес оцінки згорілих ділянок та, в ряді випадків, може значно перевищувати за точністю оцінку на місцевості.

Втім, залишається значна кількість саме технічних проблем у підході кількісної оцінки динаміки й наслідків лісових пожеж, деякі з яких висвітлено в цій статті. Доступність даних з високою роздільною здатністю все ще залишається обмеженою, і більшість академічних робіт базується на знімках супутників серії Landsat і Sentinel-2 (що стосується оптичного діапазону), при наявності знімків з вищою роздільною здатністю (Planet). Це визначається більшою мірою методикою і специфікою каналів,

які вона використовує, що також буде розкрито нижче.

Вихідні передумови. Значна кількість робіт у проблематиці визначення пожеж і їх наслідків концентрується навколо дистанційних методів як таких, що надають оперативну інформацію щодо актуальних загорянь. Концентрація уваги робиться саме на локалізації, а ось кількісна оцінка постфактум проводиться рідше.

Після початку російсько-української війни вітчизняні дослідники вже робили спроби оцінки негативного впливу бойових дій за даними дистанційного зондування. Окремо слід виділити роботу Шевчука та інших [1], де автори відзначають, що відкриті дані дистанційного зондування (розглянуто супутники NOAA, Suomi NPP, Aqua і Terra, Sentinel і Landsat, також деякі інші) дозволили встановити велику кількість фактів негативного впливу російсько-української війни на довкілля.

Технологічні засади, на яких засновані практичні підходи визначення й оцінки пожежних явищ, регулярно поповнюються новими принципами. Не дивлячись, що стаття присвячена спектральним характеристикам, слід відмітити, що на поточний момент для поставленої задачі успішно застосовуються і радарні, і лідарні методи. Лідари мають величезну перевагу у точності оцінки негативних результатів пожеж, адже щільність даних набагато перевищує звичну растрову супутникову інформацію і може надавати точні тривимірні дані, що потенційно дозволяє вирішувати набагато ширше коло задач, навіть створювати так звані цифрові двійники за результатами сканування. Але варто підкреслити, що різноманітність існуючих підходів ні в якій мірі не означає їх тотожність з боку економічної складової. Лідари можуть надавати точну інформацію щодо пошкоджень, але складність і собівартість знімання (і обробки також) вища за традиційні звичні підходи.

Автори сподіваються, що в найближчому майбутньому у вітчизняному науковому просторі збільшиться не лише кількість робіт з оцінки негативного впливу війни на природні комплекси країни, але й збільшиться технологічний арсенал досліджень і будуть використані передові знімальні системи.

Метою статті є висвітлення результатів аналізу кількісних показників (спектральних індексів за різночасовими супутниковими знімками та їх порівняння) з метою оцінки деградації лісів Ізюмського району Харківської області внаслідок пожеж 2022-2023 років і процесів їх відновлення. Автори також ставили на меті продемонструвати особливості методики у практичному аспекті щодо виконаних робіт.

Виклад основного матеріалу дослідження. Першим важливим етапом дослідження був пошук спектрального індексу, навколо якого буде організовуватися аналіз конкретних зображень. Існує

велика кількість спектральних індексів (понад декілька сотень – і зростає), основою розробки яких є, здебільшого, емпіричний пошук декількох діапазонів довжин хвиль, де спостерігається протилежна поведінка досліджуваного явища. Найпростіший приклад – типові вегетаційні індекси, де використовується властивість хлорофілу у здоровому листі відбивати значну кількість ближнього інфрачервоного випромінювання з, навпроти, незначною кількістю випромінювання червоного спектру. При розкладанні хлорофілу спостерігається, відповідно, протилежна ситуація зі збільшенням відбиття червоної складової і зменшенням інфрачервоної. Типові вегетаційні можна використовувати і для оцінки пожежних явищ, звісно, але вони не враховують специфіки, що при пожежі наявний складніший комплекс явищ, які доцільно враховувати, зокрема параметри вмісту вологості в рослині.

Для врахування особливостей спектральної поведінки насаджень до/під час/після пожежі доцільно використовувати так званий нормалізований коефіцієнт загорянь (Normalized Burn Ratio, надалі - NBR) [2], що орієнтований саме на визначення зміни параметрів комплексів внаслідок пожежних явищ. NBR в якості вхідних даних використовує ближній інфрачервоний та короткохвильовий інфрачервоний і виражається як нормалізована різниця другого та першого. Цей факт впливає також на те, що NBR менш залежний від стану атмосфери, ніж видимий спектр, але залежність все ще суттєва, тому стан атмосфери при відборі зображень треба враховувати.

Другий етап – визначитися з джерелом даних для аналізу, і тут, власне, була обмежена кількість варіантів. Внаслідок використання NBR, що передбачає наявність короткохвильового інфрачервоного каналу (SWIR) в зображенні сцени, знімки системи Planet Dove та Planet SuperDove, які мають найвищу серед безкоштовно доступних академічній спільноті просторову роздільну здатність (приблизно 3 метри/піксель), не підходили для виконання поставлених задач, адже не мали SWIR-каналу. Тому було обрано знімки системи Sentinel-2, що виправдано з декількох позицій. По-перше, Sentinel-2 має усі необхідні канали для побудови індексу NBR, по-друге, зображення доступні у продукті з атмосферною корекцією – тобто, значення пікселів вже приведено до відбиття на рівні поверхні, що надважливо для точної кількісної оцінки. Знімки Sentinel-2 мають просторову роздільну здатність для вказаних каналів 20 метрів. Звичайно, бажано застосовувати дані з вищою просторовою деталізацією, але для розуміння загальних тенденцій на території вказаної роздільної здатності цілком достатньо.

Кінцева формула (подібна до широко поширеної формули індексу NDVI) нормалізованого коефіцієнта загорянь для даних Sentinel-2 оперує відповідними до вказаних діапазонів каналами ближнього інфрачервоного NIR (B8A) і короткохвильового

інфрачервоного SWIR (B12) [3]. Інтерпретація буде полягати в тому, що високі значення зазначеного індексу будуть вказувати на рослинність без загорянь, і навпаки – низьким значенням NBR будуть відповідати нещодавно вигорілі ділянки і високий відгук ґрунту.

$$NBR = \frac{B12 - B8A}{B12 + B8A}$$

Третім етапом важливим етапом було визначення методики, за допомогою якої можна коректним чином порівняти різночасові індексні зображення і правильним чином інтерпретувати результат. Вибір було зупинений на різниці індексів dNBR, що є різницею індексу загорянь до пожежі та після пожежі. Цей принцип різниці індексів вперше було викладено в роботі [4], де автори зробили спробу оцінити нормалізований dNBR (що розраховували за даними дистанційного зондування Landsat) з композитним індексом CBI (Composite Burn Index), який розраховували за польовими даними.

$$dNBR = NBR_{\text{до загорянь}} - NBR_{\text{після загорянь}}$$

З використанням зазначеної формули можна отримати деякі сталі значення зміни спектральних характеристик реального світу, що можна застосовувати для оцінки динаміки пошкоджень і відновлення комплексу після пожежі. Фактично, різниця індексів dNBR стала певним стандартизованим підходом до визначення ступня і характеру змін лісових комплексів внаслідок загорянь [5]. Визначено, що dNBR, в основному, знаходиться у межах діапазону значень від -2 до +2, а значно пошкодженим пожежами територіям відповідають високі додатні значення різниці індексів. В цій роботі автори використали класифікацію і кольорову диференціацію, що запропонована Геологічною службою США [5] (рис. 1).

Безпосередньо роботи з растрової математики виконувалися в програмному забезпеченні ESRI ArcGIS Pro, де налаштування розрахунку індексних зображень реалізовані у більш зручному та інтуїтивному вигляді, у порівнянні з попереднім поколінням пакету. Технічно процес побудови індексних зображень був заснований на викладеній вище методиці. Спершу будувалися індексні растри NBR за вхідними знімками по літнім місяцям активної вегетації (червня, липня і серпня), за три роки, з 2021 по 2023 рік. За 2021 рік отримувалися, в певному значенні, еталонні дані, що надалі мали порівнюватися з даними 2022 року, з нищівними наслідками фронту для ділянки дослідження. Таким чином, у подальшому саме порівнянням місяців різних років періоду і можна встановити різницю індексів та інтерпретувати її.

В цій статті не наводяться індексні зображення NBR, і для адекватного обсягу матеріалу, і також враховуючи їх проміжну роль в дослідженні.

Результати ж побудови різницевих індексних показників dNBR за серпень (обрано для демонстрації в публікації як репрезентативний) в прийнятих умовних одиницях за класифікацією представлений нижче (рис. 2).

При аналізі усіх отриманих пар різницевих зображень dNBR за період 2021-2023 років, можна встановити, що найбільше значення цього показника варіюється в діапазоні від 0,270 до 1,3 одиниць. Ці показники характерні для ділянок, що зазнали, за класифікатором, «помірно-низького»,

«середньо-високого» й «високого рівнів» згорянь. Жовтим кольором, у свою чергу, на різницевих зображеннях показано низький рівень із консолідацією значень від 0,100 до 0,269 одиниць. Слід відмітити, що градаціями зеленого кольору позначено території, які не характеризуються пожежами, а навпаки – процесами відновлення. Що й зустрічається для території дослідження за даними 2023 року, адже найнижчі значення dNBR діапазоном від 0,99 до -0,500 одиниць, характерні саме для ділянок, що демонструють низький та високий

Severity Level	dNBR Range (scaled by 10^3)	dNBR Range (not scaled)
Enhanced Regrowth, high (post-fire)	-500 to -251	-0.500 to -0.251
Enhanced Regrowth, low (post-fire)	-250 to -101	-0.250 to -0.101
Unburned	-100 to +99	-0.100 to +0.99
Low Severity	+100 to +269	+0.100 to +0.269
Moderate-low Severity	+270 to +439	+0.270 to +0.439
Moderate-high Severity	+440 to +659	+0.440 to +0.659
High Severity	+660 to +1300	+0.660 to +1.300

Рис. 1. Характеристика ступенів пошкодження/відновлення, за dNBR (Геологічна служба США) [5] /
Fig. 1. Characterization of the degrees of damage/recovery, according to dNBR (US Geological Survey) [5]

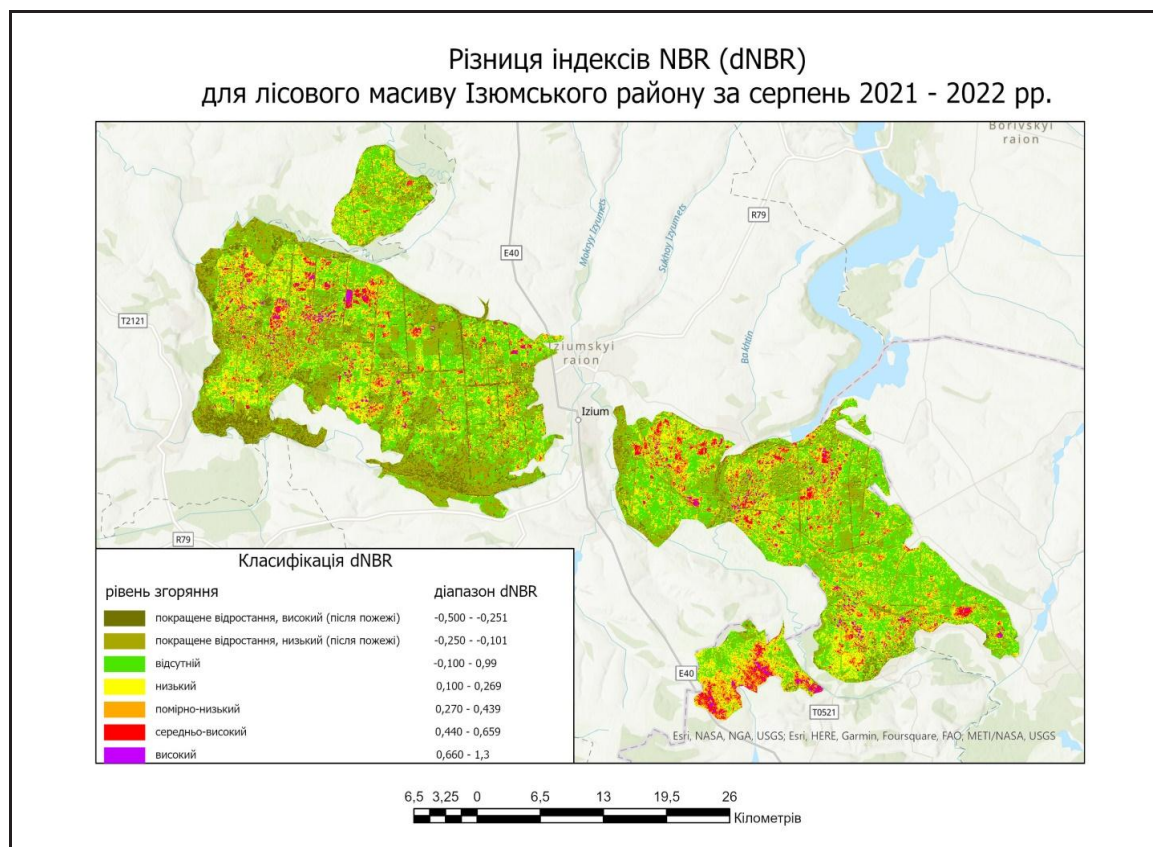


Рис. 2. Ступені загорянь за dNBR на території дослідження, серпень 2021 – серпень 2022 /
Fig. 2. Degrees of fires according to dNBR in the study area, August 2021 - August 2022

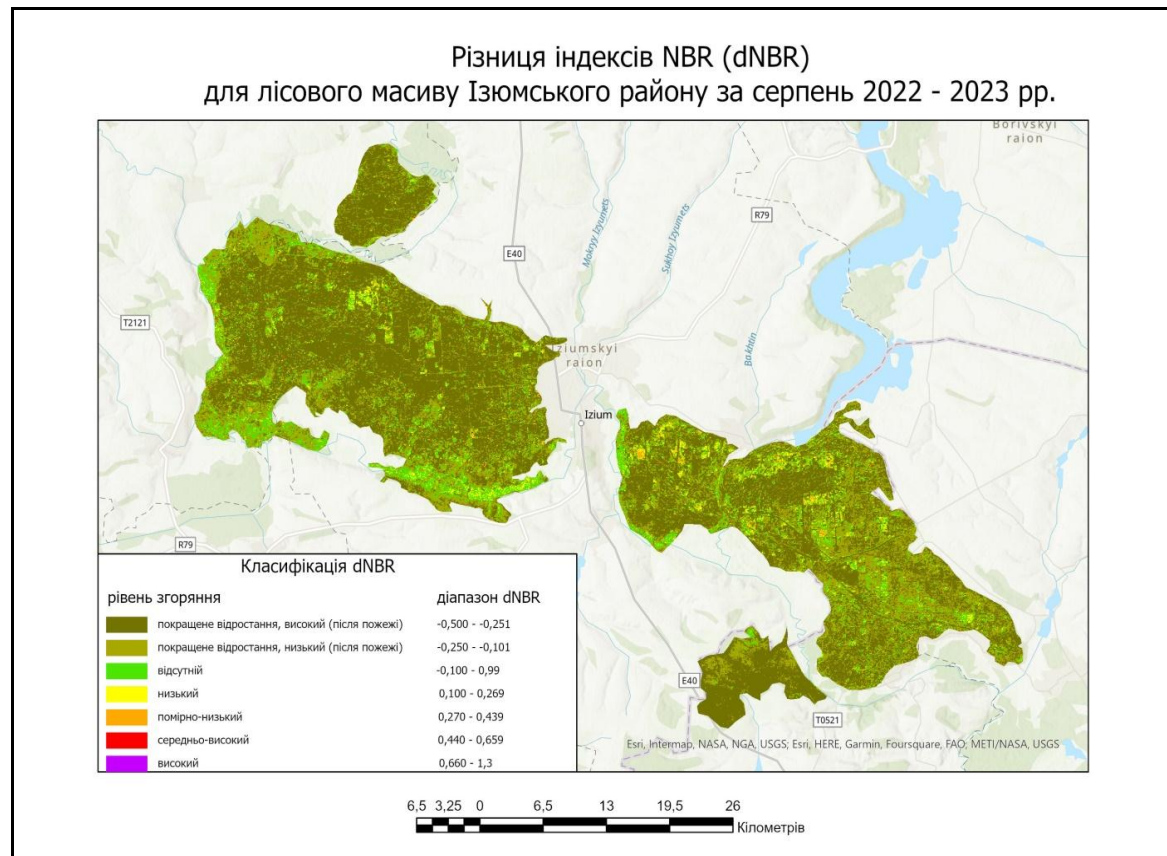


Рис. 3. Ступені загорянь за dNBR на території дослідження, серпень 2022 – серпень 2023 /
Fig. 3. Degrees of fires according to dNBR in the study area, August 2022 – August 2023

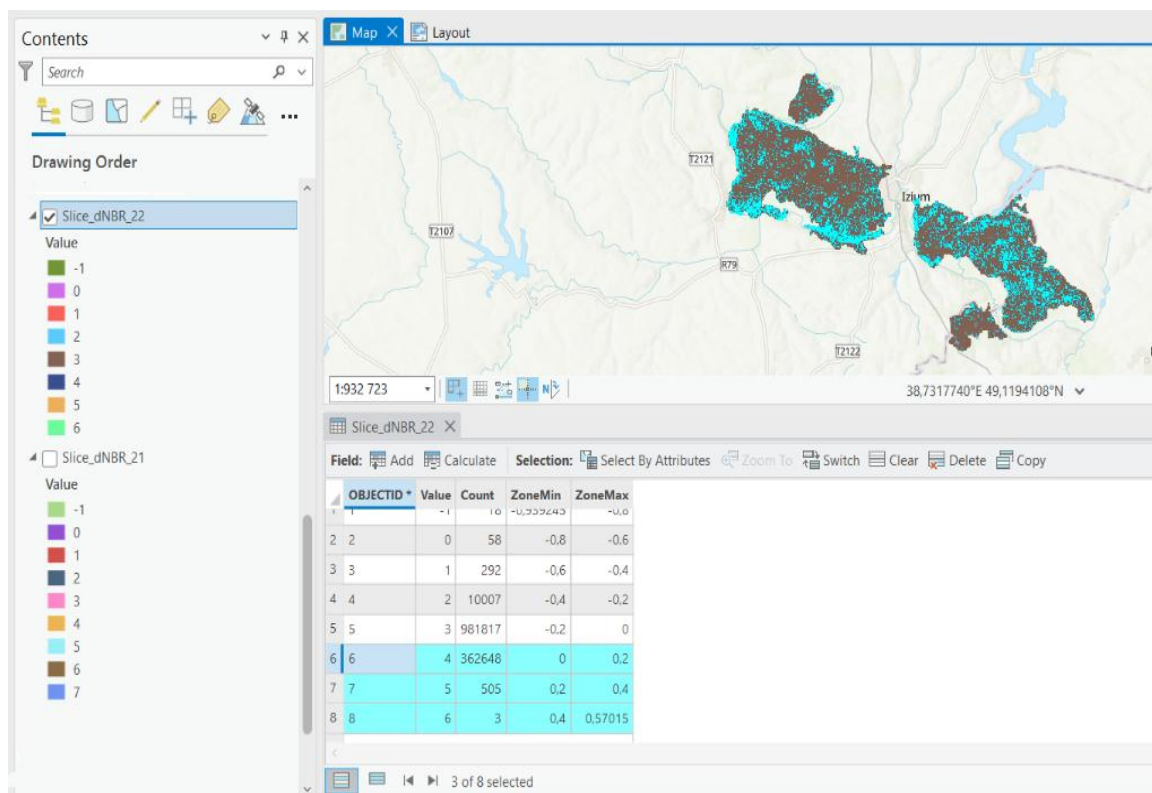


Рис. 4. Поділ індексного зображення dNBR на класи з кроком 0,2 /
Fig. 4. Division of the dNBR index image into classes with a step of 0,2

ступінь відновлення після пожежі за обраною класифікацією (рис. 3).

З отриманих результатів цілком очевидно, що найтяжчі наслідки на території дослідження очікувано стосуються періоду проходження цим регіоном лінії фронту з інтенсивними бойовими діями, тому спостерігається значне підвищення індексу dNBR, внаслідок значних пожеж. Але в 2023 році, з відходом лінії фронту на схід, спостерігається, переважно, протилежний процес – заростання (вірогідно, трав'янистою рослинністю) на пошкоджених ділянках.

Четвертим і заключним етапом дослідження був підрахунок площ, що зазнали тієї, чи іншої динамічної зміни за період. Методика визначення площі території, де мало місце загоряння, полягала у так званій процедурі «слайсингу» зображення. За допомогою інструменту «Slice» ArcGIS Pro безперервну множину зображення було розділено на окремі класифікаційні одиниці з кроком 0.2, що надало можливість відділити значення, які визначені за прийнятою шкалою як вигорілі із високим, середньо-високим і середньо-низьким ступенем пошкодження. Далі різні підкласи об'єднувалися в один, для зручності векторизації та розрахунку площі (рис. 4).

Після операції «слайсингу» і об'єднання необхідних підкласів, група пікселів, що ототожнюється з класом загорянь була векторизована у полігони з використанням інструменту «Raster to polygon». Після злиття усіх полігонів у єдиний шар стало можливим автоматично визначити загальну площу у необхідній одиниці виміру, було обрано гектари.

За результатами проведення вказаних операцій було отримано кількісну оцінку динаміки вигорянь, яку зведено в таблиці 1.

Таблиця 1 / Table 1

Розраховані площі згорілих ділянок
Calculated areas of burned areas

Місяць	Площа вигорянь, тис. га		Сума	% від загальної площі (54234,96 тис. га.)
	2021-2022 рр.	2022-2023 рр.	2021-2023 рр.	2021-2023 рр.
Червень	34945,99	732,70	35678,69	65,78
Липень	1273,22	442,24	1715,46	3,16
Серпень	2613,28	16,51	2629,79	4,84
Сума	38832,49	1191,45	40023,94	73,78

Висновки. Потрібно зазначити, що не дивлячись на репрезентативність території та, в цілому, отриманих результатів, говорити про остаточне підтвердження ефективності обраної методики можна лише з перевіркою результатів в ході польових спостережень. Втім, одержані результати дослідження можуть використовуватися в майбутньому для задач моделювання пожеж, а також обґрунтування заходів із ефективного подолання негативних наслідків. Історична інформація пожежі, їх просторовий і часовий розподіл відіграє важливу роль у моделюванні можливих ризиків.

Розраховані в дослідженні моделі спектральних індексів NBR та їх різниці dNBR дали змогу спробі комплексної часової оцінки зміни стану лісових насаджень району, погіршений стан яких впливає на природний баланс та, за викладеними в статті підрахунками, призвів до втрати великої частини лісового фонду району.

Динаміку лісових пожеж, спричинених веденням активних бойових дій на території дослідження можна підсумувати наступним чином: найбільші вигорання мали місце саме в 2022 році (що і показують dNBR різниці між 2021-м і 2022-м роком) і становить 38832,49 тис. га. за площею, що складає 72% від загальної території, тобто пошкоджень зазнали три четверті від вказаної ділянки. Ці значення являються показником драматичного занепаду екосистеми району і становлення екологічної катастрофи, що спричинена періодом окупації та веденням інтенсивних бойових дій.

В той же час, показники dNBR, що було розраховано на 2022-2023 роки, демонструють певне вирівнювання загальної ситуації, адже площа ділянок, що визначені як «згорілі» скоротилася до 1191,45 тис. га. Це явище пояснюється тим фактом, що лінія фронту дещо відсунулася від досліджуваної території за рахунок звільнення м. Ізюм. Як наслідок, територія перестала зазнавати на цей момент такого нищівного антропогенного впливу. Можна зробити обережний висновок, що Ізюмський лісовий масив почав, в певній мірі за рахунок процесу сукцесії, відновлюватися природним шляхом.

Наостанок, доцільно підкреслити, що це дослідження є доволі ранньою оцінкою висвітлених процесів, а тому має деякі цілком зрозумілі перспективи на майбутнє, головною і необхідною з яких є зіставлення результатів з польовими дослідженнями. Крім того, автори вважають, що окремою перспективою є спроба оцінки цієї території за зазначені періоди з використанням радарних даних.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ:

1. Shevchuk S., Vyshnevskiy V., Bilous O. The Use of Remote Sensing Data for Investigation of Environmental Consequences of Russia-Ukraine War. *Journal of Landscape Ecology*. 2022. Vol. 15, No 3. P. 36–53. DOI: <https://doi.org/10.2478/jlecol-2022-0017>
2. The Collection 6 MODIS burned area mapping algorithm and product / L. Giglio et al. *Remote Sensing of Environment*. 2018. Vol. 217. P. 72–85. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.rse.2018.08.005>

3. García M. J. L., Caselles V. Mapping burns and natural reforestation using thematic Mapper data. *Geocarto International*. 1991. Vol. 6, No 1. P. 31–37.
4. The normalized burn ratio and relationships to burn severity: ecology, remote sensing and implementation / C. Key et al.; ed. J. D. Greer. Proceedings of the Ninth Forest Service remote sensing applications conference (American Society for Photogrammetry and Remote Sensing, San Diego, CA, 8 – 12 April, 2002). Bethesda, MD: Rapid delivery of remote sensing products, 2002.
5. A methodology to estimate forest fires burned areas and burn severity degrees using Sentinel-2 data. Application to the October 2017 fires in the Iberian Peninsula / R. Llorens et al. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*. 2021. Vol. 95, Art. 102243. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jag.2020.102243>

Стаття надійшла до редакції 06.05.2024

Стаття рекомендована до друку 17.06.2024

Bainazarov Anatolii Mykhailovych – Ph.D. in Geography, Associate Professor of the Department of Physical Geography and Cartography. The Faculty of Geology, Geography, Recreation and Tourism. V.N. Karazin Kharkiv National University; e-mail: a.baynazarov@karazin.ua; ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0003-1511-3596>

Popov Vladyslav Serhiiovych – Head of the GIS and Remote Sensing Laboratory. The Faculty of Geology, Geography, Recreation and Tourism. V.N. Karazin Kharkiv National University; e-mail: v.popov@karazin.ua; ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-5960-631X>

Vovk Uliana Volodymyrivna – Master of Geography, Department of Physical Geography and Cartography. The Faculty of Geology, Geography, Recreation and Tourism. V.N. Karazin Kharkiv National University; e-mail: physgeo@karazin.ua

Piliugin Andriy Vasylovych – Senior Lecturer of the Department of Physical Geography and Cartography. The Faculty of Geology, Geography, Recreation and Tourism. V.N. Karazin Kharkiv National University; e-mail: a.piliugin@karazin.ua; ORCID ID: <https://orcid.org/0009-0001-9144-6379>

THE DYNAMICS OF FOREST FIRES CAUSED BY WAR IN THE TERRITORY OF IZYUM DISTRICT

The purpose of this article is to present the results of the analysis of quantitative indicators (spectral indices satellite images and their comparison) with the aim to assess the degradation of forests in the Izyum district of the Kharkiv region (which was a result of the fires of 2022-2023).

Basic material. The article reveals the problems of using spectral index methods for detecting forest fires. One of the specific spectral indices, which is the most specialized to the set goal, is the normalized burn ratio NBR, which uses the near-infrared and short-wave infrared zones of satellite images. In the article, the authors present the results of NBR calculation from the summer months of 2021-2023 and their difference according to the dNBR method (which is the difference between the NBR data before and after the fire). The USGS dNBR classification was used to assess the degree of damage and restoration of the forest. The methodology and results of vectorization and calculation of areas using the difference obtained index images are also highlighted, quantitative evaluation results are presented in the article.

Conclusions. The conducted research provides quantitative information on the nature and degree of damage to forests in the selected area during the period of intensive hostilities in 2022. The dynamics of burns is about 72% of the total territory. Index difference images also show partial restoration of vegetation on the territory in the period 2022-2023. Although the used technique has certain advantages, it needs to be verified by field studies.

Keywords: *geography, method of spectral indices, forest fires, Izyum district.*

REFERENCES:

1. Shevchuk, S., Vyshnevskiy, V., Bilous, O. (2022). The use of remote sensing data for investigation of environmental consequences of Russia-Ukraine war. *Journal of Landscape Ecology*, 15(3), 36–53. DOI: <https://doi.org/10.2478/jlecol-2022-0017> [in English].
2. Giglio, L., Boschetti, L., Roy, D.P., Humber, M.L., Justice, C.O. (2018). The Collection 6 MODIS burned area mapping algorithm and product. In *Remote Sensing of Environment*, 217, 72–85. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.rse.2018.08.005> [in English].
3. García, M. J. L., Caselles, V. (1991). Mapping burns and natural reforestation using thematic Mapper data. In *Geocarto International*, 6, 1, 31–37. Informa UK Limited. DOI: <https://doi.org/10.1080/10106049109354290> [in English].
4. Key, C. H., Benson, N., Ohlen, D., Howard, S., McKinley, R., Zhu, Z. (2002). The normalized burn ratio and relationships to burn severity: ecology, remote sensing and implementation. In: *Proceedings of the Ninth Forest Service remote sensing applications conference* (ed. J. D. Greer; American Society for Photogrammetry and Remote Sensing, April 8–12, 2002, San Diego, USA [CD-ROM]). Bethesda, MD, Rapid delivery of remote sensing products (1 CD-ROM: 4 ¾) [in English].
5. Llorens, R., Sobrino, J.A., Fernández, C., Fernández-Alonso, J.M., Vega, J.A. (2021). A methodology to estimate forest fires burned areas and burn severity degrees using Sentinel-2 data. Application to the October 2017 fires in the Iberian Peninsula. In *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 95, 102243. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jag.2020.102243> [in English].

The article was received by the editors 06.05.2024

The article is recommended for printing 17.06.2024

DOI: 10.26565/2075-1893-2024-40-03
УДК 502.15:712.4/.5]:911.375.5

Надія Максименко*

д.геогр.наук, професор, завідувач кафедри екологічного моніторингу та заповідної справи;
e-mail: maksymenko@karazin.ua; ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-7921-9990>

Аліна Гречко*

викладач кафедри екологічного моніторингу та заповідної справи;
e-mail: a.a.hrechko@karazin.ua; ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0001-9987-2586>

Анастасія Клещ*

к.геогр.наук, доцент кафедри екологічного моніторингу та заповідної справи;
e-mail: klieshch@karazin.ua; ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0003-1379-1043>

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

Аналіз територіальної структури урболандшафту м. Чугуїв для потреб впровадження концепції зелено-блакитної інфраструктури

Мета роботи - дослідження територіальної організації урболандшафту міста Чугуїв з метою подальшої її оптимізації засобами зелено-блакитної інфраструктури.

Основний матеріал. Дослідження територіальної організації урболандшафтів міста Чугуїв ґрунтується на аналізі антропогенно трансформованих геокомплексів, що поєднують природні та штучні компоненти. Урбанізовані території вимагають особливого підходу до вивчення їхньої структурної організації, адже поєднання антропогенних і природних чинників створює складну систему взаємодій. Малі міста України, попри більшу поширеність є менш вивченими ділянками урболандшафту, разом з тим, вони ще зберігають певні риси природного ландшафту, є менш антропогенного перетвореними та мають значний потенціал для облаштування природоорієнтованих рішень.

Результати дослідження територіальної структури урболандшафту показали, що у місті переважає селітебний тип ландшафту малоповерхової забудови, значний потенціал має захисно-рекреаційний тип ландшафту, що пов'язано як з природними умовами території дослідження так і відсутністю суцільної забудови. Саме поєднання селітебних та захисно-рекреаційних ландшафтів сприяє створенню об'єктів зеленої інфраструктури для оптимізації територіальної структури міста та забезпечення сталого розвитку урбосередовища.

Висновки. Аналіз територіальної структури урболандшафту м. Чугуїв показав значну функціональну та просторову неоднорідність, що є ключовим фактором для впровадження зелено-блакитної інфраструктури. Житлова забудова охоплює понад 30% території, що створює передумови для інтеграції зелених зон, однак висока частка белігеративних (17,4%) і промислових (10,5%) територій обмежує можливості просторового розвитку рекреаційних зон. Попри значну частку рекреаційних територій (23%), лише 7,33% загальної площі міста припадає на загальнодоступні зелені зони, що є недостатнім для створення якісного міського середовища. Розвиток зелено-блакитної інфраструктури має базуватися на розширенні рекреаційних зон, створенні зелених коридорів уздовж транспортних магістралей та рекультивації промислових і белігеративних ландшафтів, що сприятиме підвищенню екологічної стійкості міста та покращенню умов проживання.

Ключові слова: територіальна організація, ландшафти, урболандшафти, OpenStreetMap, зонінг, аналіз, зелено-блакитна інфраструктура.

Як цитувати: Максименко Н., Гречко А., Клещ А. Аналіз територіальної структури урболандшафту м. Чугуїв для потреб впровадження концепції зелено-блакитної інфраструктури. *Проблеми безперервної географічної освіти і картографії*. 2024. Вип. 40. С. 25–31. <https://doi.org/10.26565/2075-1893-2024-40-03>

In cites: Maksymenko, N., Hrechko, A., Klieshch, A. (2024). Analysis of the territorial structure of the urban landscape of Chuhuiv for the needs of green and blue infrastructure implementation. *The problems of continuous geographical education and cartography*, (40), 25–31. <https://doi.org/10.26565/2075-1893-2024-40-03> (in Ukrainian)

Вступ. Питання територіальної організації урболандшафтів досліджували вчені з різних наукових шкіл України, а саме: Гродзинський М. Д. [1], Денисик Г. І. [2], Царик Л. П та Кузик І. Р. [3], Назарук М. М. та Жук Ю. І. [4] тощо. У контексті глобальних кліматичних змін і швидкого розширення урбанізованих територій в Україні дослідження антропогенних ландшафтів набуває особливої значущості для забезпечення сталого розвитку. Аналіз території, трансформованої людиною, дозволяє краще зрозуміти взаємодію природних процесів із антропогенними чинниками, а також мінімізувати негативний вплив людської діяльності на навколишнє середовище.

Антропогенні ландшафти нерідко характеризуються високим рівнем екологічного навантаження і, як наслідок, порушенням природної рівноваги. Значні площі в них використовуються для промислових і сільськогосподарських потреб, що спричиняє деградацію земель, забруднення водних об'єктів та скорочення біорізноманіття. Найбільш виразним прикладом антропогенних ландшафтів є території міста.

Урбанізовані ландшафти є складними системами, що об'єднують природні компоненти та антропогенні структури. Дослідження їхньої територіальної організації є ключовим для забезпечення сталого розвитку міських територій. Попри значну вивченість територіальної організації міст, малі міста вивчені лише частково.

При вивченні територіальної організації урбосередовища в попередніх дослідженнях автори [5-7] доходять до спільної думки, щодо виділу типів антропогенного ландшафту: промисловий, селітебний, сільськогосподарського призначення, садово-парковий, лісо-антропогенний, водно-антропогенний, захисно-рекреаційний, лінійно-дорожній та белігеративний.

Вихідні передумови. За даними Державної статистики [8] малі міста в структурі міст України займають найвищий відсоток - 12%, в той час як частка середніх міст складає 9%, а великих - 2%. Місто Чугуїв - є малим містом районного значення в Харківській області, історія формування якого сягає давніх часів. Так, на території сучасного міста ще у 8 ст. було поселення з фортецею, яке слугувало лінією оборони [9]. Сучасне ж місто засноване у 1638 році козаками як місто військових поселень, що і сформувало нетипову організацію міста, адже зазвичай міста та поселення зводились у долині річок, для забезпечення населення водою, а м. Чугуїв, навпаки, виникло на височині - вододільній рівнині, що давало значну перевагу у охороні території. Місто залишилось останнім в Україні, де збереглись планування риси та забудова центру військових поселень. Навіть зараз через майже 400 років місто лишається військовим, адже під час українсько-російської війни місто відіграє важливу роль в забезпеченні оборони Харківщини.

Метою цього дослідження є вивчення територіальної організації урболандшафту міста Чугуїв.

Виклад основного матеріалу дослідження. Дослідження антропогенних ландшафтів привернуло увагу широкого кола сучасних науковців у галузі ландшафтознавства та географії [10-14]. У своїх роботах вони підкреслюють, що саме з основних проблем класифікації антропогенних ландшафтів є не лише різноманітність підходів до їхнього типологічного виокремлення, а й визначення територіальних співвідношень між природними ландшафтами та антропогенно зміненими геокомплексами.

Дослідження територіальної організації міста Чугуїв виконувалось за алгоритмом представленим на рис. 1. Для картографічного відображення антропогенно трансформованих ландшафтів міста Чугуїв було використано програмне забезпечення ArcGIS Desktop версії 10.8.1. Як картографічну основу використано план зонування території м. Чугуїв, а для підвищення точності просторового моделювання шарів залучено супутникові дані OpenStreetMap та уточнення за результатом польових спостережень.

Результатом дослідження територіальної організації урболандшафтів міста Чугуїв стало картографічне зображення представлене на рис. 2.

На території дослідження виявлено такі типи ландшафтних комплексів: селітебний, лінійно-дорожній, промисловий, белігеративний, рекреаційний, аквально-антропогенний тип та агроландшафти.

До селітебного типу віднесено: малоповерхову забудову, яка в місті представлена переважно приватною забудовою, або двоповерховими будинками побудованими до 1950 років, багатоповерхова забудова - представлена переважно п'ятиповерховими будинками, рідше зустрічаються будинки семиповерхові та дев'ятиповерхові, які побудовано у 1960-1980 роках. Окремо виділено - громадська забудова, що представлений переважно торговельними закладами, школами, дитсадками та адміністративними будівлями.

Рекреаційні ландшафти міста Чугуїв представлені трьома типами - це зони загального користування, спеціального користування та захисно-рекреаційні (водоохоронні зони та протиерозійні насадження).

Визначення комплексу белігеративних ландшафтів відповідає [15], що формулюється як "антропогенний ландшафт, який створено в процесі підготовки та ведення воєнних дій". До белігеративних ландшафтів відносяться кургани, бліндажі, вали, лінії ведення оборони, окопи та менш поширені - військові аеродроми, стрільбища та полігони.

Таким чином, на території дослідження як белігеративні ландшафти виділено військовий аеродром - в західній частині міста, а в східній частині виділено територію військового полігону, а також інші об'єкти в межах міста.

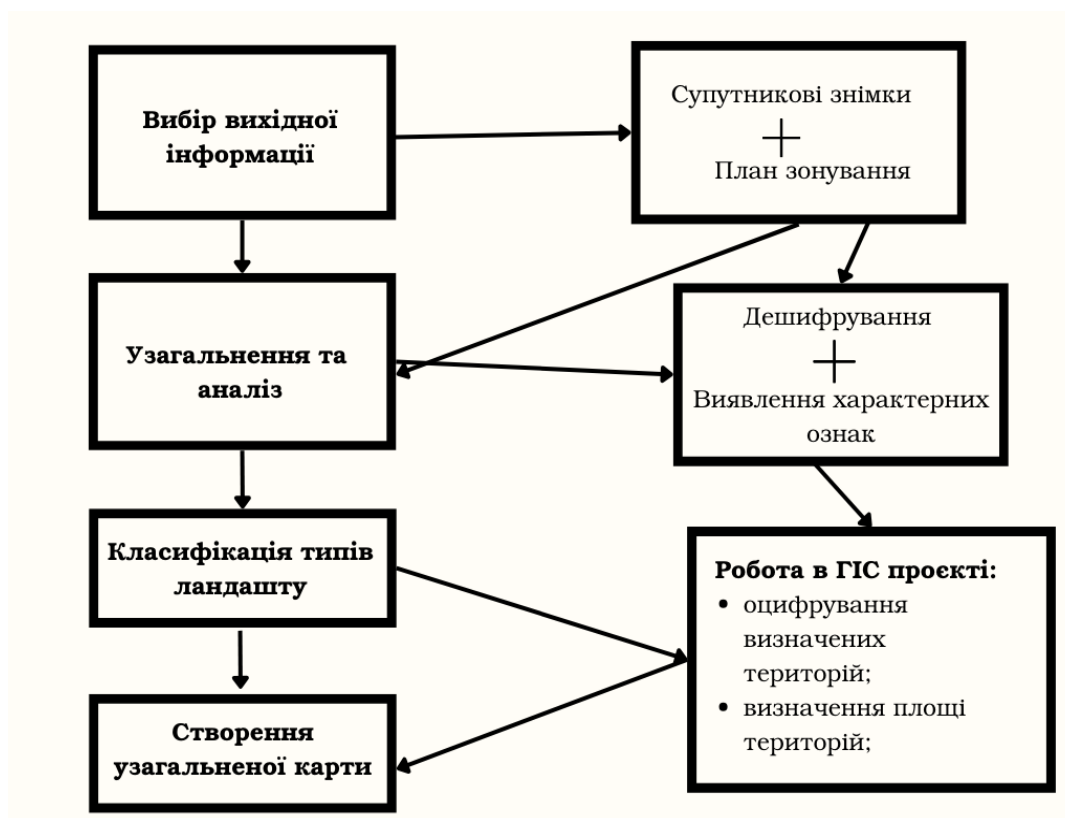


Рис. 1. Алгоритм дослідження територіальної організації урболандшафтів /
Fig. 1. Algorithm for studying the territorial organization of urban landscapes

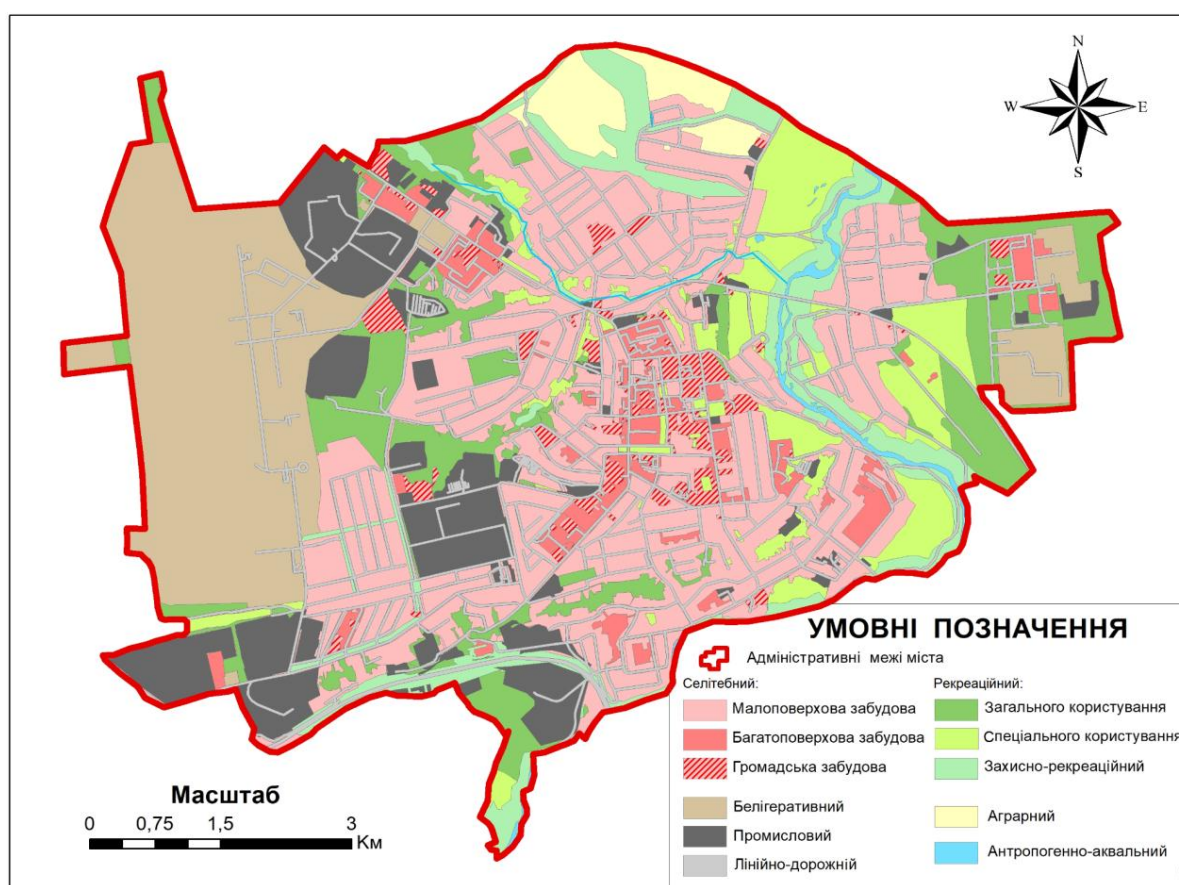


Рис. 2. Територіальна організація урболандшафтів м. Чугуїв /
Fig. 2. Territorial organization of urban landscapes in Chuhuiv

Промислові ландшафти в місті представлені територіями під підприємствами IV та V класу небезпеки.

Антропогенно-аквально-антропогенний тип ландшафту в місті Чугуїв представлений двома водними об'єктами – р. Чугівкою та р. Сіверський Донець, русло, яких було значним чином змінено у ході містобудівного освоєння.

Агроландшафти на території міста є найменшим представленим типом ландшафту та переважно поширені на околиці міста, які меншою мірою зазнали процесів урбанізації.

Аналіз співвідношення площ всіх типів урбо-ландшафту показав (табл. 1), що найбільшу частку займає селітебний тип, представлений житловою та громадською забудовою – 33,66 % території міста. В межах селітебного типу в місті Чугуїв можна виокремити два основних типи - малоповерхової забудови та багатоповерхової забудови. Найбільш поширеними видами селітебного ландшафту є міські садиби індивідуальної забудови та багатоповерхова капітальна забудова (від 5 поверхів і більше) – 25,65 % та 3,42 % відповідно. Поширеність малоповерхової забудови пов'язана з історичними передумовами формування міста, також важливий аспект є те, що у місті частково збереглася історична забудова.

У ході дослідження ландшафтно-структури міста Чугуїв було здійснено аналіз просторового розподілу та визначення площі різних типів ландшафтів. Виявлено значні диспропорції між житловими, промисловими, рекреаційними та транспортними зонами, що визначає особливості міського простору та його функціональне навантаження.

Рекреаційні території загалом охоплюють 622,62 га (23%), що є важливим показником екологічної стійкості міського середовища. Захисно-рекреаційні зони займають 191,43 га, а рекреаційні території загального призначення – 198,37 га. Значний обсяг рекреаційних територій позитивно впливає на якість довкілля та комфортність про-

живання. Проте, оцінка їх фактичного використання та рівня доступності для населення потребує окремого додаткового дослідження. Варто зазначити, що рекреаційні території в місті поширені нерівномірно, більша частка з них - це зелені зони спеціального призначення, які представлені лісовими насадженнями, що оточують белігеративні та промислові ландшафти. Зони загально користування, представлені парковими зонами та становлять 7,33%.

Белігеративні ландшафти займають 17,37% площі, до яких відносяться військові об'єкти та інфраструктура спеціального призначення, а саме полігони та військовий аеродром. Значна частка таких територій може обмежувати перспективи міського розвитку, особливо з огляду на їхню закритість та специфічний характер використання.

Лінійно-дорожні ландшафтні комплекси охоплюють 327,16 га (12%), що вказує на добре розвинуту транспортну мережу, яка забезпечує мобільність населення, адже місто є районним центром.

Промислові територіальні комплекси займають 285,77 га (10,5%), що свідчить про збереження індустріального потенціалу міста, проте вони можуть становити потенційне джерело екологічного навантаження на територію.

Аквально-антропогенні ландшафти займають лише 21,71 га (0,8%), що визначає розвиток рекреаційних зон та формування мезо- та мікроклімату. Агроландшафти представлені на площі 68,66 га (2,5%), що є незначною часткою загальної території, однак свідчить про збереження певних елементів сільськогосподарського використання в межах міста.

Висновки. Аналіз територіальної структури урбо-ландшафту м. Чугуїв виявив значне функціональне та просторове різноманіття, що є визначальним фактором для впровадження концепції зелено-блакитної інфраструктури. Житлова забудова охоплює понад 30% території міста, з домінуванням малоповерхової забудови, що створює передумови для

Таблиця 1/ Table 1

Результати розрахунку площі за типами антропогенних ландшафтів в місті Чугуїв
Results of calculating the area by type of anthropogenic landscape in Chuhuiv

Тип	Площа, га	Тип	Площа, га
Селітебний, всього	856,52	Рекреаційний, всього	622,62
<i>малоповерхової забудови</i>	694,67	<i>спеціального призначення</i>	232,81
<i>багатоповерхової забудови</i>	92,50	<i>загального призначення</i>	198,37
<i>громадської забудови</i>	69,35	<i>захисно-рекреаційний</i>	191,43
Белігеративний	470,45	Лінійно-дорожній	327,16
Промисловий	285,77	Аквально-антропогенний	21,71
Агроландшафти	68,66	Агроландшафти	68,66
Загальна площа			2707,97

інтеграції елементів зеленої інфраструктури без значного впливу на щільність забудови. Водночас висока частка белігеративних (17,4%) та промислових (10,5%) ландшафтів створює нові виклики для сталого міського розвитку та обмежує можливості просторового розширення рекреаційних зон.

Попри значну частку рекреаційних територій (23%), їх розподіл є нерівномірним, що ускладнює забезпечення загальнодоступних зелених просторів у центральній частині міста. Натомість зони загального користування, включно з парковими територіями, займають лише 7,33% загальної площі міста, що є недостатнім для формування якісних зелених осередків міського середовища для відпочинку населення та покращення мікроклімату.

Незначна частка аквально-антропогенних ландшафтів (0,8%) вказує на обмеженість поширення водних об'єктів у межах міста, що потребує додаткових заходів для інтеграції водної складової у систему зелено-блакитної інфраструктури. Потенціал для її розвитку міститься у можливості використан-

ня малих водних об'єктів, штучних водойм та оптимізації дренажних систем для покращення екологічної рівноваги.

З огляду на просторові особливості міського ландшафту, впровадження зелено-блакитної інфраструктури в м. Чугуїв має базуватися на розширенні загальнодоступних рекреаційних зон, інтеграції зелених коридорів уздовж транспортних магістралей та формуванні елементів зеленої інфраструктури навколо житлових територій.

Особливу увагу слід приділити рекультивації та екологічній реабілітації територій, що зазнали значного антропогенного впливу, зокрема в межах промислових і белігеративних типів ландшафту. Запровадження комплексного підходу до просторового планування із урахуванням принципів запровадження зелено-блакитної інфраструктури сприятиме підвищенню екологічної стійкості міста, поліпшенню умов проживання населення та гармонізації функціонального використання території.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ:

1. Гродзинський М. Д. Пізнання ландшафту місце і простір [Монографія у 2-х т.]. Київ: Видавничо-поліграфічний центр «Київський університет». 2005. Т.1. 431 с., Т.2. 503 с.
2. Денисик Г. І. Антропогенне ландшафтознавство: Початок XXI століття. *Український географічний журнал*. 2008. № 1. С. 28–30.
3. Царик Л. П., Кузик І. Р. Геоекологічна оцінка структури землекористування Тернопільської міської об'єднаної територіальної громади. *Вісник Харківського національного університету імені В. Н. Каразіна. Серія Екологія*. 2020. № 23. С. 30–40. DOI: <https://doi.org/10.26565/1992-4259-2020-23-03>
4. Назарук М. М., Жук Ю. І. Алгоритм соціально-екологічного дослідження малих міст. Наукові записки ТНПУ ім. В. Гнатюка. Серія: Географія. 2014. №1(36). С. 8–15.
5. Клещ А. А., Максименко Н. В., Пономаренко П. Р. Територіальна структура природокористування міста Харків. *Людина та довкілля. Проблеми неоекології*. 2017. № 1-2, Т. 27. С. 23–34. URL: <https://periodicals.karazin.ua/humanenviron/article/view/9168>
6. Maksymenko N. V., Klishch A. A. Directions for optimization of natural resource use in environmental management for local areas. *Visnyk of Dnipropetrovsk University. Geology, Geography*. 2017. Vol. 25, №2. P. 81–88. DOI: <https://doi.org/10.15421/111722>
7. Ландшафтно-екологічне планування: теорія і практика: монографія / Н. В. Максименко. – Х.: ХНУ імені В. Н. Каразіна, 2017. – 216 с.
8. Україна. Огляд урбанізації. Світовий банк. 2015 р. 248 с. URL: <https://documents1.worldbank.org/curated/es/787061473856627628/pdf/ACS15060-REVISED-PUBLIC-UKRANIAN-ukr-web-text-cover.pdf>.
9. Чугуїв, місто Харківської обл. Інститут історії України. URL: http://www.history.org.ua/?termin=Chuhuv_mst (дата звернення: 12.10.2024).
10. Особливості функціонування та геоекологічна роль міських ґрунтів (на прикладі м.Харкова): Автореф. дис... канд. геогр. наук: 11.00.11 / Г.В. Тітенко ; Харк. нац. ун-т ім. В.Н.Каразіна. — Х., 2002. — 19 с.: рис. — укр.
11. Царик Л., Кузик І., Царик П. Оцінка природно-рекреаційного потенціалу Тернопільської міської територіальної громади. 2022. *Collection of scientific papers «ЛОГОС»*, (May 20, 2022; Cambridge, United Kingdom), с. 372–377.
12. Ричак Н.Л. Просторово-часові особливості поведінки важких металів у ґрунтових покривах міських ландшафтів (на прикладі м.Харкова) : Автореф. дис... канд. геогр. наук: 11.00.11. — Х., 2006. — 20 с. — укр.
13. Денисик Г.І., Шмагельська М.О., Стефанков Л.І. Мікроосередкові процеси в антропогенних ландшафтах: монографія. Вінниця: ПП «Едельвейс і К», 2010. 210 с.
14. Кучерявий В. П. Урбоекологія[Текст] : підручник / В. П. Кучерявий. – Львів: Світ, 2001. – 439 с.
15. Антонюк О. О. Белігеративні ландшафти Поділля: структура, класифікація, раціональне використання: автореф. дис. ... канд. геогр. наук: 11.00.11. Київ, Київський національний університет імені Тараса Шевченка, 2016. 21 с.

Стаття надійшла до редакції 02.05.2024

Стаття рекомендована до друку 17.06.2024

Maksymenko Nadiya Vasilivna – Doctor of Geographical Sciences, Professor, Head of the Department of Environmental Monitoring and Protected Areas Management, Karazin Institute of Environmental Sciences, V. N. Karazin Kharkiv National University, e-mail: maksymenko@karazin.ua; ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-7921-9990>

Hrechko Alina Andriivna – lecturer, Department of Environmental Monitoring and Protected Areas Management. V.N. Karazin Kharkiv National University; e-mail: a.a.hrechko@karazin.ua; ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0001-9987-2586>

Klieshch Anastasiia Anatoliivna – Candidate of Geographical Sciences, Associate Professor of the Department of Environmental Monitoring and Management of Protected Areas, Karazin Institute of Environmental Sciences; e-mail: klieshch@karazin.ua; ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0003-1379-1043>

ANALYSIS OF THE TERRITORIAL STRUCTURE OF THE URBAN LANDSCAPE OF CHUHUIV FOR THE NEEDS OF GREEN AND BLUE INFRASTRUCTURE IMPLEMENTATION

The aim of the study is to study the territorial organization of the urban landscape of Chuhuiv with a view to further optimising the territory by means of green and blue infrastructure

Main material. The study of the territorial organization of urban landscapes in the city of Chuhuiv is based on the analysis of anthropogenically transformed geocomplexes that combine natural and artificial components. Urban areas require a special approach to the study of their structural organization, as the combination of anthropogenic and natural factors creates a complex system of interactions. Small towns in Ukraine, despite their greater prevalence, are less studied areas of the urban landscape, yet they still retain certain features of the natural landscape, are less anthropogenically transformed, and have significant potential for nature-based solutions.

The **results** of the study of the territorial structure of the urban landscape showed that the city is dominated by the settlement type of low-rise buildings, with a significant potential for the recreational type of landscape, which is due to both the natural conditions of the study area and the lack of continuous development. It is the presence of recreational types within the settlement type that provides the basis for the creation of green infrastructure facilities to optimize the city structure and ensure sustainable development of the urban environment.

Conclusions. The analysis of the territorial structure of the urban landscape of Chuhuiv has shown significant functional and spatial heterogeneity, which is a key factor for the implementation of green and blue infrastructure. Residential development covers more than 30% of the territory, which creates prerequisites for the integration of green areas, but the high share of beligerative (17.4%) and industrial (10.5%) areas limits the possibilities for the spatial development of recreational areas. Despite the significant share of recreational areas (23%), only 7.33% of the total city area is covered by publicly accessible green areas, which is insufficient to create a high-quality urban environment. The development of green and blue infrastructure should be based on the expansion of recreational areas, creation of green corridors along transport routes, and reclamation of industrial and brownfield sites, which will help to increase the city's environmental sustainability and improve living conditions.

Keywords: territorial organization, landscapes, urban landscapes, OpenStreetMap, zoning, analysis, green and blue infrastructure.

REFERENCES:

1. Grodzynskyi, M. D. (2005). Cognition of the landscape: Place and space (Monograph in 2 vols.). Kyiv: Publishing and Printing Center «Kyiv University» [in Ukrainian].
2. Denisik, G. I. (2008). Anthropogenic landscape science: The beginning of the XXI century. *Ukrainian Geographical Journal*, 1, 28-30 [in Ukrainian].
3. Tsaryk, L. P., & Kuzyk, I. R. (2020). Geoecological Assessment of the Land Use Structure of Ternopil City United Territorial Community. *Visnyk of V. N. Karazin Kharkiv National University. Series Ecology*, (23), 30-40. DOI : <https://doi.org/10.26565/1992-4259-2020-23-03> [in Ukrainian].
4. Nazariuk, M. M., & Zhuk, Y. I. (2014). Algorithm of socio-ecological research of small towns. Scientific Notes of Ternopil Volodymyr Hnatiuk National Pedagogical University. Series: Geography, 1(36), 8-15 [in Ukrainian].
5. Maksymenko, N. V., Klieshch, A. A., & Ponomarenko, P. R. (2017). Territorial structure of nature management in Kharkiv. *Man and Environment. Issues of Neoecology*, 1-2, 23-34. DOI : <https://doi.org/10.26565/1992-4224-2017-27-03> [in Ukrainian].
6. Maksymenko, N. V., Klieshch, A. A. (2017). Directions for optimization of natural resource use in environmental management for local areas. *Visnyk of Dnipropetrovsk University. Geology, Geography*, 25, 2. 81–88. DOI : <https://doi.org/10.15421/111722> [in English].
7. Maksymenko, N. V. (2017). Landscape and environmental planning: theory and practice: monograph. V. N. Karazin Kharkiv National University [in English].
8. Ukraine. Urbanization review. (n.d.). World Bank. <https://documents1.worldbank.org/curated/es/787061473856627628/pdf/ACS15060-REVISED-PUBLIC-UKRANIAN-ukr-web-text-cover.pdf> [in English].
9. Chuhuiv, a town in the Kharkiv region (b.d.). Institute of History of Ukraine. http://www.history.org.ua/?termin=Chuhuiv_mst. [in Ukrainian].
10. Titenko, G. V. (2002). Features of functioning and geo-ecological role of urban soils (on the example of Kharkiv) [PhD thesis... Candidate of Geographical Sciences: 11.00.11]. V.N. Karazin Kharkiv National University [in Ukrainian].
11. Tsaryk, L., Kuzyk, I., & Tsaryk, P. (2022). Assessment of the natural and recreational potential of the Ternopil city territorial community. Collection of scientific papers 'ΑΟΓΟΕ', (May 20, 2022; Cambridge, United Kingdom), 372-377 [in Ukrainian].

12. Rychak, N.L. (2006). Spatial and temporal features of heavy metals behaviour in soil coverings of urban landscapes (on the example of Kharkiv)[PhD thesis... Candidate of Geographical Sciences: 11.00.11]. V.N. Karazin Kharkiv National University [in Ukrainian].
13. Denysyk, I. G., Shmagelska, M. O., & Stefankov, L. I. (2010). Microenvironmental processes in anthropogenic landscapes: a monograph. Edelweiss & K. [in Ukrainian].
14. Kucheriavyi, V. P. (2001). Urboecology [Textbook]. Lviv: Svit [in Ukrainian].
15. Antoniuk, O. O. (2016). Beligerative landscapes of Podillia: structure, classification, rational use [Candidate of Geographical Sciences: 11.00.11]. Taras Shevchenko National University of Kyiv [in Ukrainian].

The article was received by the editors 02.05.2024

The article is recommended for printing 17.06.2024

DOI: 10.26565/2075-1893-2024-40-04
УДК 91.528.9

Віліна Пересадько*

д. геогр. наук, професор кафедри фізичної географії та картографії;
e-mail: vilinaperesadko@karazin.ua; ORCID ID: <http://orcid.org/0000-0002-2439-2788>

Олег Дмитриков*

аспірант кафедри фізичної географії та картографії ОНП Науки про Землю;
e-mail: oleg.dmytrykov@student.karazin.ua; ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0001-9717-2033>

Анатолій Джос**

к. с.-г. наук, начальник відділу Державного підприємства «Українське державне аерогеодезичне підприємство»;
e-mail: anatoliy.dzh62@gmail.com; ORCID ID: <https://orcid.org/0009-0009-2809-4751>

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

**Державне підприємство «Українське державне аерогеодезичне підприємство», вул. Велика Васильківська, 69, м. Київ, 03150, Україна.

Аналіз точності картографічної інформації (на прикладі відображення автомобільних шляхів України і США)

Мета дослідження – оцінити точність даних онлайн-ресурсів у порівнянні з геодезичними та лазерними методами вимірювання, та порівняти протяжність основних автомобільних шляхів США та України за офіційними даними і найбільш використовуваними картографічними сервісами.

Основний матеріал. Порівняльний аналіз традиційних геодезичних знімків і лазерного сканування автомобільних доріг Сполучених Штатів Америки й України показав майже ідентичні результати. Це стало основою для оцінки точності картографічних сервісів OpenStreetMap (OSM), GraphHopper (GH) та Google Maps. Для кожного відрізка, довжина якого вимірювалась, визначено різницю координат точок; квадрати різниць координат точок; середнє значення квадратів різниць точок; середньоквадратичну похибку для координат X та Y; загальну середньоквадратичну похибку; відношення похибки до загальної протяжності маршруту.

Результати показали розбіжності між офіційними даними FHWA, КМУ та онлайн-ресурсами. Для магістралей у США відхилення незначні (-1,86% до +0,25%). В Україні в окремих випадках вони сягали 19,99%, що може бути наслідком меншої частоти оновлення офіційних джерел. Це підкреслює необхідність перехресного контролю, зокрема за допомогою лазерного сканування.

Висновки. Порівняння геодезичних та лазерних вимірювань показало їхню високу точність, що дозволяє використовувати ці методи для перевірки картографічних даних. Лазерне сканування, представлене у цифровому форматі без проміжних кроків оцифрування може слугувати контрольним шаром для визначення протяжності лінійних об'єктів, зокрема автодоріг. Онлайн-ресурс GraphHopper серед трьох проаналізованих - демонструє найменші розбіжності як для США, так і для України. Картографічні основи України потребують оновлення на основі сучасних топографо-геодезичних знімків, включно з лазерним скануванням. Визначення точних довжин транспортних шляхів є важливим для ефективного розвитку держави.

Ключові слова: транспортна мережа, автомобільні шляхи, точність карт, картографічне моделювання, Google Maps, OpenStreetMap, модель GraphHopper, лазерне сканування.

Як цитувати: Пересадько В., Дмитриков О., Джос А. Аналіз точності картографічної інформації (на прикладі відображення автомобільних шляхів України і США). *Проблеми безперервної географічної освіти і картографії*. 2024. Вип. 40. С. 32–44. <https://doi.org/10.26565/2075-1893-2024-40-04>

In cites: Peresadko, V., Dmytrykov, O., Dzhos, A. (2024). Analysis of the accuracy of mapping information (using the example of motorway mapping in Ukraine and the USA). *The problems of continuous geographical education and cartography*, (40), 32–44. <https://doi.org/10.26565/2075-1893-2024-40-04> (in Ukrainian)

Вступ. Кожен день мільярди учасників транспортного руху по всьому світу користуються навігацією. Завдяки транспорту та логістиці працює світова економіка і торгівля, а пересічний громадянин має змогу найбільш швидко дістатися до місця призначення. Навігаційні пристрої і програмне забезпечення вже стали невід'ємною частиною повсякденного життя. Фундаментом таких можливостей є досягнення геодезії та картографії, які відіграють важливу роль у сучасному суспільстві, забезпечуючи точні дані для транспортної логістики, містобудування та інших галузей. З розвитком онлайн-картографічних сервісів, таких як OSM, GH та Google Maps, виникла потреба оцінити їхню точність для території України у порівнянні з традиційними геодезичними методами. Ці сервіси широко використовуються як для особистих, так і для комерційних потреб, але їхня точність може змінюватися залежно від багатьох факторів. Зважаючи на критичне значення точності географічних даних, це дослідження зосереджено на оцінці точності онлайн-картографічних сервісів.

Метою цього дослідження є оцінка точності даних, представлених онлайн-ресурсами, у порівнянні з геодезичними та лазерними методами вимірювання, а також з офіційними даними США та України.

Вихідні передумови. Питання ілюзії абсолютної точності даних в геоінформаційних технологіях, відображених за допомогою комп'ютерної графіки розглядалось більше 20 років тому [4] і залишається актуальним сьогодні. З початку нового тисячоліття технології перейшли на принципово новий рівень, що потребує адаптації методологічних і методичних основ до сучасних потреб. Питання точності вимірювань, коректності картографічної візуалізації є наріжними питаннями як картоукладання, так і картокористування. Поява нових технологій дозволяє робити звичні задачі із більшою швидкістю й точністю. Є багато прикладів економічно обґрунтованих змін для отримання геодезичних даних, як, наприклад перехід від геометричного нівелювання до тригонометричного [2], або його заміна на GPS-нівелювання [5]. Але такий перехід супроводжується підвищенням вимог до точності систем відліку [6], які сьогодні активно приводяться до європейських систем замість радянських [7]. Такі питання потребують часу і ще знаходяться у процесі вирішення. Щодо картографічної частини цих змін, то основним напрямком є обробка і візуалізація цифрових даних. Робота із оцифрованими аналоговими даними в Україні обмежує можливості деталізації через втрати точності при масштабуванні. Цього можна уникнути при роботі з даними, створеними одразу у цифровому форматі. Точність, швидкість збору даних, безпека проведення робіт, можливості масштабування та перехресної перевірки отриманих та оригінальних даних є ключовими

аспектами, які визначають успішність застосування картографічних матеріалів у різних сферах людської діяльності.

Нерівності рельєфу, недосконалість способів отримання первинної інформації для створення карт, в тому разі і в результаті застосування застарілих технологій, використання застарілих географічних основ – все це призводить до зменшення точності карт взагалі і топографічних зокрема. В свою чергу це призводить до надмірних фінансових витрат і з боку підприємств, і з боку пересічних громадян. Безумовно, використання ГІС інструментів для перевірки точності географічних даних, включаючи визначення протяжності маршрутів, доступне обмеженому колу фахівців, тоді як більшість водіїв в Україні покладаються на загальнодоступні OSM, GH та Google Maps, не маючи спеціальних знань для оцінки точності цих даних. Дослідження порівняння геодезичної мережі і даних OSM було проведено для території Великої Британії [10], Саудівської Аравії [8] і в загальному для 168 країн світу [12]. Останні дослідження для Google Maps використовують для порівняння дані станцій Міжнародної служби GNSS на території Китаю, Японії, США та Західної Європи [11]. Наявність вимірювань для інших регіонів світу спонукає провести вимірювання точності даних цих ресурсів і для території України. Зазначимо, що модель GraphHopper має можливості врахування висоти поверхні за даними Shuttle Radar Topography Mission. Також зазначимо, що базові версії платформ не роблять акцент на забезпеченні високої точності і можуть округлювати деякі значення до цілих чисел.

Виклад основного матеріалу дослідження. На першому етапі нашого дослідження проводились розрахунки для підтвердження точності координат хмари точок у порівнянні із наявним геодезичним зніманням, як еталоном, для відрізка траси М-03 в Харківській області в наступній послідовності: 1. Порівняння координат точок геодезичного знімання і точок шару лазерного знімання; 2. Обчислення середнього значення квадратів різниць координат точок; 3. Обчислення середньоквадратичної похибки (СКП) для координат точок (окремо X та Y); 4. Обчислення загальної СКП для двох координат точок X та Y разом. На другому етапі дослідження хмари точок лазерного сканування було використано як еталонну основу для розрахунку і порівняння довжин, виміряних за координатами точок, із даними онлайн-карт OSM, GH та Google Maps на ділянках трас М-03 у Харківській області в Україні та І-189 у штаті Вермонт у США в наступній послідовності: 1. Визначення контрольних точок із орієнтовним кроком у 150 метрів; 2. Розрахунок горизонтального прокладення між точками за їх прямокутними координатами на основі хмари точок лазерного знімання; 3. Розрахунок відстані між точками по фізичній поверхні враховуючи рельєф;

4. Трансформація координат контрольних точок із УСК-2000 та NAD83 у WGS84 із подальшим розрахунком відстані між ними за OSM, GH та Google Maps; 5. Обчислення середньоквадратичної похибки довжин ділянок трас і встановлення точності довжин автошляхів, що визначаються за допомогою OSM, GH та Google Maps за координатами в системі WGS84. На третьому етапі дослідження за допомогою онлайн-ресурсів OSM, GH та Google Maps було виміряно довжини автомагістралей. На території США обрано найдовші магістралі, що проходять у широтному та меридіональному напрямках, їх довжину порівняно із офіційним переліком автошляхів та їх довжин згідно Federal Highway Administration (FHWA) [9]. У межах України виміряно довжини міжнародних автомагістралей і порівняно із даними протяжності з переліку затвердженому Кабінетом Міністрів України [3].

Перший етап дослідження. Наявні дані геодезичного знімання двокілометрової ділянки траси М-03 у Валківському районі Харківської області слугували еталоном і налічували 3700 точок із координатами у системі УСК-2000. На цій ділянці було проведено лазерне сканування, що дозволило отримати хмару точок високої густоти, кожна з яких мала присвоєні координати, висоту і колір в RGB-кодуванні. Робота з даними проводилась у середовищі QGIS 3.34 Prizren.

Виділено 12 точок із шару лазерного сканування, які мають максимально наближене положення

до точок геодезичного знімання (рис. 1). Їх було обрано для подальших розрахунків із використанням формули середньоквадратичної похибки - СКП:

$$\text{СКП} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X_i^{\text{вим}} - X_i^{\text{іст}})^2}{n}}, \text{ де}$$

$\sum_{i=1}^n (X_i^{\text{вим}} - X_i^{\text{іст}})^2$ – сума квадратів різниць між виміряним та істинним значенням для кожної точки, n - кількість вимірювань.

Дані та результати розрахунків представлено у таблицях 1 і 2. Координати точок лазерного сканування у колонках $X_{\text{л}}$ та $Y_{\text{л}}$ подано у системі координат УСК-2000, так само як і дані координат геодезичного знімання $X_{\text{г}}$ та $Y_{\text{г}}$. Горизонтальні прокладення між 12 контрольними точками розраховано на основі прямокутних координат. Наступні колонки ΔX та ΔY показують різницю між визначеним положенням точок лазерного знімання та геодезичного, визначеного у метрах. Останні колонки $(X_{\text{л}} - X_{\text{г}})^2$ та $(Y_{\text{л}} - Y_{\text{г}})^2$ показують розрахунки квадратів різниць X та Y координат визначених у квадратних метрах. Середнє значення квадратів різниць і СКП для X та Y вказано нижче даних координат точок. Значення середньої СКП для координат X та Y разом становить 0,0037 метра, відповідно 3,7 мм. Така мала похибка свідчить про практично ідеальне узгодження між лазерним скануванням і даними геодезичного знімання. Сума горизонтальних прокладень відрізків між початковою і кінцевою контрольними

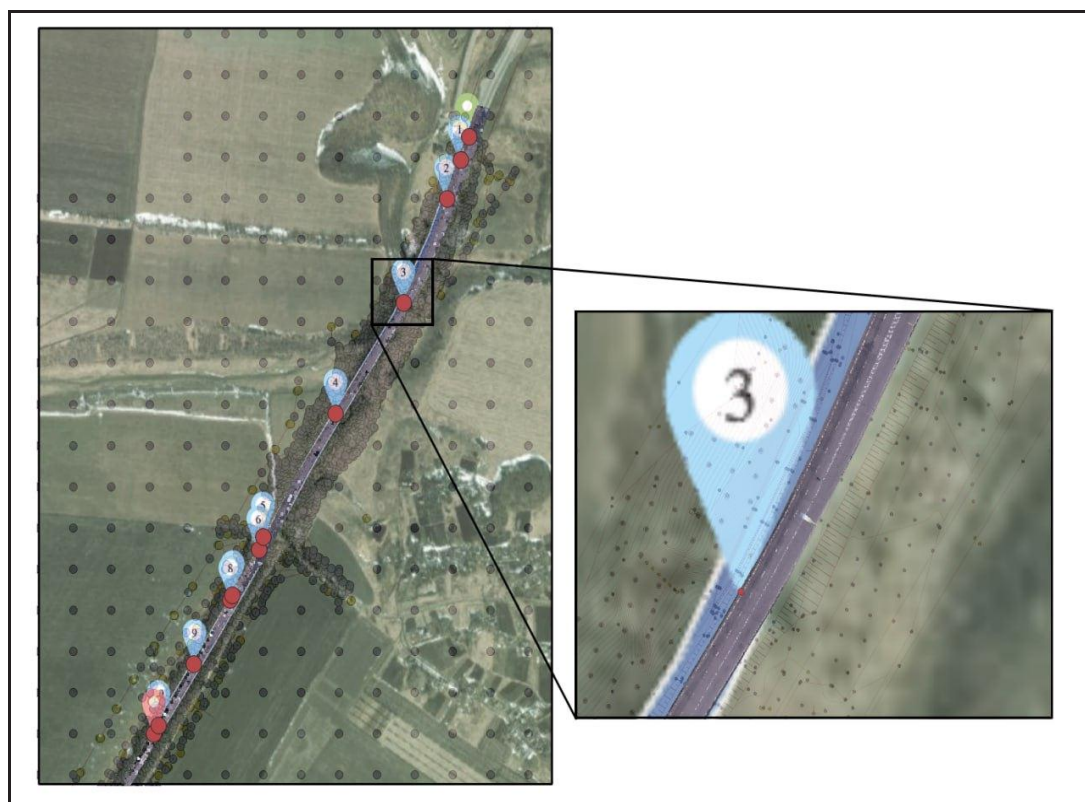


Рис. 1. Положення контрольних точок і відображення хмари точок на відрітку траси М-03 на фоні геодезичного плану місцевості/
Fig 1. Position of control points and display of the point cloud on the M-03 road section against the background of the geodetic plan of the area)

точками за даними геодезичного знімання складає 1674,5479 метрів, а за даними лазерного знімання - 1674,5536 метри. Різниця складає 5,7 мм або 0,00034% від загальної довжини, що вказує на майже повну ідентичність горизонтальних прокладень ділянок.

Проведені розрахунки підтверджують, що лазерне сканування є надзвичайно точним методом для вимірювання і моделювання реальної поверхні, що дає можливість використовувати дані лазерного сканування як цифрову основу для потреб картографування і забезпечення високої точності розрахунків за допомогою картографічного методу, а також для можливості перехресної перевірки даних.

Другий етап дослідження. Дані лазерного сканування на цьому етапі використовувались як еталон для порівняння із даними OSM, моделі GN та Google Maps. Файли зйомки ділянки траси М-03 у Харківській області отримано від Навігаційно-геодезичного центру. Так як вони представлені в системі координат УСК-2000 необхідно трансформувати координат точок в систему WGS84 для подальших розрахунків, через використання цієї системи координат досліджуваними онлайн-сервісами. Це було виконано в середовищі QGIS 3.34 Prizren. Контрольні точки для цього етапу дослідження взято через проміжки близько 150 метрів. Довжина горизонтального прокладення, розрахо-

Таблиця 1/ Table 1

Результати розрахунку квадрата різниці X-координат контрольних точок
Results of calculating the square of the difference in X-coordinates of control points

№	X_n	X_r	$\Delta X, \text{м}$	$(X_n - X_r)^2, \text{м}^2$
Початкова точка	5317711,546778320	5317711,54700	-0,000221680	0,00000004914198625
1	5317723,992778320	5317723,99000	0,002778320	0,000007719060033
2	5317817,273778320	5317817,27100	0,002778321	0,000007719065208
3	5317913,389778320	5317913,39000	-0,000221680	0,00000004914198625
4	5317919,154778320	5317919,14800	0,006778320	0,00004594562606
5	5317989,347778320	5317989,35000	-0,002221679	0,000004935858979
6	5318001,325778320	5318001,32580	-0,000021679	0,0000000004699932145
7	5318191,207778320	5318191,20500	0,002778320	0,000007719060033
8	5318369,940778320	5318369,93800	0,002778320	0,000007719060033
9	5318485,747778320	5318485,75000	-0,002221680	0,000004935863117
10	5318521,284778320	5318521,28300	0,001778320	0,000003162423478
Кінцева точка	5318542,432778320	5318542,42900	0,003778321	0,00001427570759
Середнє значення квадратів різниць				0,000008685873208
СКП для координат X				0,002947180552

Таблиця 2/ Table 2

Результати розрахунку квадрата різниці Y- координат контрольних точок
Results of calculating the square of the difference in Y - coordinates of control points

№	Y_n	Y_r	$\Delta Y, \text{м}$	$(Y_n - Y_r)^2, \text{м}^2$
Початкова точка	5520200,85787	5520200,86400	-0,00613	0,00003754674672
1	5520221,01287	5520221,01100	0,00187	0,000003506107792
2	5520368,98387	5520368,98300	0,00087	0,00000076118679
3	5520526,09787	5520526,09000	0,00787	0,00006197563291
4	5520535,62187	5520535,62200	-0,00013	0,00000001626668151
5	5520646,11687	5520646,12000	-0,00313	0,00000978150934
6	5520677,52787	5520677,53010	-0,00223	0,000004961935022
7	5520977,60487	5520977,60200	0,00287	0,000008251024099
8	5521246,37787	5521246,38100	-0,00313	0,00000978150934
9	5521498,55587	5521498,56000	-0,00413	0,00001703658393
10	5521592,32687	5521592,33500	-0,00813	0,00006605691214
Кінцева точка	5521648,95487	5521648,95600	-0,00113	0,000001271346754
Середнє значення квадратів різниць				0,00001841223013
СКП для координат Y				0,004290947463

Таблиця 3/ Table 3

Визначення різниці горизонтальних прокладень між контрольними точками та СКП на основі OpenStreetMap (базова версія) і моделі GraphHopper для ділянки траси М-03 Харків-Валки
GraphHopper для ділянки траси М-03 Харків-Валки

Determination of the difference in horizontal layout between control points and JCS based on OpenStreetMap (basic version) and GraphHopper model for the section of the M-03 Kharkiv-Valky

№	Координати	L_r (QGIS), м	L_r (OSM), м	L_r (GH), м	ΔL_r (QGIS-OSM), м	ΔL_r (QGIS-GH), м	$(\Delta L_r)^2$ (QGIS-OSM) ² , м ²	$(\Delta L_r)^2$ (QGIS-GH) ² , м ²
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	49.9094772, 35.7568418							
		150,13	150	150,09	0,13	0,04	0,02	0,00
2	49.908204, 35.756148							
		149,56	149	149,06	0,56	0,50	0,31	0,25
3	49.90696, 35.755372							
		148,9	149	149,17	-0,10	-0,27	0,01	0,07
4	49.905751, 35.75447							
		146,59	147	146,74	-0,41	-0,15	0,17	0,02
5	49.904604, 35.753465							
		150,09	149	150,01	1,09	0,08	1,19	0,01
6	49.90348, 35.752309							
		150,7	151	150,46	-0,30	0,24	0,09	0,06
7	49.902349, 35.751154							
		150,98	150	150,86	0,98	0,12	0,96	0,01
8	49.90119, 35.75006							
		149,27	149	148,88	0,27	0,39	0,07	0,15
9	49.900033, 35.749014							
		149,98	150	150,12	-0,02	-0,14	0,0004	0,02
10	49.898882, 35.74792							
		147,98	147	147,79	0,98	0,19	0,96	0,04
11	49.897763, 35.746806							
		149,67	149	149,53	0,67	0,14	0,45	0,02
12	49.896639, 35.745661							
		150,59	150	150,39	0,59	0,20	0,350	0,04
13	49.895507, 35.744512							
		149,63	149	149,48	0,63	0,15	0,40	0,02
14	49.894376, 35.743383							
Середнє значення квадратів різниць							0,38	0,05
СКП							0,62	0,23
Частка від загального							0,032%	0,012%

вана математично в системі координат УСК-2000 складає 1949,67 метрів, з урахуванням рельєфу - 1950,65 метрів. Довжина прокладення цієї ділянки у системі координат WGS84, розрахована за допомогою інструменту Measure Line у середовищі QGIS, склала 1944,05 метрів, а враховуючи висоту точок - 1945,03 метрів. Орієнтовна похибка при трансформації ділянки з прямокутної системи координат в геоцентричну склала 5 метрів або 0,26%.

Дані у таблицях 3, 4, 5, 6 відповідають результатам розрахунків: L_r (QGIS) - горизонтальне прокладення, розраховане інструментом Measure Line в

QGIS, L_r (OSM) - горизонтальне прокладення, розраховане в базовій версії OSM, L_r (GH) - горизонтальне прокладення, розраховане за допомогою моделі GraphHopper на базі OSM, ΔL_r (QGIS-OSM) - різниця між даними, розрахованими в середовищі QGIS та даними базової версії OSM, ΔL_r (QGIS-GH) - різниця між даними QGIS та моделі GraphHopper на базі OSM, $(\Delta L_r)^2$ (QGIS-OSM)² - квадрат різниці даних QGIS та базової версії OSM, $(\Delta L_r)^2$ (QGIS-GH)² - квадрат різниці даних QGIS та моделі GraphHopper на базі OSM. Одиниці розрахунку - метри, система координат - WGS84.

Таблиця 4/ Table 4

Визначення різниці горизонтальних прокладень між контрольними точками та СКП на основі Google Maps для ділянки траси М-03 Харків-Валки
Determination of the difference in horizontal alignment between control points and JCPs based on Google Maps for the section of the M-03 Kharkiv-Valky

№	Координати	L_r (QGIS), м	L_r (Google Maps), м	ΔL_r (QGIS-Google Maps), м	$(\Delta L_r)^2$ (QGIS-Google Maps), м ²
1	2	3	4	6	8
1	49.9094772, 35.7568418				
		150,13	150	0,13	0,02
2	49.908204, 35.756148				
		149,56	150	-0,44	0,19
3	49.90696, 35.755372				
		148,9	150	-1,10	1,21
4	49.905751, 35.75447				
		146,59	150	-3,41	11,63
5	49.904604, 35.753465				
		150,09	150	0,09	0,01
6	49.90348, 35.752309				
		150,7	150	0,70	0,49
7	49.902349, 35.751154				
		150,98	150	0,98	0,96
8	49.90119, 35.75006				
		149,27	150	-0,73	0,53
9	49.900033, 35.749014				
		149,98	150	-0,02	0,0004
10	49.898882, 35.74792				
		147,98	150	-2,02	4,08
11	49.897763, 35.746806				
		149,67	150	-0,33	0,11
12	49.896639, 35.745661				
		150,59	150	0,59	0,35
13	49.895507, 35.744512				
		149,63	150	-0,37	0,14
14	49.894376, 35.743383				
Середнє значення квадратів різниць					1,52
СКП					1,23
Частка від загальної довжини					0,06%

Різниця між значеннями, отриманими в QGIS та розрахованими за допомогою OSM складає від -0,41 до +1,09 метрів, в свою чергу за GH складає від -0,27 до +0,50 метрів, а за допомогою Google Maps - від -3,41 до +0,98 метрів. Середнє значення квадратів різниць для відстаней ділянок, розрахованих за допомогою OSM становить 0,38 м², за GH - 0,05 м², за Google Maps - 1,52 м². Частка цих значень до загальних довжин горизонтального прокладення складає 0,032%, 0,012% та 0,06% відповідно. СКП для OSM

становить 0,62 м, для GH - 0,23 м, а для Google Maps - 1,23 м. Отже, найменші розбіжності мають дані, розраховані за допомогою GH.

Для забезпечення порівняльного аналізу виконано дослідження тих самих показників з ідентичним набором даних для частини автомобільної траси І-189 на північному сході США у штаті Вермонт. За останні 15 років лазерне сканування за допомогою пілотованих та безпілотових літальних апаратів проводилось майже на всю територію США і є

Таблиця 5/ Table 5

Визначення різниці горизонтальних прокладень між контрольними точками та СКП на основі OpenStreetMap (базова версія) і моделі GraphHopper для ділянки траси I-189 у штаті Вермонт, США
Determination of the difference in horizontal spacing between control points and CMPs based on OpenStreetMap (basic version) and GraphHopper model for a section of the I-189 highway in Vermont, USA

№	Координати	L_r (QGIS), м	L_r (OSM), м	L_r (GH), м	ΔL_r (QGIS-OSM), м	ΔL_r (QGIS-GH), м	$(\Delta L_r)^2$ (QGIS-OSM), м ²	$(\Delta L_r)^2$ (QGIS-GH), м ²
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	44.4467237, -73.210236							
		150,99	150	150,64	0,99	0,35	0,98	0,12
2	44.4471742, -73.208446							
		151,43	151	151,1	0,43	0,33	0,18	0,11
3	44.4476225, -73.2066500							
		150,79	150	150,39	0,79	0,40	0,63	0,16
4	44.4480629, -73.2048581							
		149,47	149	149,12	0,47	0,35	0,22	0,12
5	44.4484956, -73.2030802							
		145,97	148	145,86	-2,03	0,11	4,12	0,01
6	44.44885, -73.201314							
		150,97	150	150,64	0,97	0,33	0,93	0,11
7	44.4490728, -73.1994436							
		150,73	150	150,33	0,73	0,40	0,53	0,16
8	44.4492349, -73.1975635							
		150,42	150	150,03	0,42	0,39	0,18	0,15
9	44.4494046, -73.1956886							
		151,55	151	151,15	0,55	0,40	0,30	0,16
10	44.4495686, -73.1937986							
		149,45	149	149,01	0,45	0,44	0,20	0,20
11	44.449749, -73.191938							
		149,74	149	149,38	0,74	0,36	0,55	0,13
12	44.449889, -73.190067							
		154,07	154	153,68	0,07	0,39	0,004	0,15
13	44.449946, -73.188133							
		150,53	150	150,09	0,53	0,44	0,28	0,19
14	44.449989, -73.186243							
		147,56	146	146,89	1,56	0,67	2,44	0,45
15	44.450141, -73.184407							
		144,26	143	143,45	1,26	0,81	1,580	0,65
16	44.450626, -73.182732							
		151,40	151	150,96	0,40	0,44	0,160	0,19
17	44.451426, -73.181205							
Середнє значення квадратів різниць							0,83	0,19
СКП							0,91	0,44
Частка від загального							0,038%	0,018%

Таблиця 6/ Table 6

Визначення різниці горизонтальних прокладень між контрольними точками та СКП на основі Google Maps для ділянки траси I-189 у штаті Вермонт, США
Determination of the difference in horizontal spacing between control points and CMPs based on Google Maps for a section of the I-189 highway in Vermont, USA

№	Координати	L_r (QGIS), м	L_r (Google Maps), м	ΔL_r (QGIS-Google Maps), м	$(\Delta L_r)^2$ (QGIS-Google Maps), м ²
1	2	3	4	6	8
1	44.4467237, -73.210236				
		150,99	150,88	0,11	0,01
2	44.4471742, -73.208446				
		151,43	149,96	1,47	2,15
3	44.4476225, -73.2066500				
		150,79	150,88	-0,08	0,01
4	44.4480629, -73.2048581				
		149,47	149,05	0,42	0,17
5	44.4484956, -73.2030802				
		145,97	143,87	2,10	4,42
6	44.44885, -73.201314				
		150,97	150,88	0,09	0,01
7	44.4490728, -73.1994436				
		150,73	149,96	0,77	0,59
8	44.4492349, -73.1975635				
		150,42	149,96	0,46	0,21
9	44.4494046, -73.1956886				
		151,55	150,88	0,67	0,45
10	44.4495686, -73.1937986				
		149,45	149,05	0,40	0,16
11	44.449749, -73.191938				
		149,74	149,96	-0,22	0,05
12	44.449889, -73.190067				
		154,07	153,92	0,14	0,02
13	44.449946, -73.188133				
		150,53	149,96	0,57	0,32
14	44.449989, -73.186243				
		147,56	146,91	0,65	0,42
15	44.450141, -73.184407				
		144,26	143,87	0,39	0,15
16	44.450626, -73.182732				
		151,40	150,88	0,52	0,27
17	44.451426, -73.181205				
Середнє значення квадратів різниць					0,59
СКП					0,77
Частка від загального					0,032%

частиною відкритої бази даних Геологічної служби США (USGS). Проведені у Львівській політехніці дослідження підтверджують У цьому випадку ми спираємось на дослідження точності такого типу збору даних, проведене у Львівській політехніці [1]. Воно дозволяє стверджувати, що дані лазерного зніман-

ня сканувальними станціями, встановленими на літальні апарати забезпечують таку ж точність, як і ті, що створені за допомогою мобільних сканувальних платформ, встановлених на наземні транспортні засоби. Дані лазерного сканування обрано еталоном точності. Ділянка траси розбита на 16 відрізків при-

Таблиця 7/ Table 7

**Порівняння протяжності частини основних магістралей США
за даними FHWA, OSM, GH та Google Maps
Comparison of the length of some major US highways according to FHWA, OSM, GH and Google Maps**

Назва дороги	Початок маршруту	Кінець маршруту	Довжина	Горизонтальне прокладення		
			Офіційна (FHWA), км	OSM, км, (%)	GH, км, (%)	Google Maps, км, (%)
I-5	San Diego, CA (32.542523, -117.029064)	Blaine, WA (49.002076, -122.756028)	2222,97	2228,6 (+0,25)	2227,13 (+0,18)	2227,51 (+0,2)
I-10*	Santa Monica, CA (34.016665, -118.502204)	Jacksonville, FL (30.320772, -81.69301)	3959,53	3954 (-0,14)	3954,49 (-0,13)	3957,54 (-0,05)
I-40*	Barstow, CA (34.885795, -117.01435)	Murphyville, NC (34.272792, -77.868538)	4114,46	4104,30 (-0,24)	4101,50 (-0,31)	4104,40 (-0,25)
I-75	Hialeah, FL (25.896704, -80.324241)	Sault Ste. Marie, MI (46.508466, -84.360725)	2875,04	2878,4 (+0,12)	2873,83 (-0,04)	2871,39 (-0,13)
I-90*	Seattle, WA (47.592329, -122.325855)	Boston, MA (42.378909, -71.025608)	4990,78	4958,23 (-0,65)	4964 (-0,54)	4961,29 (-0,59)
I-95	Miami, FL (25.749222, -80.212333)	Houlton, ME (46.134871, -67.781248)	3096,06	3039,7 (-1,82)	3038,40 (-1,86)	3050,35 (-1,48)
Всього (частка від офіційної довжини)			21258,84	21163,23 (-0,45)	21159,35 (-0,47)	21172,48 (-0,41)

близько по 150 метрів. У системі координат NAD83 довжина горизонтального прокладення складає 2405,3 метри, з урахуванням висоти точок - 2406,9 метрів. Для продовження розрахунків, що наведені нижче (табл. 7), координати контрольних точок було трансформовано у середовищі QGIS із системи координат NAD83 у WGS84. Ця сама ділянка у системі координат WGS84, розрахована за допомогою інструменту Measure Line склала 2399,31 метрів, а враховуючи нерівність рельєфу - 2400,87 метрів. Орієнтовна похибка при трансформації ділянки з прямокутної системи координат в геоцентричну склала 6 метрів або 0,25%.

Різниця між значеннями, отриманими в QGIS та розрахованими за допомогою OSM коливаються в межах від -2,03 до +1,56 метрів, у свою чергу за допомогою GH - від +0,11 до +0,81 метрів, а за Google Maps - від -0,22 до +2,10 метрів. Середнє значення квадратів різниць для відстаней ділянок, розрахованих за допомогою OSM складає 0,83 м², GH - 0,19 м², Google Maps - 0,59 м². Відношення цих значень до загальних довжин горизонтального прокладення складає 0,038%, 0,018% та 0,32% відповідно. СКП для OSM дорівнює 0,91 м, для GH - 0,44 м, а для Google Maps - 0,77 м. Бачимо, що найменші розбіжності мають дані, розраховані за допомогою GH.

Згідно проведених розрахунків бачимо, що кінцеві результати горизонтальних прокладень, розрахованих за допомогою OSM, GH та Google Maps мають значення більші за розбіжність у -0,25% при

трансформації систем координат. Розбіжність горизонтальних прокладень не має закономірності, і відповідно, можливості приведення до коефіцієнтів поправки. Найменшу похибку і найближчі значення до розрахунків за лазерним скануванням мав ресурс GraphHopper як в Україні, так і в США.

Третій етап дослідження. Після отриманих значень похибок для тестових ділянок у декілька кілометрів ми перейшли до розрахунку протяжності найдовших основних автомагістралей в США і більшості міжнародних магістралей в межах України за допомогою OSM, моделі GraphHopper та Google Maps. Розрахунки порівнювались із офіційними даними Federal Highway Administration для автошляхів США і даних протяжності автомобільних доріг затверджених Кабінетом Міністрів для України. Це дозволило оцінити точність картографічної візуалізації автомобільних мереж на міжнародному рівні у масштабах країн та виявити загальні тенденції. У таблицях 7 і 8 представлені координати початкових та кінцевих точок автомобільних шляхів, але протяжність горизонтального прокладення була отримана як сума протяжностей 20 рівномірно розподілених відрізків. Зірочкою (*) позначено дороги, на яких є гірські ділянки.

В обох випадках спостерігаються як додатні, так і від'ємні значення розбіжності для розрахованих значень горизонтальних прокладень доріг за всіма онлайн-картами у порівнянні з офіційними даними. Загальна довжина горизонтальних прокладень до-

Таблиця 8/ Table 8

**Порівняння протяжності міжнародних магістралей в межах України за даними переліку
автомобільних доріг, OSM, GH та Google Maps**
**Comparison of the length of international highways within Ukraine according to the list of roads, OSM,
GH and Google Maps**

Назва магістралі	Початок маршруту	Кінець маршруту	Довжина	Горизонтальне прокладення		
			Офіційна (КМУ), км	OSM, км, (%)	GH, км, (%)	Google Maps, км, (%)
M-01	Київ (50.467786, 30.655628)	Скиток (52.073292, 30.970708)	242,9	210,4 (-13,38)	210,34 (-13,41)	210,3 (-13,42)
M-02	Кіпті (51.065925, 31.156615)	Бачийськ (51.875190, 34.324300)	260,2	241,9 (-7,03)	241,9 (-7,03)	241,9 (-7,03)
M-05	Київ (50.370562, 30.458902)	Одеса (46.469459, 30.741005)	560,8	464,7 (-17,14)	464,6 (-17,15)	464,8 (-17,12)
M-06*	Київ (50.455500, 30.357930)	Чоп (48.414597, 22.171238)	902,2	817,4 (-9,40)	817,46 (-9,39)	817,1 (-9,43)
M-07	Київ (50.515848, 30.361617)	Старовойтово (51.189694, 23.813069)	499,7	487,5 (-2,44)	487,41 (-2,46)	487,5 (-2,44)
M-08	Ужгород (48.577181, 22.335249)	Ужгород (48.654875, 22.26522)	17,1	13,7 (-19,88)	13,68 (-19,99)	13,7 (-19,88)
M-09	Тернопіль (49.547711, 25.545195)	Рава-Руська (50.274377, 23.588923)	175	192 (+9,71)	192,02 (+9,73)	191,9 (+9,66)
M-10	Львів (49.842972, 24.015843)	Краковець (49.954944, 23.114277)	70,2	70,2 (0,00)	70,22 (+0,04)	70,2 (0,00)
M-11	Львів (49.844759, 24.029234)	Шегині (49.799712, 22.947802)	71,6	82,3 (+14,94)	82,32 (+14,97)	81 (+13,13)
M-13	Кропивницький (48.513427, 32.16021)	Платонове (47.406719, 29.334677)	258,6	253,1 (-2,13)	252,79 (-2,24)	252,8 (-2,24)
M-15	Одеса (46.472553, 30.741049)	Рені (45.480978, 28.224516)	297,7	307,49 (+3,29)	307,41 (+3,26)	307,4 (+3,26)
M-16	Одеса (46.486519, 30.614008)	Кучурган (46.737678, 29.971039)	58,9	58,9 (0,00)	58,9 (0,00)	58,9 (0,00)
M-19	Доманове (51.826588, 24.312668)	Тереблече (47.988096, 26.061112)	534,1	540,6 (+1,22)	540,55 (+1,21)	540,0 (+1,10)
M-20	Харків (50.101153, 36.26839)	Гоптівка (50.330301, 36.277156)	28,4	26,4 (-7,04)	26,38 (-7,11)	26,4 (-7,04)
M-21	Виступовичі (51.660982, 29.120844)	Могилів-Подільський (48.444109, 27.790420)	410,7	421,68 (+2,67)	421,62 (+2,66)	422 (+2,75)
M-22	Полтава (49.560093, 34.524616)	Олександрія (48.691858, 33.111374)	148,2	165,1 (+11,40)	165,1 (+11,40)	165 (+11,34)
M-23	Берегове (48.206122, 22.645422)	Велика Копаня (48.195189, 23.14463)	50	49 (-2,00)	48,98 (-2,04)	49,1 (-1,98)
M-24	Велика Добронь (48.422132, 22.391779)	Лубянка (48.165592, 22.574168)	60,5	60,5 (0,00)	60,45 (-0,08)	60,4 (-0,17)
M-25	Соломонове (48.435622, 22.139438)	Яноши (48.252762, 22.626302)	58,9	58,8 (-0,17)	58,79 (-0,18)	58,6 (-0,51)
M-26	Вилок (48.110786, 22.836691)	Неветленфолу (47.995749, 23.001533)	20,8	20,5 (-1,44)	20,54 (-1,25)	20,5 (-1,44)
M-27	Одеса(46.397058, 30.707488)	Чорноморськ (46.319199, 30.639824)	14,1	15,15 (+7,44)	15,15 (+7,44)	15,2 (+7,80)
M-28	Одеса (46.443412, 30.623826)	Сичавка (46.650106, 31.131955)	37,2	36,3 (-2,42)	36,32 (-2,37)	36,3 (-2,42)
M-29	Харків (49.972282, 35.991246)	Дніпро (48.587774, 35.14746)	198,9	181,5 (-8,75)	181,52 (-8,74)	181,5 (-8,75)
Всього (частка від офіційної довжини)			4131,5	4712,25 (+14,06)	4715,25 (+14,13)	4772,5 (+15,52)

ріг в США, розрахованих за допомогою OSM, GH та Google Maps відповідно на 0,45%, 0,47% і 0,41% менші за офіційну. У випадку з дорогами України розбіжності набагато більші. Розраховані горизонтальні прокладення за допомогою OSM, GH та Google Maps відповідно на 14,06%, 14,13% та 15,52% більші за офіційні дані. І це є велике питання: «Чому? Як так вийшло, що ці дані заперечують той факт, що горизонтальне прокладення завжди має бути менше або дорівнювати виміряній відстані?». Хоча довжина деяких доріг (М-10, М-16, М-24) точно або майже точно сходиться із даними офіційного переліку.

В обох випадках значення самих похибок за трьома онлайн-ресурсами дуже близькі, що говорить про схожий, хоча і не ідентичний підхід до розрахунку горизонтальних прокладень. Також важливим є те, що референц-еліпсоїд GRS80 для УСК-2000 майже ідентичний по радіусу і сплюснутості до WGS84, тому похибки, що виникають через трансформацію систем координат мають бути мінімальні. Округлення даних протяжності доріг до цілих чисел на онлайн-картах та ігнорування рельєфу в разі розрахунків горизонтального прокладення може збільшувати розбіжність до декількох відсотків, але не десятків. Це свідчить про те, що проблема точності даних в Україні може бути зумовлена меншою частотою оновлення офіційних джерел, а також невірно заданих параметрах. Це спонукає до створення можливих способів перехресного контролю, в тому числі використовуючи дані лазерного сканування.

Висновки. Дослідження показало, що точність картографічних даних для території США, є значно вищою, ніж для території України. Розбіжності для США не перевищують 1,86%, що свідчить про регулярне оновлення даних та якісне їх джерело. Водночас для України розбіжності на деяких ділянках досягають 19,99%, що вказує на значне відставання в актуалізації офіційних картографічних ма-

теріалів. Серед трьох розглянутих онлайн-ресурсів — OpenStreetMap, Google Maps і GraphHopper — саме GraphHopper демонструє найменші розбіжності як для території США, так і для території України, і який можна рекомендувати для вимірювання відстаней, в тому числі для потреб логістики.

Лазерне сканування продемонструвало високу точність у визначенні довжин лінійних об'єктів. Середньоквадратична похибка для лазерного методу залишається в межах, які задовольняють сучасні геодезичні вимоги. Це підтверджує доцільність використання лазерного сканування як базової технології та цифрової основи для створення нових або оновлення існуючих картографічних даних. Порівняння вимірювань поверхні шляхом геодезичного знімання або лазерного сканування показало майже ідентичні результати, що потенційно дозволяє використовувати обидва методи для перевірки результатів вимірювань реальної поверхні, отриманих картографічним методом. Висока точність сканування і представлення даних у цифровому форматі без проміжних кроків оцифровування має потенціал для використання такого цифрового шару як контрольного при перевірці протяжності лінійних об'єктів, зокрема автомобільних шляхів.

Із трьох проаналізованих картографічних ресурсів, OpenStreetMap, GraphHopper та Google Maps, найбільш точним є GraphHopper і саме його можна рекомендувати для використання в практичній діяльності автотранспортної галузі.

Картографічна основа для території України потребує термінового оновлення, проведеного за результатами сучасних топографо-геодезичних знімань, в тому числі за допомогою лазерного знімання. Можливість визначення реальних довжин транспортних шляхів є необхідним фактором ефективного економічного функціонування і розвитку держави в цілому.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ:

1. Готов В., Петришин І. Дослідження точності визначення координат точок місцевості лазерним сканером VLP-16, встановленим на БПЛА DJI S1000. *Вісник Західного геодезичного товариства*. 2022. Вип. 1 (43). С. 105–113.
2. Джуман Б.М. Застосування тригонометричного нівелювання в висотній опорній мережі кадастрових зйомок. *Геодезія, картографія і аерофотознімання*. 1997. Вип. 1 (58). С. 54–55.
3. Кабінет Міністрів України. Про затвердження переліку автомобільних доріг загального користування державного значення: Постанова від 15 грудня 2023 р. № 1318. Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1318-2023-%D0%BF#n6>
4. Мкртчян О.С. Оцінка точності цифрової моделі рельєфу та її використання в моделюванні. *Геодезія, картографія і аерофотознімання*. 2002. Вип. 1 (62). С. 125–130.
5. Островський А.Л., Мороз О.І. До проблеми оновлення державної висотної основи України. *Геодезія, картографія і аерофотознімання*. 2000. Вип. 1 (60). С. 54–58.
6. Сосса Р.І. Стан та перспективи картографічного забезпечення України. *Геодезія, картографія і аерофотознімання*. 2000. Вип. 1 (61). С. 167–173.
7. Тревого І., Заблоцький Ф., Піскорек А., Джуман Б., Вовк А. Про модернізацію Української висотної системи. *Геодезія, картографія і аерофотознімання*. 2021. № 1 (93). С. 13–26.
8. El-Ashmawy K.L.A. Testing the positional accuracy of OpenStreetMap data for mapping applications. *Geodesy and Cartography*. 2016. Vol. 42, No 1. P. 25–30. DOI: <https://doi.org/10.3846/20296991.2015.1160493>.
9. FHWA Route Log and Finder List. Table 1 – Main Route // U.S. Department of Transportation, Federal Highway Administration: 2025. URL: https://www.fhwa.dot.gov/planning/national_highway_system/interstate_highway_system/routefinder/table01.cfm (дата звернення: 03.05.2024)

10. Haklay M. How Good is Volunteered Geographical Information? A Comparative Study of OpenStreetMap and Ordnance Survey Datasets. *Environment and Planning B: Planning and Design*. 2010. Vol. 37, No. 4. P. 682–703. DOI: <https://doi.org/10.1068/b35097>.

11. Wang X.W., Wang F. The precision of Google Earth map analysis with the coordinates of IGS stations. *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*. 2020. Vol. XLII-3/W10. P. 1053–1056. DOI: <https://doi.org/10.5194/isprs-archives-XLII-3-W10-1053-2020>.

12. Zhou Q., Wang S., Liu Y. Exploring the accuracy and completeness patterns of global land-cover/land-use data in OpenStreetMap. *Applied Geography*. 2022. Vol. 145, August. Art. 102742. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.apgeog.2022.102742>.

Стаття надійшла до редакції 08.05.2024

Стаття рекомендована до друку 17.06.2024

Peresadko Vilina Anatoliyivna – Doctor of Geographical Sciences, Professor, Professor of the Department of Physical Geography and Cartography Faculty of Geology, Geography, Recreation and Tourism. V. N. Karazin Kharkiv National University; e-mail: vilinaperesadko@karazin.ua; ORCID ID: <http://orcid.org/0000-0002-2439-2788>

Dmytrykov Oleg Oleksandrovych – PhD (Earth's Sciences) Student, The Faculty of Geology, Geography, Recreation and Tourism. V.N. Karazin Kharkiv National University; e-mail: oleg.dmytrykov@student.karazin.ua; ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0001-9717-2033>

Dzhos Anatolii Mykolaiovych – PhD of Sciences (Agricultural), department head State Enterprise «Ukrainian state aerogeodetic enterprise», 69 Velyka Vasylykivska St., Kyiv, 03150, Ukraine; e-mail: anatoliy.dzh62@gmail.com; ORCID ID: <https://orcid.org/0009-0009-2809-4751>

ANALYSIS OF THE ACCURACY OF MAPPING INFORMATION (USING THE EXAMPLE OF MOTORWAY MAPPING IN UKRAINE AND THE USA)

The aim of the study is to assess the accuracy of online data in comparison with geodetic and laser measurement methods, and to determine the length of major roads by comparing them with official data from the United States and Ukraine.

Main material. A comparative analysis of traditional geodetic surveys and laser scanning of US and Ukrainian roads showed almost identical results. This became the basis for assessing the accuracy of OpenStreetMap (OSM), GraphHopper (GH) and Google Maps. For each segment whose length was measured, we determined the difference in point coordinates, the squares of the point coordinate differences, the average of the squares of the point coordinate differences, the root mean square error for X and Y coordinates, the total root mean square error, and the ratio of the error to the total length of the route.

The **results** showed discrepancies between official FHWA data, CMU data and online resources. For highways in the United States, the differences are insignificant (-1.86% to +0.25%). In Ukraine, they can reach 19.99% in some cases, which may be due to the lower frequency of updates of official sources. This underlines the need for cross-checking, in particular by means of laser scanning.

Conclusions. The comparison of geodetic and laser measurements has shown their high accuracy, which allows the use of these methods to verify cartographic data. Laser scanning, presented in a digital format without intermediate digitisation steps, can serve as a control layer for determining the length of linear objects, including roads. Of the three online resources, GraphHopper shows the smallest discrepancies for both the United States and Ukraine. Ukraine's mapping framework needs to be updated based on modern topographic and geodetic surveys, including laser scanning. Determining the exact length of transport routes is important for the effective development of the country.

Keywords: transport network, roads, map accuracy, map modelling, Google Maps, OpenStreetMap, GraphHopper model, laser scanning.

REFERENCES:

1. Glotov, V., Petryshyn, I. (2022). Accuracy assessment of local terrain point coordinates determined by VLP-16 laser scanner mounted on UAV DJI S1000. *Bulletin of the Western Geodetic Society*, 1 (43), 105–113 [in Ukrainian].
2. Dzhuman, B.M. (1997). Application of trigonometric leveling in the height reference network of cadastral surveys. *Geodesy, Cartography, and Aerial Photography*, 1 (58), 54–55 [in Ukrainian].
3. Cabinet of Ministers of Ukraine. (2023, December 14). *On the approval of the list of public roads of national importance*. (Resolution № 1318). Available at: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1318-2023-%D0%BF#n6> (accessed: 03.10.2024) [in Ukrainian].
4. Mkrtchian, O.S. (2002). Accuracy assessment of the digital elevation model and its application in modeling. *Geodesy, Cartography, and Aerial Photography*, 1 (62), 25–130 [in Ukrainian].
5. Ostrovskiy, A.L., Moroz, O.I. (2000). On the problem of updating the national height reference framework of Ukraine. *Geodesy, Cartography, and Aerial Photography*, 1 (60), 54–58 [in Ukrainian].
6. Sossa, R.I. (2000). Status and prospects of cartographic support in Ukraine. *Geodesy, Cartography, and Aerial Photography*, 1 (61), 167–173 [in Ukrainian].
7. Trevohe, I., Zablotskyi, F., Piskorek, A., Dzhuman, B., Vovk A. (2021). On the modernization of the Ukrainian height system. *Geodesy, Cartography, and Aerial Photography*, 1 (93), 13–26 [in Ukrainian].

8. El-Ashmawy K.L.A. (2016). Testing the positional accuracy of OpenStreetMap data for mapping applications. *Geodesy and Cartography*, Vol. 42, 1, 25–30. DOI: <https://doi.org/10.3846/20296991.2015.1160493> [in English].
9. FHWA Route Log and Finder List. Table 1 – Main Route (2025). U.S. Department of Transportation, Federal Highway Administration. Available at: https://www.fhwa.dot.gov/planning/national_highway_system/interstate_highway_system/routefinder/table01.cfm (accessed: 03.05.2024) [in English].
10. Haklay, M. (2010). How Good is Volunteered Geographical Information? A Comparative Study of OpenStreetMap and Ordnance Survey Datasets. *Environment and Planning B: Planning and Design*, Vol. 37, 4, 682–703. DOI: <https://doi.org/10.1068/b35097> [in English].
11. Wang, X.W., Wang, F. (2020). The precision of Google Earth map analysis with the coordinates of IGS stations. *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, Vol. XLII-3/W10, 1053–1056. DOI: <https://doi.org/10.5194/isprs-archives-XLII-3-W10-1053-2020> [in English].
12. Zhou, Q., Wang, S., Liu, Y. (2022, August). Exploring the accuracy and completeness patterns of global land-cover/land-use data in OpenStreetMap. *Applied Geography*, Vol.145, 102742. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.apgeog.2022.102742> [in English].

The article was received by the editors 08.05.2024

The article is recommended for printing 17.06.2024

DOI: 10.26565/2075-1893-2024-40-05
УДК 528.94:551.575(477.54)

Світлана Решетченко*

к. геогр. наук, доцент кафедри фізичної географії та картографії
e-mail: s.reshtchenko@karazin.ua; ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0003-0744-4272>

Святослав Дмитрієв*

Аспірант кафедри фізичної географії та картографії
e-mail: s.dmitriyev@student.karazin.ua; ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0001-9256-6455>

Ілона Божедай*

магістр кафедри фізична географія та картографії
e-mail: bozhedaj20@gmail.com; ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-0211-0268>

Олександр Жемеров*

к. геогр. наук, професор кафедри фізичної географії та картографії; e-mail: zhemerov.alexander@gmail.com;
ORCID ID: 0000-0002-4840-4122

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

Картографування метеорологічних явищ на прикладі туманів на території Харківської області

Метою статті є вивчення особливостей картографування метеорологічних явищ на прикладі туманів на території Харківській області за період 1996-2020 рр.

Основний матеріал. Картографування метеорологічних явищ є ключовим інструментом для візуалізації та розуміння складних атмосферних процесів. Воно дозволяє наочно уявити просторовий розподіл метеорологічних явищ, зробити їх аналіз та виявити майбутні тенденції змін. Особливість картографування туманів полягає у встановленні взаємозв'язків між географічними та кліматичними особливостями регіону. Ця інформація має практичне значення при розробці заходів щодо управління ризиками, пов'язаними з погодними явищами, забезпечення безпеки населення та економіки. Факторами, що впливають на клімат Харківської області є віддаленість від великих водних просторів, рівнинність території.

В результаті дослідження туманів можна виділити основні фізико-географічні чинники, що впливають на процеси туманоутворення: орографія, характер підстильної поверхні, наявність водних об'єктів, температурний режим території.

За допомогою застосування ГІС-пакету ArcGis були побудовані карти багаторічних показників кількості днів з туманом за період 1996-2020 рр. та за сезонами, тривалості туманів за період 1996-2020 рр. та за сезонами. Картографічні твори дозволяють виявити просторово-часові особливості розташування метеорологічного явища, що забезпечує додаткові переваги порівняно з іншими формами представлення модельних результатів, такими як таблиці або списки.

Висновки і подальші дослідження. В умовах зміни клімату відбувається збільшення кількості надзвичайних та стихійних гідрометеорологічних явищ, що визначаються значними матеріальними збитками. Туман чинить вплив на велику кількість галузей господарства, тому карти гідрометеорологічних явищ є важливою складовою для забезпечення безпеки населення, оскільки вони дають уявлення про характер, інтенсивність та періодичність можливих загроз для певної території.

Особливістю міста-мільйонника Харкова є вірогідність виникнення туманів-смогів, які мають підвищену канцерогенну дію. Щоб аналізувати смогові явища потрібно врахувати багато метеорологічних факторів, як-то швидкість і напрямок вітру, стан небосхилу, температурний режим, наявність атмосферних опадів, ступінь забудови території. Отже подальші дослідження спрямовані на вивчення умов утворення смогів та способів їх картографування.

Ключові слова: кліматичні зміни, картографічні твори, метеорологічні явища, туман, Харківська область.

Як цитувати: Решетченко С., Дмитрієв С., Божедай І., Жемеров О. Картографування метеорологічних явищ на прикладі туманів на території Харківської області. *Проблеми безперервної географічної освіти і картографії*. 2024. Вип. 40. С. 45–50. <https://doi.org/10.26565/2075-1893-2024-40-05>

In cites: Reshtchenko, S., Dmitriyev, S., Bozhedai, I., Zhemerov, A. (2024). Mapping meteorological phenomena: a case study of fog in the Kharkiv region. *The problems of continuous geographical education and cartography*, (40), 45–50. <https://doi.org/10.26565/2075-1893-2024-40-05> (in Ukrainian)

© Світлана Решетченко, Святослав Дмитрієв, Ілона Божедай, Олександр Жемеров, 2024



[This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License 4.0.](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/)

Вступ. Картографічні твори дають змогу відтворювати образи реального світу опосередковано через його матеріальні образи у вигляді географічних карт або різних картографічних зображень. Картографування являє собою комплекс робіт зі створення карт, що характеризується цілями картографічних досліджень, технічним оснащенням, методами виконання, організацією та досягнутими результатами. Залежно від змісту, що відображається, розрізняють топографічні, загальногеографічні та тематичні карти.

Тематичні карти відображають географічні об'єкти залежно від конкретної теми і вирізняються різноманітністю змісту [1-6], який можна розділити на дві частини, де кожна з яких виконує своє специфічне призначення під час використання. Так, до першої частини відносяться зображення явища, що визначає спеціальний зміст тематичної карти, наприклад, на метеорологічній карті атмосферного тиску повітря можна побачити ізобари, фонове пофарбування між ізобарами і стрілки, що вказують напрямки вітрів.

Тематичні карти, як правило, можна поділити на дві групи: на карти природних явищ (фізико-географічні) і карти соціальних явищ (соціально-економічні). Карти гідрометеорологічних явищ відносять до карт природних явищ – тематичних карт, що охоплюють усі компоненти природного середовища та їхні комбінації.

Карти природних явищ розподіляють на великі блоки, одним з яких є *карти метеорологічні і кліматичні* – карти кліматоутворюючих чинників, термічного, баричного, вітрового режимів, характеру зволоження території, атмосферних явищ, атмосферних процесів і погоди, кліматичного районування тощо.

Атмосферні явища все частіше привертають увагу дослідників, оскільки в умовах постійної зміни клімату відбувається збільшення кількості надзвичайних (НЯ) та стихійних гідрометеорологічних явищ (СГЯ) [7-8].

Карти гідрометеорологічних явищ відіграють важливу роль у забезпеченні безпеки населення, бо надають уявлення про характер, інтенсивність та періодичність можливих загроз для конкретної території і є основою для прогнозування імовірності виникнення цих явищ.

Дослідження просторово-часового розподілу гідрометеорологічних явищ, а також кількісна оцінка ймовірності їх виникнення, разом зі створенням картографічних матеріалів на основі отриманої інформації про ці явища, є необхідними для оцінки територіального ризику виникнення надзвичайних природних ситуацій. Крім того, ці дані використовуються для розробки заходів, спрямованих на нейтралізацію та пом'якшення негативних наслідків цих явищ.

Метою дослідження є вивчення особливостей картографування метеорологічних явищ на при-

кладі туманів на території Харківської області за період 1996-2020 рр.

Вихідні передумови. Картографування метеорологічних показників дозволяє провести просторовий аналіз досліджуваних елементів або їх комплексів, надає можливість зрозуміти масштабність природних процесів.

Наразі найчастіше картографують показники кількості, тривалості гідрометеорологічних явищ та досягнення небезпечних значень, де картографічні твори можна класифікувати за двома основними ознаками:

1) спрямуванням тематичного картографування небезпечних природних явищ;

2) просторовим охопленням території, що відображається на карті.

Першу групу карт можна поділити на такі групи: карти режимних показників небезпечних явищ; карти осередків виникнення та фіксації небезпечних явищ; карти, які відображають заподіяну шкоду небезпечним природним явищам; карти оцінки можливої шкоди, безпеки та ризику, ймовірності виникнення небезпечних природних явищ.

Карти режимних характеристик небезпечних явищ представлені картами повторюваності, інтенсивності явищ та створюються з метою наукового вивчення, забезпечення супроводу моніторингових завдань, оскільки вони відображають області, де найчастіше відбуваються небезпечні явища, їхню максимальну інтенсивність.

Карти повторюваності надають зображення закономірностей поширення випадків небезпечних явищ у просторі, часі та використовують багаторічний ряд метеорологічних показників.

Для відображення режимних характеристик небезпечних явищ на таких картах найчастіше застосовуються: кількісний фон у поєднанні з ізолініями; картограми та картодіаграми (при відображенні повторюваності небезпечних явищ по одиницях адміністративного поділу); якісний фон (при диференціації території за частотою виникнення та інтенсивністю небезпечних явищ); спосіб значків і шкал умовних знаків при відображенні інтенсивності та екстремальних характеристик явищ.

Карти місць фіксації небезпечних явищ створюються як з використанням даних про просторову, тимчасову локалізацію явищ за даними гідрометеорологічної мережі, так і на основі інформації, отриманої іншими способами (за даними ДЗЗ, від очевидців подій, засобів масової інформації).

Карти цієї групи можуть містити або оперативну інформацію, або архівні дані про зафіксовані за будь-який проміжок часу явища та надають відомості для вивчення повторюваності, вимагають регулярного оновлення.

Карти шкоди, заподіяної небезпечними явищами, відображають кількісні та якісні характеристики завданих збитків. В якості вихідних даних вико-

ристовують відомості, отримані під час проведення обстежень районів, у яких спостерігалися надзвичайні ситуації.

Зазвичай на таких картах відображаються показники економічної, екологічної шкоди, відомості про кількість людських жертв. Інформація про завдану шкоду показується відповідно до територіальних одиниць (адміністративно-територіального поділу тощо), оскільки дані використовуються для підрахунку та компенсації збитків.

Карти небезпеки, ризику та ймовірності виникнення надзвичайних ситуацій, викликаних небезпечними природними явищами, а також оцінки можливої шкоди є достатньо поширеними, оскільки більшість досліджень присвячена оцінці ризиків виникнення небезпечних явищ, можливої соціально-економічної та екологічної шкоди від них. Основне призначення їх полягає в інформаційному супроводі завдань про-

гнозування небезпечних явищ та можливих надзвичайних ситуацій природного характеру.

Вони активно використовуються компаніями при страхуванні об'єктів, що знаходяться у зонах підвищеного ризику виникнення небезпечних явищ. Варто зазначити, що карти цієї групи найчастіше носять комплексний характер, де поширеним є районування територій.

При відображенні ризику виникнення небезпечних природних явищ найчастіше використовують такі способи картографічного зображення, як картограми, кількісний і якісний фон. Вибір способу залежить від типів характеристик, що описують ризик, імовірність явища чи надзвичайних ситуацій.

Друга група карт (карти просторового охоплення території) характеризує небезпечні явища на різних просторово-ієрархічних рівнях: глобальному (світовому) рівні, окремих континентів або частин

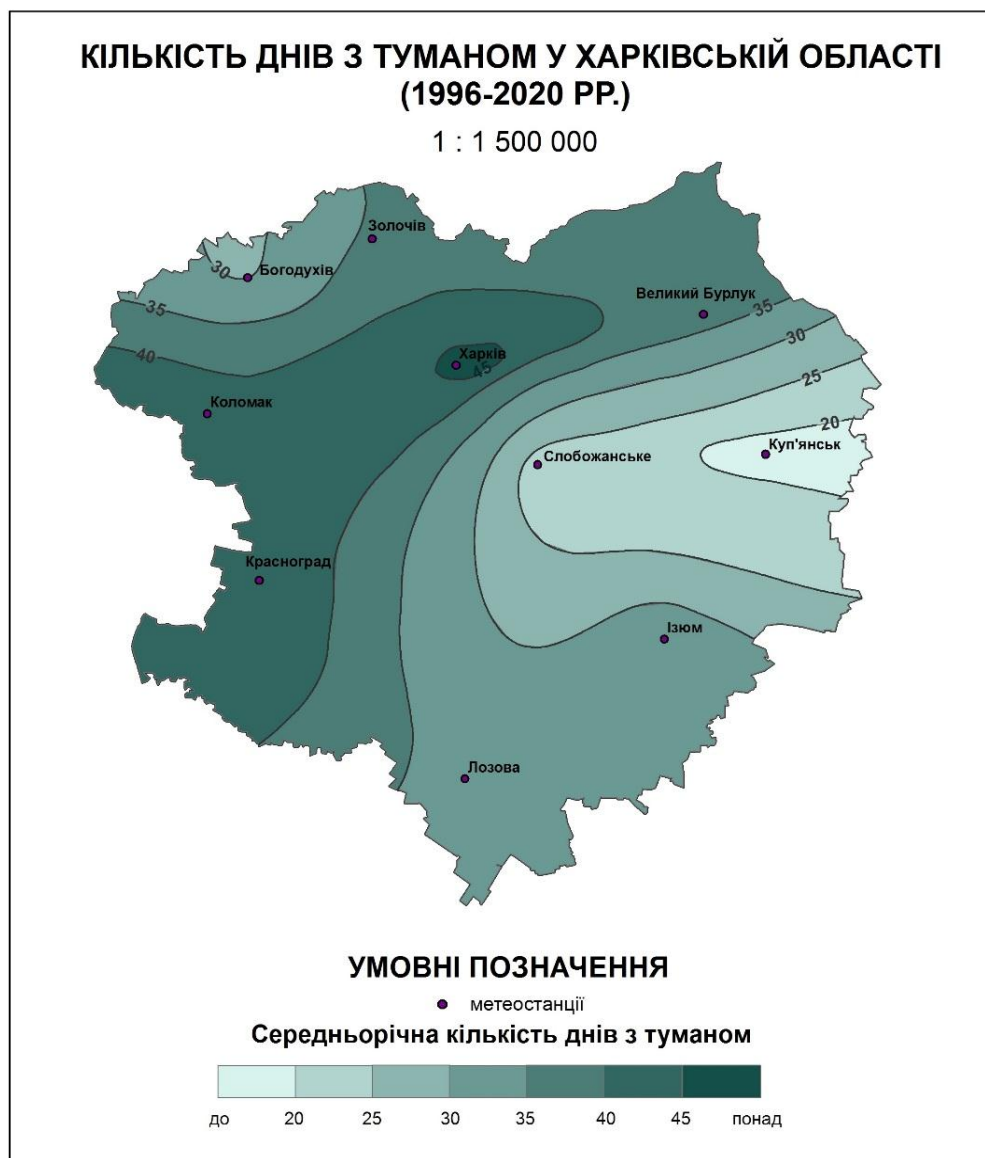


Рис. 1. Кількість днів з туманом, Харківська обл. 1996-2020 рр. /
Fig. 1. Number of days with fog, Kharkiv region 1996-2020



Рис. 2. Тривалість туманів, Харківська обл. 1996-2020 рр. /
Fig. 2. Duration of fogs, Kharkiv region 1996-2020

світу (макрорегіональному) рівні, окремих країн (національному), а також регіонів усередині країн (регіональному).

Картографування поширення небезпечних природних явищ на глобальному рівні дозволяє отримувати наочну інформацію про зони, найбільш схильні до впливу небезпечних природних явищ, і надзвичайні ситуації природного характеру, що мають значний економічний, соціальний, екологічний вплив на світову спільноту. Така інформація може використовуватися з метою міжнародного (у тому числі наукового) співробітництва в галузі прогнозування, попередження стихійних лих та пом'якшення негативних наслідків від них. Створення карт небезпечних природних явищ на глобальному рівні вимагає міжнародної наукової взаємодії щодо обміну даними та методиками картографування.

Картографування поширення небезпечних природних явищ на макрорегіональному та національному рівнях проводиться саме в масштабах окремих країн та їх груп. Це головним чином пов'язано з більшою, ніж на інших просторово-ієрархічних рівнях, кількістю вихідної інформації для картографування небезпечних явищ.

Карти поширення небезпечних природних явищ на регіональному рівні мають певні особливості: небезпечні явища є подіями рідкісної повторюваності, часто масив даних про зафіксовані випадки недостатній для виявлення будь-яких закономірностей їхнього просторового розподілу; багато випадків небезпечних явищ не фіксується гідрометеорологічною мережею через їх відносно невелику густоту. Отже, кількість картографічних матеріалів за тематикою небезпечних гідрометео-

рологічних явищ на регіональному рівні порівняно невелика.

Виклад основного матеріалу. Основними даними, які використовувалися у даному дослідженні були кліматологічні ряди середніх місячних показників кількості, тривалості туманів на метеостанціях Харківської області.

Статистичний метод дозволив отримати багаторічні характеристики кількості та тривалості туманів на території Харківської області за період 1996-2020 рр., що дає можливість встановити закономірності їх розподілу по території регіону (рис.1, рис.2). Максимальна кількість днів з туманом є характерною для західних районів області (метеостанції Коломак і Красноград) та міста Харків, зважаючи на його найбільшу антропогенну навантаженість.

У східній частині території простежується широтний характер у розподілі середньорічної кількості днів з туманом і становить 20-25 днів на рік.

Характерною ознакою є поступове зменшення кількості туманів з січня по травень. З серпня по грудень навпаки відбувається збільшення кількості днів з туманом, де в перший місяць зими спостерігається максимальне значення днів з туманом (8 днів). Загалом зміна туманів має чіткий річний хід: найбільш частим це явище є у зимові місяці (повторюваність 16%), а з травня по серпень фіксується 1 доба з туманом (повторюваність 3%).

Встановлено, що у 2020 році на більшості території спостерігалася найменша кількість днів з туманом за весь період дослідження. Лише на метеостанції Куп'янськ мінімальне значення туманів спостерігалася у 2011 році, Слобожанське – у 2019 році, Богодухів – у 1996 році

Розподіл тривалості туманів аналогічний до розподілу середньої їх кількості: тривалість туманів з вересня по грудень збільшується на всій території, з січня по квітень вона поступово зменшується. У зимові місяці разом зі збільшенням днів з туманом, збільшується їх сумарна тривалість. У весняно-літній період тривалість коливається у межах від 1 до 22 годин (метеостанція Красноград), восени – від 4 (метеостанція Великий Бурлук) до 47 годин (метеостанція Красноград).

На заході території (метеостанції Коломак та Красноград) тривалість на рік становить 289-300 годин, на сході (метеостанція Куп'янськ) – 107 годин, на півночі – до 195 годин. Встановлено, що найбільша тривалість туманів зафіксована у 2019 році на більшості території, за винятком метеостанцій Золочів, Куп'янськ (2010 р.) та Великий Бурлук (1999 р.), а найменша річна тривалість не має чіткої закономірності розподілу.

Просторовий аналіз досліджуваних показників переважно має меридіональний характер розподілу (рис.1, рис.2).

Висновки. Встановлено, що карти режимних показників та місць фіксації є поширеними, оскільки використовують широку базу архівних даних та гідрометеологічної мережі та мають як наукове, так і моніторингове значення.

Побудовані картографічні твори кількості та тривалості туманів на території Харківської області відображають просторові особливості їх розташування, де максимальна повторюваність та тривалість фіксується в осінньо-зимовий період.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ:

1. Пересадько В., Байназаров А. Досвід і перспективи еколого-природоохоронного картографування Харківської області. *Проблеми безперервної географічної освіти і картографії*. 2020. Вип. 32. С. 8-16. <https://doi.org/10.26565/2075-1893-2020-32-01>
2. Пересадько В., Попович Н., Мартиненко А. Історико-географічне картографування Харківської області у XIX-XX ст. *Проблеми безперервної географічної освіти і картографії*. 2021. Вип. 33. С. 8-15. <https://doi.org/10.26565/2075-1893-2021-33-01>
3. Пересадько В.А. Методика розробки медико-екологічних карт населених пунктів. *Проблеми безперервної географічної освіти і картографії*. 2008. Вип. 9. С. 191-195.
4. Прасул Ю., Клименко В., Бубир Н., Мельник Я., Чудінов А. Визначення альтернативної туристичної доступності та її картографування. *Проблеми безперервної географічної освіти і картографії*. 2021. Вип. 34. С. 29-38. <https://doi.org/10.26565/2075-1893-2021-34-04>
5. Прасул Ю., Бубир Н., Мельник Я., Чудінов А. Геопросторово-картографічний аналіз туристичних можливостей України на основі альтернативної туристичної доступності. *Проблеми безперервної географічної освіти і картографії*. 2022. Вип. 35. С. 16-24. <https://doi.org/10.26565/2075-1893-2022-35-02>
6. Решетченко С., Борискіна Є., Грекова Є. Розподіл температури повітря на території України тлі сучасних кліматичних змін. *Проблеми безперервної географічної освіти і картографії*. 2022. Вип. 35. С. 25-31. <https://doi.org/10.26565/2075-1893-2022-35-03>
7. IPCC 2019 : Global warming of 1,5°C. An IPCC Special Report on the Impacts of global warming of 1,5°C above pre-industrial levels. Intergovernmental Panel on Climate Change. Geneva : IPCC Publisher, 2019. 630 p.
8. Reshetchenko, S. Dmitriiev, S., Cherkashyna, N., Goncharova L. Climate indicators of changes in hydrological characteristics (a case of the Psyol river basin). *Вісник Харківського національного університету імені В.Н. Каразіна, серія «Геологія. Географія. Екологія»*. 2022. Вип. 53. С. 176-189. <https://doi.org/10.26565/2410-7360-2020-53-12>

Стаття надійшла до редакції 18.04.2024

Стаття рекомендована до друку 17.06.2024

Reshetchenko Svitlana Ivanivna – Candidate of Sciences (Geography), Associate Professor of the Department of Physical Geography and Cartography. The Faculty of Geology, Geography, Recreation and Tourism. V.N. Karazin Kharkiv National University. e-mail: s.resetchenko@karazin.ua; ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0003-0744-4272>

Dmitriiev Sviatoslav Stanislavovich – Postgraduate Student of the Department of Physical Geography and Cartography. The Faculty of Geology, Geography, Recreation and Tourism. V.N. Karazin Kharkiv National University. e-mail: s.dmitriiev@student.karazin.ua; ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0001-9256-6455>

Bozhedai Ilona Leonidovna – Magister of Geography. The Department of Physical Geography and Cartography. The Faculty of Geology, Geography, Recreation and Tourism. V.N. Karazin Kharkiv National University. e-mail: bozhedaj20@gmail.com; ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-0211-0268>

Zhemerov Alexander Olegovich – Candidate of Sciences (Geography), Professor of the Department of Physical Geography and Cartography. The Faculty of Geology, Geography, Recreation and Tourism. V.N. Karazin Kharkiv National University; e-mail: zhemerov.alexander@gmail.com; ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-4840-4122>

MAPPING METEOROLOGICAL PHENOMENA: A CASE STUDY OF FOG IN THE KHARKIV REGION

The purpose of this article is to study the meteorological phenomena mapping, focusing on fog occurrences in Kharkiv region during the period of 1996-2020.

Basic material. Mapping of meteorological phenomena is a key tool for visualizing and understanding of complex atmospheric processes. It allows us to represent the spatial distribution of meteorological phenomena visually, to analyze them and identify future trends. The particularity of fog mapping lies in establishing relationships between the geographical and climatic characteristics of the region. This information holds practical significance in developing measures to manage risks associated with weather phenomena, ensuring the safety of the population and the economy. Factors influencing the climate of Kharkiv region include its distance from large bodies of water and the flatness of its terrain.

The results of fogs study show that it is possible to identify the main physical and geographical factors influencing fog formation processes: orography, the nature of the underlying surface, the presence of water bodies, and the temperature regime of the area.

Using the ArcGIS GIS package, we were able to draw maps of multi-year indicators of the number of foggy days during the period of 1996-2020 and by seasons, fog duration during the period of 1996-2020 and by seasons. Cartographic works allow us to identify spatial-temporal characteristics of the meteorological phenomenon's distribution, providing additional advantages compared to other forms of presenting model results, such as tables or lists.

Conclusions and further research. In the context of climate change, there is an increase in the number of extreme and natural hydro-meteorological phenomena, which result in significant material losses. Fog affects a wide range of economic sectors. Therefore, maps of hydro-meteorological phenomena are an important component ensuring population safety as they provide an understanding of the nature, intensity, and periodicity of potential threats to a specific area.

A distinctive feature of the million-strong city of Kharkiv is the likelihood of smog-fog occurrences, which possess an elevated carcinogenic effect. To analyze smog phenomena, it is necessary to consider numerous meteorological factors, such as wind speed and direction, sky conditions, temperature regime, presence of atmospheric precipitation, and the degree of urbanization. Therefore, the aim of further research is to study the conditions for the formation of smog and methods of their mapping.

Keywords: *climate change, cartographic works, meteorological phenomena, fog, Kharkiv region.*

REFERENCES:

1. Peresadko, V., Bainazarov, A. (2020). Experience and prospects of environmental mapping of Kharkiv region. The Problems of Continuous Geographical Education and Cartography, 32, 8-16. <https://doi.org/10.26565/2075-1893-2020-32-01> [in Ukrainian].
2. Peresadko, V., Popovych, N., Martynenko, A. (2021). Historical and geographical mapping of Kharkiv region in the xix and xx centuries. The Problems of Continuous Geographical Education and Cartography, 33, 8-15 [in Ukrainian]. <https://doi.org/10.26565/2075-1893-2021-33-01> [in Ukrainian].
3. Peresadko, V. (2008). Methodology for developing medical and environmental maps of localities. The Problems of Continuous Geographical Education and Cartography, 9, 191–195 [in Ukrainian].
4. Prasul, Y., Klymenko, V., Buby, N., Melnyk, Y., Chudinov, A. (2021). Definition of alternative tourist availability and its mapping. The Problems of Continuous Geographical Education and Cartography, 34, 29-38. <https://doi.org/10.26565/2075-1893-2021-34-04> [in Ukrainian].
5. Prasul, Y., Buby, N., Melnyk, Y., Chudinov, A. (2022). Geospatial-cartographic analysis of tourist opportunities in Ukraine based on alternative tourist accessibility. The Problems of Continuous Geographical Education and Cartography, 35, 16-24. <https://doi.org/10.26565/2075-1893-2022-35-02> [in Ukrainian].
6. Reshetchenko, S., Boryskina, Y., Hrekova, Y. Distribution of air temperature in the territory of Ukraine against the background of current climate changes. The Problems of Continuous Geographical Education and Cartography, 35, 25-31. <https://doi.org/10.26565/2075-1893-2022-35-03> [in Ukrainian].
7. IPCC 2019 : Global warming of 1,5°C. An IPCC Special Report on the Impacts of global warming of 1,5°C above pre-industrial levels. Intergovernmental Panel on Climate Change. Geneva: IPCC Publisher, 630 [in English].
8. Reshetchenko, S., Dmitriiev, S., Cherkashyna, N., Goncharova, L. (2020). Climate indicators of changes in hydrological characteristics (a case of the Psyl river basin). Visnyk of V.N. Karazin Kharkiv National University. Geology. Geography. Ecology. 53. 176-189. <https://doi.org/10.26565/2410-7360-2020-53-12> [in English].

The article was received by the editors 18.04.2024

The article is recommended for printing 17.06.2024

DOI: 10.26565/2075-1893-2024-40-06
УДК: 620.91:551.521.9(477)»1990/2020»

Людмила Рибченко*

к. геогр. наук, старший науковий співробітник лабораторії прикладної кліматології відділу прикладної метеорології та кліматології; e-mail: L.S.Rybchenko@gmail.com; ORCID ID: <http://orcid.org/0009-0007-6517-3630>

Світлана Савчук*

науковий співробітник лабораторії прикладної кліматології відділу прикладної метеорології та кліматології; e-mail: SvetlanaSVS120676@gmail.com; ORCID ID: <http://orcid.org/0009-0007-7861-9419>

*Український гідрометеорологічний інститут ДСНС України та НАН України, проспект Науки, 37, м. Київ, 03028, Україна

Геліоенергетичні ресурси України за 1990 - 2020 рр.

Метою даної статті є оцінка потенціалу геліоенергетичних ресурсів України для визначення перспектив застосування природних джерел енергії за 1991 - 2020 рр.

Основний матеріал. В умовах сучасної зміни клімату важливого значення набуває енергетична незалежність нашої держави з використанням альтернативних відновлюваних джерел енергії, що визначають економічну доцільність їх застосування в енергопозалежних галузях економіки та різних сферах діяльності людства.

Для цього сформована база даних окремих складових радіаційного режиму з використанням архіву спостережень метеорологічної й актинометричної мережі Центральної Геофізичної Обсерваторії імені Бориса Срезневського ДСНС України. При отриманні їх просторово-часового розподілу використано методи математичної статистики та картографії.

Представлено спеціалізовані показники кліматичних ресурсів геліоенергетики для окремих актинометричних і метеорологічних станцій країни. Згідно до зміни складових радіаційного режиму наведено значення цих показників за: 1991 - 2000 рр., 2001 - 2010 рр., 2011 - 2020 рр. Визначено внесок прямої сонячної радіації у сумарну за квітень - вересень, внесок сумарної радіації за квітень - вересень у річну суму. На основі моніторингу потоків короткохвильової радіації представлено збільшення тривалості сонячного саява та сумарної сонячної радіації протягом періоду дослідження. Наведено їх просторово-часовий розподіл і встановлено можливості запровадження ресурсів геліоенергетики за умов зростання річної суми тривалості сонячного саява вище 2000 год і річної суми сумарної сонячної радіації понад 4000 МДж / м².

Висновки. У статті отримано поступове зростання потенціалу ресурсів геліоенергетики в Україні.

Ключові слова: геліоенергетичні ресурси, складові радіаційного режиму.

Як цитувати:. Рибченко Л., Савчук С. Геліоенергетичні ресурси України за 1990 – 2020 рр. *Проблеми безперервної географічної освіти і картографії*. 2024. Вип. 40. С. 51–57. <https://doi.org/10.26565/2075-1893-2024-40-06>

In cites:. Rybchenko, L., Savchuk, S. (2024). Solar energy resources of Ukraine for 1990 – 2020. *The problems of continuous geographical education and cartography*, (40), 51–57. <https://doi.org/10.26565/2075-1893-2024-40-06> (in Ukrainian)

Вступ. Динамічний розвиток світового господарства в умовах глобалізації визначає ріст попиту на різні ресурси, зокрема нетрадиційні. Актуальною є проблема обмеження запасів, територіальної нерівномірності енергетичних ресурсів. Для сталого розвитку енергозалежних галузей економіки стратегічний характер має енергоощадність, відновлювальні джерела енергії. Енергетична незалежність зумовлена розвитком геліоенергетики, вітроенергетики, гідроенергетики, задіяння біомаси, заснованих на природному потенціалі. Сонячна радіація не шкодить довкіллю, є кліматичним ресурсом, що вивчають в Європі, Америці, світі. Вона застосовується у Західній, Східній Європі (Норвегії, Швеції, Фінляндії, Німеччині, Данії тощо), становить коло 20 % електричної енергії. До вивчення складових радіаційного режиму залучено геостаціонарні та полярні орбітальні супутники. В альтернативній енергетиці, перспективі її впровадження зацікавлені виробники технологій [1-4, 6].

Вихідні передумови. Рентабельність сонячних енергетичних установок (СЕУ) визначається режимом і мінливістю комплексу геліофізичних параметрів, зокрема характеристик складових радіаційного режиму. Для оцінки геліоенергетичних ресурсів слугують певні критерії, зокрема сумарної сонячної радіації, тривалості сонячного сяйва (ТСС). За 1991 - 2020 рр. істотно змінилось надходження короткохвильової радіації, через проходження крізь земну атмосферу й атмосферну циркуляцію.

Метою статті є оцінка геліоенергетичного потенціалу України за 1991 - 2020 рр. у радіаційно-теплий період року (квітень - вересень) із визначенням можливості запровадження СЕУ для отримання та накопичення електричної енергії.

Сформована база даних окремих складових радіаційного режиму за архівом метеорологічної й актинометричної мережі ЦГО ім. Бориса Срезневського ДСНС України. При отриманні їх просторово-часового розподілу використано методи математичної статистики та картографії.

Виклад основного матеріалу. Доцільність роботи СЕУ визначають за спеціалізованими показниками кліматичних ресурсів, згідно з якими за сучасний період збільшилась річна ТСС, зокрема середня річна кількість понад 2000 год, і сумарна сонячна радіація, зокрема середня річна понад 4000 МДж / м², середня добова сума сумарної радіації за радіаційно-теплий період року [3]. Істотно зріс внесок прямої сонячної радіації у сумарну та внесок сумарної за квітень - вересень у річну суму, що зумовлює збільшення потенціалу ресурсів геліоенергетики. Зменшення їх потенціалу визначає збільшення: коефіцієнту варіації річних сум сумарної радіації, середньої річної кількості загальної та нижньої хмарності, кількості днів без Сонця.

Для актинометричних і метеорологічних станцій України розраховані найбільш значущі характеристики геліоенергетичних ресурсів, що зумовлюють доцільність запровадження СЕУ в Україні: річні суми прямої та сумарної сонячної радіації, ТСС, внесок сумарної сонячної радіації за радіаційно-теплий період у річну суму (табл.1). В 1991-2020 рр. річна сума сумарної радіації зростає від 3635 МДж / м² на північному заході (Ковель) до 4632 МДж / м² на Південному узбережжі Криму (ПБК) (Карадаг), а на схилах Українських Карпат (Міжгір'я) збільшення хмарності влітку зумовлює її зменшення до 3155 МДж / м². Річна сума прямої радіації варіює від 1723 МДж / м² на північному заході (Ковель) до 2850 МДж / м² на ПБК (Карадаг) і

Таблиця 1 / Table 1

Показники геліоенергетичних ресурсів за 1991 - 2020 рр. в Україні
Indicators of solar energy resources for 1991 - 2020 in Ukraine

Станція	Річна сума сумарної радіації, МДж / м ²	Річна сума прямої радіації на горизонтальну поверхню, МДж / м ²	Річна ТСС, год	Внесок сумарної радіації за квітень - вересень у річну суму, %
Покошичі	3886	2015	1937	80
Конотоп	3898	2131	1965	80
Ковель	3635	1723	1871	79
Бориспіль	3745	1901	2080	80
Нова Ушиця	3689	1845	1994	77
Світловодськ	4498	2707	2217	80
Полтава	4170	2264	2046	80
Міжгір'я	3155	1433	1627	77
Берегове	3705	1764	1980	76
Одеса	4599	2709	2307	78
Болград	4693	2724	2353	76
Херсон	4604	2630	2241	79
Асканія Нова	4177	2268	2304	79
Карадаг	4632	2850	-	79
Нікітський Сад	4544	2716	2305	80

найменша (1433 МДж / м²) – на південно-західних схилах Українських Карпат (Міжгір'я). ТСС становить 1870 год за рік на північному заході (Ковель), зростаючи до 2305 год у Криму (Нікітський Сад), а у горах Українських Карпат – знижується до 1625 год (Міжгір'я). Внесок сумарної радіації за квітень - вересень у річну суму досить рівномірний територіально та становить від 76 % на Закарпатті (Берегове) до 80 % на більшості країни.

Критерієм рентабельності СЕУ в Україні є річні суми сумарної сонячної радіації вище 4000 МДж/м², прямої – вище 2400 МДж / м², ТСС – понад 2000 год. У 1991 - 2020 рр. істотний внесок сумарної радіації за радіаційно-теплий період у річну суму веде до його значного зростання (майже 80 %). Зростає річна ТСС вище 2000 год. Порівняно з 1961 - 1990 рр. засвідчується розширення площ із їх перевищенням цих критеріїв.

За 3 останні 10-річчя відбувались поступові зміни надходження окремих складових радіаційного режиму: прямої, сумарної сонячної радіації та ТСС майже на всій території. Проте є деяка нестабільність у надходженні найбільш значущих показників геліоенергетики у деяких регіонах (табл.2). На більшості території поступово зростала пряма та сумарна радіація, ТСС із найбільшими значеннями в 2010 - 2020 рр. На півдні Степової зони й у Криму вони збільшуються майже до максимальних значень: 5000 МДж / м² для сумарної і 3000 МДж / м² – для прямої сонячної радіації за рік. Поступово зростає ТСС при максимальному значенні – 2500 год. Істотно впливала на складові радіаційного режиму зміна атмосферної циркуляції, зокрема на Закарпатті (Берегове), де їх надходжен-

ня були дещо нестабільними; проте в Українських Карпатах (Міжгір'я), наближених до Закарпаття, її коливання не вплинули на їх надходження в окремі 10-річчя.

Пряма сонячна радіація – головна складова сумарної. Її коливання дуже впливають на поширення потенціалу геліоенергетики в світі. Вона зростає майже у всій Україні за 1991 - 2020 рр. разом із кількістю ясної, малохмарної погоди зі зміною атмосферної циркуляції [5]. Показником рентабельності СЕУ є поступове зростання внеску прямої радіації у сумарну в країні за місяці радіаційно-теплого періоду року окремих 10-річ 1991 - 2020 рр. і відносно 1961 - 1990 рр. (табл.3). Внесок прямої радіації у сумарну збільшився в 1991 - 2020 рр. щодо 1961 - 1990 рр. за територію від 48 % до 53 %: у квітні він зростає у кожному 10-річчі щодо попереднього та досяг 61 % на півдні; з травня – збільшився до 63 % і влітку досяг 68 % на півдні. Навіть у горах Українських Карпат (Міжгір'я) у квітні-червні він становить 49 % й продовжував підвищуватись, не досягаючи середнього рівня на більшості території через атмосферну циркуляцію зі збільшенням хмарності у весняно-літні місяці. На Закарпатті (Берегове) складались дещо відмінні умови. В окремі місяці цей внесок не відрізнявся стабільним зростанням у деяких регіонах.

За 1991 - 2020 рр. ТСС – характеристика надходження прямої радіації, поступово зростає територією, через збільшення ясної та малохмарної погоди внаслідок особливостей атмосферної циркуляції. Річна ТСС зростає: у 1991 - 2010 рр. до найбільшої на півдні, переважно у Степу; в 2001- 2010 рр. – істотно майже на половині території (Степ, Лісостеп),

Таблиця 2 / Table 2

Річні показники геліоенергетичних ресурсів в Україні, усереднені за 10-річні періоди: сума сумарної радіації (Q, МДж/м²), сума прямої радіації (S, МДж/м²), тривалість сонячного сйва (τ₀, год)
Annual indicators of solar energy resources in Ukraine, averaged over 10-year periods: sum of total radiation (Q, MJ/m²), sum of direct radiation (S, MJ/m²), duration of sunshine (τ₀, h)

Станція	1991-2000			2001-2010			2011-2020		
	Q	S	τ ₀	Q	S	τ ₀	Q	S	τ ₀
Покошичі	3431	1950	1849	3093	1955	1925	3377	2130	2036
Конотоп	3609	1858	1897	4019	2218	1948	4065	2317	2040
Ковель	2853	1465	1878	3059	1729	1854	3228	1976	1882
Бориспіль	3505	1616	1998	3679	1892	2026	4050	2195	2185
Нова Ушиця	2825	1604	1883	3069	1848	1963	3271	2084	2124
Світловодськ	3386	2245	2277	3503	2446	2118	3944	2851	2258
Полтава	3396	2065	-	3434	2190	1981	3672	2517	2103
Міжгір'я	3303	1397	1605	2958	1383	1561	3202	1520	1713
Берегове	3874	1876	2007	3594	1891	1960	3640	1824	1977
Одеса	3682	2532	2293	3858	2712	2324	3778	2883	2303
Болград	4767	2628	2281	4590	2608	2322	4715	2636	2449
Херсон	4376	2305	2147	4565	2650	2180	4570	2936	2365
Асканія Нова	3850	2055	2236	4514	2230	2276	4168	2480	2399
Карадаг	4782	2662	2291	4883	2979	2400	4925	3000	-
Нікітський Сад	4742	2544	2234	4736	2931	2348	4598	2918	-

Таблиця 3 / Table 3

**Внесок прямої сонячної радіації у сумарну (%) за радіаційно-теплий період року
(квітень - вересень) в Україні: 1961 - 1990 рр. (I), 1991 - 2020 рр. (II),
1991 - 2000 рр. (II а), 2001 - 2010 рр. (II б), 2011 - 2020 рр (II в)**
**Contribution of direct solar radiation to the total (%) for the radiation-warm period of the year
(April - September) in Ukraine: 1961 - 1990 (I), 1991 - 2020 (II), 1991 - 2000 (II а), 2001 - 2010 (II б),
2011 - 2020 (II с)**

I	II	IIIa	IIIб	IIIв	I	II	IIIa	IIIб	IIIв	I	II	IIIa	IIIб	IIIв	I	II	IIIa	IIIб	IIIв	I	II	IIIa	IIIб	IIIв	I	II	IIIa	IIIб	IIIв					
Місяць																																		
Квітень					Травень					Червень					Липень					Серпень					Вересень									
					Покошичі																													
43	49	44	52	52	49	56	50	57	59	49	57	55	58	60	48	57	53	61	56	50	57	53	58	62	51	53	51	55	54					
Конотоп																																		
44	53	49	54	56	51	59	54	60	62	52	60	59	59	63	51	60	57	62	60	53	60	56	60	63	51	55	54	55	57					
Ковель																																		
42	48	41	50	53	48	50	46	51	55	48	52	48	51	57	46	51	46	53	52	50	54	48	52	60	44	48	39	49	53					
Бориспіль																																		
46	49	41	51	55	51	53	49	55	56	53	56	50	55	63	52	57	53	59	58	54	57	51	57	62	52	53	49	52	57					
Нова Ушиця																																		
44	49	42	50	54	49	53	50	55	54	49	54	53	54	55	50	54	51	57	54	53	58	53	54	65	52	52	48	50	56					
Світловодськ																																		
51	55	48	55	61	60	62	61	63	63	62	65	61	65	68	63	65	63	64	68	63	65	61	66	69	59	61	60	60	63					
Полтава																																		
49	50	45	50	56	57	57	53	57	61	55	59	57	57	63	59	60	56	59	63	59	60	56	57	68	58	60	55	64	61					
Межгір'я																																		
36	45	37	49	49	38	47	45	49	48	36	48	48	48	49	40	51	49	52	51	43	54	47	56	60	40	48	43	49	51					
Берегове																																		
44	45	46	50	40	48	50	54	53	42	49	53	56	58	45	49	53	53	57	50	51	57	52	60	59	49	48	48	53	45					
Одеса																																		
51	56	51	57	61	57	62	58	64	63	58	65	62	65	67	60	66	63	65	69	61	67	63	66	72	59	62	59	60	66					
Болград																																		
49	54	49	54	61	54	59	54	61	62	56	62	60	61	66	57	64	62	63	68	58	64	60	62	70	58	60	58	57	66					
Херсон																																		
46	55	47	56	61	52	60	57	62	60	52	62	59	62	65	55	64	60	64	68	59	65	59	65	69	58	61	58	60	65					
Асканія Нова																																		
46	53	55	47	59	54	57	55	56	59	57	58	57	53	65	56	62	61	57	67	59	61	58	58	67	58	58	58	50	66					
Карадаг																																		
49	-	51	55	-	55	-	58	65	-	60	-	60	66	-	60	-	64	68	-	62	-	63	69	-	61	-	62	63	-					
Нікітський Сад																																		
53	-	48	59	-	57	-	60	66	-	62	-	61	67	-	63	-	66	70	-	64	-	66	69	-	64	-	68	62	-					

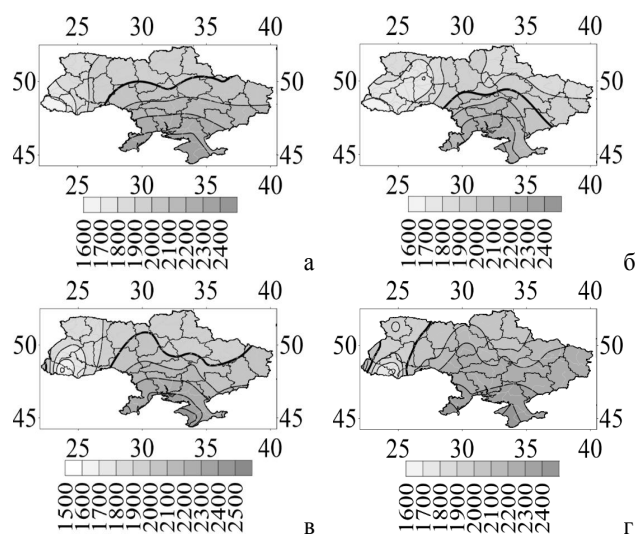


Рис.1. Річна тривалість сонячного сяйва (год) в Україні за: 1991 - 2020 рр. (а), 1991 - 2000 рр. (б), 2001 - 2010 рр. (в), 2011 - 2020 рр. (г) /
 Fig. 1. Annual duration of sunshine (hours) in Ukraine for: 1991 - 2020 (and), 1991 - 2000 (b), 2001 - 2010 (c), 2011 - 2020 (d)

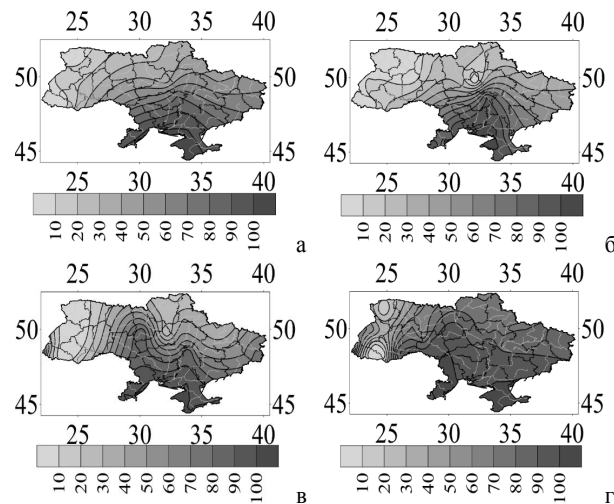


Рис.2. Повторюваність (%) річної тривалості сонячного світла вище 2000 год в Україні у: 1991 - 2020 рр. (а), 1991 - 2000 рр. (б), 2001 - 2010 рр. (в), 2011 - 2020 рр. (г)

Fig. 2. Repeatability (%) of the annual duration of sunshine above 2000 h in Ukraine in: 1991 - 2020 (a), 1991 - 2000 (b), 2001 - 2010 (c), 2011 - 2020 (g)

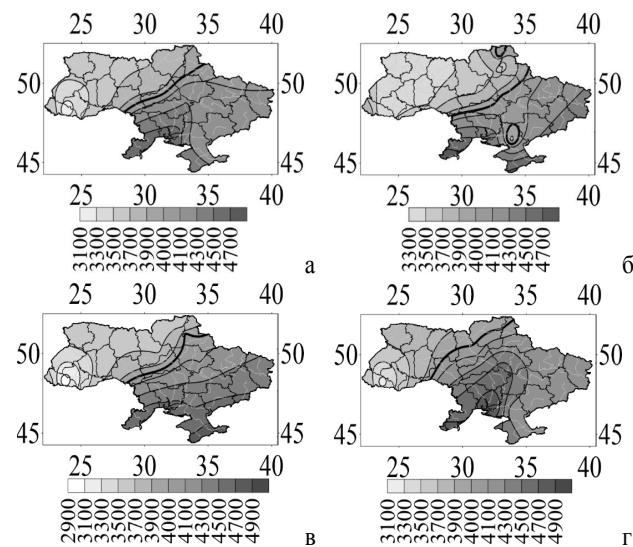


Рис.3. Річна сумарна сонячна радіація (МДж / м²) в Україні за: 1991 - 2020 рр. (а), 1991 - 2000 рр. (б), 2001 - 2010 рр. (в), 2011 - 2020 рр. (г) / Fig. 3. Annual total solar radiation (MJ / m²) in Ukraine for: 1991 - 2020 (and), 1991 - 2000 (b), 2001 - 2010 (c), 2011 - 2020 (d)

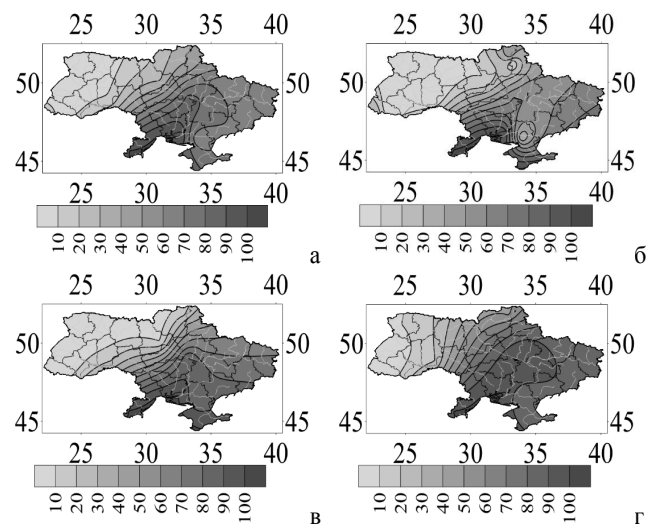


Рис.4. Повторюваність (%) річної сумарної радіації вище 4000 МДж / м² за: 1991 - 2020 рр. (а), 1991 - 2000 рр. (б), 2001 - 2010 рр. (в), 2011 - 2020 рр. (г) /

Fig. 4. Repeatability (%) of annual total radiation above 4000 MJ / m² for: 1991 - 2020 (a), 1991 - 2000 (b), 2001 - 2010 (c), 2011 - 2020 (d)

окрім заходу; в 2011 - 2020 рр. – на більшій, крім деякого регіону заходу. Це підтверджує зріст потенціалу ресурсів геліоенергетики у 1991 - 2020 рр. (рис.1).

Доцільність використання СЕУ обумовлена зростанням в 1991 - 2020 рр. річної суми ТСС понад 2000 год. Її повторюваність: у 1991 - 2000 рр. значною була переважно на півдні, в 2001 - 2010 рр. – на більшості країни; в 2011 – 2020 рр. – майже повсюдно, крім невеликих регіонів заходу (рис.2).

Річна величина сумарної радіації істотно зросла за 1991-2020 рр. і є суттєвою на переважній території, в окремі 10-річчя поступово зростаючи з півдня на захід, північний захід: у 1991 - 2000 рр. – найбільша вона на півдні, південному сході; в 2001 - 2010 рр. – найменша на Закарпатті, збільшуючись до заходу; в 2011 - 2020 рр. – найменшою є на Закарпатті, переважно зростаючи країною (рис.3).

За 1991 - 2020 рр. поступово зростала повторюваність річної сумарної радіації понад 4000 МДж / м² – ознаки доцільності впровадження СЕУ, майже повсюдно, крім крайнього заходу: в 1991 - 2000 рр. найбільша вона на півдні, сході; в 2001 - 2010 рр. – значна на Лівобережжі; в 2011 - 2020 рр. – фіксувалась майже повсюдно, крім незначного регіону заходу (рис.4).

Висновки. Україна, крім Закарпаття, гірських районів Українських Карпат, є сприятливою для за-

провадження СЕУ. Їх конкурентноздатність при виробництві електричної енергії зумовлюють сучасні коливання окремих складових і показників радіаційного режиму: поступове зростання річних сум ТСС, сумарної сонячної радіації й істотно – прямої. Це призвело до зміни співвідношення між прямою та сумарною радіацією у більшості регіонів із збільшенням внеску прямої радіації у сумарну та внеску сумарної радіації за радіаційно-теплий період року в річну суму. Їх перерозподіл зумовлений зміною атмосферної циркуляції, зменшенням загальної та нижньої хмарності, збільшенням ясної, малохмарної погоди в Європі, зокрема в Україні. Це вказує на збільшення впродовж 1991 - 2020 рр. потенціалу ресурсів геліоенергетики, що не шкодять довкіллю та не впливають на рентабельність використання СЕУ.

Перспективи подальших пошуків для застосування сонячної енергії засвідчуються просторово-часовим розподілом сонячної радіації зі значним зростанням в Криму, Степу, Лісостепу, Поліссі. Обмеження використання СЕУ стосується невеликого регіону заходу, Закарпаття, Українських Карпат.

Таким чином, моніторинг сонячної радіації встановлює поступове зростання потенціалу ресурсів геліоенергетики в Україні.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ:

1. Андрілк Р.О. Розвиток відновлювальної енергетики в країнах Європи як приклад для України / Р.О. Андрілк. *Вісник Національного педагогічного університету ім. Михайла Драгоманова*. 2014. Вип. 19 (31). С. 279-295.
2. Атлас енергетичного потенціалу відновлювальних та нетрадиційних джерел енергії : атлас / під ред. С.О. Кудрі. Київ: Ін-т відновлювальної енергії НАНУ, 2005. 44 с. Режим доступу: <https://www.ive.org.ua/wp-content/uploads/atlas.pdf>
3. Дмитренко Л.В., Барандіч С.Л. Оцінка кліматичних ресурсів сонячної енергії в Україні. *Наук. праці УкрНДГМІ*. 2007. Вип. 256. С. 121-129.
4. Душина Г.П., Анякін В.Н. Інформаційно-аналітична система оцінки енергетичного потенціалу ВДЕ в Україні. *Відновлювальна енергетика XXI століття* : матеріали XIII міжнар. наук.-практ. конф. (м. Миколаївка). Київ: Вікторія, 2012. С. 34-39.
5. Кихтенко Я.В., Тимофеев В.Є. Порівняння супутникових та наземних даних спостережень тривалості сонячного сяйва на прикладі території України. *Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія*. 2020. Вип. 3 (65). С. 117-127.
6. Кудря Т.С., Резцов В.Ф., Суржик Т.В. Деякі особливості трансформації енергії сонячного випромінювання в елементах сонячних колекторів і фотобатарей. *Доповіді НАН України*. 2005. № 3. С. 88-92.
7. Про альтернативні джерела енергії: Закон України від 20.02.2003 № 555-IV (станом на 01.01.2024). *Відомості Верховної Ради України*. 2003. № 24. С. 155.
8. Рибченко Л.С., Савчук С.В. Потенціал геліоенергетичних кліматичних ресурсів сонячної радіації в Україні. *Укр. географ. журнал*. 2015. Вип. 4. С. 16-23.
9. Рибченко Л.С., Савчук С.В. Геліоенергетичні ресурси України за 1986 - 2015 рр. *Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія*. 2019. Вип. 1 (52). С. 88-97.
10. Рибченко Л.С., Савчук С.В. Визначення змін складових радіаційного режиму сонячної радіації за 1991 - 2020 рр. відносно 1961 - 1990 рр. в Україні. *Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія*. 2022. Вип. 3 (65). С. 96-104.
11. Товажнянський Л.Л., Левченко Б.О. Проблеми енергетики на межі XXI століття. Харків: НТУ «ХПІ», 2006. 200 с.
12. Усик Б.В. Розвиток альтернативної енергетики в Україні. *Часопис картографії*. 2015. Вип. 12. С. 198-218.
13. Щокін А.Р. Енергоефективність. *Рішення та Директиви Європейського Союзу щодо створення сприятливих умов використання енергії, виробленої з відновлювальних джерел енергії, які необхідно враховувати на шляху України до вступу в Європейський Союз*: 36. наук. пр. міжнар. наук. - техн. конф. (м. Одеса), 2005. С. 22-28.
14. McGrath, J., Sellen, J.P., Chant, D. Long-term trends in sunshine duration and its association with schizophrenia birth rates and age at first registration-data from Australia and the Netherlands. *Schizophrenia Research*. 2002. No 54(3). P.199-212.
15. WMO Library. URL: https://library.wmo.int/doc_num.php?explnum_id=3720
16. Zhu, X.C., Qiu, X.F., Zeng, Y., Gao, J.Q., He, Y.J. A remote sensing model to estimate sunshine duration in the Ningxia Hui autonomous region. *Journal of Meteorological Research. China*, 2015. No 29. P. 144-154.

Стаття надійшла до редакції 01.05.2024

Стаття рекомендована до друку 17.06.2024

Rybchenko Ludmila Stepanivna – PhD of Sciences (Geography), Senior Research Officer laboratory of Applied Climatology of the Department of Applied Meteorology and Climatology, Ukrainian Hydrometeorological Institute of the SESU and NASU; e-mail: L.S.Rybchenko@gmail.com ; ORCID ID: <http://orcid.org/0009-0007-6517-3630>

Savchuk Svitlana Valentynivna – Research Officer laboratory of Applied Climatology of the Department of Applied Meteorology and Climatology, Ukrainian Hydrometeorological Institute of the SESU and NASU; e-mail: SvetlanaSVS120676@gmail.com ; ORCID ID: <http://orcid.org/0009-0007-7861-9419>

SOLAR ENERGY RESOURCES OF UKRAINE FOR 1990 - 2020

The purpose of this article is to assess the potential of solar energy resources of Ukraine to determine the prospects for the use of natural energy sources for 1991 - 2020.

Main material. In the conditions of modern climate change, the energy independence of our country with the use of alternative renewable energy sources, which determine the economic feasibility of their use in energy-dependent sectors of the economy and various spheres of human activity, is gaining importance.

For this, a database of individual components of the radiation regime was formed using the archive of observations of the meteorological and actinometric network of the Borys Sreznevsky Central Geophysical Observatory of the SESU. When obtaining their spatio-temporal distribution, the methods of mathematical statistics and cartography were used.

Specialized indicators of climatic resources of solar energy for individual actinometric and meteorological stations of the country are presented. According to the changes in the components of the radiation regime, the values of these indicators are given for: 1991 - 2000, 2001 - 2010, 2011 - 2020. The contribution of direct solar radiation to the total for April - September, the contribution of total radiation for April - September to the annual sum was determined. Based on the monitoring of short-wave radiation flows, the increase in the duration of sunshine and total solar radiation during the study period is presented. Their spatio-temporal distribution is given and the possibilities of introducing solar energy resources are established under the conditions of growth of the annual sum of the duration of sunshine above 2000 h and the annual sum of total solar radiation above 4000 MJ / m².

Conclusions. The article has obtained gradual increase in the potential of solar energy resources in Ukraine was obtained.

Keywords: *solar energy resources, components of the radiation regime.*

REFERENCES:

1. Andriuk R.O. (2014). Development of renewable energy in European countries as an example for Ukraine. Bulletin of the National Pedagogical University named after Mikhail Dragomanov, 19 (31), 279-295 [in Ukrainian].
2. Atlas of energy potential of renewable and non-traditional energy sources : atlas. (2005). / edited by S.O. Kudri. Kyiv: Institute of Renewable Energy of the National Academy of Sciences, 44. Access mode: <https://www.ive.org.ua/wp-content/uploads/atlas.pdf> [in Ukrainian].
3. Dmytrenko L.V., Barandych S.L. (2007). Assessment of climate resources of solar energy in Ukraine. Scientific works of UHMI, 256, 121-129 [in Ukrainian].
4. Dushina G.P., Anyakin V.N. (2012). Information and analytical system for assessing the energy potential of renewable energy sources in Ukraine. Materials of the XIII international scientific and practical conference (Ukraine, Mykolaivka). Renewable energy of the XXI century, 34-39 [in Ukrainian].
5. Kykhtenko, Ya.V. Tymofeyev, V.E. (2020). Comparison of satellite and ground data of observations of the duration of sunshine on the example of the territory of Ukraine. Hydrology, hydrochemistry and hydroecology, 3 (65), 117-127 [in Ukrainian].
6. Kudrya T.S., Reztsov V.F., Surzhik T.V. (2005). Some features of the transformation of solar radiation energy in solar collector and photovoltaic elements. Reports of the NAS of Ukraine, № 3, 88-92 [in Ukrainian].
7. About alternative energy sources: Verkhovna Rada of Ukraine. Law of Ukraine № 555-IV of February 20, 2003 as of January 1, 2024. (2003). Bulletin of the Verkhovna Rada of Ukraine (BVR), 24, 155 [in Ukrainian].
8. Rybchenko, L.S., Savchuk, S.V. (2015). The potential of solar energy climate resources of solar radiation in Ukraine. Ukrainian Geographical Journal, № 4, 16-23 [in Ukrainian].
9. Rybchenko, L.S., Savchuk, S.V. (2019). Solar energy resources of Ukraine for 1986 - 2015. Hydrology, hydrochemistry and hydroecology, 1 (52), 88-97 [in Ukrainian].
10. Rybchenko, L.S., Savchuk, S.V. (2022). Determination of changes in the components of the radiation regime of solar radiation for 1991 - 2020 relative to 1961 - 1990 in Ukraine. Hydrology, hydrochemistry and hydroecology, 3 (65), 96-104 [in Ukrainian].
11. Tovazhnyanskyi L.L., Levchenko B.O. (2006). Problems of energy on the verge of the XXI. Xarkiv, Ukraine: NTU «XPI», 200 [in Ukrainian].
12. Usyk B.V. (2015). Development of alternative energy in Ukraine. Journal of Cartography, 12, 198-218 [in Ukrainian].
13. Shchokin A.R. (2005). Decisions and Directives of the European Union on the creation of favorable conditions for the use of energy produced from renewable energy sources, which must be taken into account on Ukraine's path to joining the European Union. Collection of scientific proceedings of international scientific and technical conferences (Ukraine, Odesa). Energy Efficiency, 22-28 [in Ukrainian].
14. McGrath, J., Selden, J.P., Chant, D. (2002). Long-term trends in sunshine duration and its association with schizophrenia birth rates and age at first registration-data from Australia and the Netherlands. Schizophr. Res., 54, 199-212 [in English].
15. WMO Library. Available at: https://library.wmo.int/doc_num.php?explnum_id=3720 [in English].
16. Zhu, X.C., Qiu, X.F., Zeng, Y., Gao, J.Q., He, Y.J. (2015). A remote sensing model to estimate sunshine duration in the Ningxia Hui autonomous region, China. J. Meteorol. Res., 29, 144-154 [in English].

The article was received by the editors 01.05.2024

The article is recommended for printing 17.06.2024

DOI: 10.26565/2075-1893-2024-40-07

УДК 911.3:332.146:338.47

Kateryna Kravchenko*

Ph.D. in geography, associate professor of the K. Niemets Department of Human Geography and Regional Studies, Faculty of Geology, Geography, Recreation and Tourism; e-mail: kateryna.kravchenko@karazin.ua;
ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0003-4654-3185>

Yevhen Shpak*

postgraduate student of the K. Niemets Department of Human Geography and Regional Studies, Faculty of Geology, Geography, Recreation and Tourism; e-mail: yevhen.shpak@student.karazin.ua;
ORCID ID: <https://orcid.org/0009-0000-7035-0389>

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

Transport system as a determinant of the spatial development of the region

The purpose of the article is to highlight of the role of the transport system as a determinant of spatial development in a region (the case of Kharkiv region).

Basic material. The interaction of settlements is essentially carried out through the transport system, as the transformation of the settlement network into a settlement system occurs precisely due to the presence of various hierarchical connections between settlements. An efficiently functioning transport system not only contributes to regional development but also affects spatial organization, as the mobility of passengers and goods is an essential component for economic and social activities, commuting migration, production, distribution of goods and services, or energy supply.

Kharkiv region has traditionally been characterized as an economically developed region, a logistics hub with a well-developed transport system and logistics. However, the region is one of the most affected by military actions. Nevertheless, the restoration of transport infrastructure in Kharkiv is one of the priority tasks for the region and the country, as it ensures high-quality logistics and effective transport communication, which forms a reliable rear for accomplishing tasks at the front line. The detailed analysis of Kharkiv region's transport system showed that the region has a developed and extensive transport infrastructure, which is an important factor in ensuring population mobility and freight transport. This, in turn, stimulates economic development and urbanization, particularly the formation of the Kharkiv agglomeration. The network of roads and railways is key to the region, providing connections both within the region and with other regions of Ukraine and European countries. However, extreme events caused by the war have inflicted severe damage to the transport system, requiring significant efforts and investments for restoration. Moreover, the destruction of infrastructure, significant mine contamination of territories, and temporary occupation of part of the region complicate the recovery work due to the challenging security conditions. Despite these difficulties, the region continues to function as an important logistics hub thanks to support from national and international donors. The transport system of Kharkiv Region is characterized by a multi-component structure with numerous transport hubs of varying hierarchical levels. The largest transport hubs in the region include the cities of Kharkiv, Lozova, Izium, Kupyansk, Chuhuiv, Zlatopil, and others.

The restoration of transport infrastructure, including bridges and roads, is necessary to ensure the region's development and its further integration into the European transport network. This requires comprehensive reconstruction, particularly in the most affected areas, using modern materials to ensure long-term durability. An important stage of recovery is the development of a demining program for the safe restoration of infrastructure and attracting state, international, and private investments through grant programs, among other sources.

Conclusions. The analysis of the transport system of Kharkiv region confirms its significant role in spatial development, ensuring mobility for the population, transportation of goods, and supporting the economic and social activity of the population. An efficiently functioning transport system contributes to rapid urbanization, the formation of the Kharkiv agglomeration, and forms the basis for logistical connections of various hierarchical levels. However, due to military actions, the region and its transport system have suffered significant damage, requiring substantial efforts for restoration, considering security risks and the considerable mine hazard. The restoration of transport infrastructure, particularly bridges and roads, is critically important for the region and its integration into the European transport system.

Keywords: *transport system, settlement system, transport hub, territorial recovery.*

In cites: Kravchenko, K., Shpak, Ye. (2024). Transport system as a determinant of the spatial development of the region. *The problems of continuous geographical education and cartography*, (40), 58–67. <https://doi.org/10.26565/2075-1893-2024-40-07> (in English)



Introduction. Ukraine's aspiration to transition to European principles of spatial development, along with the ongoing decentralization processes, highlights the need to improve the spatial organization of regions, an essential component of which is the settlement system. Spatial organization is traditionally characterized by geographic location, population density, and the uneven distribution of the population. This territorial differentiation occurs through settlement processes, population concentration, and the formation of various types of spatial interconnections. Strengthening these connections contributes to the formation of a settlement system, where the interaction between settlements is primarily facilitated by the transport system. The transformation of the settlement network into a settlement system happens due to the existence of various hierarchical links between settlements, including transport ones. The intensity and direction of transport flows determine the type of hierarchical connections, helping to identify the center and periphery. An efficiently functioning transport system not only promotes regional development but also influences the organization of space, as the mobility of passengers and goods is a critical component of economic and social activity, pendulum migrations, production, distribution of goods and services, and energy supply. These features can be examined using the example of Kharkiv region.

Kharkiv region is traditionally characterized as an economically developed region, a logistics hub with a well-developed transport system and logistics infrastructure. The city of Kharkiv is the center of the interregional settlement system, characterized by a powerful organizational function, which has formed the Kharkiv urban agglomeration. The historically established settlement system of the region is distinctly monocentric. However, Kharkiv region is also one of the most affected by military actions in Ukraine [1, 3]. Significant destruction has been inflicted on housing, industrial enterprises, service sector institutions, the agro-industrial complex, and the transport system. Some cities in the region, including Izium, Balaklia, and Kupiansk, experienced occupation and devastating effects but have since been liberated and partially restored. Some settlements remain under occupation or have been reoccupied (e.g., Vovchansk), which significantly affects the settlement system in the region. Given that an effective transport system promotes the integration of settlements, the development of both urban and rural areas, the activation of economic activities, and the mobility of the population, the issue of modernizing the transport system of Kharkiv region, restoring settlements, and the region's settlement system is highly relevant and requires attention from scholars in various fields. In particular, studying the role of the transport system in the transformation of the settlement system will allow us to identify regional development patterns, assess the effectiveness of existing transport links, and propose ways to optimize

and modernize the transport system in the context of current challenges and the prospects of European integration.

Initial conditions. The spatial organization of society, the settlement system it forms, and its level of development influence the regional transport system. At the same time, the transport system exerts a corresponding influence on the development of the settlement system, optimizing the spatial structure of the region. Thus, by studying the nature and intensity of these interrelationships, it is possible to identify the issues and prospects of post-war recovery and development of the settlement system in Kharkiv region, as well as develop recommendations for the optimization and modernization of the region's transport system. These issues have been extensively studied in the works of specialists in social geography, including transport geography, logistics, economics, etc. [2-4, 6-10, 12].

This work employs the following approaches and methods of scientific knowledge: the systemic and synergistic approach (particularly when studying the settlement system of the region as a functional component of the socio-geosystem, and the transport system as one of its elements), the historical approach (for the retrospective analysis of the formation and development of the region's settlement system), the informational approach (for determining the role of transport infrastructure in the evolution of the regional settlement system), philosophical methods, including induction and deduction (to determine the nature of the interdependence between the level of development of transport infrastructure and the evolution of the regional settlement system), general scientific methods (retrospective analysis, modeling, systematization, etc.), as well as a set of specific scientific and special methods of social-geographical research, including the IFI-modeling method (for constructing a model of transport accessibility of cities in the region based on demographic potential).

The purpose of the article is to highlight of the role of the transport system as a determinant of spatial development in a region (the case of Kharkiv region).

Basic material. The spatial organization of the region's population is manifested in the formation of the regional settlement system. The settlement system of the region represents the territorial basis and functional subsystem of the regional socio-geosystem, which is a complex, open, multi-level system of settlements characterized by intensive socio-geographical, informational, and communication links. Settlement systems are quite inert formations, which do not evolve quickly in response to the dynamics of economic, social, and demographic processes. The transport system is the basis for communication links, ensuring the transportation of passengers and goods. It is transport that ensures the mobility of the population, connecting labor resources with places of

employment. The development of the transport system in the region depends on natural conditions, which affect the accessibility of territories (in particular, orographic features, relief, etc.), investment volumes, infrastructure construction intensity, transportation efficiency, and the range of possible transport modes. For example, large flat rivers are natural transport routes that historically facilitated regional development. The historical features of regional development and unique geographic conditions determine the location and functioning of transport hubs in the region, mostly cities involved in trade.

A distinctive feature is that the transport system connects both urban and rural settlements, allowing rural residents to access high-quality social services on par with urban residents. Additionally, the spatial impact of transport systems is reflected in the acceleration of urbanization processes and the formation of extensive urbanized areas—urban agglomerations. The development of the transport system and the improvement of infrastructure contribute to the settlement of population in suburban areas, forming suburbs. As a result, the territorial distance between the place of residence and work for residents of urbanized areas increases, which in turn

motivates the automobilization of space, as suburban residents mostly use private transport. [6, 7]. Given the development of the transport system, the spatial structure of a city can be classified based on the level of centralization (when the main functions of the city are concentrated in the central part) and clustering (when economic activity of the population is intensively manifested in various areas of the city – subcenters or clusters). A cluster of economic activity represents a concentration around a specific coordination point, such as a transport interchange, etc. [12].

Additionally, the directions of transport flows define so-called «areas of attraction» – territories to which a large population moves for professional activities, service access, shopping, etc. According to the central place theory, a hierarchical system is formed within the urban area, starting from the central district, which offers a wide range of specialized services, to regional centers [7]. Thus, the intensive development of cities and urban agglomerations is driven not only by the rapid growth of industry and the service sector, but also by the evolution of the transport system, expansion of public transport types, their speed, etc.

The transport system is characterized by the presence of the following components (Fig. 1):

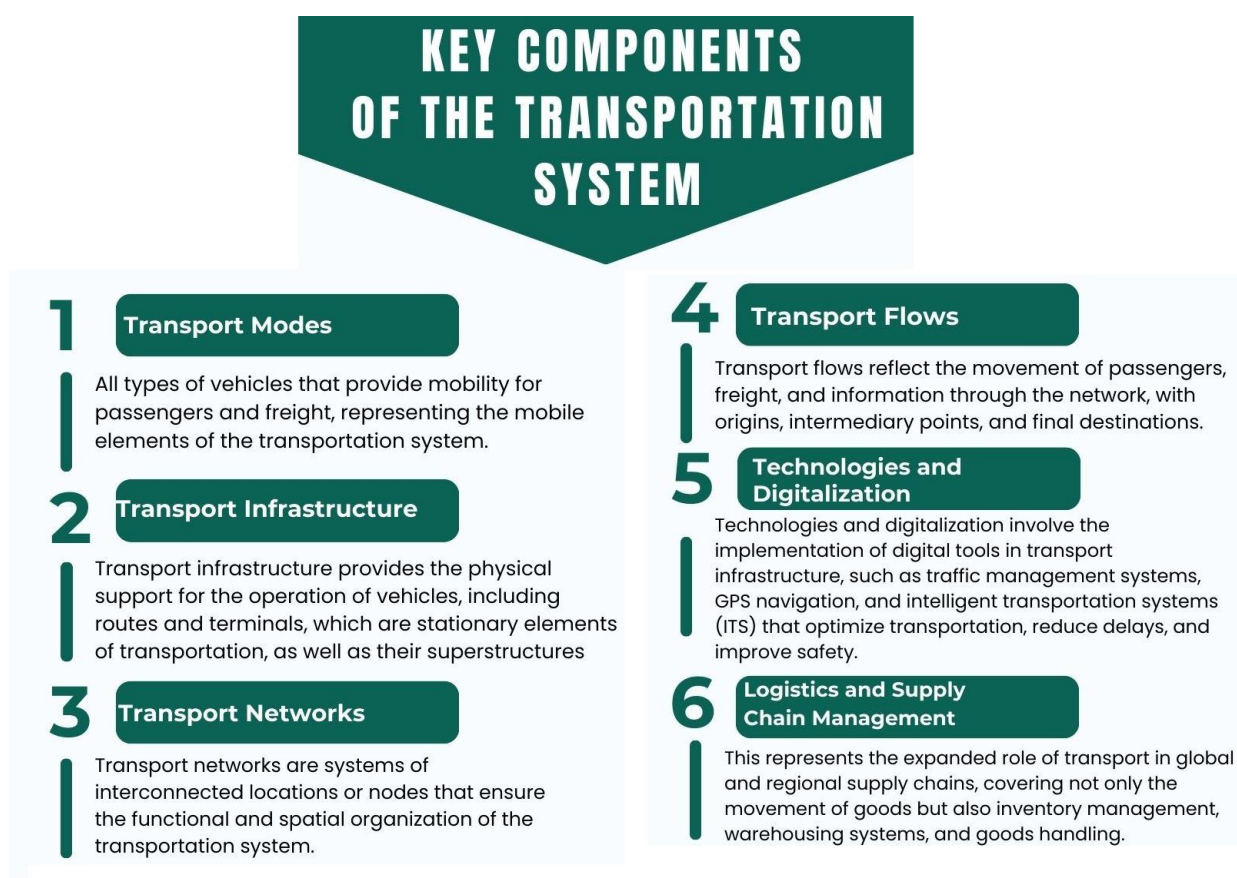


Fig. 1. Components of the Transport System (created by the authors to [12])

Six main elements of the transport system can be distinguished: transport modes, transport infrastructure, transport networks, transport flows, technologies and digitalization, and logistics. Transport modes encompass all types of vehicles that ensure the mobility of passengers and freight. These are the mobile elements of the transport system, such as cars, trains, airplanes, and ships, which provide movement across different routes and networks. Some types of transport are designed to carry only passengers or cargo, while others can carry both.

Transport infrastructure includes the physical means necessary for the functioning of transport: roads, railways, ports, airports, terminals. These elements are stationary, providing support and conditions for the movement of vehicles. Transport networks represent a system of interconnected locations or nodes that provide functional and spatial organization of transport. Nodes may include stations, ports, and logistics centers that interact with each other via transport corridors. Transport flows, in this context, reflect the movement of passengers, freight, and information through the network. Transport flows have their starting points (origins), intermediate stations, and final destinations, forming a continuous transportation process. Technologies emphasize the importance of integrating digital technologies into transport infrastructure: traffic management systems, GPS navigation, intelligent transport systems that improve efficiency, reduce delays, and enhance transportation safety.

Logistics and supply chain management extend the role of transport in global and regional supply chains by not only facilitating the movement of goods but also managing inventories, warehousing systems, and product handling, ensuring the continuity of logistics processes. The diagram comprehensively analyzes the transport system as an interconnected structure, where mobile elements (modes) interact with stationary ones (infrastructure), forming networks and ensuring operational transport flows. An important modern component of the transport system is the role of technologies that optimize these processes and logistics, which adds strategic value to the transport system in supply management.

The development of the transport system contributes to the formation of new elements of spatial organization – transport hubs, which are key points in the transport system where various modes of transport (rail, road, air, river, maritime, etc.) intersect and connect. These hubs play an exceptionally important role in the spatial organization of the settlement system. Transport hubs create a hierarchy of settlements: hubs with a high level of transport accessibility and large flows of people and goods transform into cities and regional centers, while less significant centers, in turn, form a network of smaller towns and villages.

Industrial zones actively develop near transport hubs, and logistics centers and warehouses are

established, stimulating employment and making the settlement attractive for labor migrants. Thus, transport hubs contribute to the formation of transport-logistics hubs, which become important for interregional trade. They also provide connections between settlements and ensure the mobility of the population, access to labor markets, and quality social services, which stimulates pendulum migration and contributes to the formation of urbanized areas, and at the highest level of development – urban agglomerations. Moreover, transport hubs contribute to the creation of a unified settlement space, where distances between settlements become less critical due to fast and regular connections. The areas around transport hubs usually exhibit a high level of economic activity, while more distant, peripheral areas retain agricultural specialization.

The current settlement system of Kharkiv Region is, in many aspects, a derivative of the historical and geographical features of settlement and economic development of the region: it has 1,755 settlements (of which 78 are urban, forming the backbone of the population settlement structure) and an extensive transport network that not only facilitates intra-regional connectivity between settlements but also enables informational and material exchanges with other regions of Ukraine [2, 4]. The structure of the settlement system in Kharkiv Region reflects the historical development characteristics of the region. The highest concentration of settlements is in the northeastern part of the region, with significant clustering around the regional center – the Kharkiv city.

An analysis of the spatial development of the settlement system in Kharkiv region prior to the war shows that the region is characterized by rapid socio-economic development of the administrative center – the Kharkiv city, as evidenced by the continuous expansion of its organizational functions and sphere of influence, strengthening and complicating the connections and interactions with district centers. This trend intensifies internal contradictions in the settlement system and leads to the hypertrophy of the settlement core. There was also a suppression of the development of peripheral areas, which, in turn, causes the formation of spatial asymmetry in the settlement system of the region and characterizes it as sharply monocentric [4].

As a result of Russia's military aggression, beginning in 2014, the economic-geographical and transport position of Kharkiv Region has acquired negative characteristics due to its proximity to the aggressor country. Kharkiv region, its transport system, and transport infrastructure have suffered significant damage from military actions, with the region being one of the top three regions in terms of incurred losses. At the same time, the restoration of Kharkiv Region's transport infrastructure is one of the region's and the country's priority tasks, as it ensures high-quality logistics and efficient transport communication, forming a reliable rear for carrying out tasks at the front line [3, 8].

Let us analyze the transport system of Kharkiv Region according to the elements defined in Figure 1, taking into account the modern challenges of wartime.

Kharkiv Region is characterized by a wide range of transport types, including rail, road, and public transport in the cities of the region. The extensive network of roads and railways provides mobility for passengers and goods both within the region and beyond its borders. Before the full-scale invasion, the Kharkiv airport was operational; however, from the first days of the war, it was heavily bombed and destroyed, and the airspace over Ukraine was closed to passenger traffic [3].

Kharkiv Region traditionally has a developed transport infrastructure, including international highways, railway stations, cargo terminals, etc. This infrastructure serves as the physical basis for the functioning of transport flows. The region ranks first in Ukraine for the length of public roads (over 9.6 thousand km), with nearly 98% of them having a hard surface [1]. The region has a dense railway network that connects both within the region and with other regions of Ukraine and European countries. The extensive network of roads of various significance provides mobility for the population and goods. Major highways connect Kharkiv with other large cities, stimulating the development of adjacent areas and contributing to urbanization.

The extreme events during the full-scale invasion caused severe physical damage to transport infrastructure with long-term socio-economic consequences. Kharkiv Region is one of the most mined regions in Ukraine. The destruction of bridges and bridge crossings is also a representative indicator of the losses, as bridges are capital structures that are extremely difficult and costly to restore. Due to constant shelling and the movement of heavy equipment during the occupation, the road surface in the region was significantly damaged. However, the roads are gradually being restored. The regional road service was reorganized into the "Infrastructure Restoration and Development Service of Kharkiv Region" in response to current tasks. As a result of military actions and occupation of the territory, almost all bridges across the Siverskyi Donets and Oskil rivers were destroyed, particularly near the cities of Izium, Balakliya, and Chuhuiv, as well as in the areas of the Pechenizke and Oskil reservoirs, with a total of 24 bridges destroyed, 17 of which are currently being restored (including: T-21-04 Kharkiv – Vovchansk, located within the village of Fedorivka, T-21-10 Shevchenkove – Balakliya – Zlatopil – Kehychivka, located within the village of Oleksiivka, etc.).

The main donors supporting and financing the restoration of transport infrastructure in Kharkiv Region today are the Armed Aggression Consequences Liquidation Fund (operating under the Ministry of Communities, Territories, and Infrastructure Development of Ukraine) and the World Bank. They have

financed the reconstruction of destroyed infrastructure objects in the region [1, 3, 5].

The transport network of Kharkiv Region connects cities, towns, and industrial zones, ensuring effective spatial organization. The city of Kharkiv serves as the central hub, from which the main transport routes radiate, characterizing the transport system as radial-ring. The developed transport network of the region influences the placement and development of settlements. High transport accessibility contributes to the concentration of the population in cities and towns located near the main transport arteries. This leads to the formation of agglomerations, such as the Kharkiv agglomeration, where the main industrial, scientific, and cultural centers are concentrated. Peripheral areas of the region, distant from major transport routes, typically have lower population density and less developed infrastructure. The transport network of the region has undergone significant transformations, with some elements—rural settlements and cities—currently temporarily under occupation, and communication with them is non-functional. Additionally, some settlements close to the front line (e.g., Liptsi, Kupiansk, etc.) are closed off for civilian access.

Kharkiv Region is a region through which significant flows of passengers, goods, and information pass. Transport flows in the region reflect the movement of goods between regions of Ukraine, European Union countries, and the relocation of the population, including internally displaced persons from Donetsk and the more dangerous areas of Kharkiv Region to safer regions of Ukraine or abroad (to European and other countries). Transport links with the aggressor country have been severed since 2014. Despite the challenging wartime conditions, modern digital technologies are being implemented for transport management in Kharkiv Region. However, some systems currently have limited access due to the security situation (such as online platforms that track public transport in cities via GPS signals). The region is an important logistics center serving international and regional supply chains.

Thus, the transport system of Kharkiv Region is complex and well-developed, ensuring effective mobility of the population (including during the evacuation of internally displaced persons from dangerous areas), supporting the region's economic development, and facilitating its integration into the national and European transport super-system. However, significant damage caused by the war requires detailed study and urgent restoration. It is currently impossible to establish the full extent of the damages, as the war is ongoing, and some areas of the region remain temporarily occupied. Historically, Kharkiv has been an example of a major transport hub in Ukraine, which has determined its status as a powerful industrial-economic center and influenced the development of the settlement system in the region: the formation of the Kharkiv agglomeration,

the development of satellite cities (Lyubotyn, Merefa, Derhachi), and the growth of economic activity in transport-accessible areas. Let's analyze the spatial development model of Kharkiv Region based on the demographic potential and transport accessibility of the region's cities (Fig. 2).

The transport system of Kharkiv Region is characterized by a multi-component structure with numerous transport hubs of different hierarchical levels. Transport hubs are extremely important for the spatial organization of the settlement system, determining the possibilities for economic development, migration processes, population density, and functional

specialization of territories, and their development is a key factor in forming regional planning and management strategies.

The Kharkiv city serves as a key regional center and the largest transport hub in the region, ensuring connectivity at the intra-region, national, and European levels. From Kharkiv, a dense network of road and railway routes radiates, making it the main logistics and passenger hub of the region.

Powerful transport hubs also include the cities of Lozova, Kupiansk, Izium, Chuhuiv, and Bohodukhiv, which facilitate transport flows at the subregional level. Lozova is an important railway hub at the intersection

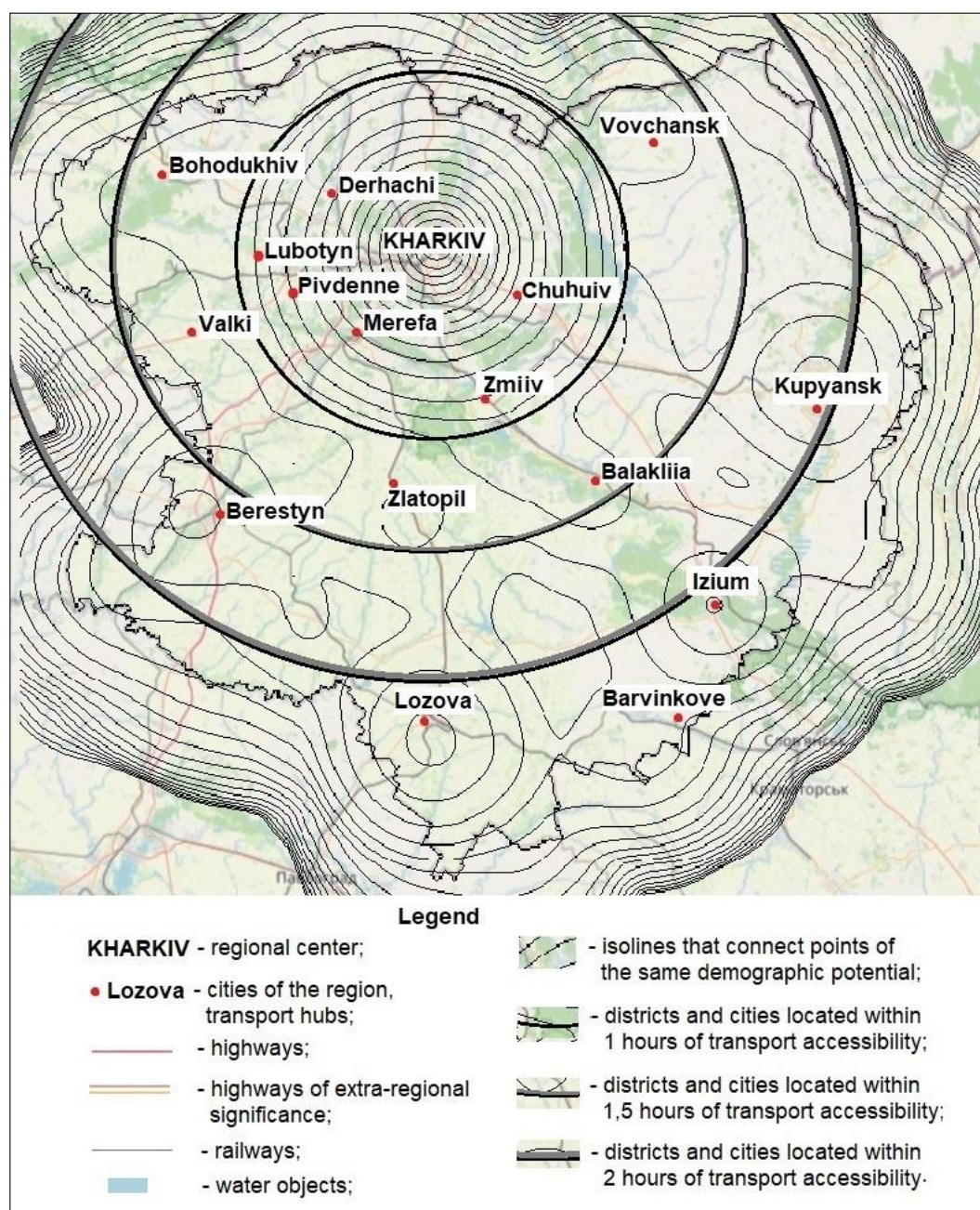


Fig. 2. Spatial development model of Kharkiv Region based on the demographic potential and transport accessibility of cities (created by the authors to [9, 11])

of several transport routes and connects Kharkiv Region with Donetsk Region.

Kupiansk serves as a strategic hub, but due to active combat, the city is effectively a stronghold. The cities of Izium and Chuhuiv have advantageous locations in terms of the concentration of passenger and freight flows; however, as a result of the hostilities, Izium has suffered significant damage, including the destruction of residential buildings and transport infrastructure, such as bridges, which have been temporarily replaced with pontoons. Zones of transport accessibility determined through IVR modeling show that residents of the city and most districts of the region have access to the regional center within 1-2 hours, which is important for economic and social integration. However, military actions have significantly impacted the functioning of these hubs, causing damage to infrastructure, particularly in the southeastern areas (Izium, Kupiansk). Thus, the transport hubs of Kharkiv Region are critical elements of the regional and national transport system, ensuring the mobility of the population, the transportation of goods, and supporting economic development even under the challenges of wartime.

One of the most important and priority tasks for the restoration of the Kharkiv region is the reconstruction of the transport system in the most affected cities

and districts, where possible, taking into account the security situation.

This task is urgent and critical, as an efficient transport system can provide effective logistics for the military, influence the country's defense capabilities, and determine the speed of response to changes on the front. It also allows for rapid evacuation of the population when necessary and supports humanitarian corridors for the delivery of food, medicine, and other aid to frontline communities that suffer the most from the fighting. The restoration of the transport system is also crucial for the region's economy, as the repair of roads, bridges, and railways enables businesses operating in the region to maintain connections with suppliers and markets, which is critical for the survival of businesses and the preservation of employment. Furthermore, transport corridors play an important role in the restoration of infrastructure overall, as they are used to deliver construction materials, machinery, and equipment necessary for reconstruction. Among the main recommendations for the restoration of the transport system in Kharkiv Region are the following (Fig. 3).

The gradual implementation of these measures will contribute not only to the restoration of the transport system in the Kharkiv region but also to its modernization based on the principles of sustainable

RECOMMENDATIONS FOR RESTORING THE TRANSPORT SYSTEM OF THE KHARKIV REGION

- 1 Priority reconstruction of damaged highways, railways, and bridges, particularly in the most affected districts such as Izium, Kupiansk, and Chuhuiv (where the need is greatest due to the security situation), using modern materials and sustainable technologies to ensure durability.
- 2 Development of a comprehensive demining program for areas along transport corridors to enable the safe restoration and operation of transport infrastructure.
- 3 Attraction of state, international, and private investments to finance recovery works, including through grant programs and partnerships with international organizations.
- 4 Modernization of public transport in Kharkiv and other cities of the region using environmentally friendly technologies (electric buses, trams) and optimization of the route network to improve population mobility.
- 5 Development of logistics hubs in strategically important locations such as Kharkiv, Kupiansk, and Lozova to ensure fast cargo transportation and restore regional logistics chains.
- 6 Preparation of qualified personnel for work in the upgraded transport system through the implementation of training programs and advanced training courses in vocational technical schools and higher education institutions of the region.

Fig. 3. Recommendations for restoring the transport system of the Kharkiv region (created by the authors to [1, 3])

development, which will be a crucial factor in the region's economic revival and improving the quality of life for the population. The main principle of restoration should be reconstruction based on the "build back better" approach.

Conclusions. The analysis of the transport system as a determinant of spatial development in the Kharkiv region has shown that the interaction of settlements is primarily enabled by the transport system, as the transformation of the settlement network into a settlement system occurs through the hierarchical connections between settlements. An efficiently functioning transport system not only contributes to regional development but also affects spatial organization, as the mobility of passengers and goods is a vital component of economic and social activities, pendulum migrations, production, distribution of goods and services, and energy supply.

The Kharkiv region is traditionally characterized as an economically developed area, a logistics hub with a well-developed transport system and logistics. However, it is also one of the most affected by military actions. Despite this, the restoration of the region's transport infrastructure remains one of the region's and country's top priorities, as it ensures quality logistics and effective transport communication, providing a reliable rear for operations on the front line.

A detailed analysis of the transport system in Kharkiv region confirms that the area has a developed and extensive transport infrastructure, which is a key factor in ensuring the mobility of the population and cargo

transportation, stimulating economic development and urbanization, particularly in the formation of the Kharkiv agglomeration. The network of roads and railways is crucial for the region, ensuring connectivity both within the region and with other regions of Ukraine and European countries. However, extreme events caused by the war have led to severe damage to the transport system, requiring substantial efforts and capital investments for recovery. Additionally, the destruction of infrastructure, widespread landmines, and the temporary occupation of part of the region complicate the recovery efforts due to the challenging security situation. Despite these difficulties, the region continues to function as an important logistics hub thanks to the support of national and international donors.

The transport system in Kharkiv region has a multi-component structure with numerous transport hubs of varying hierarchical levels. The largest transport hubs of the region include the cities of Kharkiv, Lozova, Izyum, Kupiansk, Chuhuiv, and Zhatopol, among others.

The restoration of transport infrastructure, particularly bridges and roads, is essential for the region's development and further integration into the European transport network and requires comprehensive reconstruction, especially in the most affected areas, utilizing modern materials to ensure the durability of operations. An important stage of restoration is the development of a demining program to ensure the safe recovery of infrastructure, along with the involvement of state, international, and private investments through grant programs, etc.

REFERENCE:

1. Report on direct infrastructure damages due to destruction caused by Russia's military aggression against Ukraine one year after the full-scale invasion [Electronic resource]. (2023, March). Available at: https://kse.ua/wp-content/uploads/2023/03/UKR_Feb23_FINAL_Damages-Report-1.pdf [in Ukrainian].
2. Niemets, L., Sehida, K. et.al. (2017). Innovatsiyno-investytsiynny potentsial yak osnova konkurentospromozhnosti (na prykladi Kharkivs'koyi regioni): kolektyvna monohrafiya [Innovation and investment potential as the basis of competitiveness (case study of Kharkiv region, coll. monograph. Kharkiv), V.N. Karazin Kharkiv National University, 2017, 520 p. [in Ukrainian].
3. Kravchenko, K., Shpak, Ye., & Khabusev, Y. (2024). Features of the restoration of transport infrastructure in Kharkiv Region [Electronic resource]. Available at: <http://soc-econom-region.univer.kharkov.ua/wp-content/uploads/2017/07/Region2024stud.pdf> [in Ukrainian].
4. Kravchenko, K. O. (2018). Human-geographical features of the formation and development of the resettlement system of Kharkiv region. Phd's thesis. Karazin Kharkiv National University Available at: <https://surl.li/mswcqr> [in Ukrainian].
5. Official website of the Main Department of Statistics in the Kharkiv region. Available at: <http://kh.ukrstat.gov.ua/> [in Ukrainian].
6. Puhach, S. O. (n.d.). Regional communication networks: theory, methodology, practice of socio-geographical research: author's summary of the dissertation ... Doctor of Geography: 11.00.02 Available at: https://scc.knu.ua/upload/iblock/91d/rh02o0n502jow4kzcewtaepld3ny97yd/dis_Puhach.pdf [in Ukrainian].
7. De Palma, A., Lindsey, R., Quinet, E., & Vickerman, R. (2017). *The Routledge Handbook of Transport Economics* (1st ed.). Routledge [in English].
8. Kravchenko, K., & Shpak, Y. (2024). Comparative analysis of the transport infrastructure of the cities of Warsaw and Kharkiv as a component of the innovative development and post-war reconstruction of the cities of Ukraine Available at: https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-94-024-2278-8_32 [in English].
9. Kravchenko, K., Némets, K., Segida, K., Némets, L., & Suptelo, O. (2020). Approaches of determining the boundaries of agglomerations (basic case of Kharkiv region). *Human Geography Journal*, 28, 5-16 [in English].
10. Nemets, K. A., Segida, K. Yu., Nemets, L. M., Kravchenko, K. O., Telebeneva, Y. Yu., Klyuchko, L. V., & Redin, V. I. (2019). Research of urban agglomerations in the aspect of implementing administrative-territorial reform in Ukraine (on the example of Kharkiv region). *Journal of Social and Economic Geography*, 27, 28-39 [in English].
11. OpenStreetMap. (n.d.). Available at: <https://www.openstreetmap.org/#map=8/49.466/36.716> [in Ukrainian].
12. Rodrigue, J. P. (2024). *The Geography of Transport Systems* (6th ed.). New York: Routledge [in English].

The article was received by the editors 26.04.2024

The article is recommended for printing 17.06.2024

Кравченко Катерина Олександрівна – к. геогр. н., доцент кафедри соціально-економічної географії і регіонознавства імені Костянтина Немця факультету геології, географії, рекреації і туризму Харківського національного університету імені В. Н. Каразіна; e-mail: kateryna.kravchenko@karazin.ua; ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0003-4654-3185>

Шпак Євгеній Юрійович – аспірант кафедри соціально-економічної географії і регіонознавства імені Костянтина Немця факультету геології, географії, рекреації і туризму Харківського національного університету імені В. Н. Каразіна; e-mail: yevhen.shpak@student.karazin.ua; ORCID ID: <https://orcid.org/0009-0000-7035-0389>.

ТРАНСПОРТНА СИСТЕМА ЯК ДЕТЕРМІНАНТА ПРОСТОРОВОГО РОЗВИТКУ РЕГІОНУ

Метою статті є дослідження ролі транспортної системи як детермінанти просторового розвитку регіону (на прикладі Харківської області).

Основний матеріал. Взаємодія населених пунктів фактично здійснюється завдяки транспортній системі, адже трансформація мережі розселення до системи розселення відбувається саме завдяки наявності різного роду ієрархічних зв'язків між поселеннями. Ефективно працююча транспортна система не тільки сприяє регіональному розвитку, але й впливає на організацію простору, адже мобільність пасажирів і вантажів, є важливою складовою для економічної та соціальної діяльності, маятникових міграцій, виробництва, розподілу товарів та послуг, або постачання енергії.

Харківська область традиційно характеризується як економічно розвинений регіон, логістичний хаб з добре розвиненою транспортною системою та логістикою, проте регіон є одним з найбільш постраждалих від воєнних дій. Проте, відновлення транспортної інфраструктури Харківщини є однією з пріоритетних задач для регіону та країни, адже вона забезпечує якісну логістику та ефективну транспортну комунікацію, що формує надійний тил для виконання задач на лінії фронту. Поелементний аналіз транспортної системи Харківської області засвідчив, що регіон має розвинену та розгалужену транспортну інфраструктуру, яка є важливим фактором забезпечення мобільності населення та перевезення вантажів, що зумовлює стимулювання економічного розвитку і розвиток урбанізації, зокрема – сформовано Харківську агломерацію. Мережа автомобільних доріг і залізниць є ключовою для регіону, забезпечує зв'язки як всередині області, так і з іншими регіонами України та країнами Європи. Однак, екстремальні події, спричинені війною, завдали серйозних руйнувань транспортній системі, що потребує значних зусиль та капіталовкладень для відновлення. Окрім того, знищення інфраструктури, значна замінованість території та тимчасова окупація частини регіону ускладнюють відновлювальні роботи з огляду на складні безпекові умови. Незважаючи на ці труднощі, регіон продовжує функціонувати як важливий логістичний хаб завдяки підтримці національних і міжнародних донорів. Транспортна система Харківської області характеризується багатокomпонентною структурою з численними транспортними вузлами різного ієрархічного рівня, до найбільших транспортних вузлів регіону відносять міста Харків, Лозову, Ізюм, Куп'янськ, Чугуїв, Златопіль, тощо.

Відновлення транспортної інфраструктури, зокрема мостів та доріг, є необхідним для забезпечення розвитку регіону та подальшої інтеграції в європейську транспортну мережу та потребує комплексної реконструкції, особливо у найбільш постраждалих районах, з використанням сучасних матеріалів для забезпечення довговічності експлуатації. Важливим етапом відновлення є розробка програми розмінування територій для безпечного відновлення інфраструктури, залучення державних, міжнародних та приватних інвестицій через грантові програми, тощо.

Висновки. Аналіз транспортної системи Харківської області свідчить про її вагомий роль у просторовому розвитку регіону, забезпеченні мобільності населення, транспортування вантажів та підтримці економічної та соціальної активності населення. Ефективно функціонуюча транспортна система сприяє швидкій урбанізації, формуванню Харківської агломерації, та є основою для логістичних зв'язків різних ієрархічних рівнів. Проте, внаслідок воєнних дій регіон, та зокрема, транспортна система зазнали значних руйнувань, що потребують вагомих зусиль для відновлення, зокрема з урахуванням безпекових ризиків та значної мінної небезпеки. Відновлення транспортної інфраструктури, зокрема мостів і доріг, є критично важливим для регіону та його інтеграції у європейську транспортну систему.

Ключові слова: *транспортна система, система розселення, транспортний вузол, відновлення території.*

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ:

1. Звіт про прямі збитки інфраструктури від руйнувань внаслідок військової агресії росії проти України за рік від початку повномасштабного вторгнення [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://kse.ua/wp-content/uploads/2023/03/UKR_Feb23_FINAL_Damages-Report-1.pdf
2. Інноваційно-інвестиційний потенціал як основа конкурентоспроможності регіону (на прикладі Харківської області) : колективна монографія / за заг. ред. Л. Немець, К. Сегіди. – Харків : ХНУ імені В. Н. Каразіна, 2017. 520 с.
3. Кравченко К., Шпак Є., Хабушев Є. Особливості відновлення транспортної інфраструктури Харківської області. 2024 [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://soc-econom-region.univer.kharkov.ua/wp-content/uploads/2017/07/Region2024stud.pdf>
4. Кравченко К.О. Суспільно-географічні особливості формування та розвитку системи розселення Харківської області: дис. ... канд. геогр. наук : 11.00.02 [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://surl.li/mswcqr>.

5. Офіційний сайт Головного управління статистики Харківської області [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://kh.ukrstat.gov.ua/>
6. Пугач С. О. Комунікаційні мережі регіону: теорія, методологія, практика соціально-географічного дослідження.: автореф. дис. ... д-ра геогр. наук: 11.00.02 [Електронний ресурс] – Режим доступу: https://scc.knu.ua/upload/iblock/91d/rh02o0n502jow4kzcewtaepld3ny97yd/dis_Puhach.pdf
7. De Palma. The Routledge Handbook of Transport Economics / A. De Palma, R. Lindsey, E. Quinet, R. Vickerman - 1st Edition. 2017. 460 p.
8. Kravchenko K., Shpak Ye. (2024). Comparative Analysis of the Transport Infrastructure of the Cities of Warsaw and Kharkiv as a Component of the Innovative Development and Post-war Reconstruction of the Cities of Ukraine [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-94-024-2278-8_32
9. Kravchenko, K., Niemets K., Sehida, K., Niemets, L., & Suptelo O. Approaches of determining the boundaries of agglomerations (basic case of Kharkiv region). *Human Geography Journal*. 2020. No 28. P. 5-16.
10. Niemets, K. A., Sehida, K. Yu., Niemets, L. M., Kravchenko, K. O., Telebeneva, Ye. Yu., Klyuchko, L. V., & Redin, V. I. (2019). Research of urban agglomerations in the aspect of implementing administrative-territorial reform in Ukraine (on the example of Kharkiv region). *Journal of Social and Economic Geography*. 2019. No 27, P. 28–39.
11. OpenStreetMap [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.openstreetmap.org/#map=8/49.466/36.716>
12. Rodrigue, JP. The Geography of Transport Systems, Sixth Edition, New York: Routledge, 2024.

Стаття надійшла до редакції 26.04.2024

Стаття рекомендована до друку 17.06.2024

DOI: 10.26565/2075-1893-2024-40-08

УДК 911.528.9:631.11 (477.46):502:551.583.13

Іван Зозуля

здобувач освітнього рівня доктор філософії з наук про Землю кафедри екології та безпеки життєдіяльності;

e-mail: trokvanya077@gmail.com; ORCID ID: <https://orcid.org/0009-0007-6024-5498>

Уманський національний університет садівництва, вул.Інститутська,1, Умань, 20305, Україна

Географічні особливості сільського господарства Черкаської області в умовах змін клімату

Метою цієї статті є аналіз за допомогою географічної методології реакції фермерських господарств Черкаської області на зміни клімату, які відбулися впродовж останніх 10 років.

Основний матеріал. Проблема, позначена у назві статті, набула актуальності в останні роки через зміни клімату. А в умовах природних зон України, межі між якими вже давно є досить умовними (геоекотон «лісополе», Г. Денисик), обґрунтування та подальший розвиток «зональної» спеціалізації завжди являло складну проблему. Наочні докази потепління клімату спонукали до пошуку таких показників, які б (прямо чи опосередковано) засвідчили «реакцію» сільського господарства на такі кліматичні зміни. Порівняльний аналіз сільськогосподарського районування 2014 та 2024 року показав, що суттєво змінилась конфігурація сільськогосподарських районів, на яку докорінно вплинула зміна клімату.

Висновки. Головний масив господарств (1274 господарства з 1808) 1-го Південно-Центрального сільськогосподарського району опиняється в зоні ризикованого землеробства, яка потрапляє під вплив змін клімату. Найменші зміни (як за кількістю так і за питомою вагою) відбулися в північних лісостепових зональних типах господарств (Канівський, Жашківський, Корсунь-Шевченківський райони). Це може свідчити про більшу екологічну пластичність господарств лісостепової зони стосовно змін клімату (порівняно з зональними степовими типами). За результатами аналізу розроблені практичні рекомендації для кожного сільськогосподарського району (2024 р.), які охоплюють передусім географічний аспект просторової організації сільського господарства.

Ключові слова: агроландшафт, спеціалізація, сільськогосподарський район, зміна клімату.

Як цитувати: Зозуля І. Географічні особливості сільського господарства Черкаської області в умовах змін клімату. *Проблеми безперервної географічної освіти і картографії*. 2024. Вип. 40. С. 68–78. <https://doi.org/10.26565/2075-1893-2024-40-08>

In cites: Zozulya, I. (2024). Geographical features of agriculture in Cherkasy oblast in the context of climate change. *The problems of continuous geographical education and cartography*, (40), 68–78. <https://doi.org/10.26565/2075-1893-2024-40-08> (in Ukrainian)

Вступ. Незважаючи на малий з точки зору глобальних кліматичних процесів 10-річний період порівняння метеорологічних процесів у 2014-2015 рр. та у 2023-2024 рр. дозволило констатувати певні трансформації агрокліматичних умов, підвладні загальнопланетарній тенденції потепління клімату [3]. Очільник відділу агрометеорології Укргідрометцентру Тетяна Адаменко констатує, що через потепління більша частина Черкаської області нині входить до степової зони [15]. Констатується, що зростання температури на 1°C зсуває межу агрокліматичних зон в середньому на 100 км на північ. А за останні роки температура зросла на цілих 2°C . Тож межа кліматичних зон змістилася на 200 км. (рис. 3). Як бачимо, більша частина території Черкаської області «перейшла» в зону Степу. Таким чином, наочні докази потепління клімату спонукають до пошуку таких показників, які б (прямо чи опосередковано) засвідчили «реакцію» сільського господарства на такі кліматичні зміни.

Лісостепова зона, як своєрідний екотон між Лісом та Степом завжди відрізнялась плавним переходом у значеннях головних кліматичних показників, а, отже, наукове обґрунтування прийнятної спеціалізації завжди було складною науковою проблемою, яку завжди намагались вирішити географи. Навіть у сучасних класифікаціях в обхід законів географічної зональності затверджується наявність Лісополя (Лісостеп+Степ) як одного з сучасних антропогенних ландшафтів [13].

Сучасний інтерес до доволі «застарілої» наукової проблеми, пов'язаної з виробничою типологією сільського господарства, обумовлений небезпечними трендами надінтенсивного землекористування, результатом якого є поступова втрата ґрунтами їхньої природної родючості. Дієвою альтернативою енерговитратному має бути екологічно-толерантне сільське господарство, яке наближене до біосферних механізмів [7].

Вихідні передумови. Виходячи з визначення сільськогосподарського району (згідно М.Д. Пістуна), «сільськогосподарський район — це система сільськогосподарських підприємств схожих виробничих типів, які займають порівняно значну частину території аграрно-територіального комплексу і характеризуються стійким поєднанням лише головних (спеціалізованих) галузей сільського господарства», встановити просторові розбіжності в умовах багатопрофільного сільського господарства України дуже складно. Власне, мова йде про окреслення меж сільськогосподарських районів, які дуже часто проводяться на чутливому рівні дослідника без достатньої наукової аргументації.

Класична методика давала змогу здійснювати уточнення меж сільськогосподарських районів з використанням кореляційного аналізу лише тому, що кількість обов'язкових даних сільськогосподарської статистики по кожному господарству у 70-

ті – 80-ті роки XX століття була набагато більшою (400 показників). Це цілком відповідало ідеї уніфікації сільського господарства в радянській колгоспно-радгоспній системі.

В умовах же ринкової економіки, коли фермер має набагато більше майнових прав ніж колгоспник, чи навіть голова колгоспу, інформація по кожному фермерському господарству може являти значний комерційний інтерес для конкурентів, а технології, що застосовуються, можуть являти предмет інтелектуальної власності. Власне, саме цим зумовлюється значна збідненість сільськогосподарської статистики, якою користувався автор. Навіть більше, обов'язковий перелік статистичних показників зменшується щороку. Так, у 2014 році коли працював ресурс (<http://www.anyfoodanyfeed.com/>) була можливість отримати дані по врожайності, валовому збору та посівних площах кожного господарства. У 2024 році цими показниками вже не можна було скористатись через державне блокування ресурсу з російським доменом.

Саме через це була виконана просторова «прив'язка» господарств певних виробничих типів до відповідних природних ландшафтів лише за даними 2014 року, бо здійснення подібної процедури для даних 2024 року не додає об'єктивності такому районуванню. Тим не менше, наполягати на значній об'єктивності виділення меж сільськогосподарських районів нам дає право вибір первинної просторової одиниці дослідження, якою є окреме фермерське господарство.

Крім того, для уточнення меж сільськогосподарських районів на додаток залучення до сільськогосподарського районування головного показника – рівня інтенсивності сільського господарства, нами були використані традиційні економіко-географічні методичні підходи центрально-периферійності, орієнтації на споживача, транспортної доступності [11]. В якості головного картографічного інструмента автором використана методика ЄГІС (елементарної геоінформаційної системи) [5]. Усі картографічні матеріали виконані у текстовому редакторі «Word».

Для встановлення головних тенденцій зміни спеціалізації сільського господарства Черкаської області, в тому числі і під впливом змін клімату, на додаток до інструментарію ЄГІС була розроблена спеціальна методика, яка включала розрахунок 12 показників, а на їх основі побудову пелюсткових діаграм, які надають змогу наочно порівняти відхилення від середнього по області значення у кожному районі (рис. 1). Кожна пелюсткова діаграма була нанесена на підсумкову аналітичну карту, загальна ж площа пелюсткових діаграм (у см^2), інтерпретована нами як «експортний потенціал району», враховувалась при проведенні меж сільськогосподарських районів (рис. 2, рис. 3). Взагалі ж підсумкова карта сільськогосподарських районів (2024) була використана нами як головний аналітичний інструмент.

Метою статті є аналіз за допомогою географічної методології реакції фермерських господарств на зміни клімату, які відбулися впродовж останніх 10 років. Саме тому були використані дані виробничої типології та сільськогосподарського районування Черкаської області за цей період. Крім того ми намагались дати найбільш загальні рекомендації щодо адаптації фермерських господарств до змін клімату.

Виклад основного матеріалу дослідження. В сучасній українській геоєкології та агроєкології існують різні уявлення про структуру та функціональні особливості агроєкосистем [4].

За О.О. Созіновим «Агроєкосистема — дискретна функціональна складова *агросфери*, призначенням якої є одержання сільськогосподарської продукції потрібної якості за мінімальних витрат невідновлюваної енергії, збереження навколишнього середовища і природних ресурсів. Енергетика агроєкосистем базується на *фотосинтезі* й антропогенній енергії. Характеризується збідненим біорізноманіттям, нестійка. Без підтримки людиною розпадається і трансформується в природні порушені біоценози.

Просторово поділяється на рівні: мікро-: поле, присадибна ділянка, ферма; мезо-: функціонує у межах окремих господарств; макро-: охоплює цілісний *агроландшафт*. Агроєкосистема — результат спрямованої дії людини, значною мірою визначається соціально-економічними чинниками».

За С.П. Соньком «Агроєкосистема — природний ландшафт, частково або докорінно перетворений людиною (передусім з позицій речовинно-енергетичного обміну), наближений за своєю екологічною суттю до штучної екосистеми, в якій потоки речовини й енергії свідомо спрямовуються в бік максимізації отримання і подальшого відчуження біомаси. На доповнення до положень екології про те, що «людина створила свою — штучну екосистему» (М. Голубець), географічний погляд на проблему таксономії залучає до аналізу передусім просторовий компонент екосистеми [4].

Проте, повноцінно використати геоєкологічний підхід до виділення і подальшого аналізу агроєкосистем нам здійснити не вдалося через декілька причин. Перша – це брак даних (ми користувалися лише загальнодоступними даними з національних баз (<https://kolosok.info>), який не дозволив коректно окреслити природні межі агроєкосистем (типи організації сільськогосподарської території). Друга – особливості конфігурації Черкаської області, наближеної до лінії. Адже, широтне простягання території Черкащини підтверджує традиційні уявлення про межі природних зон, але ускладнює виділення однорідних ландшафтів, які б, як у випадку з Харківською областю [10], являли б собою просторово компактні, а над усе континуальні просторові дистрикти. Проте, «дрейф» останніми роками межі степової і лісостепової природних зон на північ

більше ніж на 100 км майже всю територію області «включив» до Степу [15].

Що ж стосується економічних меж агроєкосистем (меж сільськогосподарських районів), то їхня конфігурація у 2014 році з певною часткою умовності дозволяє виділити їх за кількістю сільськогосподарських районів, яких всього 5. Але відсутність даних про типи використання сільськогосподарської території дозволяє говорити лише про просторову ідентифікацію ядер агроєкосистем, які (за досвідом сільськогосподарського районування Харківської області [10]) майже не змінюють своєї просторової локації у часі. Це: I. Придніпровсько-Черкаський II. Центрально-Лісостеповий III. Південно-Лісостеповий IV. Північно-Західний Лісостеповий V. Південно-Західний Лісостеповий.

Як бачимо кількість виділених у 2014 році районів наближається до кількості адміністративних районів, «закріплених» в новій адміністративній реформі [1]. Згідно неї їх усього чотири: Золотоніський, Черкаський, Звенигородський та Уманський. Такий умовний збіг ми оцінюємо як об'єктивну передумову для побудови нового адміністративного устрою на екосистемних принципах, про що написано окремі роботи [6].

Стосовно ієрархії агроєкосистем, то в найближчому майбутньому «проглядається» найнижчий *мікрорівень*, який просторово відповідає селянському господарству, і який з позицій екосистемології уявляється нам найважливішим, оскільки охоплює найнижчі, найбільш наближені до природної організації таксони ландшафтної класифікації – фації, формації, урочища.

Що до складу перелічених сільськогосподарських районів, то вони також наближаються, але вже до природно-сільськогосподарського районування.

Що ж стосується агротехнологій, ми можемо лише приблизно визначити ті з них, які є найбільш толерантними по відношенню до природних екосистем. Насправді, умови ринкової економіки наскільки активізували ринок сільськогосподарських послуг, що фермер може сам обирати які саме технології підійдуть найкраще для його господарства. Наші рекомендації стосуються сільськогосподарських районів, які сформувались у 2024 році (рис. 4, рис. 5).

I. Південно-Центральний район. В найближчі роки, які за прогнозами будуть ще спекотнішими, в цьому сільськогосподарському районі, особливо серед масиву новоутворених господарств, найскоріше доцільним буде впровадження таких культур і галузей, які підвищать буферність стосовно потепління клімату.

1. Зокрема, таким прийомом може стати введення в посіви сумішок покривних культур, особливо тих, які сприяють «закриттю» вологи [17].

2. По мірі збільшення дохідності започаткованих фермерських господарств, фермерам бажано при-

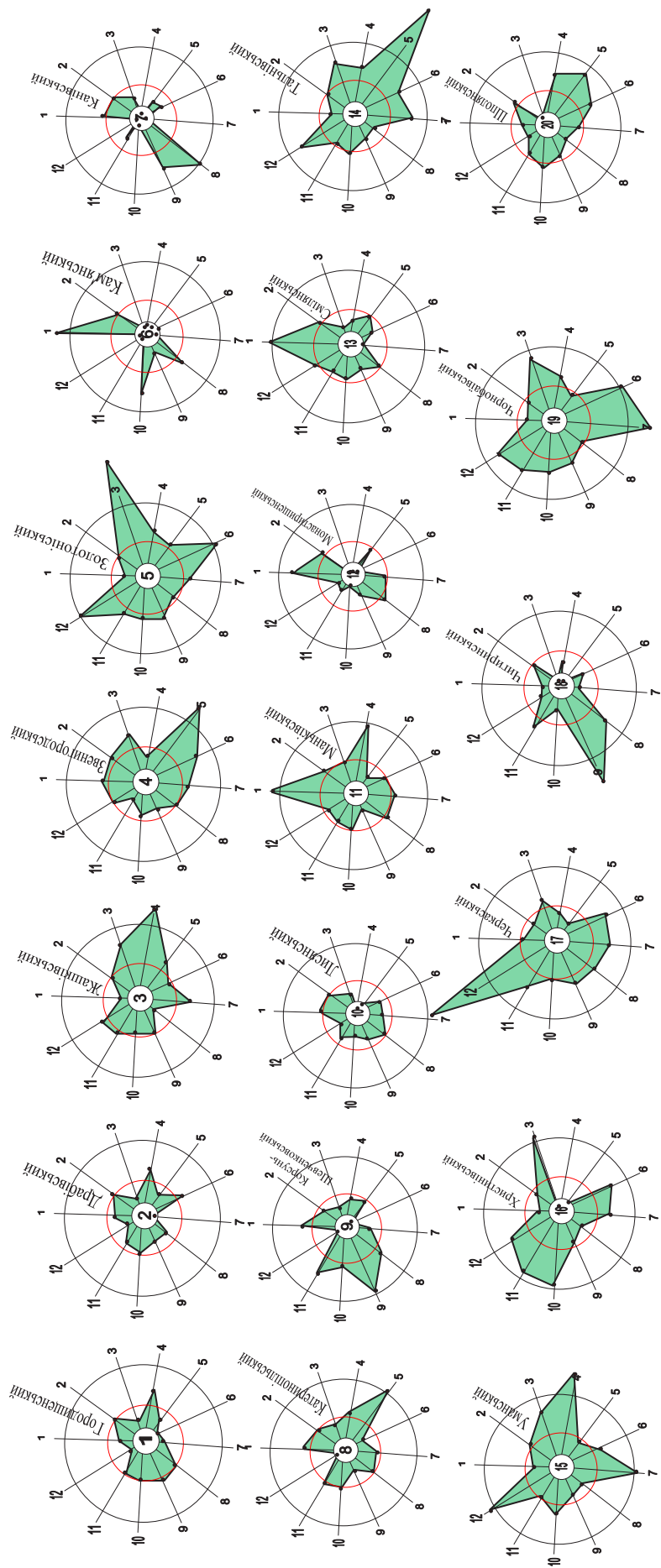


Рис. 1. Петлюсткові діаграми, що характеризують виробничі типи господарств адміністративних районів Черкаської області у 2014-2024 роках (червоне коло на діаграмі відповідає середнім по області значенням показників) /
Fig. 1. Petal diagrams characterizing the production types of farms in the administrative districts of Cherkasy region in 2014-2024 (the red circle in the diagram corresponds to the average values of indicators for the region)

Показники: 1. Збільшилось господарств у 2024 році порівняно з 2014 роком (%). 2. Господарств з переважним виробничим типом (у % від загальної кількості у 2024 році). 3. Кількість господарств, в яких додали нові галузі у 2024 році (у тис. що працюють з 2014 року) (шт). 4. Кількість господарств, в яких зникли старі галузі у 2024 році (у тис. що працюють з 2014 року) (шт). 5. Кількість господарств, в яких збільшились посухостійкі галузі (або культури) у 2024/2014 рр. (шт). 6. Кількість господарств, в яких збільшилась кількість покровених культур у 2024/2014 рр. (шт). 7. Кількість господарств, в яких представлено культури і галузі, що сприяють екологізації (шт). 8. Середня площа забезпечення екосистемних послуг одним господарством у 2014 році (кв. км). 9. Середня площа забезпечення екосистемних послуг одним господарством у 2024 році (кв. км). 10. Відсоток господарств, що спеціалізуються на тваринництві у 2014 році (%). 11. Відсоток господарств, що спеціалізуються на тваринництві у 2024 році (%). 12. Додаток господарств з вузькоспеціалізованими товарними галузями у 2024 році (шт).

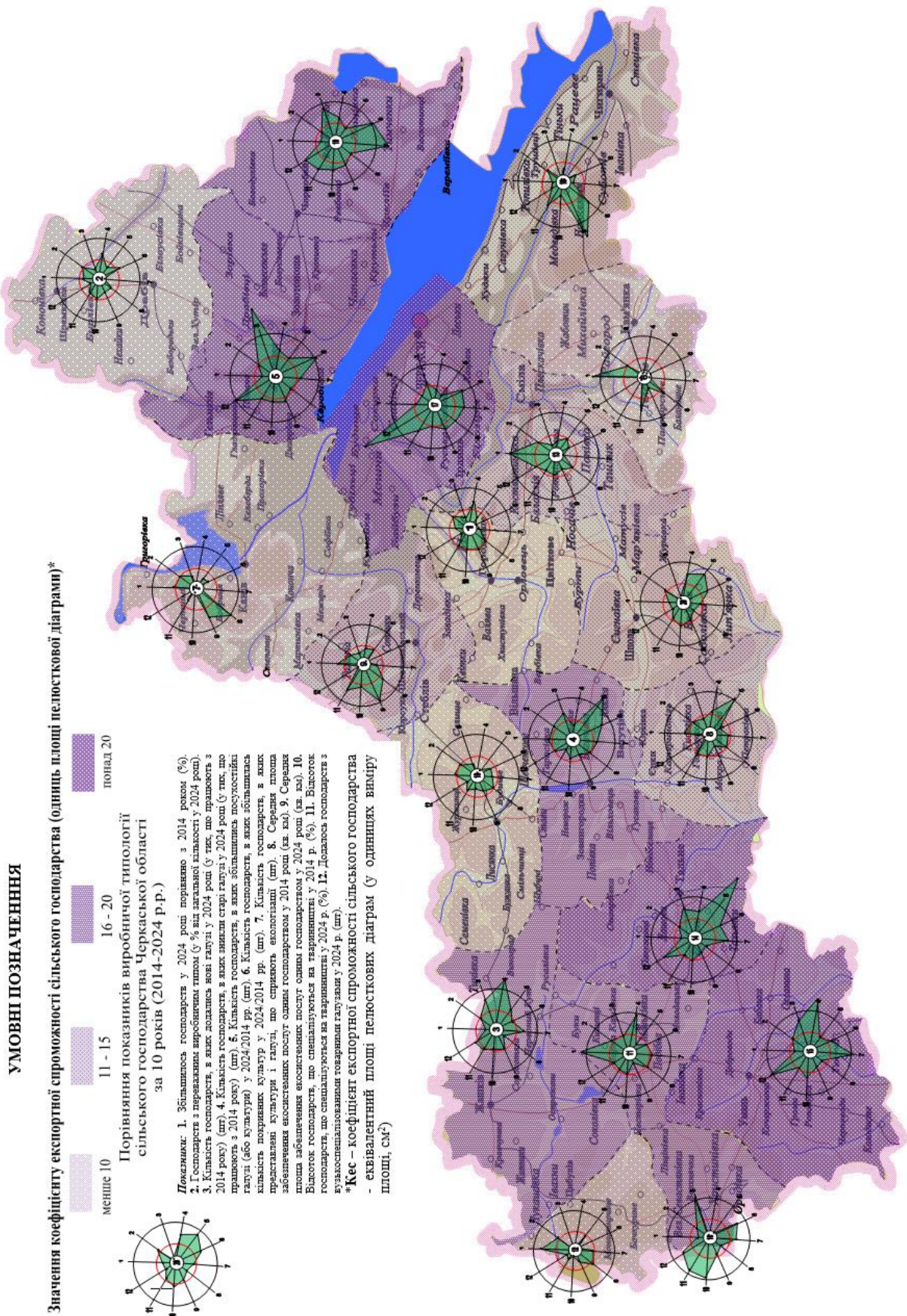
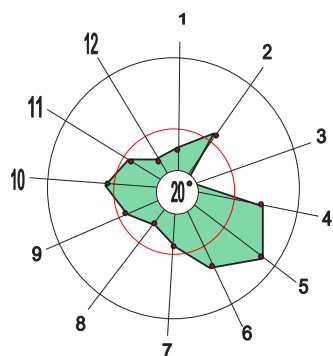


Рис. 2. Експортна спроможність районів Черкаської області /
 Fig. 2. Export capacity of districts of Cherkasy region

УМОВНІ ПОЗНАЧЕННЯ

Значення коефіцієнту експортної спроможності сільського господарства (одниць площі пелюсткової діаграми)*



Порівняння показників виробничої типології сільського господарства Черкаської області за 10 років (2014-2024 р.р.)

Показники: 1. Збільшилось господарств у 2024 році порівняно з 2014 роком (%). 2. Господарств з переважним виробничим типом (у % від загальної кількості у 2024 році). 3. Кількість господарств, в яких додалися нові галузі у 2024 році (у тих, що працюють з 2014 року) (шт). 4. Кількість господарств, в яких зникли старі галузі у 2024 році (у тих, що працюють з 2014 року) (шт). 5. Кількість господарств, в яких збільшились посухостійкі галузі (або культури) у 2024/2014 рр. (шт). 6. Кількість господарств, в яких збільшилась кількість покровних культур у 2024/2014 рр. (шт). 7. Кількість господарств, в яких представлені культури і галузі, що сприяють екологізації (шт). 8. Середня площа забезпечення екосистемних послуг одним господарством у 2014 році (кв. км). 9. Середня площа забезпечення екосистемних послуг одним господарством у 2024 році (кв. км). 10. Відсоток господарств, що спеціалізуються на тваринництві у 2014 р. (%). 11. Відсоток господарств, що спеціалізуються на тваринництві у 2024 р. (%). 12. Додалось господарств з вузькоспеціалізованими товарними галузями у 2024 р. (шт).

*Кес – коефіцієнт експортної спроможності сільського господарства - еквівалентний площі пелюсткових діаграм (у одиницях виміру площі, см²)

Рис. 3. Легенда до рис. 2. «Експортна спроможність районів Черкаської області» /
Fig. 3. Legend to Fig. 2. «Export capacity of districts of Cherkasy region»

дбати відповідну техніку для збереження вологи у ґрунті [19].

3. Відмова з часом від монокультурної спеціалізації, зокрема, вирощування нових сільськогосподарських культур, які за умови їхньої посухостійкості можуть ще й збільшити агробіорізноманіття. Це дозволить збільшити вихід біомаси з гектара, але передбачатиме відповідну диверсифікацію господарства, зокрема, розвиток галузей тваринництва, які будуть утримуватись за рахунок кормових ресурсів нововведених культур [12].

II. Північно-Лісостеповий район. Найоптимальнішим за рівнем відповідності спеціалізації умовам природного середовища в умовах лісостепу є рослинницько-тваринницький виробничий тип. Більш складний (порівняно зі степовими ландшафтами) рельєф обумовлює і більш складні схеми землекористування, в якому додаються площі земель з ухилами понад 7°. Відтак, використання природних кормових угідь в лісостепу може стати перспективним напрямком розгалуження традиційної спеціалізації (приклади чого наведені вище).

Розвиток рослинницьких галузей в цьому районі буде пов'язаний з вирішенням традиційних для лісостепу проблем, ґрунтової ерозії, та оптимізації посівних площ [2]. З метою вирішення цих проблем

доцільно впроваджувати новітні технології, адаптовані до умов лісостепу [16].

2. Для отримання надійних прибутків від продажу зерна (особливо на експорт), а також з метою адаптації землекористування до місцевих умов доцільно у схемах землекористування більш чітко визначити товарну та фуражну рілля, передусім залежно від ухилу рельєфу [9].

3. «Розвиток рослинництва для тваринництва». З метою більшого виходу біомаси з гектара доцільно урізноманітнити перелік польових культур, зокрема фуражних, що дозволить більш ефективно розвивати зональні галузі тваринництва [8].

III. Придніпровсько-Черкаський. Зважаючи на яскраву споживацьку орієнтацію господарств цього району можна надійно прогнозувати її подальше поглиблення.

1. Зменшення кількості господарств із зональною спеціалізацією поступово поставить проблему зміни статусу і функціонального призначення земель у їхньому користуванні. Унікальне географічне положення на перетині транспортних шляхів по обидва береги Дніпра, вихід до узбережжя Кременчуцького водосховища поступово будуть і надалі «витіснити» традиційні зональні галузі на користь рекреаційних функцій та започаткування туристичних дестинацій. Саме тому варто розгля-

СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКІ РАЙОНИ, ЩО ФОРМУЮТЬСЯ В ЧЕРКАСЬКІЙ ОБЛАСТІ (АНАЛІТИЧНА КАРТА, 2024)

Умовні позначення

Виробничі типи сільськогосподарських підприємств

Рослинницько-тваринницькі

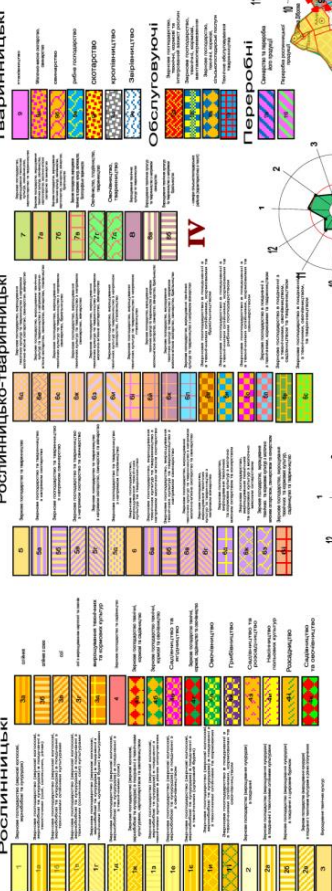


Рис. 4. Аналітична карта порівняння спеціалізації фермерських господарств Черкаської області у 2014 та 2024 роках. Біла лінія – сучасна межа степової та лісостепової зон.
Червоні пунктирні лінії – межі сільськогосподарських районів у 2024 році /
Fig. 4. Analytical map comparing the specialization of farms in Cherkasy region in 2014 and 2024. White line is the modern border of the steppe and forest-steppe zones.
Red dotted lines are the borders of agricultural regions in 2024.

Виробничі типи сілського господарських підприємств



Рис. 5. Легенда до рис. 4. «Аналітична карта порівняння спеціалізації фермерських господарств Черкаської області у 2014 та 2024 роках» / Fig. 5. Legend to Fig. 4. «Analytical map of comparison of specialization of farms in Cherkasy region in 2014 and 2024»

нути інші (крім традиційних) варіанти використання земель [18].

2. Державним органам доцільно розробити програми, спрямовані на зменшення земель у сільськогосподарському користуванні, особливо тих, які втратили родючість внаслідок надінтенсивного землекористування з поступовим їх переведенням у перелоги, території ПЗФ, включення до Смарагдової мережі. Ця проблема набуває особливої актуальності зважаючи на те, що уся територія Черкащини входить до складу Галицько-Слобожанського екологічного коридору [20].

3. Фізичним та юридичним особам – власникам земель сільськогосподарського призначення варто прагнути до розгалуження традиційної сільськогосподарської спеціалізації, в тому числі і шляхом відведення частини площ під регульоване «здичавіння», створюючи тим самим екотопи для аборигенних рослин і тварин [8]. На цих ділянках з часом можна розвивати нетрадиційні (для України) галузі, що посилять їхнє пізнавальне та туристично-рекреаційне значення [20].

IV. Південно-Західний Лісостеповий. Виходячи з сучасних тенденцій, подальший розвиток цього району буде відбуватись у напрямку поглиблення спеціалізації. При цьому більша кількість господарств буде поглиблювати зональну рослинницьку спеціалізацію – зернове господарство (зернові зернобобові), виробництво технічних культур (олійних та буряка цукрового.). Виходячи з аналізу пелюсткових діаграм (рис. 3) зміни клімату, що відбулись за останні 10 років поступово починають відбиватись на спеціалізації господарств.

1. Господарствам, як новоствореним, так і тим, що існують з 2014 року доцільно в галузях рослинництва «відреагувати» на поступові зміни клімату (рис. 3) впровадженням новітніх технологій, які можуть зменшити згубний вплив від таких змін [16,17,19].

2. Враховуючі багаторічні тенденції до потепління клімату, згідно яких територія цього сільськогосподарського району значною своєю частиною вже «перейшла» в зону Степу, доцільно розвивати комплексну рослинницько-тваринницьку спеціалізацію чим урізноманітнити екосистемні відносини в агроекосистемах, зробивши їх більш резистентними до зовнішніх впливів [8].

3. Зважаючи на вигідне транспортно-географічне положення району, унікальне поєднання істо-

ричних, природних та туристичних об'єктів, доцільно посилювати диверсифікацію сільськогосподарського виробництва, в тому числі і шляхом зміни типу землекористування [20].

Висновки. 1. Найбільша кількість господарств, які додалися у 2024 році, припадає на 1-й Південно-Центральний сільськогосподарський район. Географічно ця ж територія охоплює ареал, на який розширилась площа степової зони під впливом змін клімату. Тобто, головний масив господарств (1274 господарства з 1808) опиняється в зоні ризикованого землеробства, яка потрапляє під вплив змін клімату. Напевне, впродовж певного часу в цій групі господарств можна очікувати реакцію на такі зміни.

2. Зменшення частки рослинницько-тваринницьких типів від загальної кількості господарств у 2024 році порівняно з 2014 роком не позначилось на загальній їх кількості. Так, найбільше зменшення частки таких типів господарств відбулось у Золотоніському (на 45%), Уманському (на 45%), Кам'янському (на 52%). Але, незважаючи на низький відсоток (10-18%) таких господарств у зазначених районах в абсолютному обрахунку їх нараховується не менше 20 од.

3. Найменші зміни (як за кількістю так і за питомою вагою) відбулися в північних лісостепових зональних типах господарств (Канівський, Жашківський, Корсунь-Шевченківський райони). Це певною мірою може свідчити про більшу екологічну пластичність господарств лісостепової зони стосовно змін клімату (порівняно з зональними степовими типами).

4. Для встановлення головних тенденцій зміни спеціалізації сільського господарства Черкаської області в тому числі і під впливом змін клімату була розроблена спеціальна методика, яка доповнила методичні прийоми ЕГІС. Зокрема, був розроблений аналітичний інструмент – пелюсткова діаграма, який надає змогу наочно порівняти відхилення від середнього по області значення у кожному районі.

5. За результатами аналізу розроблені практичні рекомендації для кожного сільськогосподарського району (2024 р.), які охоплюють передусім географічний аспект просторової організації сільського господарства. В наданих рекомендаціях ми намагались максимально взаємопогодити природні (в тому числі і екологічні) та економічні тренди розвитку сільського господарства Черкаської області.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ:

1. Кальний С.В. Планування діяльності фермерських господарств у контексті розвитку сільських територій. *Науковий вісник Ужгородського національного університету*, 2022. Випуск 45. С. 26–34. <https://doi.org/10.32782/2413-9971/2022-45-5>
2. Науково-практичні рекомендації щодо проектування та впровадження адаптивної системи землеробства для сільськогосподарських підприємств і фермерських господарств лісостепової зони України / Коломієць Л.П., Шевченко І.П., Повидало В.М. та ін.. Київ, ННЦ «ІАЕ» 2024. 40 с.
3. Перспективи розвитку аграрного сектора України в умовах кліматичних змін: аналіт.доп. / [В. М. Русан, Л. А. Жураковська, Я. А. Жаліло та ін.]; за наук. ред. Я. А. Жаліло. Київ: НІСД, 2024. 47 с. <https://doi.org/10.53679/NISS-analytrep.2024.09>.

4. Созінов О.О., Сонько С.П. Агроекосистема. *Екологічна енциклопедія: У 3 т.* / Редколегія: А.В. Толстоухов (головний редактор). Київ: ТОВ «Центр екологічної освіти та інформації», 2006. Т.1. С.14.
5. Сонько С.П. Використання методики елементарних геоінформаційних систем в географічній та екологічній освіті. *Географія та екологія: наука і освіта: матеріали VI Всеукраїнської науково-практичної конференції (з міжнародною участю; до 25 річниці Незалежності України).* м. Умань, 14-15 квітня. Умань: ВПЦ Візаві, 2016. С. 188–191.
6. Сонько С.П., Голубкіна О.М. Європейський досвід, механізм та об'єктивні причини реформування адміністративно-територіального устрою в Україні. *Аспекти стабільного розвитку економіки в умовах ринкових відносин: матеріали V Міжнародної науково-практичної конференції.* Умань: Видавець «Сочинський», 2011. С. 91–94.
7. Сонько С. П., Зозуля І.О. Екологічно збалансовані агроекосистеми – запорука сталого розвитку. *Людина та довкілля. Проблеми неоекології*, 2024. Вип. 41. С.57–69. <https://doi.org/10.26565/1992-4224-2024-41-04>
8. Сонько С.П. Екологічні проблеми сучасного сільського господарства та шляхи їх вирішення. *Агроеліта. Всеукраїнський аграрний журнал*, 2016. №1 (36). С. 52–53.
9. Сонько С.П., Максименко Н.В. Просторові і часові механізми антропогенної експансії агроландшафту. *Вісник ХНУ імені В. Н. Каразіна*, 2013. № 1054. Серія «Екологія», вип. 8. С.13–22.
10. Сонько С.П. Сільськогосподарське районування Харківської області: географічна проблема – екологічні наслідки. *Dniprop. Univer. bulletin. Geology, Geography*, 2018. 26 (1). С. 165–176. <https://doi.org/10.15421/111818/>
11. Топчієв О. Г., Мальчикова Д. С., Пилипенко І. О., Яворська В. В. Методологічні основи географії: Ландшафтна оболонка Землі. Довкілля: навч. посіб. Херсон: Видавничий дім «Гельветика», 2018. 348 с.
12. Хвесик М.А., Сакаль О.В. Механізми збереження агробіорізноманіття. *Економіка АПК*, 2017. №3. С. 29–37.
13. Sytnyk, O., Kravtsova, I., Andreev, S., Denysyk, B., & Bezlatnia, L. (2022). On the question of the philosophical foundations of the geoeconotes theory: synergetics, anthropocentrism, geosystem paradigm. *Journal of Geology, Geography and Geoecology*, 31(3), 547-553. <https://doi.org/https://doi.org/10.15421/112251>
14. Михайло Войтовик випробує суміші покривних культур. URL: <https://www.youtube.com/watch?v=9pliWPHTeAs>
15. Через потепління Черкащина поступово входить до нової кліматичної зони. URL: <https://18000.com.ua/strichka-novin/cherez-poteplinnya-cherkashina-postupovo-vhodyt-do-novo%D1%97-klimatichno%D1%97-zoni/>
16. Посівна. Жива земля без оранки, міндобрив та хімії. URL: <https://www.youtube.com/watch?v=tIxE9FYPhzQ>
17. Покривні культури та сидерати. URL: <https://nbs.wwf.ua/methodology/pokryvni-kultury-ta-syderaty-zeleni-dobryva/>
18. Топ 15 незвичайних агробізнесів в Україні. URL: <https://kurkul.com/blog/119-top-15-nezvichaynih-agrobiznesiv-v-ukrayini>
19. Особливості контролю бур'янів в системах землеробства No-till vs Strip-till. URL: <https://www.youtube.com/watch?v=fr69YeldL58>
20. Сільський зелений туризм – від роз'єднаних садіб до територіальних кластерів. URL: <https://geography.lnu.edu.ua/wp-content/uploads/2021/05/Rutynskyu-Silskyu-zelenyy-turyzm-2018-book.pdf>

Стаття надійшла до редакції 07.05.2024

Стаття рекомендована до друку 17.06.2024

Zozulya Ivan Olegovich – candidate for the degree of Doctor of Philosophy in Earth Sciences, Department of Ecology and Life Safety, Uman National University of Horticulture; e-mail: trokvanya077@gmail.com; ORCID ID: <https://orcid.org/0009-0007-6024-5498>

GEOGRAPHICAL FEATURES OF AGRICULTURE IN CHERKASY OBLAST IN THE CONTEXT OF CLIMATE CHANGE

The purpose of this article is to analyze, using geographical methodology, the response of farms in Cherkasy Oblast to climate change that has occurred over the past 10 years.

Main material. The problem indicated in the title of the article has become relevant in recent years due to climate change. And in the conditions of natural zones of Ukraine, the boundaries between which have long been quite conditional (geoecotone «forest field», G. Denysyk), the justification and further development of «zonal» specialization has always been a difficult problem. Visual evidence of climate warming prompted the search for such indicators that would (directly or indirectly) demonstrate the «reaction» of agriculture to such climate changes. A comparative analysis of agricultural zoning in 2014 and 2024 showed that the configuration of agricultural areas has changed significantly, which was radically affected by climate change.

Conclusions. The main array of farms (1274 farms out of 1808) of the 1st South-Central Agricultural District is in the zone of risky agriculture, which is affected by climate change. The smallest changes (both in quantity and specific weight) occurred in the northern forest-steppe zonal types of farms (Kaniv, Zhashkiv, Korsun-Shevchenkivskiy districts). This may indicate a greater ecological plasticity of farms in the forest-steppe zone with respect to climate change (compared to zonal steppe types). Based on the results of the analysis, practical recommendations were developed for each agricultural district (2024), which primarily cover the geographical aspect of the spatial organization of agriculture.

Keywords: *agrolandscape, specialization, agricultural district, climate change.*

REFERENCES:

1. Kalnyi S. (2022). Planning the activities of farms in the context of rural development. *Uzhhorod National University Herald*, (45), 26–34. <https://doi.org/10.32782/2413-9971/2022-45-5> [in Ukrainian].
2. Kolomiets, L.P., Shevchenko, I.P., Povyvalo, V.M., Shtakal, V.M., Tereshchenko, O.M., & Shkvyr, M.I. (2024). Scientific and practical recommendations for the design and implementation of an adaptive farming system for agricultural enterprises and farms in the forest-steppe zone of Ukraine. Kyiv: NSC «IAE» [in Ukrainian].
3. Rusan, V.M., Zhurakovska, L.A., Zhalilo, Ya.A., Vozhegova, R.A., Danchuk, O.V., Granovskaja, L.M., & Sablya, O.S. (2024). Prospects for the development of the agricultural sector of Ukraine in the context of climate change: analytical supplement (Zhalilo, Ya. A., Ed.). Kyiv: NISD. <https://doi.org/10.53679/NISS-analytrep.2024.09> [in Ukrainian].
4. Sozinov, O.O., Son'ko, S.P. (2006). Agroecosystem. Tolstoukhov, A.V. (Ed.). *U Ecological Encyclopedia*, (1, p. 14). Kyiv: LLC "Center for Environmental Education and Information" [in Ukrainian].
5. Son'ko, S.P. (2016). Using the methodology of elementary geographic information systems in geographical and environmental education. *Geography and Ecology: Science and Education: Materials of the VI All-Ukrainian Scientific and Practical Conference (with international participation; to the 25th anniversary of Independence of Ukraine)*. Uman, April 14-15 (p. 188–191). Uman: VOC Viszavi [in Ukrainian].
6. Son'ko, S.P., Golubkina, O.M. (2011). European experience, mechanism and objective reasons for reforming the administrative-territorial system in Ukraine. *Aspects of stable economic development in market relations: materials of the V International Scientific and Practical Conference* (p. 91–94). Uman: Publisher "Sochinsky" [in Ukrainian].
7. Sonko, S.P., & Zozulia, I.O. (2024). Environmentally balanced agroecosystems – key to sustainable development. *Man and Environment. Issues of Neocology*, (41), 57-69. <https://doi.org/10.26565/1992-4224-2024-41-04> [in Ukrainian].
8. Sonko, S.P. (2016). Ecological problems of modern agriculture and ways to solve them. *Agroelita. All-Ukrainian Agrarian Journal*, 1 (36), 52–53. [in Ukrainian].
9. Son'ko S.P., Maksimenko N.V. (2013). Spatial and temporal mechanisms of agricultural landscapes' anthropogenic expansion. *Visnyk of V.N. Karazin Kharkiv National University*, № 1054, series «Ecology», (8), 13–22 [in Ukrainian].
10. Son'ko, S.P. (2018). Agricultural Districts of the Kharkiv Region: Geographical Issues - Environmental Consequences. *Dniprop. Univer. bulletin. Geology, Geography*, 26 (1), 165–176. <https://doi.org/10.15421/111818/> [in Ukrainian].
11. Topchiev O.G., Malchikova D.S., Pylypenko I.O., & Yavorska V.V. (2018). Methodological foundations of geography: Landscape shell of the Earth. Environment: teaching aid. Kherson: Publishing House "Helvetica" [in Ukrainian].
12. Khvesyk M.A., Sakal O.V. (2017). Mechanisms for preserving agrobiodiversity. *Economics of the Agricultural Complex*, (3), 29–37 [in Ukrainian].
13. Sytnyk, O., Kravtsova, I., Andreev, S., Denysyk, B., & Bezlatnia, L. (2022). On the question of the philosophical foundations of the geoeconomes theory: synergetics, anthropocentrism, geosystem paradigm. *Journal of Geology, Geography and Geoecology*, 31(3), 547-553. <https://doi.org/https://doi.org/10.15421/112251> [in English].
14. Mykhailo Voytovyk tests cover crop mixtures. URL: <https://www.youtube.com/watch?v=9pliWPHTeAs> [in Ukrainian].
15. Due to warming, Cherkasy region is gradually entering a new climate zone. URL: <https://18000.com.ua/strichka-novin/cherez-poteplinnya-cherkashhina-postupovo-vxodit-do-novo%D1%97-klimatichno%D1%97-zoni/> [in Ukrainian].
16. Sowing. Living land without plowing, fertilizers, and chemicals. URL: <https://www.youtube.com/watch?v=tIxE9FYPhzQ> [in Ukrainian].
17. Cover crops and green manures. URL: <https://nbs.wwf.ua/methodology/pokryvni-kultury-ta-syderaty-zeleni-dobryva/> [in Ukrainian].
18. Top 15 unusual agribusinesses in Ukraine. URL: <https://kurkul.com/blog/119-top-15-nezvichaynih-agrobiznesiv-v-ukrayini> [in Ukrainian].
19. Peculiarities of weed control in farming systems No-till vs Strip-till. URL: <https://www.youtube.com/watch?v=fr69YeldL58> [in Ukrainian].
20. Rural green tourism – from disjointed estates to territorial clusters. URL: <https://geography.lnu.edu.ua/wp-content/uploads/2021/05/Rutynskyy-Silskyy-zelenyy-turyzm-2018-book.pdf> [in Ukrainian].

The article was received by the editors 07.05.2024

The article is recommended for printing 17.06.2024

Тези доповідей, збірники матеріалів та збірники наукових праць, які видані за тематикою Міжнародних наукових конференцій (до 2011 р. – семінарів), що проводяться щороку на кафедрі фізичної географії та картографії Харківського національного університету імені В.Н. Каразіна – опорній кафедрі (методичному центрі) з дисциплін картографо-топографічного циклу для університетів, які входять до Євразійської асоціації і здійснюють підготовку бакалаврів, спеціалістів та магістрів географії:

1. Досвід удосконалення навчального процесу з топографії та картографії на географічних факультетах університетів: Тези доп. Міжуніверситет. навч.-метод. семінару, Харків, травень 1993 р. – Х., 1993. – 45 с.
2. Сучасний стан та перспективи вивчення географії рідного краю у школах: Тези доп. Міжнарод. наук.-метод. семінару, Харків, 12-16 вересня 1994 р. – Х., 1994. – 141 с.
3. Шкільна топографія та картографія: реалії та перспективи: Тези доп. і повідом. наук.-метод. семінару викладачів ун-тів та засідання секції географічної картографії Навчально-методичної ради з географії Євразійської асоціації університетів, Харків, 12-15 вересня 1995 р. – Х., 1995. – 90 с.
4. Безперервна географічна освіта (дошкільна, шкільна, вузівська, післядипломна): нове у змісті і методиці: Матеріали III Міжнарод. наук.-метод. семінару, Харків, 9-13 вересня 1996 р. – Х., 1996. – 121 с.
5. Посилення практичної підготовки студентів-географів з топографії і картографії та координації і результативності досліджень з географічної картографії на картографічних кафедрах державних університетів: Матеріали 3-го Міжнарод. наук.-метод. семінару викладачів топографії та картографії держ. ун-тів, Харків, 7-11 липня 1997 р. – Х., 1997. – 80 с.
6. Безперервна географічна освіта: інноваційні методи і технології: Матеріали IV Міжнарод. наук.-метод. семінару, Харків, 13-17 вересня 1998 р. – Х., 1998. – 148 с.
7. Науково-методичне забезпечення навчального процесу з топографії і картографії на факультетах університетів та в школах з поглибленим вивченням географії: Матеріали 4-го Міжнарод. наук.-метод. семінару, Харків, 14-17 вересня 1999 р. – Х., 1999. – 140 с.
8. Проблеми безперервної географічної освіти і картографії: Збірник наукових праць. – К.: Антекс, 2000. – Вип. 1. – 208 с.
9. Проблеми безперервної географічної освіти і картографії: Збірник наукових праць. – Вінниця: Антекс, 2001. – Вип. 2. – 240 с.
10. Проблеми безперервної географічної освіти і картографії Збірник наукових праць. – Вінниця: Консоль, 2002. – Вип. 3. – 338 с.
11. Модернізація і реформування середньої, вищої і післядипломної географічної та картографічної освіти в країнах СНД: досвід, проблеми, перспективи: Матеріали 12-го Міжнарод. наук.-метод. семінару, Харків, 8-12 вересня 2003 р. – Вінниця: Антекс-У Лтд., 2003. – 376 с.
12. Проблеми безперервної географічної освіти і картографії Збірник наукових праць. – Вінниця: Антекс-УЛТД, 2004. – Вип. 4. – 300 с.
13. Проблеми безперервної географічної освіти і картографії Збірник наукових праць. – К: Інститут передових технологій, 2005. – Вип. 5. – 208 с.
14. Проблеми безперервної географічної освіти і картографії: Збірник наукових праць. – К: Інститут передових технологій, 2006. – Вип. 6. – 240 с.
15. Проблеми безперервної географічної освіти і картографії: Збірник наукових праць. – К: Інститут передових технологій, 2007. – Вип. 7. – 208 с.
16. Проблеми безперервної географічної освіти і картографії: Збірник наукових праць. – К: Інститут передових технологій, 2008. – Вип. 8. – 324 с.
17. Проблеми безперервної географічної освіти і картографії: Збірник наукових праць. – К: Інститут передових технологій, 2009. – Вип. 9. – 264 с.
18. Проблеми безперервної географічної освіти і картографії: Збірник наукових праць. – К: Інститут передових технологій, 2009. – Вип. 10. – 248 с.
19. Проблеми безперервної географічної освіти і картографії: Збірник наукових праць. – Х.: ХНУ ім. В.Н. Каразіна, 2010. – Вип. 11. – 188 с.
20. Проблеми безперервної географічної освіти і картографії: Збірник наукових праць. – Х.: ХНУ ім. В.Н. Каразіна, 2010. – Вип. 12. – 216 с.
21. Проблеми безперервної географічної освіти і картографії: Збірник наукових праць. – Х.: ХНУ ім. В.Н. Каразіна, 2011. – Вип. 13. – 118 с.
22. Проблеми безперервної географічної освіти і картографії: Збірник наукових праць. – Х.: ХНУ ім. В.Н. Каразіна, 2011. – Вип. 14. – 128 с.
23. Проблеми безперервної географічної освіти і картографії: Збірник наукових праць. – Х.: ХНУ ім. В.Н. Каразіна, 2012. – Вип. 15. – 120 с.
24. Проблеми безперервної географічної освіти і картографії: Збірник наукових праць. – Х.: ХНУ ім. В.Н. Каразіна, 2012. – Вип. 16. – 138 с.
25. Проблеми безперервної географічної освіти і картографії: Збірник наукових праць. – Х.: ХНУ ім. В.Н. Каразіна, 2013. – Вип. 17. – 74 с.
26. Проблеми безперервної географічної освіти і картографії: Збірник наукових праць. – Х.: ХНУ ім. В.Н. Каразіна, 2013. – Вип. 18. – 186 с.
27. Проблеми безперервної географічної освіти і картографії: Збірник наукових праць. – Х.: ХНУ ім. В.Н. Каразіна, 2014. – Вип. 19. – 124 с.

- [illegible]

Наукове видання

**Проблеми
безперервної географічної освіти
і картографії**

Збірник наукових праць

Випуск 40

Українською та англійською мовами

Комп'ютерне верстання *О. С. Чистякова*

Макет обкладинки *О. С. Третьяков*

Формат 60x84/8. Обл. вид. 7,1. Ум. друк. арк. 5,68. Наклад 50 пр.

Видавець і виготовлювач

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

Видавництво ХНУ імені В.Н. Каразіна